



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
НДІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**Одинадцята міжнародна  
науково-технічна конференція  
"ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ"  
і**

**Дев'ята міжнародна науково-технічна конференція  
студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ»**

**Присвячено Дню науки та Всесвітньому Дню телекомунікацій**

**18–21 квітня 2017 року**

**Матеріали конференції**

**м. Київ**



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE  
“IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE”**

**INSTITUTE OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS  
RESEARCH INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS**

**Eleventh International Scientific Conference  
"MODERN CHALLENGES IN TELECOMMUNICATIONS"**

**and**

**Ninth International Scientific Conference of  
undergraduate and graduate students "PROSPECTS FOR DEVELOPMENT  
OF INFORMATION-TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES AND  
SYSTEMS"**

**Dedicated to the Science Day and the International Day of  
Telecommunication**

**April 18-21, 2017**

**Conference materials**

**Kyiv**

XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2017: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 500 с.

IX Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2017: Збірник тез конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016.

Збірник містить матеріали пленарних і секційних доповідей, представлених на Одинадцятій міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми телекомунікацій" (ПТ 2017) та Дев'ятій міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» (ПРІТС 2017), які проводяться 18–21 квітня 2017 р. в м. Києві

Електронна версія Збірника матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми телекомунікацій" на <http://journals.uran.ua/> за посиланням: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/issue/archive>.

Робочими мовами конференцій є українська, російська та англійська.

У збірник включені матеріали конференції за такими секціями:

1. Достовірне передавання інформації в телекомунікаційних системах.
2. Технології транспортних телекомунікаційних систем та мережні технології.
3. Безпроводові телекомунікаційні системи та технології.
4. Інформаційні технології в телекомунікаціях.
5. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування телекомунікаційних технологій.
6. Засоби та пристрої телекомунікацій.

Семінар: Modern information and telecommunication trends.

Вчений секретар конференції

БУНІН С.Г., д.т.н., проф. ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського.

E-mail: [sgbunin@ukr.net](mailto:sgbunin@ukr.net)

Секретар оргкомітету конференції

*Іванова Т.Л.*

*р. тел/факс. (044)204-98-21.*

*E-mail: [conf@its.kpi.ua](mailto:conf@its.kpi.ua)*

## **Співголови конференції "Проблеми телекомунікацій":**

**БАРАНОВ О.А.** – Керівник Центру теоретико-правових проблем інформаційної сфери Науково-дослідний інститут інформатики и права при Національній академії правових наук України, д.ю.н., професор;

**ІЛЬЧЕНКО М.Ю.** – проректор з наукової роботи Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», академік НАНУ, д.т.н., професор.

## **Організатори конференції:**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ІТС, НДІТ;

Міжнародний науково-технічний журнал «TELECOMMUNICATION SCIENCES» ISSN: 2312-4121.

## **Спонсори конференції:**

Організації та підприємства, які приймають участь у науковій праці й працевлаштуванні випускників ІТС, а також всі бажаючі.

## **Координатор Програмного комітету:**

**КРАВЧУК С.О.** - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ,  
e-mail: sakravchuk@ukr.net

## **Члени Програмного комітету "Проблеми телекомунікацій":**

БОГУШ В. М. - к.т.н., доц., НАУ, Київ;

БУНІН С.Г. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;

ГЛОБА Л.С. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;

ГУДИМЕНКО І.А. - Dr.-Eng. at T-Systems MSC, Дрезден, Німеччина;

ДОРОГАН Валерьян - Prof. Dr. Technical University of Moldova, Кишинів, Молдова;

ЖУК С.Я. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;

ЗАВИСЛЯК І.В. - д.ф.м.н., проф., КНУ ім. Т. Шевченко, Київ;

КАПШТИК СВ. . - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;

КАТОК В.Б. - к.т.н., проф., ПАТ «Укртелеком», Київ;  
КИСЕЛЬОВ Стів - PhD St. of Friedrich-Alexander-University, Нюрнберг, Німеччина;  
КОЗЕЛКОВ С.В. - д.т.н., проф. ДУТ, Київ;  
КОТ Т.М. - Dr.-Eng., Solutions Architect, NVision Czech Republic, Прага, Чехія;  
ЛЕМЕШКО О.В. - д.т.н., проф., ХНУР, Харків;  
ЛИСЕНКО О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
ЛУНТОВСЬКИЙ А.О. - Prof. at VA Dresden University, Дрезден, Німеччина;  
МАКСИМОВ В.В. - к.т.н., доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
МОШИНСЬКА А.В. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
НАЗАРЕНКО О.І. – факультет лінгвістики КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ;  
НАРИТНІК Т.М. - к.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
ПОПОВ В.І. - д.м.-ф.н., проф., РТУ, м. Рига, Латвія;  
ПОПОВСЬКИЙ В.В. - д.т.н., проф. ХНУРЕ, Харків;  
ПРАВИЛО В.В. – к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
РОМАНОВ О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
РОМАНЮК В.А. - д.т.н., проф. ВІТІ, Київ;  
СКУЛИШ М.А. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
СТРИЖАК О.Є. - к.т.н., НЦ «Мала АНУ», Київ;  
ТЕНШИ Хара - Dr.-Eng. Technical University of Dresden, Дрезден, Німеччина;  
ТОЛЮПА С.В. – д.т.н., проф., ДУТ, Київ;  
ТРУБІН О.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
УРИВСЬКИЙ Л.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
ФЕЛЬДМАНН Маріус - Dr.-Eng. Technical University of Dresden, Дрезден, Німеччина;  
ЧЕЧЕЛЬНИЦЬКИЙ В.Я. - д.т.н., проф., ОНПУ, Одеса;  
ЧУМАЧЕНКО С.М. - д.т.н., с.н.с., УНДЦЗ, Київ;  
ШЕЛКОВНИКОВ Б.М. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
ШПІЛЬНЕР Йозеф - Dr. at ZHAW School of Engineering, Цюрих, Вінтертур, Швейцарія;  
ЯВІСЯ В.С. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;  
ЯКОРНОВ Є.А. - к.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

#### **Технічний комітет:**

1. Слюсар В.С. – транспорт, поселення, р.т. 204-98-21.
2. Дуля Ю.А. – головний бухгалтер НДІ ТК, р.т. 236-95-04.
3. Березовська О.В. – реєстрація, забезпечення документообігу, р.т. 204-98-21.
4. Мікляєв О.В. – технічне обслуговування електронної техніки, р.т. 204-98-21.
5. Мазанка Р.М. – оформлення конференції на сайті ІТС, р.т. 204-98-91.

#### **Адреса для листування, телефони, e-mail:**

03056, г. Київ, провулок Індустріальний, 2, корпус 30, секретарю оргкомітету конференції «ІТТ» Івановій Т.Л., р.тел/факс. (044)204-98-21, conf@its.kpi.ua.

#### **Адреса проведення конференції:**

03056, г. Київ, провулок Індустріальний, 2, корпус № 30 КПІ ім. Ігоря Сікорського, 4 поверх.

# ЗМІСТ

## Пленарні доповіді

### Доповідачі:

<b>Шевченко І., Чуб М., Рысцова Е.</b> <i>Современные тенденции рынка молодых специалистов в сфере «телекоммуникаций и информационных технологий»: направления «бизнес анализ в телекоммуникациях» и «оценка качества программного обеспечения».</i> .....	18
<b>Кайденко М.М., Кравчук С.О., Роскошный Д.В.</b> <i>Модемний пристрій для малогабаритної тропосферної радіорелейної станції</i> .....	24
<b>Романюк В.А., Лисенко О.І., Алексеева І.В., Романюк А.В., Новіков В.І.</b> <i>Система управління неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами</i> .....	28
<b>Якорнов Є. А., Авдєєнко Г. Л., Кулик О. В.</b> <i>Модель цифрової системи часового та просторового придушення завад для GPS приймачів</i> .....	33
<b>Trubin A. A.</b> <i>Different WGM disk microresonator filters</i> .....	36
<b>Романов О.І., Федюшина Д.М., Донг Т.Т.</b> <i>Аналіз принципів побудови телекомунікаційних систем бездротового доступу на базі технології LI-FI</i> ...	39
<b>Ильченко М.Е., Присяжной В.И., Литвинов В. А., Капштик С.В., Наритник Т.М.</b> <i>Анализ потенциальной зоны обслуживания и радиоканала наземного оборудования спутниковой связи в условиях работы Антарктической станции «Академик Вернадский»</i> .....	42
<b>Станкевич С.А., Лубський М.С., Крилова Г.Б.</b> <i>Підвищення просторової розрізненності дистанційних зображень теплового поля земної поверхні</i> .....	48
<b>Новогрудська Р.Л., Юшко Н.А.</b> <i>Підхід до збереження даних досліджень національного Антарктичного центру</i> .....	51

## Секція 1. Достовірне передавання інформації в телекомунікаційних системах

### Співголови:

д.т.н., проф. Уривський Л.О., к.т.н., доц. Максимов В.В., к.т.н., доц. Мошинська А.В.

### Доповідачі:

<b>Мошинская А.В., Георгин Д.А.</b> Анализ показателей качества цифрового сигнала.....	54
<b>Толстова А.В., Голь В.Д.</b> Аналіз ефективності методів покращення ймовірнісних характеристик завадостійкості односпрямованих радіоліній.....	57
<b>Виноградов Ю.М., Руденко Т.А.</b> Метод корекції подвійних помилок в каналах передачі цифрових даних зі спектральною модуляцією .....	60
<b>Чебаненко Т.М., Шапран К.О.</b> Использование арифметических взвешенных контрольных сумм для коррекции ошибок в каналах со спектральной модуляцией.....	63
<b>Уривский Л.А., Осипчук С.А., Чекунов Н.В.</b> Исследование информационной эффективности системы связи на основе стандарта 802.11n.....	66
<b>Гахова Г.С., Уривський Л.О.</b> Сценарій реалізації ситуаційних пріоритетів обслуговування в системах доступу.....	69
<b>Максимов В.В., Литвин О.О.</b> Використання двоскачкових трг вузлів в протоколі OLSR безпроводових AD-НОС мереж.....	72
<b>Бердников О.М., Щирий А.В.</b> Напрямки побільшування швидкостей передачі лінійних трактів телекомунікаційних транспортних систем.....	75
<b>Шаповалов Р.С., Гаттуров В.К.</b> Дослідження ефективних методів боротьби з найбільш поширеними DDOS-атаками .....	78
<b>Сікач Т.О.</b> Служби безпеки SDN .....	81

## Секція 2. Технології транспортних телекомунікаційних систем та мережні технології

## Секція 6. Засоби та пристрої телекомунікацій

### Співголови:

д.т.н., проф. Трубін О.О., д.т.н., проф. Романов О.І., д.т.н., проф. Лемешко О.В.

### Доповідачі:

<b>Бабійчук Т.В., Правило В.В.</b> Методи управління трафіком в мережі в умовах високої динаміки зміни показників QOS.....	84
<b>Харлай Л.А.</b> IP-інфраструктура як засіб побудови транспортних мереж операторів мобільного зв'язку.....	87

<b>Тичинський В.Я., Голь В.Д.</b> Оптимізація метрик редистрибуції багатопроTOCOLьних мереж передачі даних .....	90
<b>Поповская Е.О., Москалец Н.В.</b> Методы управления потоком фрагментов в пиринговых сетях .....	93
<b>Шарко В.П., Цулая А.В., Паршин О.Г.</b> Систематическая ошибка измерения координат и времени рассогласования при обработке пространственных сигналов двух навигационных космических аппаратов .....	96
<b>Trubin A. A.</b> Electromagnetic waves scattering on coupled dielectric resonators in the time domain .....	99
<b>Триска Н.Р.</b> Актуальные задачи синхронизации на этапе развертывания сетей 5G .....	102
<b>Цуканов О.Ф., Якорнов Е.А.</b> Методика оценки динамической ошибки при определении дальности до источника радиоизлучения по сферичности фронта электромагнитной волны .....	105
<b>Mykhailov S.O., Bunin S.G., Trubarov I.V.</b> Modelling of communication systems with Impulse-Radio Ultra-Wide Band signals .....	108
<b>Зеленпукіна Т.В., Немченко К.В., Трубаров І.В.</b> Проектування мікросмужкових частотних фільтрів нвч-діапазону з використанням різних чисельних методів розрахунку.....	111
<b>Верес Л.А., Гордашник Є.С.</b> Оцінка необхідного транспортного ресурсу для обміну сигнальної інформації в архітектурі IMS .....	114
<b>Немченко К.В.</b> Аналітичний огляд розробок мікросмугових фільтрів.....	117
<b>Vyhovskyi M.S.</b> Application neuronetwork technologies in IP-telephony .....	120
<b>Денисюк С.В., Осокін М.Г.</b> Метод забезпечення безпеки сервісів VPN на основі технології MPLS рівня ISP .....	123
<b>Романов О.І., Федюшина Д.М., Донг Т.Т.</b> Аналіз принципів побудови фізичного та MAC рівнів у LI-FI – системах.....	126
<b>Дідковський А. В., Лісковський І. О.</b> Дослідження необхідного об'єму ресурсів для реалізації мобільного зв'язку на базі технології SOFTWARE-DEFINED NETWORKING .....	129
<b>Маньківський В.Б.</b> Оцінка продуктивності трафіка реального часу в мережі MPLS.....	132
<b>Парадовський А. О., Єрмаков А. В.</b> Аналіз та визначення можливостей використання телеметричної апаратури через вивчення супутникової лінії управління апаратом.....	136
<b>Гордашник Є.С., Омельченко Р.Ю.</b> Аналіз ефективності технології контейнерної віртуалізації.....	139



<b>Романов О.І., Діденко І.В.</b> Особливості взаємодії контролера і мережевих пристроїв в мережах SDN з використанням протоколу OPENFLOW .....	142
<b>Валуйський С.В., П'янтковська Н.О.</b> Методика забезпечення безпеки корпоративної мережі із застосуванням обладнання JUNIPER серії SRX .....	146
<b>Мєлєхова М.О., Носков В.І., Герасименко К.В., Старкова О.В.</b> Аналіз алгоритмів регулювання завантаженості IP-мережі.....	149
<b>Нестеренко М.М., Саєнко Б.В., Кукліна А.С.</b> Аналіз методів побудови корпоративних мереж на основі VPN-технологій. ....	153

### **Секція 3. Безпроводові телекомунікаційні технології**

**Співголови:** д.т.н., проф. Кравчук С.О., к.т.н., доц. Міночкін Д.А.

**Доповідачі:**

<b>Кременetskaya Y.A., Zhukova E.R.</b> Methods to improve the millimeter range system based on hybrid technology throughput analysis.....	156
<b>Кравчук С.О., Кайдєнко М.М., Гаманенко О.І.</b> Антенно-поворотний пристрій для малогабаритної тропосферної радіорелейної станції.....	159
<b>Рижко А.В., Кравчук С.О.</b> Дослідження можливості підвищення якості обслуговування для мереж багатопрольотної ретрансляції стандарту IEEE 802.16J.....	163
<b>Сова О.Я., Марилів О.О., Сальник С.В., Сальник В.В.</b> Аналіз використання безпілотних літальних апаратів в мобільних радіомережах .....	166
<b>Довгань Б.М, Кравчук С.О.</b> Методи вибору цільової мережі для процедури вертикальної передачі обслуговування в безпроводових мережах 4-го покоління.....	169
<b>Журавель А.С., Кравчук С.О.</b> Безпроводові мережі доступу з динамічним вибором спектру .....	172
<b>Афанасьєва Л. О.</b> Способи реалізації крос-рівневої моделі в безпроводовій мережі .....	175
<b>Лящук А.А.</b> Застосування віртуалізації мережевих функцій (NFV) та «нарізки мережі» (NETWORK SLICING) в технології 5G.....	178
<b>Кайдєнко М.М.</b> Використання модельно-орієнтованого проектування для програмно-визначуваних радіосистем .....	181
<b>Афанасьєва Л. О., Кравчук С.О., Міночкін Д.А.</b> Історична ретроспектива телекомунікацій в Антарктиці .....	184
<b>Ільченко М.Ю., Кравчук С.О., Хитровський В.А., Бугай В.М., Іванов В.М.</b> Приймально-передавальний блок для малогабаритної тропосферної радіорелейної станції.....	187

<b>Кравчук І. М., Кравчук С. О.</b> Сучасні підходи та інноваційні тенденції у викладанні дисциплін телекомунікаційного спрямування .....	191
<b>Кайденко Н.Н., Кайденко В.Н., Роскошный Д.В., Крилач О.Ф.</b> Реализация концепции SDR на платформе SoC.....	193
<b>Кузьміч М.Ю., Кравчук С.О.</b> Дослідження мобільної MESH-мережі безпілотних літальних апаратів з урахуванням затримки між вузлами .....	196
<b>Камінський Р.В., Кравчук С.О.</b> Оптимізована схема швидкої передачі обслуговування у мережах MOBILE IPV6 для підтримки мобільних користувачів хмарних обчислень .....	199
<b>Ленков С.В., Жиров Г.Б., Ленков Е.С.</b> Моделирование отказов восстанавливаемых беспроводных телекоммуникационных систем при прогнозировании надежности и стоимости эксплуатации .....	202
<b>Міночкін Д.А., Рибак О.О.</b> Аналіз архітектури кешування даних для мереж мобільного зв'язку 5G .....	205
<b>Малецький Д.В., Міночкін Д.А.</b> Кешування великих даних в безпроводових мережах 5G .....	208
<b>Семендяк Є.С., Міночкін Д.А.</b> Аналіз алгоритмів вертикальної передача обслуговування в WIMAX/LTE на базі IMS-архітектури .....	211
<b>Лукіна К.В., Шаповал О.М.</b> Використання методів оптимізації для координації цільових функцій в мобільних радіомережах класу MANET .	214
<b>Бунін С.Г., Залозний О.О.</b> Тенденції становлення uwb технології при побудові майбутніх гетерогенних бездротових мереж .....	217
<b>Бунін С.Г., Залозний О.О.</b> Використання надширококустових сигналів у супутникових системах зв'язку .....	220
<b>Шефер О.В.</b> Шляхи побудови надійного телеметричного зв'язку при проходженні радіохвиль через плазму .....	223
<b>Примаченко В.І.</b> Програмна реалізація методу ортогонального частотного мультиплексування .....	226
<b>Волошин В.О., Авдєєнко Г.Л.</b> Система передачі радіосигналу цифрового телебачення стандарту DVB-S на базі радіорелейних станцій «КОМПЛЕКС МГ».....	229
<b>Авдєєнко Г.Л., Якорнов Е.А.</b> Спосіб просторової селекції джерел радіовипромінювання в довільній хвильовій зоні на основі модифікованого алгоритму Кейпона.....	232
<b>Авдєєнко Г.Л., Якорнов Е.А.</b> Задачи практической реализации радиорелейной линии связи на основе использования различий в формах фазовых фронтов их электромагнитных волн .....	235

<b>Наритник Т.М., Авдєєнко Г.Л., Єрмаков А.В., Лутчак О.В.</b> Аналіз можливості використання телекомунікаційних систем терагерцового діапазону в транспортних розподільчих мережах наступних поколінь.....	238
<b>Авдєєнко Г. Л., Бунін С.Г., Наритник Т.Н.</b> Особливості поширення терагерцових хвиль в атмосфері при проектуванні телекомунікаційних систем терагерцового діапазону .....	242
<b>Волков С.Э.</b> Моделирование радиоканала для сетей мобильной связи 5G ..	246
<b>Ольховик Д.М., Наритник Т.М., Єрмаков А.В.</b> Спосіб безпроводової підзарядки гаджетів за допомогою WI-FI мережі.....	247
<b>Єрохін В.Ф., Полякова А.С.</b> Умова стаціонарності протоколу q-MДКН при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні .....	250
<b>Наритник Т.М., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С., Єрмаков А.В.</b> Аналітичний огляд розробок радіоелектронних пристроїв телекомунікаційних систем терагерцового діапазону .....	254
<b>Наритник Т.М., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С., Єрмаков А.В.</b> Аналітичний огляд застосування терагерцових технологій для створення інноваційних розробок .....	256
<b>Ганзенко С. С., Мазор С.Ю.</b> Дослідження опромінювача параболічної антени .....	259
<b>Тимченко І.О., Скулиш М.А.</b> Модель міграції базових станцій між технологіями радіо доступу при використанні SDR та хмарного контролеру базових станцій .....	262
<b>Павленко В.В., Наритник Т.М.</b> Використання WI-FI технологій в телекомунікаційних системах терагерцового діапазону.....	265

#### **Секція 4. Інформаційні технології в телекомунікаціях**

**Співголови:** д.т.н., проф. Глоба Л.С., к.т.н. Стрижак О.Є.,  
к.т.н., доц. Скулиш М.А.

**Доповідачі:**

<b>Терновой М. Ю., Штогріна О. С.</b> Архітектура інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань .....	267
<b>Суліма С.В.</b> Метод відновлення вузла у мережах NFV .....	270
<b>Герлянд А.М., Гаттуров В. К.</b> Аналіз методів оцінювання якості сприйняття послуг мультисервісних мереж.....	273
<b>Москалец Н.В., Поповская Е.О.</b> Анализ динамики пиринговой сети.....	276
<b>Пишко А.О., Курдеча В.В.</b> Разгрузка сети LTE с помощью Wi-Fi.....	279

<b>Вождай П. С., Курдеча В.В.</b> Модифікована процедура вертикального хендоверу в безпроводних гетерогенних мобільних мережах .....	282
<b>Лемешко О.В., Єременко О.С.</b> Динамічна модель маршрутизації при забезпеченні якості обслуговування за показником ймовірності своєчасної доставки пакетів .....	285
<b>Лашко А.Ю., Курдеча В.В.</b> Модифікований спосіб автентифікації для технології WI-FI DATA OFFLOADING .....	288
<b>Кирюшкин Р.А., Курдеча В.В.</b> Модифицированный метод вертикального хендовера .....	291
<b>Воротніков В.В., Бойченко О.С., Гуменюк І.В.</b> Оцінювання характеристик самоподібного мультисервісного трафіку .....	294
<b>Гордєєва Д.С.</b> Вплив мікростільників на покращення енергоефективності в гетерогенній мережі .....	297
<b>Косовненко Р.А., Глоба Л.С., Степурин О.В.</b> Аналіз процесу впровадження хмарних технологій у світі.....	300
<b>Toliupa S., Parkhomenko I.</b> Data protection with intellectual support of organizational and technical and operational management .....	303
<b>Алексеев Н.А., Мазанка Р.М.</b> Повышение производительности распределенных вычислительных систем с динамической архитектурой с помощью нейронных методов прогнозирования .....	306
<b>Глоба Л.С., Омельченко А.І.</b> Технология AZURE BLOB STORAGE для создания хранилищ данных научных исследований .....	309
<b>Горицький В.М., Романченко В.В.</b> Оцінка відповідності безпеки інформаційних технологій на основі зіставлення вимог міжнародних стандартів та національних нормативних документів .....	313
<b>Дерманська Н.В.</b> Узагальнена концептуальна модель складної Інтернет-системи .....	316
<b>Прокопець В.А., Глоба Л.С.</b> Підхід до підвищення енергоефективності обчислень для сервісів інтернету речей .....	319
<b>Бовда Е.М.</b> Проектирование деятельности оператора информационно-телекоммуникационных систем при нечёткой исходной информации.....	322
<b>Лавренюк А.М., Лавренюк С. І., Тульчинський П.Г.</b> Оптимізація програмного забезпечення для аналізу великих даних телекомунікаційної компанії.....	325
<b>Колюкаєва В.О.</b> Метод композиції ВЕБ-сервісів.....	328
<b>Бикова А.О.</b> Дослідження та розробка аналізатора трафіка домашньої мережі на основі RASPBERRY PI ZERO.....	331

<b>Марковський О. П., Захаріудакіс Лефтеріос., Федотов М.Ф.</b> Метод строгої ідентифікації абонентів в телекомунікаційних системах .....	334
<b>Чичиков А. О., Штогриня Е. С.</b> Применение игрофикации в изучении технической электродинамики .....	337
<b>Алексєєв М.О., Павленко В.М.</b> Розподілені обрахунки методом MapReduce на мобільній платформі .....	340
<b>Таран Н.В., Алексєєв М.О.</b> Класифікація методів визначення надійності розподілених інформаційних систем .....	343
<b>Зайченко Ю.П., Васильєв В.И., Вишталь Д.М., Любашенко Н.Д.</b> Структурно-параметрический подход к оценке доступности сетевой услуги .....	346
<b>Воронюк М.М.</b> Система моніторингу для ДАТА-центрів операторів зв'язку .....	349

### **Секція 5. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування телекомунікаційних технологій**

**Співголови:** д.т.н., проф. Лисенко О.І., д.т.н., проф. Романюк В.А

**Доповідачі:**

<b>Сільвестров А.М., Кривобока Г.І.</b> Дослідження та моделювання методу ідентифікації в умовах невизначеності .....	352
<b>Сільвестров А.М., Скринник О.М.</b> Метод ідентифікації складних нелінійних залежностей .....	356
<b>Лысенко А.И., Тачинина Е.Н., Чумаченко С.Н.</b> Способ размещения сенсоров в зоне чрезвычайной ситуации на базе беспилотных летательных аппаратов .....	359
<b>Явіся В.С.</b> Спосіб забезпечення високошвидкісної передачі даних безпілотними літальними апаратами .....	362
<b>Жук О.В., Романюк В.А, Сова О.Я., Ткаченко Д.В.</b> Управління топологією в безпроводних сенсорних мережах .....	366
<b>Явіся В.С.</b> Аналіз способів отримання даних про параметри руху наносупутників .....	370
<b>Товкач И.О., Жук С.Я.</b> Фильтрация параметров движения бпла при комплексном использовании данных сенсорной сети, полученных на основе методов TDOA и RSS .....	374
<b>Шпанчук О.О., Прищепа Т.О.</b> Розвиток методів інтелектуального управління безпроводними сенсорними мережами з мобільними сенсорами .....	377

<b>Urazghildiiev I., Hannay D.</b> Passive acoustic localization and tracking of vessels using a compact array of hydrophones .....	380
<b>Дробіна О.С., Лисенко О.І.</b> Розвиток способів підвищення пропускну здатності в безпроводових сенсорних мережах .....	383
<b>Довженко Т.П., Сторчак К.П.</b> Застосування методу активного управління чергою DSREM в безпроводових сенсорних мережах.....	386
<b>Валуйський С.В., Лукашук В.В. Чумаченко С.М.</b> Розподілена база даних віртуальних координат вузлів .....	389
<b>Гордійко Н.О., Лисенко О.І., Томашевська Т.В.</b> Застосування методу використання геометричних фракталів для оптимального розміщення сенсорів при екологічному моніторингу.....	392
<b>Лисенко О.І. Новіков В.І.</b> Енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження безпроводових сенсорних мереж .....	395
<b>Валуйський С.В., Лукашук В.В.</b> Метод маршрутизації по віртуальним координатам. ....	399
<b>Прищепя Т.О., Лисенко О.І.</b> Алгоритм пошуку доцільного розташування вузлів безпроводових сенсорних мереж .....	402
<b>Kurdecha V.V., Kuzimovych M.M.</b> Modified method of clustering for wireless sensor networks .....	405
<b>Могильний С.Б., Голощапова К.А.</b> LPWAN з використанням RASPBERRY PI і технології LORA.....	408
<b>Курдеча В. В., Іщенко І. О, Захарчук А. Г.</b> Метод кластеризації у мережах інтернету речей з використанням нечіткої логіки.....	411
<b>Ильченко М.Е., Живков А.П.</b> Вырожденные колебания в ячейках метаматериалов.....	414
<b>Бондарук О.А., Петрова В.М.</b> RSSI метод визначення координат вузлів безпроводової сенсорної мережі .....	417
<b>Туранська О. С., Лисенко О.І.</b> Захист інформації у безпроводових сенсорних мережах.....	420
<b>Тарасюк В. О., Петрова В.М.</b> Обзор протокола управления беспроводной сенсорной сети.....	423
<b>Ярмола И.А.</b> Платформа для сбора информации в беспроводных сенсорных сетях, использующая летающие датчики .....	425
<b>Брицун А. В.</b> Самокорректирующаяся временная синхронизация в беспроводных сенсорных сетях с использованием маломощных устройств .....	428
<b>Опанасец В.А.</b> Способ уменьшения потребления энергии в беспроводных сенсорных сетях с помощью улучшение leach протокола ..	431

<b>Козик Ю.Л., Новиков В.И.</b> Развитие способов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях .....	434
<b>Поліник С.А., Петрова В.М.</b> Визначення місця розташування вузлів БСМ при відсутності інформації про топологію мережі .....	437
<b>Валуйський С.В., Горбатенков О.В.</b> Аналіз методів кластеризації в безпроводових сенсорних мережах .....	440
<b>Кутельова О.С., Великий О.О., Лисенко О.І.</b> Метод адаптації безпроводових сенсорних мереж, побудованих на РГБ, в умовах деструктивних впливів .....	443
<b>Хоменко Є.О.</b> Алгоритм реагування на надзвичайні ситуації із застосуванням безпроводових сенсорних мереж.....	446

Секцію 6 об'єднано з Секцією 2 (див. стор. 7, 8).

## SEMINAR

### Modern information and telecommunication trends

#### Співголови:

д.т.н., проф. Бунін С.Г., Назаренко О.І., д.т.н., проф. Уривський Л.О.

#### Доповідачі:

<b>Biryukov N.L., Triska N.R., Khudyntsev M.M.</b> ANALYSIS OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF MTIE FUNCTION .....	449
<b>Pravylo V.V., Chernyavsky A.A.</b> PROBLEMS AND OPPORTUNITIES OF LTE IN THE UNLICENSED SPECTRUM BAND.....	452
<b>Pravylo V.V., Yarosh B.Y.</b> PERFORMANCE ANALYSIS FOR THE QOS SUPPORT IN LTE.....	455
<b>Uryvsky L.O., Shevchenko M.V</b> PERSPECTIVES OF ALGORITHMS TRANSFORMATION OF NOISE-IMMUNE SIGNALING OF DVB-T2 STANDARD INTO A DUPLEX COMMUNICATION SYSTEM.....	458
<b>Uryvsky L.O., Solianikova V.Y.</b> FEATURES OF MULTISERVICE STREAMS TRANSMISSION IN DVB-T2 STANDARD .....	461
<b>Kurdecha V.V., Ishchenko I.O., Zakharchuk A.G.</b> COMPLEX SELECTION CRITERIA OF CLOUD GATEWAY CHOOSING .....	464
<b>Gvozdetska N.A., Globa L.S.</b> AN APPROACH TO DATA PROCESSING OPTIMIZATION CONSIDERING ENERGY EFFICIENCY AND PERFORMANCE PARAMETERS.....	467
<b>Tsukanov O.F., Pypko V. M.</b> MONOPULSE DIRECTION FINDER FOR HARMONIC RADAR SYSTEM .....	470

**Дев'ята Міжнародна науково-технічна конференція студентів  
та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ»**

**Співголови:**

- ЯКОРНОВ Є.А.** – заступник директора інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н., професор;  
**ГАВРИЛЮК В.В.** – голова студентської ради інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Засідання 1.**

**Доповідачі:**

- Невзорова Е.С., Ильяшенко А.Е.** Трехуровневый метод иерархической маршрутизации ..... 475
- Якименко С.И.** Методы улучшения показателей QOS в сетях LTE ..... 476
- Мерсни Амаль** Метод общего явного резервирования при многоадресной маршрутизации ..... 476
- Прокопец В.А.** Розробка віртуальних лабораторних робіт з мережевих технологій на базі обладнання HUAWEI ..... 477
- Ярош Б.Ю.** Дослідження залежності показників QOS в LTE від різних методів їх підтримки ..... 478
- Романов І.А.** Реалізація стратегій передачі інформації на основі технології LTE, ..... 479
- Баженов П.О.** Взаємозв'язок ресурсів мультисервісної мережі зв'язку та її інформаційних можливостей ..... 480
- Постоєнко І.В.** Номографічне відображення умов передачі сигналів із заданою достовірністю з використанням різних видів маніпуляції ..... 480
- Лейко А.О.** Порівняльний аналіз опортуністичних протоколів маршрутизації для підводних акустичних сенсорних мереж ..... 481
- Лазоренко О.П.** Оптимізація обробки телеметричної інформації телекомунікаційних супутників ..... 482
- Кузьміч М.Ю.** Методи генерування, поширення інформаційно-психологічних впливів у телекомунікаційних системах ..... 483
- Зелепукіна Т.В.** Розрахунок та моделювання мікросмужкового фільтра стандарту UMTS ..... 484
- Немченко К.В.** Розрахунок та моделювання мікросмужкового фільтра стандарту DCS-1800 ..... 485
- Рябуха А.Т.** Размещение узлов ретрансляции в беспроводных сенсорных сетях ..... 486



<b>Лисенко О.А.</b> Система зв'язку на базі технології МІМО для сенсорних мереж .....	487
<b>П'янтковська Н.О.</b> Функції віртуалізації мереж для розумних міст .....	488
<b>Лашко А.Ю.</b> Модифікований метод повторної автентифікації для переходу між 3G TA WLAN на основі протоколу EAP-AKA .....	489
<b>Чернявський А.А.</b> Підвищення пропускну здатності мережі LTE в залежності від різних параметрів .....	490
<b>Кругляк А.С.</b> Мережа INTERNET OF THINGS на основі технології SOFTWARE DEFINED RADIO .....	490
<b>Лопата Д. Г.</b> Модифікована процедура вертикального хендоверу.....	492
<b>Кузімович М.М.</b> Розширений метод кластеризації на основі подій для безпроводних сенсорних мереж .....	493
<b>Панькіна О.І.</b> Підвищення енергоефективності міжмашинного обміну... ..	493
<b>Воров А.А.</b> Адаптація CISCO CCNA в практикум по проектуванню комп'ютерних мереж .....	495
<b>Карабчук Д. Є.</b> Віртуалізація мережних функцій систем міжмашинного обміну даними .....	496
<b>Ravlenko V.M.</b> Distributed computing with mapreduce model on mobile platform .....	497
<b>Липко О.С.</b> Підхід до створення системи для параметричного та повнотекстового пошуку наукових статей кафедри.....	498
<b>Хорунжий А. Е.</b> Распознавание изображений по ключевым точкам .....	499
<b>Плютка Б.С.</b> Використання нереляційних баз даних для Інтернету речей .....	500

## Пленарні доповіді

УДК 621.396.1

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»: НАПРАВЛЕНИЯ «БИЗНЕС АНАЛИЗ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ» И «ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ»**

**Шевченко И., Чуб М., Рысцова Е.**

*«Инфопульс Украина» — одна из крупнейших ИТ-компаний Украины, которая предоставляет сервисы для всего жизненного цикла ИТ-систем и услуги по поддержке телеком-инфраструктуры. Компания имеет многолетний опыт сотрудничества с такими телекоммуникационными компаниями как: VimpelCom, KyivStar, BISC, Ericsson, Vodafone.*

*E-mail: Igor.Shevchenko@infopulse.com*

#### **Modern tendencies of the young specialists market in the field of "Telecommunications and Information Technologies": directions "Business Analysis in Telecommunications" and "Software Quality Assessment"**

Цель данного доклада заключается в осмыслении современных потребностей рынка молодых специалистов в сфере «Телекоммуникаций и Информационных Технологий» по направлениям Бизнес Анализа и Оценке Качества ПО». Актуальность данной проблемы обосновывается тем, что студенты старших курсов обучения, после получения соответствующего образования или даже во время обучения, составляют потенциальную основу современного рынка специалистов. Тем не менее, проблема их профессиональной адаптации, на текущий момент, не достаточно изучена самими ВУЗами.

Любая информация или знания имеют тенденции к устареванию, так, например, по итогам исследования 2008 г., знания на момент окончания ВУЗа отставали от реальных тенденций на 5-6 лет. За последние несколько лет, этот показатель сократился до 1-2 г., в силу того фактора, что фактически любая информация стала легкодоступной по средствам интернета, некоторая часть студентов начала отслеживать тенденции рынка и уделять время самообразованию. Будучи на старших курсах обучения или по окончанию ВУЗа, студенты начинают свои первые шаги по поиску работы и

приходят к мысли, что теперь им придется перейти от теории к реальной практике. Первое испытание, которое им предстоит преодолеть на пути к желанной работе - это собеседования. Кто же обычно проводит собеседования? - это эксперт, который в курсе последних тенденций технологий и имеет опыт по их применению в реальных проектах. С чем же сталкиваются большинство новоиспеченных специалистов, даже на этом этапе? – это то, что теория, которую они изучали, может очень сильно отличаться от реальной практики, а в некоторых случаях даже сама теория может быть устаревшей и не соответствовать последним тенденциям. Многие из них начнут терять уверенность в своих знаниях и силах, начнет угасать мотивация, а некоторые совсем задаются и начинают плыть по течению, так и не попробовав свои силы в желаемой специализации и возможно не раскрыв свой реальный потенциал. Чего же нахватает большинству? – все просто, необходимо восполнить пробелы в знаниях с учетом современных тенденций в конкретном направлении.

Как ВУЗам решать данную проблему с восполнениями пробелов знаний? Несколько возможных путей: постоянный мониторинг тенденций рынка, технологий, современных подходов. На основании этой информации - адаптация, дополнения учебных программ; привлечение отдельных компаний или практикующих экспертов к сотрудничеству в рамках процесса модернизации учебных программ, преподавательству; отдельную виток в этих подходах заслуживает «Заинтересованность» и «Мотивация» самих студентов к получению знаний, а также возможности перенять реальный опыт квалифицированных экспертов на этапе обучения.

Абсолютно все компании-соискатели желают со старта получить специалиста, который сразу же приступит к исполнению своих рабочих обязанностей на 50%-70%, начнет решать реальные задачи проекта, не будет требовать большего вложение средств на введения в курс дел на проекте и адаптацию к современным (реальным) подходам и концепциям, которые наследуют все современные компании в сфере Телекоммуникаций и Информационных Технологий. Данные меры, позволят преодолеть негативные стереотипные мнения работодателей по поводу приема на работу студентов-выпускников.

### ***Избыток или дефицит молодых специалистов?***

В настоящее время работодатели предъявляют очень высокие требования к квалификации и стажу работы специалистов, в том числе это требование предъявляется и к выпускникам ВУЗов. Но совершенно очевидно, что молодые специалисты не будут иметь достаточного практического опыта, которого требуют от них при приеме на работу, в результате создается

«замкнутый круг», когда студент, имея высшее профессиональное образование по нужной специализации не может не может пройти собеседование на соответствующую должность в виду отсутствия требуемого практического опыта, и вынужден искать работу в другой, не соответствующей их образованию, сфере деятельности. Сегодняшняя конкуренция на рынке труда привела к тому, что молодые специалисты не обладают четкой информацией о востребованности и рейтинге их профессии на рынке, не обладают информацией о реальных требованиях к позициям, на которые претендуют.

Сегодня часто приходится слышать мнение, что молодых специалистов на рынке больше, чем нужно. Об этом говорят по отношению к некоторым городам, таким как Киев, Одесса, Львов, Харьков.

Специалисты некоторых кадровых агентств Украины взялись выяснить, существует ли такая проблема в реальности. Решили разобраться, в чем конкретно это выражается. Для изучения проблемы избытка молодых специалистов на рынке были изучили мнения десятков работодателей, которые сталкиваются с отбором молодых специалистов на ту или иную должность в своей компании. Более половины работодателей заявили, что молодых специалистов, выпускаемых вузами, примерно столько, сколько нужно и избыток реально отсутствует. Но в то же время более 90% работодателей придерживаются мнения, что на текущий момент наблюдается недостаток молодых квалифицированных специалистов. А именно, очень трудно найти молодого квалифицированного и замотивированного специалиста - согласно статистики собеседований, в среднем, только один из 10-15 кандидатов подходит на позицию младшего специалиста.

Существует категория работодателей, которые заявляют о недостатке молодых специалистов. Около 25% опрошенных работодателей считают, что молодых специалистов для сфер Телекоммуникации и Информационных Технологий выпускается меньше, чем реально нужно. Другими словами, реальный разрыв между образованием и рынком труда очень значительный.

Позиция работодателей, которые ощущают нехватку молодых специалистов, достаточно аргументирована. Они говорят о несоответствии квалификации молодых специалистов требованиям, по их мнению, уровень квалификации тех выпускников вузов, которые приходят на собеседования, несколько ниже реальных требований. Такую точку зрения высказывают около трети работодателей.

Учебные заведения, которые занимаются подготовкой соответствующих специалистов, не поспевают за бурным развитием рынка, как в количественном, так и в качественном отношении. Темпы устаревания

информации сегодня таковы, что знания, полученные студентами в процессе обучения, чаще всего становятся неактуальными уже при получении ими диплома. Выпускники вузов в большинстве случаев не обладают навыками, востребованными в данное время.

Большинство представителей рынка ИТ и Телекоммуникаций считают, что нехватка специалистов становится основным сдерживающим фактором развития Украинского телеком-рынка. При этом решение проблемы большинство экспертов видят в разработке государственных программ в сотрудничестве с ведущими компаниями.

Если говорить образно, то выпускники вузов воспринимаются как материал, из которого еще нужно "лепить и лепить". Большая часть работодателей не располагает для этого финансовыми или временными ресурсами.

В связи с этим на рынке труда может быть использована другая стратегия: работодатели могут предлагать лучшие условия сотрудникам других компаний для того, чтобы переманить их в свою организацию. Данная стратегия оказывается выгоднее с точки зрения вкладываемых ресурсов. Этот стереотип необходимо разрушить и готовить конкурентоспособных молодых специалистов, которые с точки зрения ресурсов будут гораздо выгоднее компаниям нанимателям.

### ***Проблема дефицита молодых квалифицированных специалистов.***

Проблема действительно существует, и она носит глобальный характер, особенно в Украине. Мы работаем со многими телеком-компаниями в Украине и практически от всех поступают заявки: нам нужны перспективные специалистами, посоветуйте кого-нибудь. К сожалению, мы зачастую не можем этого сделать, потому что сами обучаем наших специалистов для заказчиков.

Нехватка специалистов существует в различных сегментах: разработка информационных систем, внедрение, поддержка, информационная безопасность.

Такая ситуация сложилась из-за интенсивного развития ИТ-рынка. Образование за этим ростом не успевает. У нас много высших учебных заведений, но технологиям и продуктам, которые сейчас востребованы и активно используются ключевыми работодателями, мало кто обучает. Проблема в том, что такое обучение требует разработки соответствующих учебных программ, наличия обученных преподавателей, также необходима материальная база, то есть соответствующие программно-аппаратные средства, с помощью которых студенты могли бы на практике осваивать полученные знания. Для всего этого необходимы серьезные инвестиции.

Далеко не все вузы могут себе это позволить.

На сегодняшний день крупные компании, в том числе и «Инфопульс» разрабатывают учебные программы для того, чтобы внедрять их в различных учебных центрах. Этот подход немного сокращает дефицит квалифицированных специалистов, но только в масштабах одной или нескольких компаний.

Основная проблема вузов сегодня в том, что они не могут угнаться за темпами развития технологий, выходом новых продуктов, языков программирования, протоколов, новых подходов в компьютерной инженерии. Например, в центрах обучения, где мы преподаем, программу обучения и практика могут модернизировать несколько раз за год и фактически через несколько недель мы можем внедрить ее для нового курса. Для того чтобы подобное сделать в университете, зачастую нужны годы.

К сожалению, на сегодняшний день роли высших учебных заведений в подготовке ИТ-специалистов, по-прежнему не очень велика. Вузы, как раньше, дают базовые знания, расширяя кругозор студентов. Но актуальные знания отдельных областей или практические навыки они не дают. Учебные центры, созданные при вузах крупными компаниями, могут и значительно улучшают эту ситуацию, но на текущий момент такие начинания достаточно слабо развиты в Украине. Шансы на успешное трудоустройство у студентов, которые также прошли дополнительное обучение в специализированных тренинг центрах гораздо выше чем: зачастую работодатели сами запрашивают там специалистов.

Дефицит специалистов очень сильно отражается на развитии ИТ-отрасли Украины: последние несколько лет - это основной сдерживающий фактор развития экономики страны в целом и отдельных компаний в частности. Складывается такая ситуация, что порой найти инвестиции для развития компании проще, чем специалиста, который сможет непосредственно воплотить конкретные задачи на проекте.

Так же за последние пять лет в нашей стране существенно вырос уровень заработных плат, что в свою очередь существенно сократило отток специалистов за рубеж. За счет постепенного выравнивания условий происходит циркуляция высококлассных специалистов. Многие едут за рубеж на время и возвращаются с новым опытом и возможностями по карьерному воплощению. Появилось большое количество хороших специалистов, которые принципиально не хотят работать за рубежом. Разница в оплате труда за рубежом и у нас значительно сократилась. Хотя не всегда зарплата является главным фактором, но даже если говорить об условиях труда, там и здесь они сопоставимые. Зарплаты пока еще у нас все

же ниже, но они так же будут расти.

Компании, при подборе кандидатов уделяют огромное внимание не только техническим навыкам, но и личностным, а также профессиональным компетенциям кандидата. Существует следующая зависимость - специалист будет долго и хорошо работать только в том случае если он подходит компании, а компания подходит ему.

### ***Каков итог или как же все-таки можно улучшить ситуацию?***

Во-первых, возможно организовывать целевую подготовку выпускников вузов. Это позволит не только отбирать необходимых молодых специалистов, но и сокращать затраты компаний, связанные с адаптацией или переподготовкой выпускников вузов. Проводить постоянный мониторинг тенденций рынка, технологий, современных подходов. На основании этой информации - адаптация, дополнения учебных программ.

Привлечение отдельных компаний или практикующих экспертов к сотрудничеству в рамках процесса модернизации учебных программ, преподавательству.

Отдельную виток в этих подходах заслуживает «Заинтересованность» и «Мотивация» самих студентов к получению знаний, а также возможности перенять реальный опыт квалифицированных экспертов на этапе обучения.

Основные цели, которые должны преследоваться это:

- ознакомить студентов с последними тенденциями разработками мировых лидеров в области аппаратного и программного обеспечения информационных технологий, процессов и подходов, развивать у них практические навыки на основе теоретических знаний, давать больше реальных примеров существующих практик.

- предложить возможность в дополнение к диплому получить сертификаты, которые в дальнейшем карьерном стремлении будут соответствовать их предпочтениям и которые будут подтверждать практические навыки в выбранной области. Это значительно повысит их конкурентоспособность на рынке.

Данные подходы позволят выполнять подготовку компетентных специалистов-практиков, сократить так называемую «утечку умов», повысить уровень мотивации и заинтересованности студентов к получению знаний, модернизировать учебный процесс в соответствии с современными требованиями рынка, повысить процент трудоустройства студентов по желаемой специализации, а также развеять негативные стереотипные мнения работодателей по поводу приема на работу студентов-выпускников.

## МОДЕМНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЇ ТРОПОСФЕРНОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ

**Кайденко М.М., Кравчук С.О., Роскошний Д.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: sakravchuk@ukr.net*

### Modem device for a compact troposcatter radiorelay station

The results of the development of a new modem device (MD) for troposcatter radiorelay system are. Features of the MD: information modem interface - Ethernet 10/100; central IF frequency of modulator – 1265 MHz; central frequency of demodulator – 1475 MHz; number subcarrier frequency in the working band - 1...3; IF bandwidth, MHz – 120; modulation –QPSK; protocol and data interface - IP, Ethernet; protocol and interface management - SSH, Ethernet.

Розробка та модернізація малогабаритних тропосферних радіорелейних станцій (ТРРС) потребує створення високоефективного каналотвірного модемного обладнання [1]. Метою даної роботи є розробка модемного пристрою (МП) для портативної (переносної) ТРРС.

Модемний пристрій забезпечує модуляцію, демодуляцію, формування інформаційних, голосових і службових потоків даних по радіо- і проводовому інтерфейсах, багаторівневу адаптацію станції до постійно змінюваних умов роботи, синхронізацію, вибір режимів роботи станції, управління станцією та її окремими блоками, моніторинг стану станції та ін. [2 - 5].

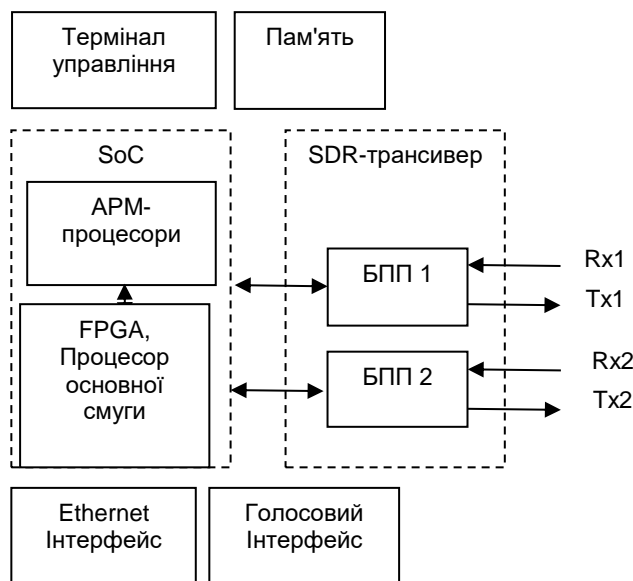
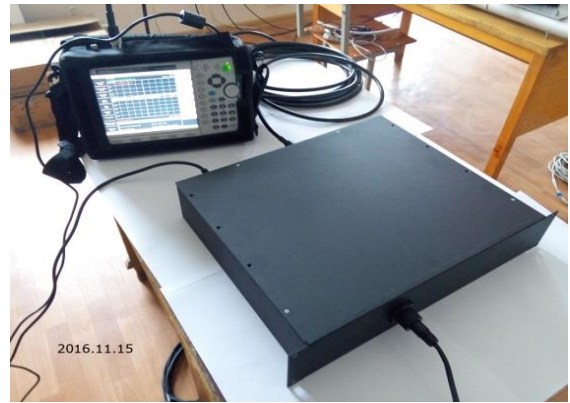


Рис. 1. Базова структура модемного пристрою.





*a*



*б*

Рис. 2. Модемний пристрій: *a* – вид пристрою без верхньої кришки;  
*б* – тестування модемного пристрою в режимі «шлейф».

Модемний пристрій представляє собою повнофункціональний двоканальний модемний модуль, який будується на базі передових технологій програмовано керованого радіо SDR (Software defined Radio) спільно з технологією системи на чіпі SoC (System-on-a-Chip). Даний варіант модемного пристрою орієнтований на використання в станціях не тільки при одноканальному режимі роботи, а й при двоканальному режимі з поляризаційним чи просторовим рознесенням [2]. Базову структуру модемного пристрою представлено на рис. 1, а загальний вигляд – на рис. 2.

Спільне використання технологій SDR і SoC при створенні модемного обладнання тропосферної станції забезпечило наступні переваги:

- можливість подальшої модернізації без зміни апаратної платформи;
- використання високої проміжної частоти, формування сітки робочих частот та вибір робочої частоти безпосередньо в модемі;
- фільтрація з використанням комбінації програмно реконфігурованих цифрових та аналогових фільтрів основної селекції;
- компромісний розподіл ресурсів для реалізації високошвидкісних і низькошвидкісних процесів цифрової обробки сигналів;
- реалізація режиму адаптації по частоті;
- реалізація режиму адаптивної модуляції і кодування з швидкою зміною профілю.

Основні технічні характеристики модемного обладнання для одноканального режиму представлені в табл. 1.

SDR-прийомо-передавач (SDR-трансівер) складається з двох ідентичних модулів виконує функції двоканального приймача, передавача і генератора, а також загального управління модулем і обміну із зовнішніми пристроями. В якості SDR- прийомо-передавача було використано модуль на одному кристалі AD9361 розробки фірми Analog Devices, який виконує функції двох ідентичних трансиверів.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики модемного обладнання для одноканального режиму.

Найменування параметру	Значення параметру
Швидкість передачі даних, Мбіт/с, не гірше: - середня в смузі робочих частот 2,5 МГц - максимальна в смузі робочих частот 7 МГц	2,048 8,0
Ширина смуги частот тракту ПЧ, МГц	120
Потужність сигналу на виході ПЧ модулятора, регульована, дБм	-20...5
Глибина регулювання АРУ, дБ, не гірше	60
Модуляція (індекс скруглення)	ФМ4 (0.35)
Завадостійке кодування: Параметри згорткового коду Швидкість згорткового коду Параметри коду Рида-Соломона	K=7(171,133) 1/2, 2/3, 3/4, 7/8 (255,239)
Смуга робочих частот, адаптивний вибір, МГц	1,25/2,5/5 1,75/3,5/7
Кількість доступних піднесучих	96/48/24 68/34/17
Коефіцієнт бітових помилок, не гірше	$10^{-6}$
Інформаційний інтерфейс	10/100/1000 Base-T
Протокол та інтерфейс передачі даних	IP (TCP/IP), Ethernet
Протокол та інтерфейс керування	SSH, Ethernet
Канал службового зв'язку	G.711 (G.721).
Інформаційна захищеність	Протокол IPsec
Напруга живлення, В	змінний струм, 220
Споживана потужність, не більше, Вт	50
Габаритні розміри	Rack-Mount 2-U, 480

Приймач будується за схемою з прямим перетворенням частоти і виконує наступні функції:

- малошумливого підсилювача з коефіцієнтом шуму не гірше 3;
- схеми автоматичного регулювання підсилення на проміжній частоті;
- квадратурного демодулятора (IQ-демодулятор);
- аналогового фільтру нижніх частот;
- цифрового фільтру основної селекції;
- двоканального аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).

Комбінація цифрових та аналогових фільтрів дозволила забезпечити

вибірковість по сусідньому каналу не гірше ніж 80 дБ.

Передавач будується за схемою з прямим перетворенням частоти та виконує наступні функції:

- цифрової та аналогової фільтрації для забезпечення необхідного рівня поза смугових випромінювань;
- двоканального цифро-аналогового перетворювача (ЦАП);
- квадратурного модулятора (IQ-модулятор);
- вихідного підсилювача потужності до рівня не менше 4-5 мВт.

Формування сітки робочих частот здійснюється цифровими синтезаторами частоти, незалежними для приймача і передавача. В якості опорного генератора використовується керований опорний генератор з температурною компенсацією частотою 40 МГц.

Обмін даними сигналів управління та моніторингу SDR трансивера здійснюється з через SPI інтерфейс з зовнішнім управляючим пристроєм (SoC APM процесор). Обмін даними ЦАП та АЦП - через CMOS/LVDS інтерфейс обміну з процесором основної смуги (SoC FPGA).

Модуль має вбудовану систему керування, тестування та діагностики стану трансивера.

Таким чином, представлено результати розробки нового МП для тропосферної радіорелейної системи, який дозволяє реалізувати високошвидкісний канал передачі даних в умовах загоризонтного зв'язку.

### Література

1. Льченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Кравчук С.О. Принципи створення портативних тропосферних радіорелейних станцій // Матер. 9-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Проблеми телекомунікацій", 21–25 квітня, 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 254–256.
3. Kravchuk S., Kaidenko M. Features of creation of modem equipment for the new generation compact troposcatter stations // Proceedings of the International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo'2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. – IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2016.7739634), 2016.– P. 365-368.
4. Kravchuk S.O., Kaidenko M.M. Modem equipment for the new generation compact troposcatter stations // Information and telecommunication sciences. – 2016. – Vol. 7. – Nu. 1. – P. 5–12.
5. Льченко М.Ю., Кайдєнко М.М., Кравчук С.О. Модемне обладнання на основі SDR-технології для тропосферних станцій нового покоління // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2016. – № 5. – С. 7–16.

## **СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НЕОДНОРІДНИМИ БЕЗПРОВОДОВИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ**

**Романюк В.А., Лисенко О.І., Алексєєва І.В., Романюк А.В., Новіков В.І.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: lysenko.a.i.1952@gmail.com*

### **Control system of heterogeneous wireless sensor networks**

The article is devoted to developing a new architecture of wireless sensor networks control system with heterogeneous sensors capable to self-organization of information exchange and responsive to operating conditions that can not be predicted in the design process.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) – це сукупність розподілених на території мініатюрних безпроводових сенсорних вузлів (стаціонарних і мобільних), призначених для збору інформації про параметри оточуючого середовища і передачі цієї інформації на спеціальні інформаційні центри.

Простота установлення, відносна дешевина та висока ефективність БСМ сприяла широкому застосуванню в різноманітних галузях: сільському господарстві, промисловості, охороні навколишнього середовища тощо [1]. Проте наведені приклади застосування БСМ передбачають їх попередню інсталяцію и налаштування, що часто неможливо в умовах моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, територій в зонах стихійного лиха (техногенних аварій), а також при веденні активних бойових дій в тактичній ланці управління військами.

БСМ критичного застосування неоднорідні і можуть складатися з сукупності сенсорів (і відповідно мереж) різних типів: стаціонарних, мобільних, повітряних, підводних тощо, що дозволяють здійснювати моніторинг значної кількості фізичних параметрів на значних територіях (просторах). Особливістю вузлів сенсорних мереж є обмеженість їх ресурсів (енергетичних, обчислювальних, пам'яті, радіо). Сенсорні вузли повинні здійснювати тривалий моніторинг заданих параметрів середовища і передачу одержаної інформації моніторингу до споживачів, забезпечити розподілене кооперативне функціонування в умовах обмежених ресурсів, підтримувати задану продуктивність мережі, мінімізувати витрати енергії тощо. Для реалізації даних функцій з заданою якістю в умовах несприятливих зовнішніх впливів в складі БСМ повинна входити система управління (СУ).

Класичні підходи, пов'язані з побудовою систем управління мережами, орієнтовані на статичні умови їх функціонування і передбачають наявність виділеної мережі обміну службовою інформацією [2]. Підходи до побудови СУ мережами класу MANET [3] не враховують значну обмеженість ресурсів вузлів БСМ, хоча можуть слугувати основою при створенні СУ БСМ. В роботі пропонується нова архітектура побудови системи управління БСМ з різноманітними сенсорами критичної інфраструктури.

Виходячи з особливостей СУ і вимог, що до неї пред'являються, можна визначити основні принципи її функціонування: адаптивність, функціональність, ієрархічність, розподіленість і координація взаємодії, оптимальність.

Пропонується нова функціональна модель системи управління мережею, яка враховує наступний цикл управління:

1. Збір інформації про стан мережі (при цьому системі управління необхідно приймати рішення за обсягом, типом, способом, рівнями, функціями збору службової інформації).

2. Аналіз даної інформації – ідентифікується ситуація в мережі, визначаються: рівень виконання мережею своїх функцій, необхідність керуючого впливу, цілі управління з подальшою деталізацією їх на підцілі.

3. Прийняття рішення (здійснюється вибір способу моніторингу, обчислення маршруту, вибір методу передачі, способу розсилання службової інформації тощо).

4. Реалізація рішення (здійснюється розсилання службової інформації, резервування ресурсу, установлення потужності передачі тощо).

Функціональна модель складається з наступних основних підсистем (рис.1): збору та зберігання інформації про стан мережі, аналізу і прийняття рішень окремо по моніторингу и процесу передавання даних, інтелектуалізації та координації, управління витратами енергоресурсу вузлів, реалізації рішень по управлінню мережею.



Рис. 1. Функціональна модель системи оперативного управління БСМ.

1. Підсистема збору і зберігання інформації про стан мережі здійснює збір інформації про стан мережі та її збереження в базі даних.

2. Підсистема аналізу і прийняття рішень по процесам моніторингу та передачі даних, яка включає наступні функції:

- управління розгортанням – збір інформації про об’єкти спостереження, визначення методів (способів) розміщення вузлів, вибір типу і кількості сенсорних вузлів з урахуванням параметрів і середовища моніторингу тощо;
- управління покриттям – визначення типу покриття об’єкту, вибір моделі покриття в залежності від ступеня і коефіцієнта покриття;
- управління спостереженням – розрахунок активних сенсорних вузлів, сесій спостереження сенсорів і мережевої зв’язності тощо;
- управління якістю моніторингу.

Процес прийняття рішень по управлінню моніторингом включає наступну послідовність дій: аналіз об’єкту моніторингу – вибір способу моніторингу – визначення функції управління – визначення рівня реалізації OSI для процесу передачі .

Управління процесом передачі містить наступні етапи (рис. 2):

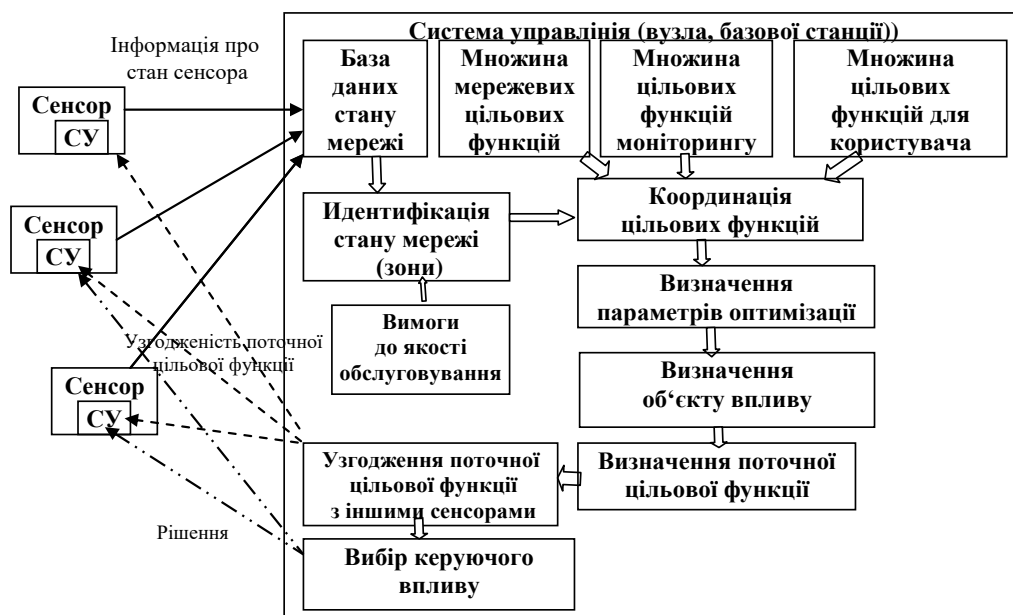


Рис. 2. Процес прийняття рішення системою управління.

1. Збір інформації про стан мережі (СУ приймає рішення про обсяг, частоту, глибину способу збору інформації).

2. Аналіз інформації про стан мережі. СУ ідентифікує ситуацію в мережі (зоні и самому вузлі), перевіряє виконання мережею своїх функцій і визначає необхідність керуючої дії.

3. Виявлення цілі управління з наступною деталізацією її на підцілі і прийняття рішення.

Система управління БСМ визначає поточну множину параметрів оптимізації – мережевих і користувальницьких, об’єкти управління (вузол, зона, напрямок), поточну цільову функцію (функції) управління (маршрутизація, енергозабезпечення тощо), узгоджує (координує) її з сусідніми сенсорними вузлами (якщо вузли одного рангу) або призначає її підпорядкованим сенсорним вузлам (якщо це центр управління БСМ або головний вузол зони БСМ), вибирає керуючу дію по етапах.

3. Підсистема реалізації рішення здійснює установлення певних параметрів мережі: потужності передавання вузлів, способу моніторингу, резервування ресурсу, розсилання службових повідомлень тощо.

4. Підсистема координації інтелектуалізації. В умовах змішаного управління (частка функцій виконується централізовано центрами управління БСС, а друга децентралізовано – вузлами) можна визначити дві взаємозалежні групи цілей: мережеві (зонові) – оптимізація мережевих або зонових показників ефективності, користувальницькі – досягнення заданої якості передачі між сенсорними вузлами та шлюзами, тобто оптимізація за напрямком передачі.

До мережевих (зонових) цілей управління можна віднести оптимум наступних параметрів  $C_i = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ :

$C_1$  – ступінь покриття території моніторингу сенсорними вузлами (рухомими чи стаціонарними);

$C_2$  – час функціонування БСМ (її зони) у разі її автономної роботи;

$C_3$  – продуктивність всієї БСМ чи її зони;

$C_4$  – структурна надійність (зв'язність) мережі, її зон;

$C_5$  – кількість ресурсів (стаціонарних та мобільних сенсорів, аероплатформ тощо), які необхідно задіяти для досягнення певної мети;

$C_6$  – потужність передач вузлів мережі чи її зони;

$C_7$  – обсяг службового трафіка, який генерується для збору інформації про стан БСС;

$C_8$  – час планування, розгортання, відновлення БСМ;

$C_9$  – параметри безпеки і т.д.

Для координації управління по моніторингу і передавання (по рівням OSI) пропонується введення надбудови координації (cross-level).

Пропонується введення в підсистему координації і інтелектуалізації базу методів управління, кожен з яких ефективний при різних ситуаціях на мережі. Методи управління розбиті на дві підгрупи: за рівнями OSI і функціями управління.

На етапі оперативного управління за прийнятими критеріями ефективності СУ постійно оцінює стан сенсорної мережі і вживає заходів ( у відповідності до плану і реальної ситуації) по утриманню її показників ефективності функціонування в заданих межах або здійснюється їх оптимізація.

В умовах обмеженості інформації про стан мережі, її неповноти для ідентифікації ситуації і прийняття рішень по вибору методів управління пропонується використовувати методи штучного інтелекту.

Під час прийняття рішень система управління повинна: ідентифікувати ситуацію – стан мережі (зони, напрямку), визначити цільові функції управління і вибрати з множини можливих методів управління оптимальний (раціональний) для даної ситуації і заданої цілі управління з урахуванням можливих обмежень ресурсів сенсорних вузлів.

Кількість і конкретні задачі оперативного управління визначаються характеристиками і умовами функціонування мережі, а також прийнятими технологічними рішеннями на етапі її проектування.

Пропонується нова архітектура побудови системи управління неоднорідними БСМ, яка передбачає: для неоднорідної мережі – координацію і інтелектуалізацію

процесів прийняття рішень для кожного класу БСМ; для кожної мережі БСМ – координацію і інтеграцію рівній OSI по цілям і функціям управління (рис. 3).



Рис. 3. Рівні та функції системи управління БСМ.

5. Підсистема управління витратами енергоресурсу вузлів реалізує одну з основних задач управління БСМ. Повинна бути реалізована при моніторингу і передачі даних з координацією по всіх моделях OSI.

Для рішення задач управління різнорідними сенсорними мережами критичної інфраструктури запропоновані принципово нові підходи до побудови системи управління даними мережами. Запропонована нова архітектура побудови системи управління даними мережами. Її особливостями є: розбиття задач управління на функціональні підзадачі (збору інформації, моніторингу, передачі даних, управління енергоспоживанням, реалізацією рішень). Для підвищення якості рішень, що приймаються і, відповідно, ефективності функціонування даних мереж запропоновано здійснювати координацію цільових функцій управління і інтелектуалізувати процес прийняття рішень по вибору методів управління в залежності від ситуації на мережі.

### Література

1. Chatterjee, A. Practical Applications Of Wireless Sensor Network Based On Military, Environmental, Health And Home Applications: A Survey / Ananya chatterjee, Manjusha Pandey // International Journal of Scientific & Engineering Research. - 2014. - Vol. 7, no. 1. – pp. 1043-1050.
2. Mani Subramanian, 'Network Management: Principles and Practice 2nd Edition, Kindle Edition, 2012.
3. Minochkin, A. Control System of Mobile Ad-hoc Networks / A. Minochkin, V. Romanyuk // In Proc. of International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2008), Lviv, 2008. pp. 414 – 415.



## МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ЧАСОВОГО ТА ПРОСТОРОВОГО ПРИДУШЕННЯ ЗАВАД ДЛЯ GPS ПРИЙМАЧІВ

**Якорнов Є. А., Авдєєнко Г. Л., Кулик О. В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: kullyk@ukr.net*

### **The model of digital temporal and spatial anti-jamming system for gps receivers**

GPS signal is easily influenced by interference. An adaptive antenna array combining with temporal anti-jamming processing can be used to mitigate interference and improve GPS signal acquisition. This paper addresses an all-digital temporal and spatial anti-jamming implementation scheme based on adaptive antenna array. Temporal adaptive filtering techniques can effectively suppress narrowband interference, however, the presence of an antenna array allows the receiver to operate in spatial domain in addition to time domain, which can improve the performance of GPS receiver with broadband interference.

Система навігації GPS забезпечує прецизійне позиціонування й оцінку швидкості об'єкта шляхом відстеження часу надходження сигналів з розширеним спектром. Проте через слабку потужність сигналу на приймальній стороні, конструкція GPS приймача повинна враховувати вплив радіозавад від навмисних та ненавмисних джерел. Для зменшення впливу завад можна звузити смугу пропускання системи стеження за рахунок збільшення часу входу GPS приймача в синхронізацію з навігаційними супутниками [1]. Однак сучасним алгоритмам обробки сигналів доводиться працювати за наявності декількох джерел завад. Вузькосмугова завада в GPS приймачі може бути ослаблена часовими чи частотними методами фільтрації, але широкосмугова завада повинна придушуватися в просторовій області за допомогою адаптивної АР.

Двома основними підходами до просторової фільтрації є управління положенням нуля діаграми направленості антени (null-steering) і формування головної пелюстки ДН антени (beamforming) [2]. У випадку формування ДН відбувається регулювання антени для максимізації відношення сигнал/шум. Якщо напрямок надходження корисного сигналу відомий, метод beamforming може ефективно максимізувати SNR. Проте іноді складно отримати інформацію про напрямок надходження сигналу і місцезрештування об'єкта. Метод управління положенням нулів ДН антени базується на тому, що рівень GPS сигналу на прийомній стороні нижчий рівня теплових шумів, а отже, будь-який сигнал, потужність якого перевищує потужність теплового шуму, є сигналом завади. Антени в решітці зважуються таким чином, що будь-який конкретний сигнал, потужність якого перевищує рівень власних шумів приймача, може бути придушений. Метод null-steering постійно розраховує вагові коефіцієнти, щоб мінімізувати рівень завад на прийомі. Недоліком описаного підходу є той факт, що разом з послабленням сигналу завади потенційно знижується і рівень корисного сигналу. Даний метод не потребує інформації про корисний сигнал.

Адаптивні антени можуть застосовуватися як для вузькосмугових, так і для широкосмугових завад, однак вони не здатні працювати за великої кількості

завад з різних напрямків. В адаптивній АР просторові ступені свободи визначаються ДН решітки, кількістю та селективністю пелюсток та нулів. Часова обробка може компенсувати недолік обмеженої свободи просторової обробки, що дозволяє придушити вузькосмугові завади шляхом застосування методів часової або частотної фільтрації.

Цифрова модель системи захисту GPS приймача від радіозавад на базі часової та просторової обробки показана на рис. 1. GPS сигнали та завади, прийняті 4-елементною АР, оцифровуються АЦП після пониження частоти. Часова та просторова обробка, кореляційна обробка й інтегрування можуть бути реалізовані на базі інтегральних схем специфічного застосування ASIC або програмованої користувачем вентиляльної матриці FPGA. Демодуляція даних, фільтрація, розрахунок положення, швидкості та точного часу PVT, а також навігаційні задачі виконуються цифровим сигнальним процесором DSP.

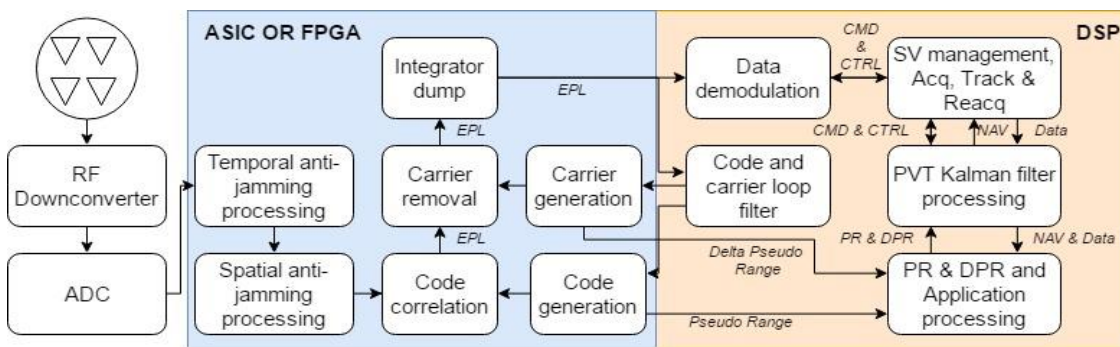


Рис. 1. Повністю цифрова модель придушення завад на основі часової та просторової обробки для GPS приймачів.

Сигнали на виході решітки можуть бути записані як

$$z(k) = \mathbf{w}^H \mathbf{u}(k). \quad (1)$$

де  $\mathbf{u}(k) = [u_1(k) \ u_2(k) \ \dots \ u_N(k)]$  – сигнал, прийнятий АР;  $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]$  – вектор комплексних вагових коефіцієнтів;  $H$  позначає ермітове спряження.

Сигнал, що падає на антенний елемент, являє собою набір GPS сигналів в зоні прямої видимості антени, завад та шуму:

$$u_n(k) = \sum_{l=1}^L c_l(k) a_{nl}(\theta_l, \varphi_l) + \sum_{m=1}^M q_m(k) a_{nm}(\theta_m, \varphi_m) + v_n(k) \quad (2)$$

де  $L$  – кількість прийнятих GPS сигналів;  $M$  – кількість завад;  $\theta_l, \varphi_l$  – кут місця та азимут  $l$ -ого GPS супутника;  $a_{nl}, a_{nm}$  – просторовий коефіцієнт затримки фази  $n$ -ої антени для окремого напрямку;  $q_m$  –  $m$ -й сигнал завади;  $\theta_m, \varphi_m$  – кут місця та азимут  $m$ -ого джерела завади;  $v_n$  – шумова складова;  $c_l$  –  $l$ -й GPS сигнал.

Оскільки напрямок надходження сигналу визначається кутом місця та азимутом, необхідна двовимірна АР. Для еквідистантної прямокутної АР ідентичних і всенаправлених сенсорів з міжелементним інтервалом  $d_x$  і  $d_y$  фазовий зсув  $m$ -го антенного елементу решітки визначається як

$$f_m(\theta_i, \varphi_i) = 2\pi \left( \frac{d_x}{\lambda} \cos \theta_i \cos \varphi_i + \frac{d_y}{\lambda} \cos \theta_i \sin \varphi_i \right) \quad (3)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі несучої супутникового сигналу з частотою 1575,42 МГц.

Ітеративний алгоритм на основі методу LMS для управління положенням нуля діаграми направленості антени може бути записаний як [3]:

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \{ \mathbf{x}_0(n) - \mathbf{w}^* \mathbf{x}_a(n) \} \mathbf{x}_a(n) \quad (4)$$

де  $\mu$  – параметр розміру кроку;  $\mathbf{x}_a(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_{N-1}(n)]^T$  – додатковий вихід антени.

На рис. 2 зображено сигнал на виході корелятора під час прийому супутникового сигналу і ДН АР з часовою обробкою (б, г) та без неї (а, в).

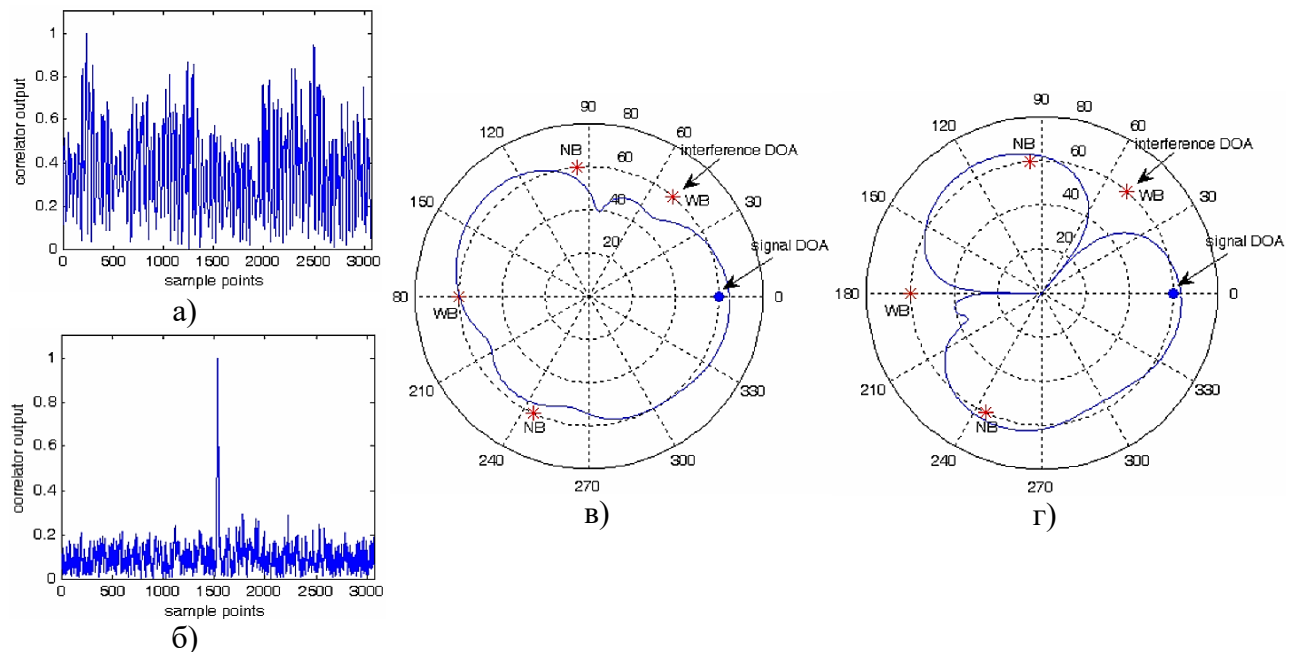


Рис. 2. Функція кореляції супутникового сигналу (а, б) та ДН антенної решітки (в, г).

Очевидно, що АР не розміщує нулі ДН правильно без часової обробки, оскільки кількість завад перевищує кількість ступенів свободи АР. Максимум функції кореляції є неявним, що унеможливило коректне визначення координат.

Якщо попередньо виконується часова обробка, то АР правильно розміщує нулі ДН, що дозволяє ефективно придушувати вузькосмугові (NB) завади, у той час як просторова обробка ослаблює вплив двох широкосмугових (WB) завад, що менше кількості ступенів свободи АР. Пік функції кореляції є явним, завдяки чому здійснюється прийом сигналу та визначення місцезнаходження об'єкта.

Результати моделювання [3] показують, що схема може ефективно придушувати вузькосмугові завади за допомогою часової обробки та широкосмугові завади за допомогою просторової. У доповіді також представлено результати експериментального дослідження завадостійкості GPS приймачів деяких провідних виробників світу, які були зібрані в ІТС.

## Література

1. Lay Teen O. Adaptive Beamforming Algorithms for Cancellation of Multiple Interference Signals / Ong Lay Teen. // Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 43. – 2015. – p. 109–118.
2. Kandangath A. Jamming mitigation techniques for spread spectrum communication systems: PhD Dissertation / Kandangath Anil – Arizona State University, USA, 2005. – 87 p.
3. Zheng Y. Adaptive antenna array processing for GPS receivers: Thesis submitted for the degree of Master of Engineering Science / Zheng Yaohua – The University of Adelaide, Australia, 2008. – 115 p.

## DIFFERENT WGM DISK MICRORESONATOR FILTERS

Trubin A. A.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

E-mail: atrubin@ukrpost.net

### ФІЛЬТРИ ПОБУДОВАНІ НА РІЗНИХ ДІСКОВИХ МІКРОРЕЗОНАТОРАХ З КОЛИВАННЯМИ ШЕПОЧУЧЕЙ ГАЛЕРЕЇ

Розраховані характеристики розсіювання хвиль лінії передачі на системах відмінних по розмірам та діелектричній проникності діелектричних мікрорезонаторів з коливаннями шепочучей галереї. Розглянуто різні структури зв'язаних мікрорезонаторів. Досліджені частотні залежності матриць розсіювання смугових та режекторних фільтрів, побудованих на різних формах мікрорезонаторів.

Whispering gallery modes (WGM) of the disk microresonators are being actively studied for purpose of their application in different devices of the optical and infrared wavelength ranges [1 - 5]. It's known that all microresonators have dense frequency spectrum of natural oscillations, leading to appearance of spurious bands in the devices in which they are used. The number of spurious bands can be significantly reduced if use a variety of microresonators made on different dielectrics. The goal of the present work is the analysis of the S-parameters matrix of bandstop and the bandpass filters, made on different disk microresonators.

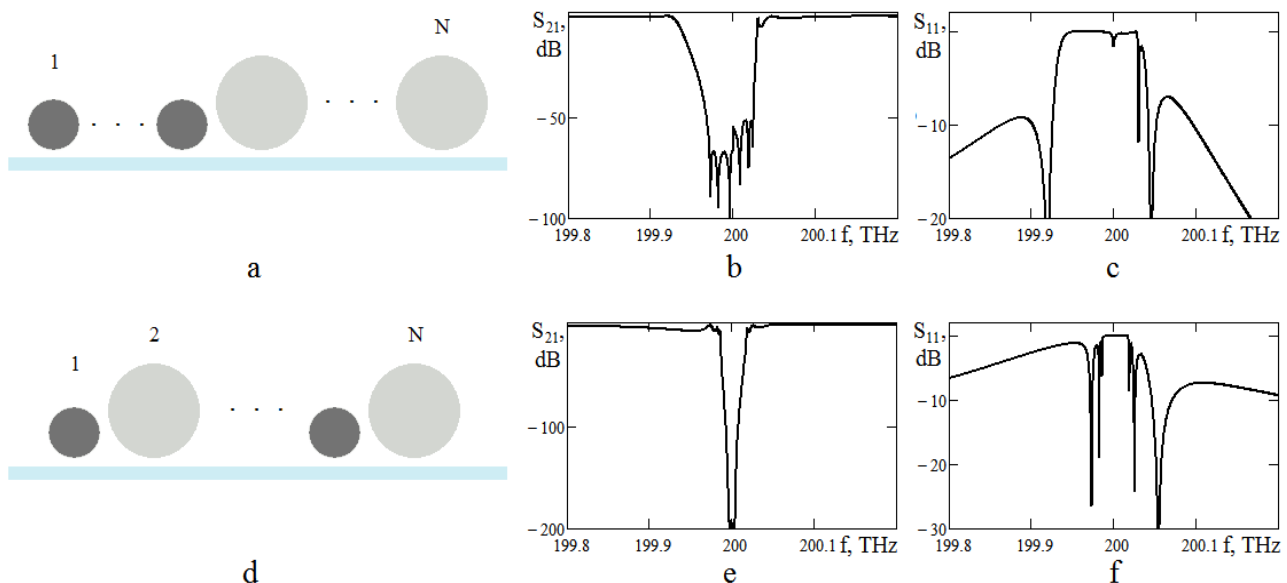


Fig. 1. Bandstop filters on different disk microresonators (a, d).

S-parameter responses of the 9-section filters as functions of the frequency (b - c, e - f). Parameters of the first type resonators:

$$\varepsilon_{1r} = 16; Q_1^D = 10^6; \text{ the parameters of the second type resonators: } \varepsilon_{2r} = 9,6; Q_2^D = 2 \cdot 10^6.$$

Using previously obtained relationships, we present the results of the study process of the scattering of electromagnetic waves on the different structures of disk microresonators. It's assumed that all the microresonators are excited by the magnetic type  $HE_{1,m,1}^+$  of natural oscillations.

The fig. 1 show bandstop filter scattering parameters, that are buildings up on different disk microresonators. The mutual coupling coefficients was calculated from early obtained relationships. Since all microresonators exchange energy by waves propagating on the transmission line, this leads to an asymmetry of the frequency distribution of the reflection and transmission coefficients (fig. 1, b-c, e-f).

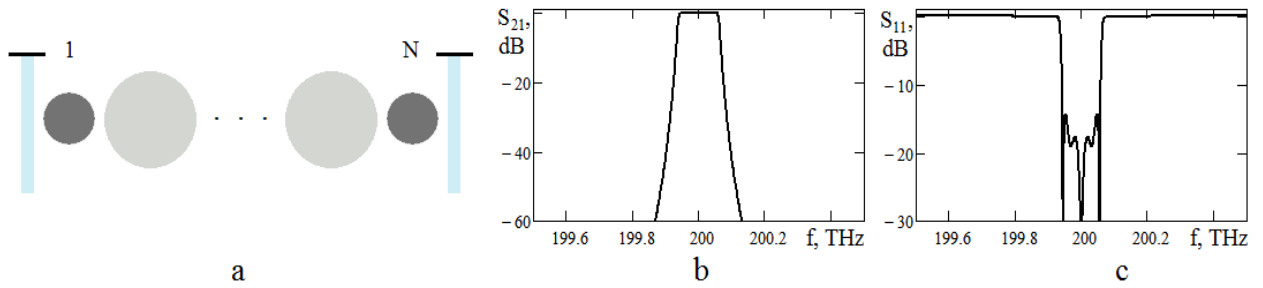


Fig. 2. Bandpass filter on laterally coupled different disk microresonators (a).

S-parameter responses of the 7-section bandpass filter on  $HE_{1,m,1}^+$  mode as functions of the frequency (b - c). The coupling coefficients of the terminal resonators with transmission lines:  $k_L = 7 \cdot 10^{-4}$ ; the 1th and the Nth microresonator parameters:  $\epsilon_{1r} = 16$ ;  $Q_1^D = 10^6$ ;  $m = 20$ ; another resonator parameters  $\epsilon_{2r} = 9,6$ ;  $Q_2^D = 2 \cdot 10^6$ ;  $m = 24$ .

The fig. 2-4 show results of the calculation of S-parameters of the bandpass filters. Proposed, that the coupling coefficients of terminal microresonators  $k_L$  with transmission lines are known.

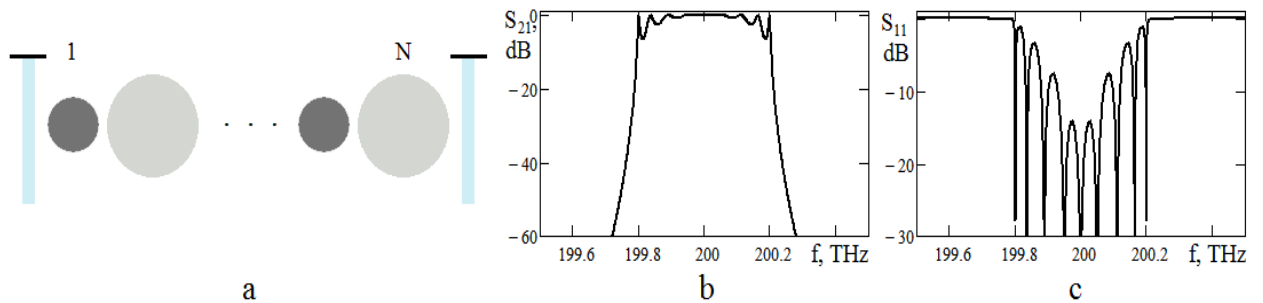


Fig. 3. Bandpass filter on repeating different disk microresonators (a).

S-parameter responses of the 9-section bandpass filter with  $HE_{1,m,1}^+$  mode as functions of the frequency (b - c). The coupling coefficients of the terminal resonators with transmission lines:  $k_L = 9,0 \cdot 10^{-4}$ ; the odd microresonator parameters:  $\epsilon_{1r} = 16$ ;  $Q_1^D = 10^6$ ; the even microresonator parameters:  $\epsilon_{2r} = 9,6$ ;  $Q_2^D = 2 \cdot 10^6$ .

It's seen, that in consequence of rapidly coupling coefficients decreasing, all bandpass filter S-matrix parameters are symmetrical functions on the frequency (fig. 2-4, b-c).

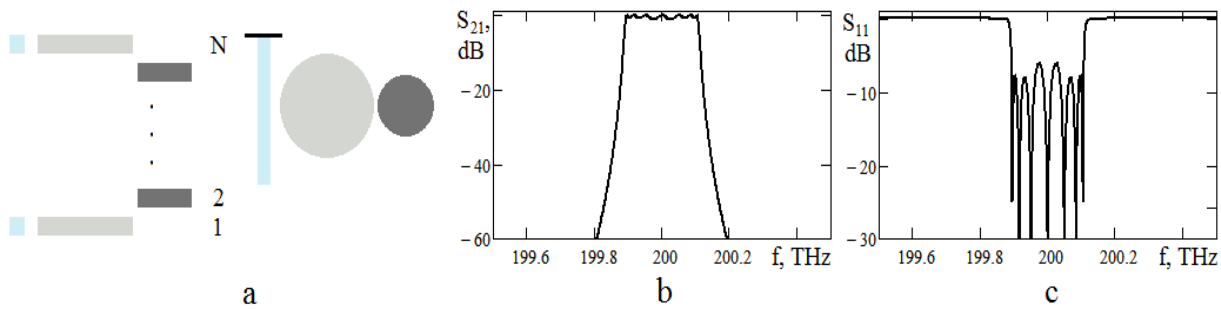


Fig. 4. Bandpass filter on vertically coupled disk microresonators (a). S-parameter responses of the 7-section bandpass filter with  $HE_{1,m,l}^+$  mode as functions of the frequency (b - c). The coupling coefficients of the terminal microresonators with transmission lines:  $k_L = 5 \cdot 10^{-4}$ .

Thus, the use of different microresonators can greatly enhance design filters. As shown by preliminary calculations, the developed electrodynamic model correctly describes the scattering processes in the systems of different microresonators with WGM.

Despite the absence of the screen, the bandpass filters on WGM microresonators have acceptable frequency responses and may be recommended for utilization on multiplexing of various communication systems of the optical and infrared wavelength ranges.

### References

1. Popović M. A., Manolatu C., Watts M. R. Coupling-induced resonance frequency shifts in coupled dielectric multi-cavity filters // Optics express, 2006, – vol. 14, – №. 3. PP. 1208 - 1222.
2. Khalil H., Bila S., Aubourg M., Baillargeat D., Verdeyme S., Puech J., Lapierre L., Delage C., Chartier T. Topology Optimization of Microwave Filters Including Dielectric Resonators // Proceedings of the 39th European Microwave Conference. – Rome, Italy, 2009. – PP. 687 - 690.
3. Smotrova E. I., Nosich A. I., Benson T. M., Sewell P. Optical Coupling of Whispering-Gallery Modes of Two Identical Microdisks and Its Effect on Photonic Molecule Lasing // IEEE J. of selected topics in Quantum Electronics. - 2006. - v. 12, N. 1. PP. 78 - 85.
4. Boriskina S.V. Coupling of whispering-gallery modes in size mismatched microdisk photonic molecules // Optics Letters. - 2007. - 32. No. 11. PP. 1557–1559.
5. Preu S., Schwefel H. G. L., Malzer S., Dohler G. H. and Wang L. J., Hanson M., Zimmerman J. D. and Gossard A. C. Coupled whispering gallery mode resonators in the Terahertz frequency range // Optics Express. - 2008. - 12 May. Vol. 16, No. 10. PP. 7336-7343.

## **АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LI-FI**

**Романов О.І., Федюшина Д.М., Донг Т.Т.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: a\_i\_romanov@ukr.net, robinson.kruzo375@gmail.com, dongthitho1993@gmail.com*

### **Analysis of the principles of telecommunication systems development based on Li-Fi technology**

The principles of telecommunication systems development based on Li-Fi technology, meeting the requirements of the standard IEEE 802.15.7 are considered. The possible directions of practical realization of VLC systems are analyzed. The projects implemented in Intelligent transportation systems are presented.

Подальший розвиток систем бездротового доступу найближчим часом може зіткнутися з низкою проблем. Це обмеженість частотного спектра, низька енергоефективність радіосистем, обмеження на використання радіозв'язку (наприклад, в літаках, лікарнях та ін.), недостатня безпека (радіохвилі можуть проникати крізь стіни і надавати шкідливий вплив на біологічні та технічні об'єкти).

Одним з можливих напрямків вирішення цих проблем є застосування Li-Fi технології. Li-Fi бездротова система зв'язку, в якій замість звичних радіочастот для передачі даних використовується світло. Причому можуть бути використані світлові хвилі як області інфрачервоного (ІЧ) діапазону випромінювання, так і хвилі спектру видимого світла. Сьогодні вважається більш перспективним побудова телекомунікаційних систем з використанням спектра частот видимого світла (VLC).

VLC – це комунікаційна технологія, що використовує видиме світло як оптичний носій для передачі даних. Вона використовує надшвидкісні імпульси світла для передачі інформації, які залишаються непомітними для людських очей. Враховуючи те, що VLC система може забезпечити швидкість передачі даних понад 10 Мбіт / с, вона пропонує реальні альтернативи системі радіозв'язку. Крім того, спектр VLC вільний, а вартість реалізації менше, ніж для технологій радіозв'язку.

Технологія VLC працює в діапазоні електромагнітного спектра від 380 нм до 780 нм. В якості передавачів світових хвиль в Li-Fi системі передбачається використання світлодіодних ламп (LED- Light Emitting diode). Їх основна функція є забезпечити освітлення в приміщенні.

На рис. 1 представлена типова структура VLC системи. Вона складається з обладнання передавальної і приймальної сторін, які здійснюють обмін інформацією за допомогою модульованого видимого світла. Передача даних здійснюється за допомогою випромінювача VLC, а прийом за допомогою приймача VLC, відповідно. Випромінювач VLC є оптоелектронним перетворювачем. Зазвичай використовуються світлодіоди високої яскравості. Світлодіоди модулюють світло на таких високих частотах, що людське око не сприймає різницю в зміні освітленості при наявності і відсутності модуляції. Тому,

передавачі VLC можуть одночасно використовуватися як для освітлення, так і для передачі даних.

Приймачем VLC є оптоелектронний перетворювач (PIN фотодіод, лавинний фотодіод або CMOS сенсорний датчик). Він приймає інформацію, яка модульована в спектрі видимого світла, і перетворює її в електричні сигнали. Далі ці сигнали обробляються демодулятором / декодером.

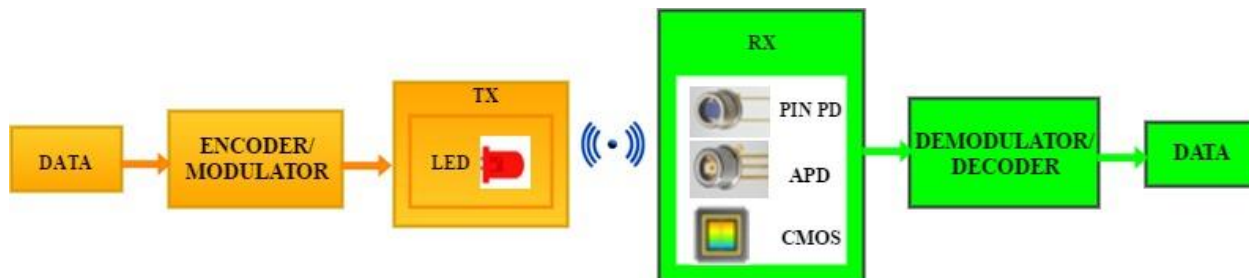


Рис. 1. Зображення типової структури VLC системи

Для побудови VLC лінії можливе використання трьох типів топологій (рис. 2): спрямована VLC - лінія (LOS - directed Line-of-Sight), не спрямована VLC лінія (non-directed LOS) та дифузна VLC лінія (diffused non-LOS). Спрямована directed LOS, забезпечує високий рівень сигналу і максимальну дальність зв'язку. Вона оцінюється найвищим показником якості (highest bitrate).

У топології non-directed LOS сигнал потрапляє на приймач під певним кутом. Тому частина енергії сигналу розсіюється в просторі. Вона оцінюється середнім показником якості (high / medium bitrate).

Дифузна diffused non-LOS лінія працює на відбитих хвилях світла. Тут юстирування приймача і передавача відсутня. Тому рівень сигналу низький, а дальність найменша. Дана архітектура може бути використана тільки в закритих середовищах і оцінюється найнижчим показником якості «bitrate» (lowest bitrate).



Рис. 2. Зображення трьох можливих типів топологій: спрямована VLC лінія (LOS - directed Line-of-Sight), не спрямована VLC лінія (non-directed LOS) та дифузна VLC лінія (diffused non-LOS).

Поки що технологія VLC не знайшла широкого практичного застосування. Однак вже отримані результати, які знаходяться на порозі практичного впровадження. Так, наприклад, проведені експериментальні дослідження в області створення прототипу пристроїв VLC для ITS (Intelligent transportation systems - інтелектуальні транспортні системи, ІТС).

Багато уваги приділено можливостям використання комунікаційної та



сенсорної інфраструктур для підвищення безпеки дорожнього руху. Комунікаційна взаємодія передбачає наступні схеми: автомобіль-автомобіль, автомобіль-інфраструктура і навпаки. Дані, що надходять від транспортних засобів та придорожніх пристроїв, можуть бути використані локально або централізовано. В останньому випадку, їх треба відправляти на сервер. Ці дані можуть бути використані для виявлення та оповіщення про такі події, як дорожні роботи, затори на дорогах, наближення до аварійного транспортного засобу та інші. При цьому можуть бути розроблені відповідні рекомендації для різних груп водіїв.

Один з додатків, який розроблено та запатентовано [2] - це зв'язок між світлофорами і автомобілем (рис. 3). Знаючи алгоритм і час перемикання світлофорів, можна розрахувати оптимальну швидкість руху автомобіля. При необхідності можна управляти двигуном автомобіля, щоб забезпечити його рух по зеленій хвилі.

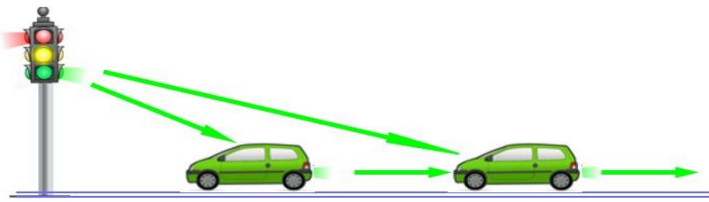


Рис. 3. Зображення взаємодії світлофора та автомобіля у мережі, побудованій на базі Li-Fi.

Можливий варіант VLC-системи, що дозволяє реалізувати управління рухом транспортних засобів, представлений на Рис. 4. Цей пристрій випускають серійно на базі світлодіодних ліхтарів [3].

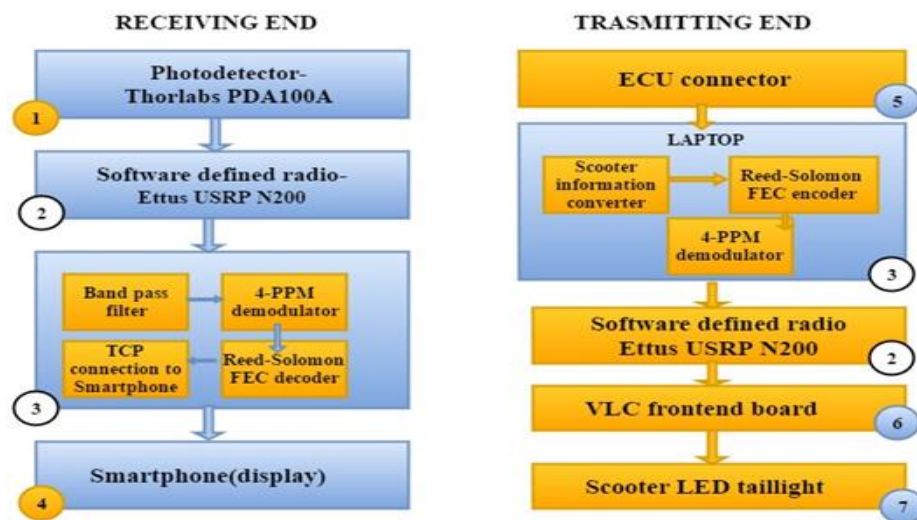


Рис. 4. Зображення VLC-системи, що дозволяє реалізувати управління рухом транспортних засобів

Таким чином, Li-Fi системи на VLC можуть найближчим часом прийти на зміну системам Wi-Fi, підвищивши при цьому показники пропускної здатності, якості обслуговування та безпеки.

### Література

1. Mariano Falcitelli and Paolo Pagano. Visible Light Communication for Cooperative ITS. DOI 10.1007/978-3-319-28183-4\_2.
2. Y. Alayli et al., Patent n° 09 58694. Communications par phages (2009).
3. S.-H. Yu et al., Smart automotive lighting for vehicle safety. IEEE Commun. Mag. 51(12), 50–59 (2013). ISSN: 0163-6804. doi:10.1109/MCOM.2013.6685757.

## **АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РАДИОКАНАЛА НАЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ»**

**<sup>1</sup>Ильченко М.Е., <sup>2</sup>Литвинов В. А., <sup>1</sup>Капштик С.В.,  
<sup>1</sup>Наритник Т.М. <sup>3</sup>Присяжной В. И., <sup>1</sup>Тулпаров И.В.**  
*<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины КПИ  
имени Игоря Сикорского, Киев, Украина*

*<sup>2</sup>Национальный центр управления и испытания космических средств, Киев,  
Украина*

*<sup>3</sup>Национальный антарктический научный центр, Киев, Украина  
E-mail:director@mitris.com*

### **Analysis of the potential service area and the radio channel of terrestrial satellite communications equipment in the conditions of the Antarctic station "Akademik Vernadsky"**

The analysis of the potential service area and the description of the construction of a radio channel of terrestrial satellite communication equipment in the conditions of the operation of the Antarctic station "Academician Vernadsky" are presented, taking into account the features of the orbital construction of Earth remote sensing systems, which showed the possibility of providing both high-quality reception and accumulation of Earth remote sensing information, and ensuring the efficiency of bringing information to the data center.

Изучение Земли, ее атмосферы, недр и природных ресурсов, изменений климата и прогнозирование потенциальных негативных последствий таких изменений является важнейшей задачей, от успешного решения которой зависит выживание человечества на планете Земля. Особая роль в этом процессе отводится космическим средствам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Ярким подтверждением тому является создание и наращивание орбитальной группировки европейской системы ДЗЗ «Коперник» [1], разработанной Европейским космическим агентством (ЕКА) по заказу Еврокомиссии [2].

Для повышения оперативности доведения информации ДЗЗ ЕКА разрабатывает и разворачивает Европейскую систему передачи данных (European Data Relay System) (EDRS) [3]. Однако, работать в такой системе смогут только спутники ДЗЗ, оборудованные оборудованием оптической межспутниковой связи.

**Особенность орбитального построения систем дистанционного зондирования Земли.** Особенностью орбитального построения систем ДЗЗ, использующих ССО, является движение спутников от северного полюса к южному и в обратном направлении. На каждом витке трасса спутника проходит через приполярные и полярные области вблизи северного и южного полюсов Земли [4]. Размещение в приполярном районе наземной станции для приема полезной информации и передачи команд управления позволяет существенно повысить оперативность приема информации спутников ДЗЗ. Именно с этой целью первоначально на острове Шпицберген была создана норвежская станция Свалбард (Svalbard Satellite Station) [5]. Однако, остается вопрос доведения принятой информации до центров обработки. В случае с норвежской станцией эта задача

решается с помощью специально построенной линии волоконно-оптической связи между островом Шпицберген и континентальной частью Норвегии на Скандинавском полуострове.

Кроме того, одна станция, расположенная в приполярном районе, не обеспечивает 100% обслуживания всех витков спутников ДЗЗ. В силу геометрических соотношений значительная часть трасс спутников ДЗЗ проходят за пределами зоны обслуживания наземной станции. Эти витки обслуживаются другими наземными станциями [6]. В период полярной ночи существует серьезная проблема с накоплением достаточного заряда в аккумуляторах спутника для обеспечения полноценного сеанса передачи информации на наземную станцию при нахождении спутника на затененном участке витка орбиты или непосредственно после его прохождения.

Решением проблемы может быть размещение станций приема информации ДЗЗ в Антарктиде.

**Анализ потенциальной зоны обслуживания наземной станции спутниковой связи «Академик Вернадский».** Изучение Антарктиды занимает особое место в истории мировой науки о Земле. Важным дополнением к знаниям, полученным с использованием научной аппаратуры антарктических научных станций, является информация спутников ДЗЗ. Понимая это, уже с середины 90-х годов ряд стран разместили на своих антарктических научных станциях оборудование для приема информации со спутников ДЗЗ [7]. Однако, принимаемая информация использовалась локально, только в исследовательских программах, выполняемых на отдельно взятой станции. Полномасштабная обработка информации ДЗЗ, принятой на антарктической станции, была возможна только после завершения экспедиции и возвращения участников в свои научные центры и лаборатории и доставки туда результатов исследований. Причиной является критически низкая пропускная способность телекоммуникационной инфраструктуры, связывающей между собой антарктические станции внутри континента Антарктида, и антарктические станции с научными центрами на других континентах.

Украинская антарктическая станция «Академик Вернадский» ( $65,245678^\circ$  ю.ш.  $64,257825^\circ$  з.д.) расположена на острове Галиндез Аргентинского архипелага вблизи Антарктического полуострова [7]. Станция была основана в феврале 1996 года, когда Британская Антарктическая служба передала Украине антарктическую станцию «Фарадей».

На станции проводятся научные исследования, определенные Меморандумом о передаче станции «Фарадей» Украине, и исследования в соответствии с Государственной программой исследований Украины в Антарктиде. При выборе потенциального места размещения наземной станции приема информации ДЗЗ важное значение имеет анализ потенциальной зоны обслуживания станции или зоной обзора наземной станции, т.е. зоны, в пределах которой обеспечивается прямая радиовидимость между спутником ДЗЗ и наземной станцией [8]. Для построения на карте зоны обслуживания наземной станции с известными координатами, заданным значением геоцентрического угла и радиусом зоны обслуживания по поверхности Земли, использована теорема синусов и теоремы косинусов сторон и косинусов углов для сферических треугольников.

На основании выполненного расчета координат контрольных точек построен контур зоны обслуживания наземной станции, при ее размещении на базе

антарктической станции «Академик Вернадский» (рис.1), сплошной линией на рисунке показана зона обслуживания наземной станции. Приведенный на рис.1 контур зоны обслуживания наземной станции приема информации ДЗЗ для ее размещения на антарктической станции «Академик Вернадский» не учитывает особенностей рельефа местности в точке размещения антенны. После выбора конкретного места установки антенны в контур зоны обслуживания будут внесены изменения, которые учтут особенности рельефа местности и наличие местных предметов, угол затенения которых превышает  $7^\circ$ .

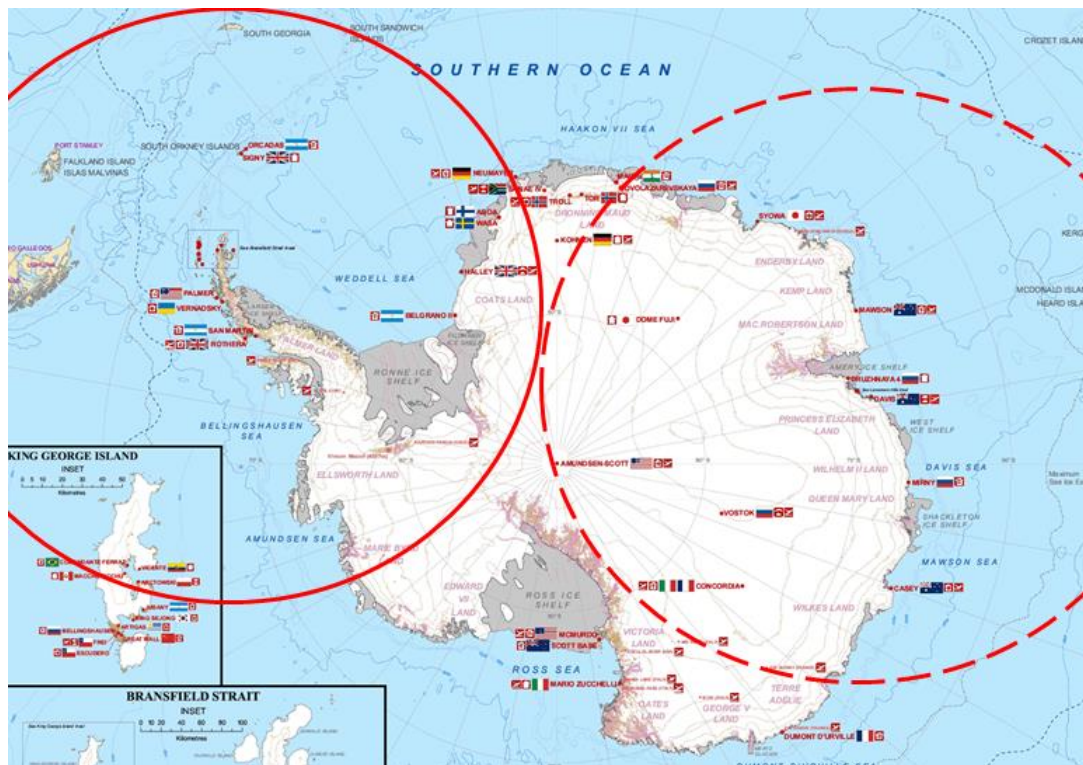


Рис.1. Потенциальная зона обслуживания наземной станции приема информации ДЗЗ на базе антарктической станции «Академик Вернадский» и зоны обслуживания наземной станции приема информации ДЗЗ, расположенной в индийской антарктической станции Бхарати.

**Анализ радиоканала наземного оборудования спутниковой связи в условиях работы антарктической станции «Академик Вернадский».** Для обеспечения приема информации со спутников ДЗЗ наземная станция должна быть оснащена необходимым высокочастотным и цифровым оборудованием. Процедура приема и обработки информации ДЗЗ на наземной станции приема включает следующие этапы: наведение антенны наземной станции на спутник и сопровождение спутника в течение сеанса связи; прием высокочастотного сигнала со спутника, его усиление, демодуляция, восстановление битовой и кадровой синхронизации и формирование выходного потока первичных данных; обработка первичных данных и их архивирование.

Типовой состав оборудования наземной станции приема информации ДЗЗ, обеспечивающий выполнение перечисленных функций, приведен на рис.2. Станция включает: полноповоротную двухдиапазонную антенну (диапазоны S и X), высокочастотный тракт и тракт промежуточной частоты, цифровую часть для обработки и архивирования данных и систему управления антенной. Для работы всей станции в целом необходима система энергоснабжения.

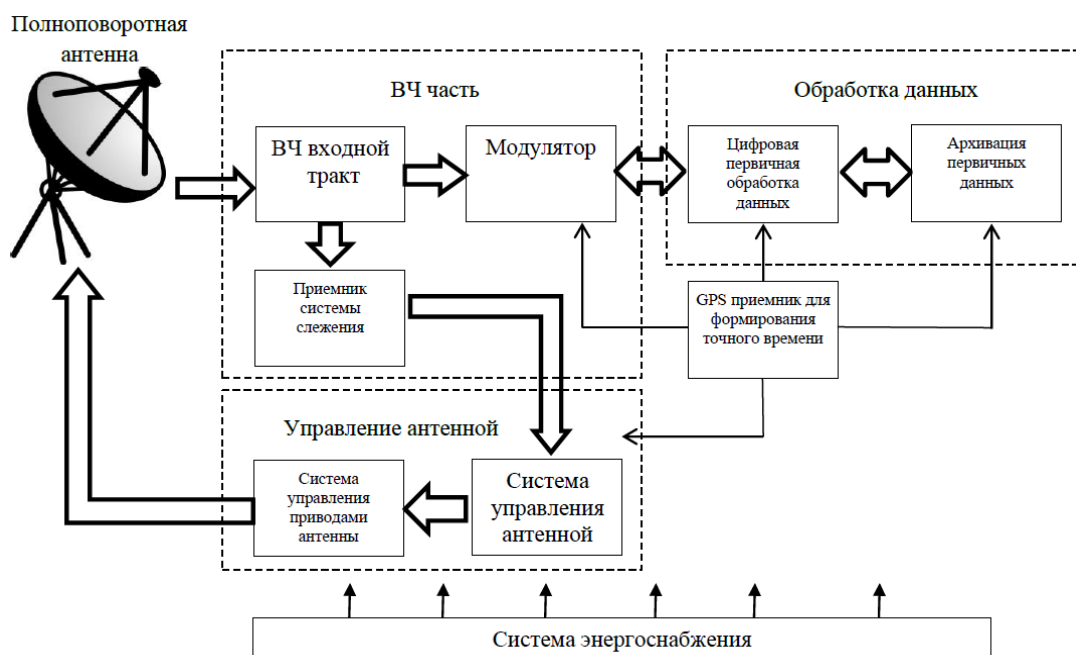


Рисунок 2 -Типовой состав оборудования наземной станции приема информации ДЗЗ

Учитывая метеорологические особенности места размещения станции «Академик Вернадский», при рассмотрении выбора варианта конструкции и установки антенны для приема информации ДЗЗ рассмотрен вопрос применения радиопрозрачного укрытия, которое позволит существенно сократить потери в качестве приема сигнала от спутника и снизить ветровую нагрузку на антенну.

Представленный на рис.2 состав оборудования наземной станции обеспечивает в результате прием и накопление информации ДЗЗ. Тем не менее, как ранее уже отмечалось, особый интерес представляет оперативная передача принятой информации в центр обработки данных. На рис.8 приведена типовая схема приема, обработки, архивирования, хранения и распространения информации ДЗЗ [9]. Как показано на рисунке полномасштабная система сбора, обработки и распространения информации ДЗЗ предполагает сбор информации, принимаемой от спутников ДЗЗ на сеть наземных станций приема, по специальной сети передачи данных. По этой сети принятая на наземных станциях информация поступает в систему обработки данных, которая, как правило, расположена на средства оператора системы ДЗЗ. Далее информация с различным уровнем обработки поступает через сеть распределения данных конечным потребителям. Параллельно по сети передачи данных передается телеметрическая и командная информация, необходимые для управления спутниками ДЗЗ в полете.

Как видно из рис.3, ключевым фактором в обеспечении оперативности доведения информации ДЗЗ до центра обработки данных является радиоканал связи, входящий в систему передачи данных. К преимуществам географического расположения станции «Академик Вернадский» можно отнести размещение станции севернее Южного Полярного Круга, что позволяет достаточно эффективно решить задачу обеспечения телекоммуникационной привязки станции к мировой телекоммуникационной сети с использованием ресурса геостационарных спутников связи [11].

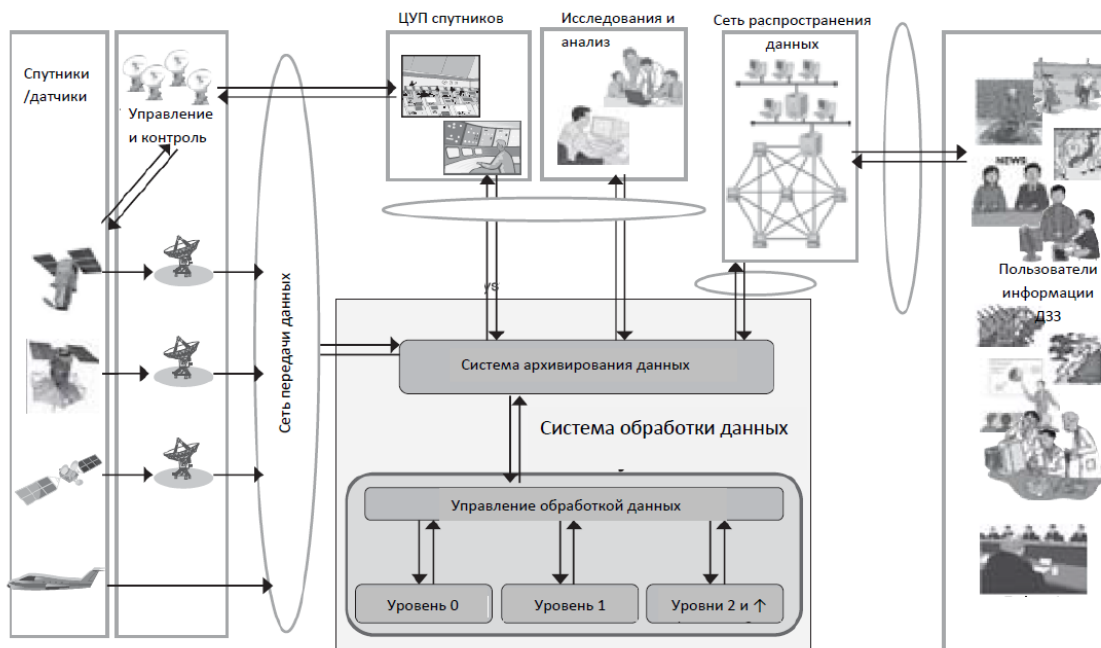


Рис. 3. Типовая архитектура системы сбора, обработки и распространения данных ДЗЗ.

Как видно из рис.3, ключевым фактором в обеспечении оперативности доведения информации ДЗЗ до центра обработки данных является радиоканал связи, входящий в систему передачи данных. К преимуществам географического расположения станции «Академик Вернадский» можно отнести размещение станции севернее Южного Полярного Круга, что позволяет достаточно эффективно решить задачу обеспечения телекоммуникационной привязки станции к мировой телекоммуникационной сети с использованием ресурса геостационарных спутников связи [11].

Для организации спутниковой связи со станцией «Академик Вернадский» могут быть использованы следующие спутники Экспресс-AM44 ,AM8; Intelsat-901, 905, 903, 907; Intelsat-701; NSS-7,806; SES-4,6; Intelsat-9,11,14,1R, находящиеся в видимом секторе дуги геостационарной орбиты и имеющие соответствующие зоны обслуживания.

**Выводы.** Проведенный, с учетом особенностей орбитального построения систем дистанционного зондирования Земли, анализ потенциальной зоны обслуживания и радиоканала наземного оборудования спутниковой связи в условиях работы антарктической станции «Академик Вернадский», показал возможность обеспечения как качественного приема и накопления информации дистанционного зондирования Земли, так и обеспечения оперативности доведения информации до центра обработки данных.

## Литература

1. Orbiting in sunshine, Paris (ESA) Mar 13, 2017  
[http://www.spacedaily.com/reports/Orbiting\\_in\\_sunshine\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Orbiting_in_sunshine_999.html).
2. Copernicus Programme. [https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus\\_Programme](https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Programme)  
SpaceDataHighway to add third node for global coverage. March 15, 2017.  
<http://spacenews.com/spacedatahighway-to-add-third-node-for-global-coverage/>.
3. Earth Observations from Space. The First 50 Years of Scientific Achievements. Report in Brief. The National Academy of Sciences, 2007.
4. Svalbard Satellite Station. From Wikipedia, the free encyclopedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard\\_Satellite\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard_Satellite_Station).
5. The Alaska Satellite Facility Ground Station, Scott Arko, Annette La Belle-Hamer, Kevin McCarthy, Bruce Thoman, Rob Tye.  
[https://media.asf.alaska.edu/uploads/pdf/space\\_ops\\_paper\\_netty\\_scott.pdf](https://media.asf.alaska.edu/uploads/pdf/space_ops_paper_netty_scott.pdf).
6. Академик Вернадский (антарктическая станция),  
[https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=АкадемикВернадский\\_\(антарктическая\\_станция\)&oldid=72390224](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=АкадемикВернадский_(антарктическая_станция)&oldid=72390224).
7. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли. Лекции и упражнения. – М.: Радио и связь, 2004. – 200с.
8. Data Processing System for Advance of Earth Observation Data. Okomoto Hiroshi, Kasai Yumi, Nagao Masaru. NEC TECHNICAL JOURNAL. Vol.6. No.1/2011-p.81-85.
9. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640с.
10. Спутниковая связь и вещание: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп./под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997.-528с.
11. Ground Systems Supporting Satellite Operations. Yoshikawa Shirou. NEC TECHNICAL JORNAL. Vol.6. No.1/2011-p.76-80.

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ ДИСТАНЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Станкевич С.А., Лубський М.С., Крилова Г.Б.

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Україна

E-mail: N.Lubsky@nas.gov.ua

### Spatial Resolution Enhancement of Remote Sensed Imagery of Land Surface Thermal Field

The relevance of thermal infrared data processing strongly depends on spatial resolution. Spatial resolution enhancement needs because the nature of radiation within this infrared range and complexity of acquisition of this data with high detaility. The described technique applies software processing to the pair of land surface thermal field images of low spatial resolution in the frequency domain. This one increased the high-frequency component spatial resolution and improves resulting image detaility.

Застосування сенсорних систем довгохвильового (теплого) інфрачервоного діапазону дозволила значно розширити спектр задач, які можливо вирішити шляхом обробки даних дистанційного зондування. Випромінювання у діапазоні 8-15 мкм яке реєструється як тепло, і сенсори даного діапазону здатні реєструвати інтенсивність теплового потоку від об'єктів земної поверхні та формувати карт теплового поля для вирішення тематичних задач.

Однак, можливість створення детальних карт теплового поля ускладнюється обмеженнями, пов'язаними із значно нижчою енергією квантів випромінювання у порівнянні із видимим та ближнім інфрачервоним діапазоном, як наслідок, результати знімання теплового інфрачервоного діапазону мають значно нижчу просторову розрізненність.

Представлений метод підвищення просторової розрізненності зображень теплового поля включає в себе два етапи. На першому етапі виконується власне розрахунок теплового поля за даними спектральної щільності енергетичної яскравості за допомогою оберненого закону Планка для теплового випромінювання:

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln \left( \frac{\varepsilon c_1}{\lambda^5 L_0} + 1 \right)} \quad (1)$$

де  $T$  – фізична температура поверхні,  $L_0$  – спектральна щільність енергетичної яскравості земної поверхні, яка отримується безпосередньо за даними дистанційного знімання,  $c_1 = 2hc^2 = 1,191 \cdot 10^{-16}$  Вт·м<sup>2</sup> та  $c_2 = \frac{hc}{k} = 1,439 \cdot 10^{-2}$  м·К – перша і друга сталі закону Планка,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка,  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі,  $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана,  $\lambda$  – довжина хвилі електромагнітного випромінювання [1].



Рівняння (1) одночасно містить в собі дві невідомі величини: температуру поверхні та коефіцієнти теплового випромінювання (КТВ). Коефіцієнт теплового випромінювання – власна, незалежна для кожного типу поверхонь величина, яка визначається як відношення енергії теплового випромінювання “сірого тіла” до випромінювання “абсолютно чорного тіла” при однаковій температурі. В даному випадку “сірим тілом” виступають різні типи покриттів і поверхонь на інфрачервоному зображенні.

Існує велика кількість моделей визначення КТВ, в тому числі за даними знімання у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Однією з найбільш уживаних є визначення співвідношення КТВ та вегетаційного індексу NDVI [2] в тому числі і для штучних та інших вільних від рослинності поверхонь, для визначення розподілу КТВ яких застосовуються спектри теплового випромінювання в заданому діапазоні, взяті із зовнішніх джерел, наприклад, ASTER Spectral Library (<https://speclib.jpl.nasa.gov/>).

Визначення КТВ шляхом обробки даних видимого та ближнього інфрачервоного діапазонів дозволяє також значно підвищити деталізацію зображень. Наприклад, одним із найбільш поширених джерел даних теплового космічного знімання є сенсор TIRS на борту супутника Landsat-8, із просторовою розрізненністю 100 м, в той час як дані знімання у видимому та короткохвильовому інфрачервоному діапазоні сенсором OLI мають розрізненність 30 м. Таким чином, до розрахунку температурного поля за даними знімання із просторовою розрізненністю 100 м залучається зображення розподілу КТВ із просторовою розрізненністю 30 м, що значно покращує деталізацію зображення.

На другому етапі підвищення розрізненності застосовуються кілька (зазвичай два) різночасових зображення теплового поля, обробка виконується у два потоки: основний та допоміжний. В основному потоці для вхідних зображень розраховується субпіксельне зміщення одне відносно одного за допомогою опорних текстур із чіткими контурами та високим контрастом відносно інших частин зображення, в результаті якої отримуються значення та напрям зміщення по горизонтальній та вертикальній осях. Після оцінки субпіксельного зміщення виконується пересемпльовання вхідних температурних полів шляхом черезрядкової розгортки. Пересемпльоване поле переводиться у просторово-частотну область та за допомогою смугового фільтра розділяється на високочастотну і середньочастотну компоненти. Середньочастотні компоненти приймаються однаковими для обох відновлюваних полів, за їх граничну частоту приймається частота Найквіста температурних полів низької розрізненності. Паралельно виконується переведення обох вхідних температурних полів у просторово-частотну область дискретним перетворенням Фур’є (ДПФ), спектри яких надалі використовуються як низькочастотні компоненти при деконволюції.

В допоміжному потоці виконується отримання параметрів відновлення температурного поля підвищеної розрізненності методом статистичної регуляризації на основі автоковаріаційних матриць двох вхідних полів та шуму. Для цього вхідні поля центруються і для кожного із них розраховується автоковаріаційна матриця. Автоковаріаційна матриця шуму розраховується як

різниця між центрованими температурними полями. Всі отримані автоковаріаційні матриці за допомогою ДПФ переводяться у просторово-частотну область.

В результаті отримуються окремі Фур'є-спектри як суми частотних компонент: спільної для всіх відновленої високочастотної компоненти (описує розподіл температур дрібних деталей), також спільної для всіх середньочастотної компоненти (відповідає за розподіл коефіцієнта теплового випромінювання), та низькочастотних компонент (описує загальні умови сцени), отриманих для кожного температурного поля низької розрізненності окремо. Застосування оберненого перетворення Фур'є до кожного з цих спектрів забезпечує формування відповідного температурного поля із підвищеною просторовою розрізненністю.

Оцінка функцій передачі модуляції (ФПМ) вхідних та результуючих зображень показала, що підвищення просторової розрізненності при розкладанні вхідних зображень на частотні компоненти може сягати 89%.

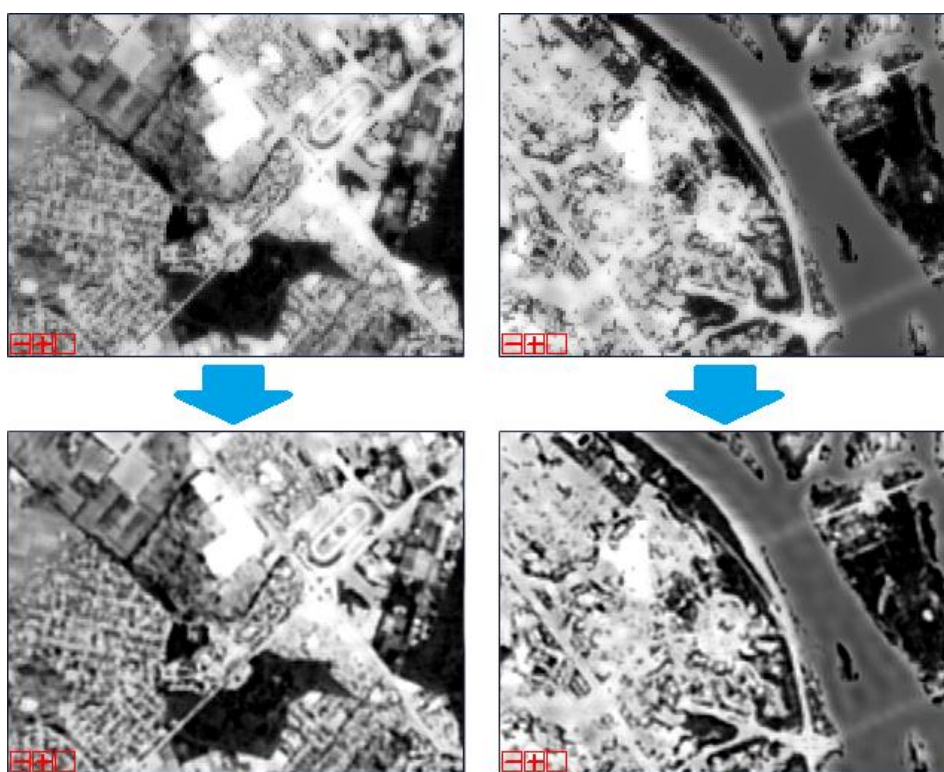


Рис.1. Результати підвищення просторової розрізненності із застосуванням двох різночасових субпіксельно зміщених зображень теплового поля (м. Київ, 13 липня 2016 р.)

#### Література

1. Jiménez-Muñoz J.C., A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data / J.C. Jiménez-Muñoz, J.A. Sobrino // *Journal of Geophysical Research*, 108, pp. 4688-4694, 2003.
2. Станкевич С.А. Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической съёмки / С.А. Станкевич, В.Е. Филиппович, Н.С. Лубский, А.Б. Крылова, С.Г. Крицук, О.В. Бровкина, В.И. Горный, А.А. Тронин // *Український журнал дистанційного зондування Землі*, № 7, с.14-23, 2015.

## ПІДХІД ДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ДАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАЦІОНАЛЬНОГО АНТАРКТИЧНОГО ЦЕНТРУ

**Новогрудська Р.Л., Юшко Н.А.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: rinan@ukr.net, natalia.yushko@outlook.com*

### APPROACH TO THE STORAGE OF NATIONAL ANTARCTIC CENTRE RESEARCH DATA

The relevance of the work is to examine all possible ways to store large amounts of information in all areas of research conducted in public institutions National Antarctic Center (DU NASC), and related organizations. We consider possible ways to store data obtained from studies conducted by scientists of the National Antarctic Scientific Center, and detail overview the ways to preserve data in a store such as local storage, remote storage, cloud storage and heterogeneous environment which differing economic costs, availability, memory, safety, reliability data storage. Connection with SharePoint 2013 on which Portal for DU NASC is based depends on the implemented storage type. The main characteristic of this work is to use the cloud for data storage of Antarctic research.

Актуальність роботи полягає в тому, щоб оглянути всі можливі способи збереження великої кількості інформації за всіма напрямками досліджень, що проводяться в Державній установі Національний Антарктичний Центр (ДУ НАНЦ), та суміжних організаціях. В роботі розглянуто можливі способи зберігання даних отриманих в результаті досліджень, що були проведені вченими Національного Антарктичного наукового центру, та детально розглянуто такі способи збереження як локальне сховище, віддалене сховище, хмарне сховище та гетерогенне сховище, які відрізняються економічними витратами, доступністю, об'ємами пам'яті, безпекою, надійністю збереження даних. В залежності від обраного типу сховища реалізується зв'язок з програмним середовищем SharePoint 2013 з використанням якого розроблений портал ДУ НАНЦ. Основною відмінною характеристикою даної роботи є використання хмарних технологій для організації сховища даних антарктичних досліджень.

Щорічно науковці ДУ НАНЦ проводять наукові експедиції на станцію Академік Вернадський. З кожної поїздки науковці антарктичного центру привозять 1000 – 2000 Гб необроблених даних. В свою чергу оброблені дані займають ще 200 – 300 Мб. Крім щорічних поїздок на рік, існують також і зимові поїздки на три місяці. В результаті таких зимовок дослідниками також збирається певний об'єм інформації<sup>[1]</sup>.

Задача ускладнюється тим, що співробітники працюють з даними різної форми (текст, медіа-, відеофайли, файли інших розширень). Тому, для того, щоб оптимально вирішити задачу зберігання інформації, необхідно підібрати такий тип сховища, який задовольняє наступним параметрам:

1. Об'єм пам'яті.
2. Надійність.
3. Безпека даних.
4. Взаємодія з SharePoint 2013.
5. Вартість.

Враховуючи ці параметри було обрано 4 способи організації сховища даних антарктичних досліджень: локальне, віддалене, хмарне, гетерогенне.

Першим варіантом зберігання даних є локальне сховище. Даний тип сховища – це сервери, які розташовані безпосередньо в ДУ НАНЦ. Такий спосіб збереження даних має ряд переваг. Перш за все, варто відзначити безпечність зберігання даних, адже передбачено зберігання даних на власному сервері, що знаходиться безпосередньо у приміщеннях ДУ НАНЦ. Портал ДУ НАНЦ також знаходитиметься на цьому ж сервері, тому швидкість доступу до даних буде високою. При такому способі зберігання інформації досить просто налаштувати зв'язок між порталом ДУ НАНЦ, реалізованому за допомогою SharePoint2013, та збереженими у сховищі даними. Головними недоліками даного способу зберігання є обмежена кількість вільного місця на серверах, і те, що у разі поломки апаратного забезпечення вся інформація, або певна її частина, може бути втрачена. До такої втрати приводить відсутність геореплікації та дублювання даних. До недоліків можна віднести необхідність виділення окремого приміщення для розташування серверів, високу вартість утримання обладнання, дороговизну утримання персоналу, що буде слідкувати за даним обладнанням, а також необхідність постійно оновлювати апаратне забезпечення у відповідності до кількості інформації та навантаження на сервер. У разі високого навантаження на сервер, виникає необхідність розділити SharePoint<sup>[2]</sup> та SQL, та помістити їх на різні сервери.

Іншим способом зберігання даних досліджень ДУ НАНЦ є віддалене сховище. Воно представляє собою сервер, який знаходиться поза межами Антарктичного центру а саме в спеціалізованому датацентрі (який розташовано у м. Києві). Такий спосіб передбачає закупівлю лише елементів пам'яті. Зі свого боку датацентр забезпечує ДУ НАНЦ повністю обладнаним приміщенням (з відповідною охолоджуючою системою, стійками і т.д.).

Перевагами такого способу збереження є відсутність додаткових витрат на підтримку апаратного забезпечення та додаткове облаштування приміщення для розміщення сховища. При такому способі зберігання інформації також досить просто налаштувати зв'язок між порталом ДУ НАНЦ, який реалізовано за допомогою SharePoint2013, та збереженими даними, що дозволить реалізувати високу швидкість передачі даних. Варто відзначити, що швидкість доступу до даних безпосередньо залежить від швидкості мережі Internet. Тому, при недостатній пропускній можливості каналу доступ до даних може займати певний час. Недоліки такого способу збереження включають в себе відсутність геореплікації та дублювання даних, необхідність постійно оновлювати обладнання у відповідності до навантаження на сервер, а також постійно контролювати справність обладнання, необхідність вчасно збільшувати об'єм сховища.

Наступним способом збереження даних є хмарне сховище. На сьогодні існує багато компаній-провайдерів хмарних сховищ різних типів для збереження та обробки даних. Тому, перш за все, стояла задача вибору найбільш оптимального типу хмарного сховища. Після проведення тестів на

швидкість передачі, запису, видалення даних, чутливості, масштабованості та захищеності сховищ, для детального огляду було обрано хмарне сховище Microsoft Azure<sup>[3]</sup>. Microsoft Azure – це файлове сховище, в якому доступні загальні папки з файлами SMB розташовані в хмарі. Основними перевагами хмарного сховища є: присутність геореплікації - дані зберігаються у трьох місцях (в межах однієї будівлі, або в різних регіонах); гнучка тарифікація - користувач платить лише за ті ресурси, які використовує; можливість швидко змінювати «кількість» обладнання - за допомогою планувальника Azure<sup>[4]</sup> можна передбачати час найбільшого навантаження серверів, і вчасно реагувати на це; необмежена кількість пам'яті; захищеність даних, що забезпечується відповідним шифруванням даних. Недоліками є те, що інформація зберігається поза межами України, на іноземних серверах, а також латентність мережі.

Гетерогенне (комбіноване) сховище передбачає збереження оброблених даних на локально розміщених серверах, а "сирих" даних - в Microsoft Azure з використанням технології Remote Blob Storage. Розміщення даних таким чином враховує те, що оброблені дані будуть використовуватись часто, тому вони будуть швидкодоступні, а отримання даних з хмарного середовища буде дещо довшим, враховуючи якість зв'язку з датацентрами Microsoft. Такий спосіб не може вважатися оптимальним, оскільки він поєднує у собі недоліки хмарного та локального сховища.

Отже, було проведено огляд способів та відповідних засобів реалізації сховищ даних, що дозволило виділити та описати чотири можливих варіанти реалізації сховищ даних. Було запропоновано систему критеріїв за якими доцільно оцінювати кожен з способів. В результаті порівняльного аналізу визначено, що найбільш економічно вигідним способом є організація сховища на фізичних серверах, які будуть розміщуватися у сторонньому дата центрі або використання хмарного сховища. Ці способи передбачають найменші економічні витрати та забезпечують найбільшу безпеку та захищеність даних.

## Література

1. Глоба Л.С., Мороз І.В., Новогрудская Р.Л., Мочалкина К.С., Кузін І.О. Создание единого информационного пространства данных антарктических исследований, Український Антарктичний Журнал, №10-11, 2011, с. 343-351.
2. Microsoft about Share Point 2013 [Електронний ресурс] – Електр. Дані: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/ff607742%28v=office.15%29> Дата доступу: 25.04.2013.
3. Результаты тестирования облачных хранилищ [Електронний ресурс] – Електр. Дані: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/dn770227.aspx> Дата доступу: 10.12.2016.
4. Особенности MS Azure [Електронний ресурс] – Електр. Дані: <https://habrahabr.ru/company/microsoft/blog/155617/> Дата доступу 12.12.2016.

**Секція 1. Достовірне передавання інформації в телекомунікаційних системах**

УДК 391.39

**АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЦИФРОВОГО СИГНАЛА**

**Мошинская А.В., Георгин Д.А.**

*Институт телекоммуникационных систем*

*КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: avmoshinskaya@gmail.com, d-georgin@yandex.ua*

**Analysis of digital signal quality metrics**

The new technique of quality estimation for digital signal is proposed. The parameters of quality for digital signal from ITU-T Rec. G.826 are investigated in this paper. Relationship between theoretical and applied knowledge is established.

Целью исследования является создание единой методики оценки качества связи, в которой знания, предлагаемые в теории помехоустойчивости и выраженные аналитическими закономерностями, можно сделать прикладными с помощью современных рекомендаций союза электросвязи ITU-T.

В рекомендации ITU-T G.826 определены три типа блочных ошибок: ошибочный блок (Errored block, EB), секунда с ошибками (Errored Second, ES) и секунда с многочисленными ошибками (Severely Errored Second, SES).

В качестве прикладных показателей, не зависящих от времени работы канала связи, используют коэффициент ошибочных блоков (Errored Block Ratio, EBR), коэффициент секунд с ошибками (Errored Second Ratio, ESR) и коэффициент с многочисленными ошибками (Severely Errored Second Ratio, SESR). [5]

Аналитические зависимости для определения параметров качества связи строятся на основе известной вероятности искажения одного бита  $p$  (информационного либо проверочного).

Вероятность возникновения ошибочного блока равна вероятности события, что хотя бы один из  $n$  бит в блоке искажен:

$$P(EB) = 1 - (1 - p)^n \quad (1)$$

Предполагается, что в одну секунду передается количество блоков  $M$ , являющееся целым числом. Таким образом, за одну секунду передается  $M$  блоков по  $n$  бит. С другой стороны количество бит за секунду – это скорость  $V$ . Следовательно,

$$M = V / n. \quad (2)$$

Зная количество блоков за секунду (2), а также вероятность того, что блок ошибочен (1), можно записать формулу:

$$P(ES) = 1 - (1 - P(EB))^M \quad (3)$$

- вероятность события, что хотя бы один блок в течение секунды был ошибочным.

Необходимо сделать уточнение, что блок, попавший в две соседние секунды сразу, будет влиять на обе секунды при идентификации их ошибочности. Следовательно, количество блоков в секунду, рассчитанное по формуле (2), всегда будет округляться до целого в большую сторону.

Зная количество блоков за секунду (2), а также вероятность того, что блок ошибочен (1), и используя *биномиальное распределение*, можно определить вероятность появления определенного количества ошибочных блоков за одну секунду.

Пусть  $y$  – количество ошибочных блоков в секунде,

$$y = 0, 1, 2...M, \quad (4)$$

тогда

$$P(y = k) = \frac{M!}{(M-k)!k!} P(EB)^M (1 - P(EB))^{M-k} \quad (5)$$

Для возникновения секунды с многочисленными ошибками необходимо, чтобы 30% и более блоков в секунде были ошибочными, т.е.

$$y \geq 0.3M, \quad (6)$$

Тогда, используя (2) и (5) с учетом условий (4) и (6), запишем

$$P(SES) = 1 - \sum_{k=0}^{k < 0.3M} P(y = k), \quad (7)$$

где вычитаемое – это сумма вероятностей событий, каждое из которых заключается в появлении количества ошибочных блоков в данной секунде меньшего, чем 30%. [5]

В целях систематизации соотношений между различными параметрами качества цифрового сигнала предлагается иерархия параметров качества цифрового сигнала, отображенная на схеме рис. 1.

В ходе исследования была разработана имитационная модель для измерения показателей EBR, ESR и SESR при различных значениях вероятности ошибки на бит  $p$ , скорости передачи  $V$ , длины блока  $n$ . В результате моделирования были получены значения этих показателей для различных исходных данных. Благодаря этому результату удалось проанализировать поведение EBR, ESR и SESR.

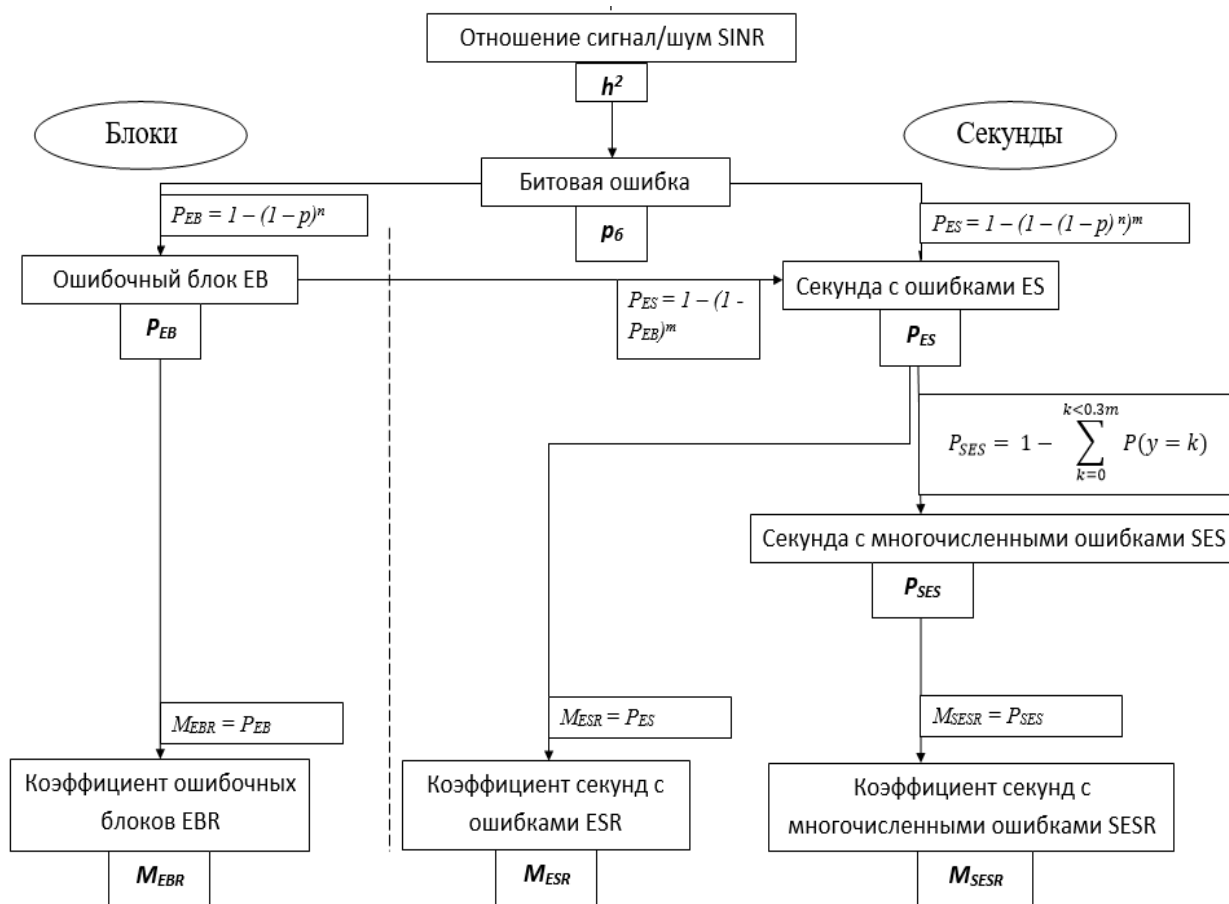


Рис. 1. Иерархия параметров качества цифрового сигнала.

Как видно из аналитических формул и подтверждено результатами имитационного моделирования, показатели ESR и SESR для одной и той же системы при разных значениях скорости передачи заметно отличаются. Таким образом можно сделать вывод о том, что возможность применения показателей ESR и SESR для сравнения систем передачи информации на предмет качества связи требует введения определенных условий, в целом же является ограниченным и требует дальнейшего анализа.

### Литература

1. Коржик В. И., Финк Л. М., Щелкунов К. Н. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник / Под ред. Л. М. Финка. — М.: Радио и связь, 1981. — 232 с.
2. J. G. Proakis, Digital Communication, 4th ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 2000.
3. ITU-T Recommendation G.826. End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections, – 2002. – pp. 6-9.
4. Кларк Дж. Кодирование с исправление ошибок в системах цифровой связи / Кларк Дж., Кейн Дж. – М.: Радио и связь, 1987. – с. 392.
5. Мошинская А.В., Георгин Д.А. Синтез методика оценки качества цифрового сигнала // Мошинская А.В., Георгин Д.А - «Проблеми телекомунікації»: десята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-16) 19-22 квітня 2016 р., К.: с. 62-64.



## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ЙМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ОДНОСПРЯМОВАНИХ РАДІОЛІНІЙ

Толстова А. В., Голь В.Д.

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: tolstova369@gmail.com*

### **Analysis of efficiency of methods for improving of probability characteristics of unidirectional radio channel**

This paper describes second stage of structure optimization of discrete messages to reduce the likelihood of false triggering. It consists of a gradual increase in the number and length of message block code sequences.

Система передачі даних повинна передавати повідомлення з необхідною достовірністю. В даний час ймовірність помилки при передачі знака повинна бути не більше  $10^{-6}$ . Для вирішення вказаної задачі приймають методи підвищення достовірності.

Для реалізації систем оповіщення частіше всього застосовують односпрямовані системи передачі (ОСП).

Односпрямовані системи передачі даних використовують канали зв'язку одного напрямку, наприклад, при циркулярній передачі кільком абонентам. Основними методами підвищення достовірності в ОСП є:

- Завадостійке кодування;
- Багаторазова передача всього повідомлення або його частини;
- Передача по паралельним каналам зв'язку.

Для того, щоб доцільно використати методи підвищення достовірності потрібно оптимізувати структуру дискретних повідомлень та алгоритм їх передачі. В даній роботі алгоритм здійснюється в 3 етапи.

1-й етап – визначення вихідних даних, що залежать від параметрів радіоканалу, часу роботи радіоприймача в режимі чергового прийому та технічних можливостей наявного обладнання, розрахунок значень набору кодових послідовностей різної довжини.

2-й етап – пошук значень порогової кількості правильно прийнятих символів повідомлення ( $N_{\text{пор}}$ ) (далі – поріг), кількості його блоків ( $K$ ) та довжини кодових послідовностей (далі – КП), при яких виконуватимуться вимоги по ймовірності хибного прийому (хибного спрацювання  $P_x$ ).

3-й етап – розрахунок структури дискретних повідомлень та алгоритму їх передачі при яких виконуватимуться вимоги по ймовірності правильного прийому ( $P_n$ ). На цьому етапі вихідними даними для здійснення ітераційних процедур є результати розрахунків, отриманих на другому етапі.

На першому етапі визначаємо вихідні дані які залежать від параметрів

радіоканалу та обладнання, тому доцільно перейти до розглядання другого методу (розглянути значення ймовірності хибного спрацювання).

Основними ймовірнісними характеристиками завадостійкості систем з односторонньою радіопередачею дискретних повідомлень є ймовірність правильного прийому ( $P_{\Pi}$ ) та хибного спрацювання ( $P_{\chi}$ ), які повинні знаходитись в заданих межах в існуючій завадовій обстановці. Виявлено, що значення цих показників є взаємно пов'язаними, тобто при максимізації надійності доведення інформації ( $P_{\Pi}$ ) необхідно обов'язково перевіряти вимоги по забезпеченню необхідної достовірності ( $P_{\chi}$ ) і навпаки. Факт правильного прийому повідомлення відбувається при умові, що воно дійсно було передане, а хибне спрацювання відбудеться коли корисне повідомлення відсутнє в радіолінії, але приймається рішення про його наявність.

На другому етапі реалізації методики, для зменшення ймовірності хибного спрацювання здійснюються ітераційні процедури в наступній, найбільш доцільній, послідовності:

1. Поступове збільшення порогу;
2. Поступове збільшення кількості блоків повідомлення;
3. Поступове збільшення довжини кодових послідовностей.

Останнє зумовлено тим, що при однаковій надлишковості, збільшення довжини КП дає кращий виграш по ймовірності хибного спрацювання ніж кількості блоків повідомлення при тому ж значенні ймовірності правильного прийому.

Збільшення порогу використовується перед збільшенням кількості блоків повідомлення ( $K$ ) і довжини КП ( $N$ ) оскільки не призводить до збільшення надлишковості повідомлення (при збільшенні порогу зменшується значення ймовірності хибного спрацювання).

В разі невиконання вимог по ймовірності хибного спрацювання при максимальному значенні порогу ( $N_{\text{пор}} = N$ ), її зменшення можна досягти збільшенням кількості блоків повідомлення, або довжини кодових послідовностей. В першому випадку, також, зменшується і ймовірність правильного прийому, проте із значно меншою швидкістю.

Таблиця 1. Основні параметри кодових послідовностей та властивості їх ансамблів

Послідовності	$m$	2	3	4	5	6
Касамі, ПБФ, Камалетдінова	$N$	15	63	255	1023	4095
	$V$	4	8	16	32	64
	$R$	5	9	17	33	65
Об'єднання Касамі + ПБФ	$N$	15	-	255	-	4095
	$V$	7	-	31	-	127
	$R$	5	-	17	-	65

$R$  – кратність повторів передачі повідомлення;

$V$  – швидкість передачі в радіоканалі;

$N$  – довжина кодових послідовностей.

Перехід до ансамблю кодових послідовностей наступної довжини, відразу призводить до збільшення надлишковості повідомлення в 4 – 17 разів (залежно від виду КП). Тому спочатку необхідно спробувати досягти заданих вимог по ймовірності хибного спрацювання, шляхом збільшення блоковості повідомлення, але в межах поточної довжини кодових послідовностей (наприклад, для кодових послідовностей Касамі (табл. 1) довжиною 15 біт повинна виконуватись умова  $K \cdot 15_{\text{біт}} < 63_{\text{біт}}$ , де  $K$  – кількість блоків повідомлення).

Збільшення кількості частот для паралельної передачі повідомлень та кратності його повторів не застосовується оскільки перше призводить до збільшення ймовірності хибного спрацювання, а друге не впливає на нього.

Значення порогу, кількості блоків повідомлення та довжини кодових послідовностей отримані на другому етапі є вихідними для здійснення розрахунків на третьому етапі, на якому для збільшення ймовірності правильного прийому.

При однаковій надлишковості, збільшення довжини КП дає кращий вигравш по ймовірності хибного спрацювання ніж кількості блоків повідомлення при тому ж значенні ймовірності правильного прийому (рис. 1).

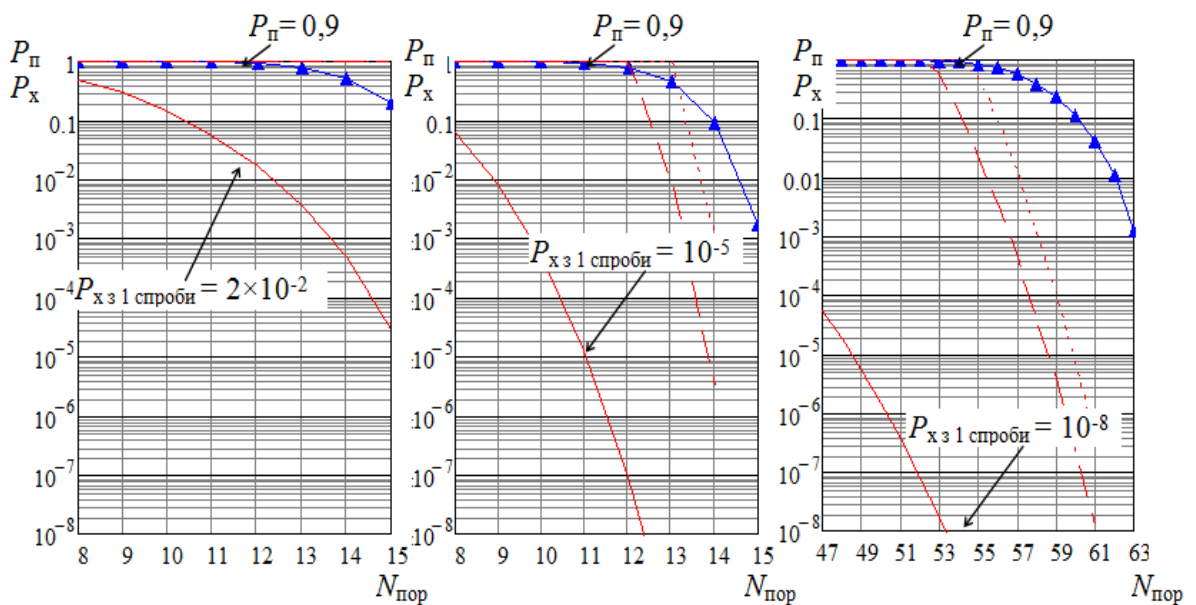


Рис. 1. Залежність значень  $P_p$  та  $P_x$  від  $N_{\text{пор}}$ .

### Література

1. Теоретические основы передачи данных. Часть 1. – К.: КВИУС, 1989. – 194 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с., ил.
3. Кибзун А. И., Горяйнова Е. Р., Наумов А. В., Сиротин А. Н. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами / Учебн. пособие. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2002. – 224 с.

## МЕТОД КОРЕКЦІЇ ПОДВІЙНИХ ПОМИЛОК В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ДАНИХ ЗІ СПЕКТРАЛЬНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

**Виноградов Ю.М., Руденко Т.А.**

*Факультет інформатики та обчислювальної техніки*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: eternalcephalalgia@gmail.com*

**Method of correction of double errors in digital  
data transmission channels with spectral modulation**

The paper presents a theoretically grounded and investigated approach of double errors correction in channels with spectral modulation based on positional correcting sums that allows to determine the positions of distorted symbols and their distortion vectors without enumeration through all the symbols of block. The method mathematical basis and procedure of errors detecting and correcting are presented.

Чільне місце в сучасних технологій передачі даних в комп'ютерних мережах та розподілених системах займають канали передачі зі спектральною модуляцією [1].

Продуктивність розподіленої обробки даних значною мірою визначається швидкістю обміну даними між компонентами комп'ютерних систем. Тому, в найближчій перспективі, швидкість передачі даних буде зростати [2].

Таким чином, наукова задача прискорення підвищення ефективності корекції помилок даних в каналах передачі даних зі спектральною модуляцією з огляду на сучасний стан розвитку технологій комп'ютерної обробки інформації є актуальною.

Ціллю дослідження є розробка методу прискореної корекції помилок в каналах зі спектральною модуляцією.

В роботі [3] була започаткована ідея використання для корекції багатократних помилок позиційних коригуючих кодів. Ідея може бути конкретизована для каналів передачі даних зі спектральною модуляцією.

Метод передбачає передачу разом з інформаційним блоком контрольного блоку, який складається з  $2 \cdot k + 1$  компонентів:

$$C = \{C_0, C_1, C_2, \dots, C_k, S_1, S_2, \dots, S_k\}.$$

Кожна  $l$ -та компонента контрольного коду  $C_l$ ,  $l = 1, \dots, k$  обчислюється як сума по модулю 2 лише тих символів блоку даних  $B$ ,  $l$ -тий розряд номери яких дорівнює одиниці.

Компоненти контрольного коду  $S_1, S_2, \dots, S_k$  формуються з використанням лінійної згортки.

Лінійна згортка  $\lambda(Y)$   $m$ -розрядного коду  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ , де  $\forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$ :  $y_j \in \{0, 1\}$  являє собою  $h$ -розрядний ( $h = \lfloor \log_2 m \rfloor$ ) код  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_h\}$ , причому,  $l$ -тий розряд  $z_l$ ,  $l \in \{2, 3, \dots, h\}$  коду лінійної згортки формується згідно наступної формули:

$$z_l = \bigoplus_{j=1}^m y_j \cdot ((j \bmod 2^{l-1}) / 2^{l-2}) \quad (1)$$

Головна властивість коду лінійної згортки  $\lambda(Y)$  полягає в тому, щоб при будь-якій зміні коду  $Y$  зазнала змін його лінійна згортка.

Кожну  $l$ -ту компоненту  $S_l$  контрольного коду,  $l=1, \dots, k$ , пропонується обчислювати як суму за модулем 2 поліноміальних добутків лінійних згорток символів блоку даних  $B$ ,  $l$ -тий розряд порядкових номерів в блоці яких дорівнює одиниці, на їх номери.

Позначимо компоненти контрольного коду, обчислені на стороні передавача як  $C_{S,0}, C_{S,1}, C_{S,2}, \dots, C_{S,k}, S_{S,0}, S_{S,1}, S_{S,2}, \dots, S_{S,k}$ , а компоненти контрольного коду, обчислені приймачем за прийнятим блоком, як  $C_{R,0}, C_{R,1}, C_{R,2}, \dots, C_{R,k}, S_{R,0}, S_{R,1}, S_{R,2}, \dots, S_{R,k}$ . На стороні приймача обчислюються різниці контрольних кодів:

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= C_{S,0} \oplus C_{R,j} \\ \forall j &= 1, \dots, k : \Delta_j = C_{S,j} \oplus C_{R,j} \\ \delta_j &= S_{S,j} \oplus S_{R,j} \end{aligned} \quad (2)$$

Очевидно, що в разі, коли жоден з символів блоку не зазнав спотворення при передачі, всі різниці дорівнюють нулю:  $\forall j=0, \dots, k: \Delta_j=0$ .

В разі спотворення лише одного  $q$ -го символу блоку,  $q \in \{1, 2, \dots, n\}$ , вектор спотворення  $\Delta X_q = X_{R,q} \oplus X_{S,q} \neq 0$ . Коди різниць в разі спотворення одного символу визначаються наступним чином:  $\Delta_0 = \Delta X_q, \forall j \in \{1, 2, \dots, k\}: \Delta_j = 0$ , якщо  $q_j = 0$  і  $\Delta_j = \Delta X_q$ , якщо  $q_j = 1$ . Таким чином, за кодами перших  $k+1$  різниць  $\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_k$  однозначно визначаються код вектору спотворення символу:  $\Delta X_q = \Delta_0$  та розряди  $q_1, q_2, \dots, q_k$  номеру  $q$  спотвореного при передачі символу:  $\forall j \in \{1, 2, \dots, k\}: q_j = 0$  якщо  $\Delta_j=0$ ,  $q_j = 1$ , якщо  $\Delta_j \neq 0$ . Відповідно, виправлення спотвореного символу виконується у вигляді:  $X_q = X_{R,q} \oplus \Delta X_q$ .

В разі спотворення при передачі пари символів, що мають в блоці порядкові номери  $q$  та  $p$ , причому  $p < q$ , постає задача визначення як самих позицій  $q$  і  $p$ , так і векторів спотворень обох символів  $\Delta X_q$  та  $\Delta X_p$ .

Якщо вектори спотворень обох пошкоджених при передачі символів відрізняються, тобто  $\Delta X_q \neq \Delta X_p$ , код різниці нульових компонентів контрольного коду в цій ситуації дорівнює:  $\Delta_0 = \Delta X_p \oplus \Delta X_q \neq 0$ . Процедура відновлення номерів  $q$  та  $p$  пошкоджених символів представлена у вигляді наступної послідовності дій:

- 1) Встановити індекс  $j$  поточного розряду номеру в  $k$ :  $j = k$ , прапорець  $f$  виявлення першого розряду, в якому різняться коди  $q$  та  $p$  встановлюється в нуль:  $f=0$ .
- 2) Якщо  $\Delta_j = 0$ , то  $p_j = 0, q_j = 0$ . Перехід на п.6.
- 3) Якщо  $\Delta_j = \Delta_0$ , то  $p_j = 1, q_j = 1$ . Перехід на п.6.
- 4) Якщо  $\Delta_j \neq \Delta_0, \Delta_j \neq 0$  і  $f = 0$ , то  $q_j = 1, p_j = 0, \Delta X_q = \Delta_j$  і  $f=1$ . Перехід на п.6.
- 5) Якщо  $\Delta_j \neq \Delta_0, \Delta_j \neq 0$  і  $f = 1$ , то, якщо  $\Delta_j = \Delta X_q, q_j = 1, p_j = 0$ , інакше  $p_j = 1, q_j = 0$ .

б) Декремент індексу  $j = j - 1$ . Якщо  $j > 0$ , то повернення на виконання п.2.

7) Визначення вектору  $\Delta X_p = \Delta_0 \oplus \Delta X_q$ . Корекція пошкоджених символів:

$$X_p = X_{R,p} \oplus \Delta X_p; \quad X_q = X_{R,q} \oplus \Delta X_q. \quad \text{Кінець.}$$

Конструктивність розробленої процедури визначається тим, що в силу того, що номери  $q$  та  $p$  обов'язково розрізняються, причому  $q > p$ , то в старшому розряді, в якому ці коди відмінні відповідний розряд  $q$  дорівнює нулю, а однойменний розряд  $p$  дорівнює одиниці. Це значить, що обов'язково виконується п.4 наведеної вище процедури, який визначає вектор спотворення  $q$ -го символу -  $\Delta X_q$ .

Якщо вектори спотворень обох пошкоджених символів однакові, тобто  $\Delta X_p = \Delta X_q$ , то  $\Delta_0 = 0$  і для корекції використовуються різниці  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k$  компонентів  $S_1, S_2, \dots, S_k$ . Тоді процедура корекції пари символів з порядковими номерами  $p$  та  $q$  полягає в виконанні наступної послідовності дій:

1) Встановити індекс  $j$  поточного розряду номеру в  $k$ :  $j = k$ , прапорець  $f$  виявлення першого розряду, в якому різняться коди  $q$  та  $p$  встановлюється в нуль:  $f = 0$ .

2) Якщо  $\delta_j = 0$ , то  $p_j = 0, q_j = 0$ . Перехід на п.6.

3) Якщо  $\delta_j \neq 0$ , а  $\Delta_j = 0$ , то  $p_j = 1, q_j = 1$ . Перехід на п.6.

4) Якщо  $\delta_j \neq 0, \Delta_j \neq 0$  і  $f = 0$ , то  $q_j = 1, p_j = 0, \Delta X_q = \Delta_j, d = \delta_j$ , установка прапорця  $f = 1$  Перехід на п.6.

5) Якщо  $\delta_j \neq 0, \Delta_j \neq 0$  і  $f = 1$ , то, якщо  $\delta_j = d, q_j = 1, p_j = 0$ , інакше  $p_j = 1, q_j = 0$ .

6) Декремент індексу  $j = j - 1$ . Якщо  $j > 0$ , то перехід на п.2.

7) Визначення вектору  $\Delta X_p = \Delta X_q$ . Корекція пошкоджених символів:

$$X_p = X_{R,p} \oplus \Delta X_p; \quad X_q = X_{R,q} \oplus \Delta X_q. \quad \text{Кінець.}$$

Запропонований метод корекції двократних помилок передачі даних в каналах зі спектральною модуляцією дозволяє виправляти до 2-х помилок, що відповідає сучасним вимогам [2].

Обчислювальна складність корекції становить  $O(\log_2 n)$ , тоді як складність процедури корекції для кодів Ріда-Соломона становить  $O(n \cdot \log_2 n \cdot 4)$ .

В результаті проведених досліджень запропоновано метод прискореної корекції помилок в каналах зі спектральною модуляцією, кратність не більше 2.

За рахунок використання більшої кількості контрольних розрядів, в  $4 \cdot n$  разів зменшено обчислювальну складність корекції в порівнянні з кодами Ріда-Соломона, що дозволяє на порядки прискорити процес корекції та спростити апаратну реалізацію.

#### Література

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. / Б. Скляр - М.: Издательский дом "Вильямс".- 2004.- 1104 с.
2. Ирвин Дж. Передача данных в сетях: инженерный подход. / Дж. Ирвин., Д. Харль. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002.- 448 с.
3. Марковський О.П. Метод виправлення трьохкратних помилок передачі даних в двійкових симетричних каналах / О.П. Марковський, С.Ю. Терещенко, О.І. Федоречко О.І. // Вісник Національного технічного університету України "КПІ" Інформатика, управління та обчислювальна техніка, – Київ: ВЕК+ – 2014. – № 60. - С.33-40.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ВЗВЕШЕННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ СУММ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК В КАНАЛАХ СО СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

**Чебаненко Т.М., Шапран К.О.**

*Факультет информатики и вычислительной техники*

*КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: karinka.shapran@gmail.com*

### **Use of arithmetic weighed checksums for error correction in channels with spectral modulation**

In this paper a new approach is proposed to increase the efficiency of error correction in spectrum modulation channel by using of arithmetic weighed check sums. Based on a study of the properties of data transmission errors caused by external noises new error correction procedure is developed, which is oriented for correction of one symbol. It is proven that the proposed error correction technique gives better performance and demands lower amount of control bits than error correcting codes.

В современных условиях важное место в развитии технологий передачи цифровых данных играет обеспечение надежности передачи данных. Объективно существует целый ряд факторов, которые снижают надежность передачи данных. В частности, расширение использования беспроводных линий и систем мобильной связи имеет следствием заметный рост интенсивности внешних помех [1]. Ускорение скорости передачи вызывает рост числа ошибок, вызванных межсигнальной интерференцией. Применение спектральной модуляции, приводит к резкому росту кратности возникающих ошибок.

Действие перечисленных факторов требует адекватного совершенствования средств обнаружения и коррекции ошибок, возникающих при передаче цифровых данных в компьютерных сетях и системах телекоммуникаций. Таким образом, задача совершенствования средств контроля и коррекции ошибок передачи данных в КСМ является актуальной и значимой для практики.

Обычно, для коррекции ошибок передачи данных используются корректирующие коды [1], наиболее известными из которых являются коды Рида-Соломона, БЧХ, турбо-коды. При использовании корректирующих кодов для КСМ при имеющейся тенденции к увеличению числа  $k$  бит модулируемых одним канальным сигналом, резко возрастает число контрольных разрядов и время контроля. Другими словами, эффективность использования корректирующих кодов для КСМ с увеличением  $k$  снижается.

Для решения задачи эффективной коррекции ошибок передачи данных

возникающих при искажении под воздействием внешней помехи одного канального сигнала предлагается использовать арифметическую взвешенную контрольную сумму (АВКС). Сущность предлагаемого подхода состоит в следующем.

Символам  $X_1, X_2, \dots, X_q$  информационного блока ставятся в соответствие весовые коэффициенты  $W_1, W_2, \dots, W_q$  разрядностью по  $\log_2 q$  бит. При этом значение  $j$ -го весового коэффициента  $W_j$  определяется его порядковым номером, то есть  $W_j = j$ .

Контрольный код блока вычисляется в виде двух компонент. Первая компонента  $C_1$  представляет собой арифметическую сумму кодов символов блока:

$$C_1 = \sum_{j=1}^q Z_j.$$

Вторая компонента  $C_2$  представляет собой арифметическую сумму произведений кодов символов на их весовой коэффициент:  $C_2 = \sum_{j=1}^q Z_j \cdot W_j$ .

Двухкомпонентный контрольный код  $C_S = \{C_{S1}, C_{S2}\}$  вычисляется передатчиком и отсылается приемнику. Последний по полученному блоку вычисляет код  $C_R = \{C_{R1}, C_{R2}\}$  и формирует двухкомпонентный код разности  $\Delta = \{\Delta_1, \Delta_2\}$ , компоненты которого вычисляются как арифметическая разность одноименных компонент контрольных кодов передатчика и приемника:  $\Delta_1 = C_{R1} - C_{S1}$ ,  $\Delta_2 = C_{R2} - C_{S2}$ .

Если обе компоненты разности контрольных сумм равны нулю:  $\Delta_1 = 0$  и  $\Delta_2 = 0$  то блок считается переданным без ошибок.

При ошибочной передаче одного канального сигнала, например  $j$ -го,  $j \in \{1, \dots, q\}$ , искажению подвергаются биты одного канального символа  $X_j$ . Соответственно, коды  $j$ -го символа на передатчике –  $Z_{Sj}$  и приемнике –  $Z_{Rj}$  будут отличными. Пусть  $\alpha$  – разность этих кодов:  $\alpha = Z_{Rj} - Z_{Sj}$ , очевидно, что  $-(2^k - 1) \leq \alpha \leq (2^k - 1)$ .

Тогда компоненты разности арифметических взвешенных контрольных сумм равны:  $\Delta_1 = \alpha$ ,  $\Delta_2 = \alpha \cdot W_j$ . Коррекция ошибок выполняется следующим порядком:

1. Осуществляется операция целочисленного деления  $\Delta_2$  на  $\Delta_1$ . Если остаток от деления не равен нулю, то произошло искажение более, чем одного символа блока. В этом случае, коррекция не производится, а формируется сигнал на повторную передачу блока.

2. Если остаток деления  $\Delta_2$  на  $\Delta_1$  равен нулю, то частное равно значению весового коэффициента искаженного символа –  $W_j$ . Коррекция производится последовательным нахождением номера  $j$  искаженного символа по значению  $W_j$  и определением истинного значения кода  $Z_{Sj}$   $j$ -го символа:



$$W_j = \frac{\Delta_2}{\Delta_1}, j = W_j \quad (1)$$

$$Z_{Sj} = Z_{Rj} - \Delta_1$$

Важным аспектом является оценка вероятности  $Q_2$  ложной классификации исправляемых ошибок. При искажении, в процессе передачи, двух канальных сигналов, возникают ошибки в двух символах блока. Пусть в процессе передачи искажению подверглись два символа:  $X_j$  и  $X_e$ ,  $j, e \in \{0, \dots, q-1\}$ ,  $j < e$ , причем  $Z_{Rj} - Z_{Sj} = \alpha$ ,  $Z_{Re} - Z_{Se} = \gamma$ . Тогда  $\Delta_1 = \alpha + \gamma$ ,  $\Delta_2 = \alpha \cdot W_j + \gamma \cdot W_e$ . Неверная классификация неисправимой ошибки в двух символах как исправимой в одном символе имеет место, если остаток от деления  $\Delta_2/\Delta_1$  равен нулю, то есть существует целое  $N$  такое, что:  $\alpha \cdot W_j + \gamma \cdot W_e = N \cdot (\alpha + \gamma)$ .

Проведенные экспериментальные исследования показали, что вероятность  $Q_2$  в определяющей степени зависит от длины  $k$  символа. Для современных систем передачи данных, которые характеризуются относительно большими значениями  $k$ , вероятность неадекватной классификации типа ошибки невелика.

Число  $R$  контрольных разрядов определяется максимальной разрядностью первой  $C_1$  и второй  $C_2$  компонент арифметической взвешенной контрольной суммы. Поскольку максимальное значение  $C_1$  равно  $q \cdot (2^k - 1)$ , то разрядность этой компоненты не превышает  $k + \log_2 q$ . Максимальное значение компоненты  $C_2$  равно  $\sum_{i=1}^q (2^k - 1) \cdot i = \frac{q^2 \cdot (2^k - 1)}{2}$ . Соответственно, число бит для представления  $C_2$  равно  $k + 2 \cdot \log_2 q - 1$ . Таким образом:  $R = 2 \cdot k + 3 \cdot \log_2 q + 1$ .

При использовании корректирующих кодов нижняя граница  $G$  числа контрольных разрядов определяется объемом информации, необходимым для локализации  $k$  искаженных бит в  $m$ -битовом блоке.

Соответственно численное значение  $G$  определяется формулой:

$$G = \log_2 \prod_{l=0}^{k-1} \frac{m-l}{l+1} \quad (2)$$

Таким образом, использование арифметической взвешенной контрольной суммы позволяет уменьшить число контрольных разрядов в 1.45 раза.

В результате проведенных исследований предложен вариант использования АВКС для коррекции ошибок в КСМ.

Доказано, что применение АВКС позволяет уменьшить число контрольных разрядов как по сравнению с корректирующими кодами, так и по сравнению с логической взвешенной контрольной суммой. Вычисление АВКС достаточно просто и осуществляются в темпе передачи данных в канале, а операции, связанные с коррекцией выполняются только при обнаружении ошибки.

#### Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 1104 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА 802.11n

**Урывский Л.А., Осипчук С.А., Чекунов Н.В.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. И. Сикорского*

*E-mail: serhii\_osypchuk@ieee.org*

### **Information efficiency research of communication system built on 802.11n standard**

The information efficiency research of wireless 802.11n data transmission system is performed.

Беспроводные системы передачи занимают все более заметное место в современной инфраструктуре телекоммуникаций. Одним из самых современных стандартов построения средств беспроводной связи для LAN сетей на физическом и канальном уровнях является стандарт IEEE 802.11n [1].

*Актуальным* вопросом является оценка эффективности работы систем передачи, в частности показателя *информационной эффективности,  $\eta$*  [2]. Информационная эффективность показывает, насколько полно используется имеющаяся в распоряжении пропускная способность непрерывного канала связи.

*Целью* работы является определение эффективности сигнально-кодовых конструкций (СКК), применяемых в стандарте IEEE 802.11n. Для достижения указанной цели предлагается релевантный метод, в котором использованы понятия теория информации и теории помехоустойчивости (ПУ) систем передачи данных. Для вычислений использован программный продукт Matlab, в котором реализован предложенный метод.

При оценке информационной эффективности рассмотрено 3 варианта индекса модуляции и схемы кодирования с параметром скорости кодирования  $r_k$  из 31 возможной для стандарта 802.11n: MCS2 (QPSK,  $r_k=3/4$ ), MCS4 (QAM-16,  $r_k=3/4$ ) и MCS7 (QAM-64,  $r_k=5/6$ ). Информационная эффективность системы передачи  $\eta$  определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{R_d}{C_n}, \quad (1)$$

где  $R_d$  – производительность дискретного канала связи,  $C_n$  – пропускная способность непрерывного канала связи [2]. Определим энергетический параметр канала связи в точке приема  $h_{\text{прм}}^2$ :

$$h_{\text{прм}}^2 = \frac{E_S}{N_0} = \frac{1}{N_0 \Delta F} \cdot \frac{g P_{\text{пер}}}{L^2}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – спектральная плотность белого шума,  $E_S$  – энергия сигнала,  $\Delta F$  – полоса частот, примем  $N_0 = -100$  дБм,  $P_{\text{пер}}$  – мощность излученного передатчиком сигнала,  $L$  – расстояние между передатчиком и приемником (переменная),  $g$  – нормирующий коэффициент, который зависит от параметров передающей и приемной антенн и несущей частоты [3].

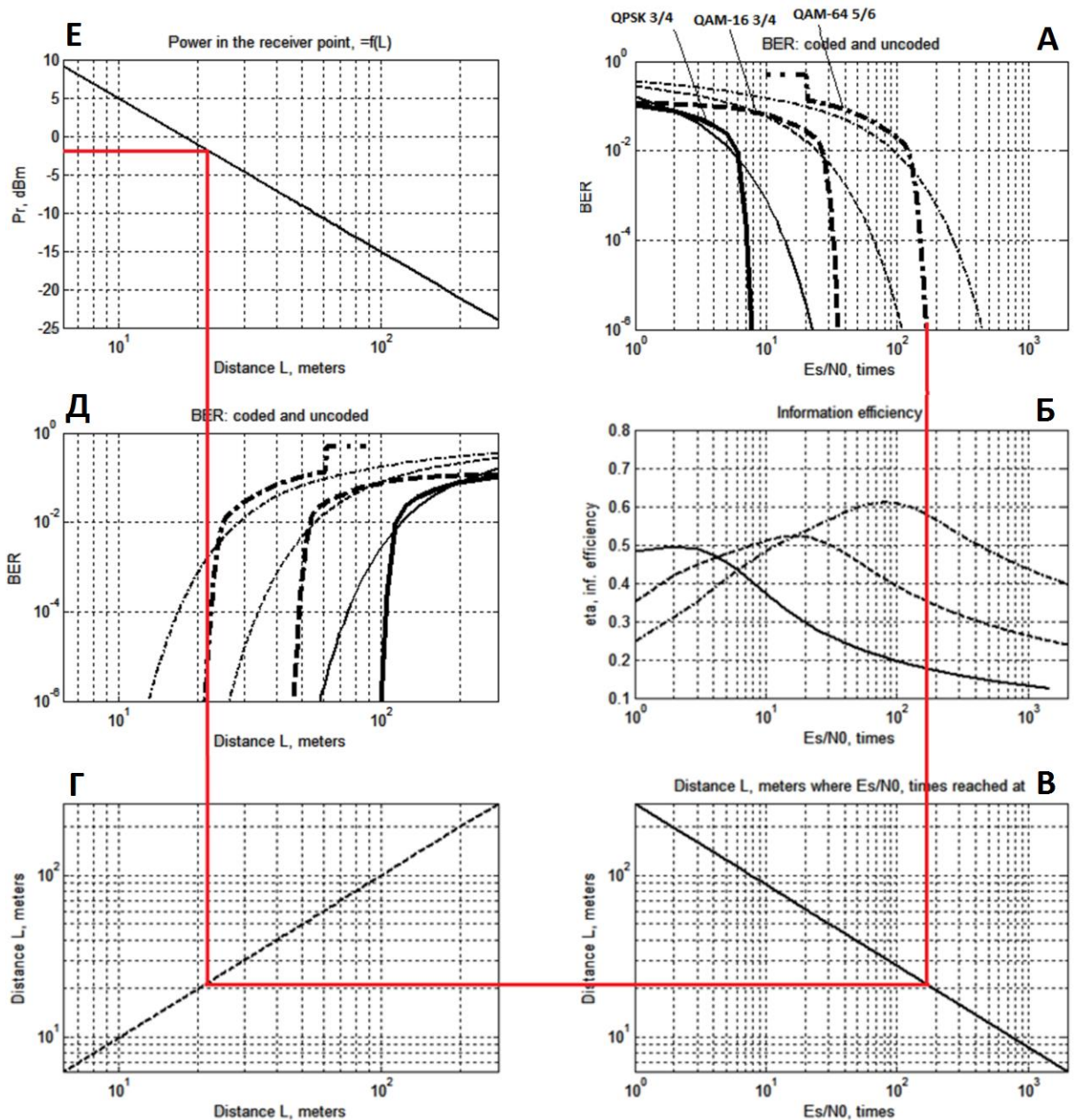


Рис. 1. Трехмерное представление оценки вероятности ошибки, информационной эффективности и уровня сигнала в точке приема как функция отношения сигнал/шум и расстояния между приемником и передатчиком.

На рис. 1 показано:

- А: вероятность ошибки  $BER=f(E_S/N_0)$  для видов модуляции с кодированием: QPSK,  $r_k=3/4$ ; 16-QAM,  $r_k=3/4$ ; 64-QAM,  $r_k=5/6$ , а также без кодирования;
- Б: информационная эффективность канала связи  $\eta$  при использовании указанных видов СКК;
- В: оценка расстояния  $L$ , на котором достигается определенное значение отношения уровня сигнала к уровню шума  $E_S/N_0$ ;
- Г: линейная проекция расстояния  $L$  с оси абсцисс на ось ординат с целью введения третьей координаты – расстояния между точками А и Б, и получения зависимостей  $BER, P_r, h_{\text{прм}}^2$  от расстояния  $L$ ;

- Д: вероятность ошибки  $BER=f(L)$  для указанных видов модуляции с кодированием, а также без кодирования, как функция расстояния между передатчиком и приемником;
- Е: уровень сигнала в точке приема  $P_r$ , дБм как функция расстояния  $L$  с учетом мощности сигнала передатчика и других параметров линии связи.

Валидация результатов метода проведена в лабораторных условиях (рис. 2) на основе линии связи, состоящей из двух приемопередающих устройств Mikrotik RBGroove52HPn на базе технологии 802.11n [4] и аттенюатора ДЗ-28, что показало ожидаемую корреляцию между результатами оценки уровня сигнала на входе приемника согласно методу, и измеренным уровнем сигнала на входе приемника при внесении аттенюатором ДЗ-28 определенного ослабления в линию связи.



Рис. 2. Валидация результатов метода в лабораторных условиях на базе оборудования 802.11n производителя Mikrotik и аттенюатора ДЗ-28.

Результаты исследования показали, что информационная эффективность линии связи находится в пределах  $\eta=0,23...0,6$  в зависимости от вида СКК и уровня сигнал/шум с обеспечением достоверности передачи не хуже  $BER<10^{-6}$ .

Также целесообразно исследование информационной эффективности  $\eta$  всех комбинаций СКК стандарта 802.11n по предложенной методике для формулирования полных выводов о точках оптимального переключения режимов СКК по критерию наилучшей информационной эффективности с одновременным обеспечением требуемой достоверности и наилучшей скорости передачи информации.

#### Литература

1. Matthew S. 802.11n: A Survival Guide / O'Reilly, 2013. – 152p.
2. Gallager R. G. Information Theory and Reliable Communication / Wiley, 1968. – 588 p.
3. Uryvsky L. Information efficiency assessment of high data rate IP-protocol based transmission systems // L. Uryvsky, S. Osypchuk / Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), 2016 International Conference, Kyiv, Ukraine. – 2016. – pp. 1-5.
4. Приёмопередавач 802.11n MikroTik RBGroove52HPn. Режим доступу: <https://routerboard.com/RBGroove52HPn>.

## СЦЕНАРІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ СИТУАЦІЙНИХ ПРІОРИТЕТІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ ДОСТУПУ

**Гахова Г.С., Уривський Л.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: anna.gakhova@gmail.com, leonid\_uic@ukr.net*

### Scenario of the realization of situational priority for access systems

This article offers one of the possible scenarios of realization of the situational service priorities in access systems. The productivity for one thread, as well as for the whole system, was analyzed. Recommendations for the efficient service discipline for the proposed scenario are provided.

Пріоритетні системи обслуговування є інструментом подолання конфліктів, пов'язаних з фактором обмеження ресурсів обслуговування заявок в системах масового обслуговування (СМО) [1].

Спроба встановлення зв'язку щодо передавання повідомлення відповідного типу реєструється як заявка на обслуговування в СМО. Наприклад, заявки, які поступають для встановлення голосового сеансу зв'язку, мають вищий (1-й) пріоритет, а заявки, що поступають для організації каналу передачі даних, мають нижчий (2-й) пріоритет.

Окрему групу створюють дисципліни з ситуаційними пріоритетами (СП). СП були введені вперше в 1967 році. Стан з очікуванням характеризувався вектором  $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ , де  $x_i$  – число заявок  $i$ -го типу в системі. Безліч таких векторів з цілочисельними невід'ємними компонентами утворює простір станів системи  $x = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_N)\}$ .

Нехай весь цей простір поділено на непересічні множини  $x_k (k = \overline{0, N})$ ,  $x = \bigcup_{k=0}^N x_k$ ,  $x_k \cap x_s = \emptyset$ ,  $k \neq s$ .

Для кожного такого поділу  $x = \{x_k, k = \overline{0, N}\}$  визначається стратегія управління. Якщо в момент прийняття керуючого рішення система знаходиться в одному з станів підмножини  $x_k$ , приймається управління  $V = V(x_k) = k$ . Обмеження на моменти управління обумовлюються особливо в залежності від типу системи. Система, в якій стратегія управління визначається описаним способом за допомогою розбиття простору станів, називається системою з СП.

Різні варіанти обслуговування мають самостійні математичні моделі, які дозволяють обчислити характеристики відповідних систем [2].

Отже, проаналізуємо математичну модель доступу до ресурсів телекомунікаційної системи із використанням СП.

Розглянемо СМО з двома приладами обслуговування та двома вхідними потоками різних або однакових пріоритетів, які мають числові характеристики, пов'язані з інтенсивністю надходження заявок відповідного типу ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) та інтенсивністю їх обслуговування ( $\mu_1, \mu_2$ ).

Напишемо базовий сценарій реалізації СП в системах доступу на основі чотирьох дисциплін обслуговування, а саме: без пріоритетів, відносний пріоритет, абсолютний пріоритет та дообслуговування.

Для СП характерна залежність вибору виду пріоритету від сценарію (відношення інтенсивностей) та від критерія переваги (наприклад, продуктивності, ймовірності втрат, часу очікування та ін.).

Змоделюємо наступну ситуацію – на систему масового обслуговування з двома приладами надходять 2 вхідні потоки:

*1-ий потік* – велика кількість коротких повідомлення (наприклад, термінові повідомлення в екстрених випадках);

*2-ий потік* – мала кількість довгих повідомлень (наприклад, скачування відео, для яких не важлива швидкість обслуговування).

Проілюструємо модель обслуговування описану вище, використовуючи чотири дисципліни обслуговування, уніфікованою СМО (рис.1), де змінні  $\lambda_{12}$ ,  $\mu_{21}$  та  $\mu_{22}$  є інструментами ситуаційного управління пріоритетною системою.

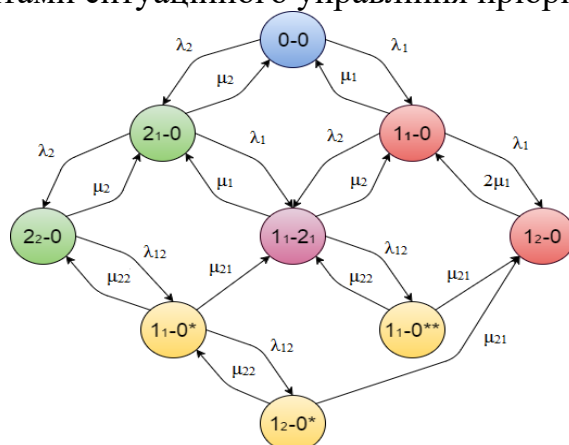


Рис.1. Уніфікована СМО з двома потоками та двома приладами обслуговування.

1. При  $\lambda_{12} = 0, \mu_{21} = 1, \mu_{22} = 0$  отримуємо систему без пріоритету.
2. Система з відносним пріоритетом повинна задовольняти таким умовам:  
 $\lambda_{12} = \lambda_1, \mu_{21} = \mu_2, \mu_{22} = 0$ .
3. Система з абсолютним пріоритетом:  $\lambda_{12} = \lambda_1, \mu_{21} = \infty, \mu_{22} = 0$ .
4. Система з дообслуговуванням:  $\lambda_{12} = \lambda_1, \mu_{21} = 0, \mu_{22} = \mu_1$ .

Проілюструємо продуктивність для кожної дисципліни і знайдемо найкращу для задоволення потреб нашого сценарію (див. рис. 2, рис. 3). На рис. 2 продуктивність позначаємо –  $Y_{xy}$ , де  $x$  – означає одну з чотирьох дисциплін обслуговування (1 – без пріоритетів, 2 – відносний, 3 – абсолютний, 4 – дообслуговування),  $y$  – позначає для якого потоку (1 – для першого, 2 – для другого). Пунктиром відображаються продуктивності для другого потоку. На рис. 3 проілюстровано залежність сумарної продуктивності від  $\lambda_1$  для тих самих чотирьох дисциплін.

Проаналізувавши рис.2 можна зробити висновок, що найкращою дисципліною для обслуговування першого потоку в межах даного сценарію є спочатку відносний пріоритет до моменту, коли  $\lambda_1 = 202,4$  заявок/год (точка переламу), тоді ситуація змінюється і лідером стає – дисципліна дообслуговування; найгіршою є дисципліна без пріоритетів. Для обслуговування другого потоку найкращою є дисципліна без пріоритетів, а найгіршою – з абсолютним пріоритетом, що не є несподіванкою, адже абсолютний пріоритет найжорстокіший по відношенню до другого потоку з меншим пріоритетом перед більш пріоритетним першим потоком.

Проаналізуємо рис.3 – лідером по показнику сумарної продуктивності є спочатку відносний пріоритет, але після того, як  $\lambda_1 = 144,7$  заявок/год (точка переламу) доцільніше використовувати – дообслуговування. Найгіршою є дисципліна абсолютного обслуговування, не дивлячись на той факт, що для продуктивності першого потоку абсолютний пріоритет працює ефективно, відмовляючи заявкам другого пріоритету та обслуговуючи лише перший.

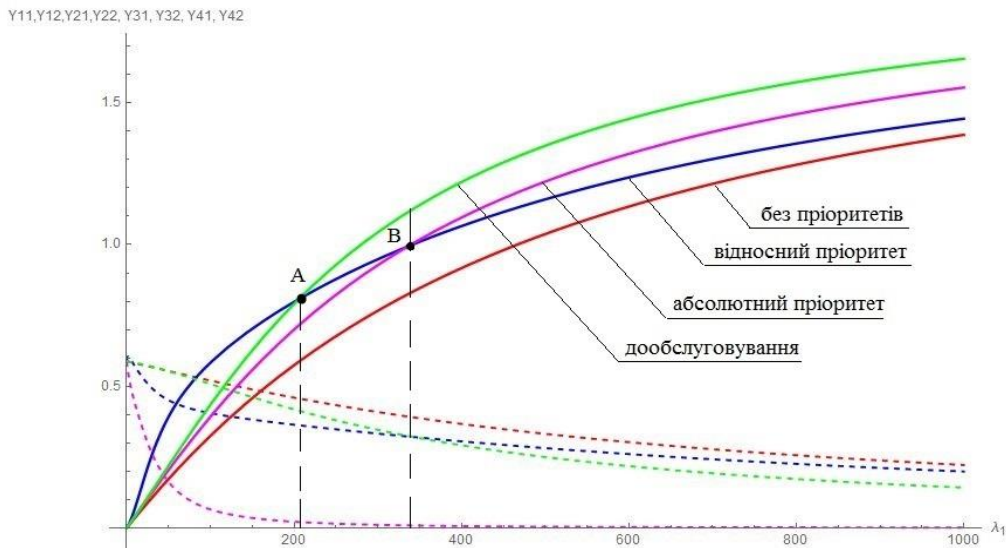


Рис.2. Продуктивність 1-го і 2-го потоків для чотирьох дисциплін обслуговування.

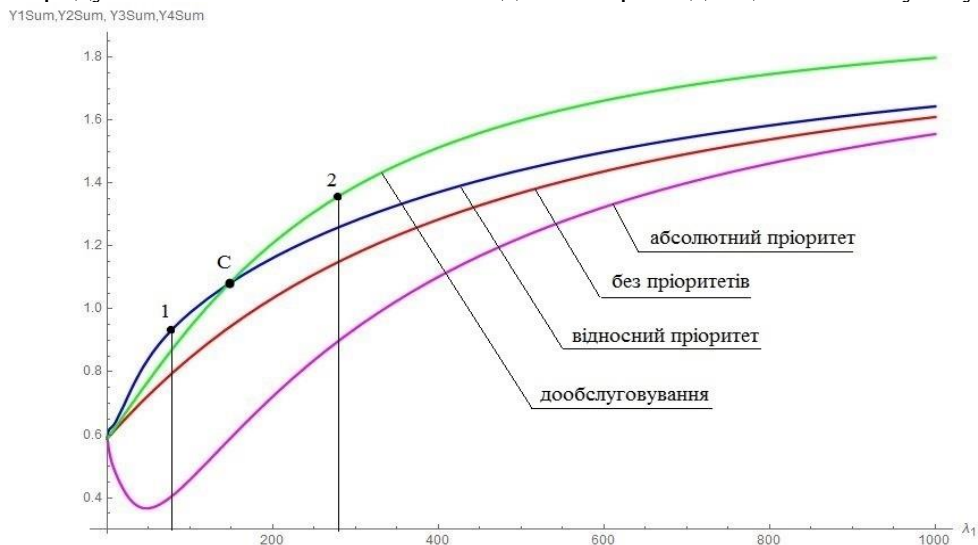


Рис.3. Сумарна продуктивність для чотирьох дисциплін обслуговування.

Отже, на основі проаналізованої математичної моделі доступу до ресурсів телекомунікаційної системи запропоновано один з можливих сценаріїв реалізації алгоритму ситуаційного пріоритету. Можна стверджувати про те, що існують точки управління зміною пріоритетів на користь обраного показника, а саме точки A та B (рис.2) та точка C (рис.3).

#### Література

1. Урывский Л.А. Обобщение процесса «размножение и гибели» на системы с «конфликтом доступа» // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку: науково-виробничий збірник. – 2009. – № 1. – С. 97-104.
2. Урывський Л. О., Гахова Г.С. Узагальнення системи масового обслуговування з пріоритетами // ІХ Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2015: Збірник матеріалів конференції. К.: НТУУ "КПІ". – 2015. – С. 475.

## **ВИКОРИСТАННЯ ДВОСКАЧКОВИХ MPR ВУЗЛІВ В ПРОТОКОЛІ OLSR БЕЗПРОВОДОВИХ AD-НОС МЕРЕЖ**

**Максимов В.В., Литвин О.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: maksimov46@ukr.net, litvinolek@gmail.com*

Many scientific papers and researches devoted to the downloading of wireless Ad-Hoc network service information that ensures their operation. OLSR protocol is based on a progressive solution, using MPR nodes reduces the impact of the problem at times. We provide improvement of this protocol with implementation of 2-hop MPR nodes and additional state in which components that were not selected as MPR can only send TC messages, but not generate them.

Багато наукових праць і досліджень присвячено проблемі завантаження безпроводових Ad-Нос мереж службовою інформацією, яка забезпечує їх функціонування. Протокол OLSR базується на прогресивному рішенні, використанні MPR вузлів, що в разі зменшує вплив даної проблеми. В роботі пропонується вдосконалення даного протоколу введенням двоскачкових MPR вузлів та додаткового стану, при якому вузли, які не були обрані як MPR можуть передавати TC повідомлення, але не генерувати їх.

OLSR в основі має механізм ширококомовної розсилки службової інформації про топологію мережі. Через обмін цими службовими пакетами, кожен вузол накопичує в собі інформацію про мережу та її топологію.

Інформація від HELLO та TC повідомлень зберігається у спеціальних, локальних сховищах, які являють собою бази даних. Ці бази постійно оновлюються після опрацювання прийнятих службових повідомлень. Основними базами є наступні [1]: набір зв'язків (Link Set) – містить стан зв'язків із сусідами, набір сусідів (Neighbor Set) – записані всі зареєстровані односкачкові сусіди), набір двоскачкових сусідів (2-hop Neighbor Set) – записані всі зареєстровані двоскачкові сусіди), набір MPR (записані всі MPR, що вибрані локальним вузлом), набір MPR селекторів (MPR Selector Set) – записані всі вузли, що обрали локального в якості MPR), інформація про топологію (Topology Information Base) – міститься інформація про стан всіх зв'язків). Також, згідно оригінального протоколу для вузла визначено кілька можливих станів: NOT\_NEIGH, SYM\_NEIGH, MPR\_NEIGH, MAX\_NEIGH.

Маршрути між вузлами будуються на основі встановлених зв'язків, які показують можливість взаємодії напряму чи передавання та переадресування через механізм MPR. Саме такі вузли відповідають за доставку TC повідомлень до всіх вузлів мережі, що дозволяє підвищити масштабованість в розподіленні інформації про топологію. В оригінальному варіанті OLSR в TC повідомленні записується інформація про порядковий номер сусіда та



його головну адресу.

Таблиця маршрутизації, яка дає можливість маршрутизувати дані, зберігається у кожному вузлі мережі і базується на основі інформації про топологію і набір локальних зв'язків. Для кожного вузла вона містить інформацію про кінцевого отримувача ( $R\_dest\_addr$ ), наступний вузол, через який відбудуватиметься передавання ( $R\_next\_addr$ ), відстань ( $R\_dist$  – кількість сачків) між передавачем і приймачем та локальний інтерфейс ( $R\_iface\_addr$ ), через який відбудуватиметься доступ.

Концепція багатоточкових ретрансляторів значно зменшує кількість дубльованих повторних передавань під час пересилки пакету широкомовного передавання, що має позитивний вплив на проблему завантаження мережі службовою інформацією.

В класичному варіанті роботи протоколу [1,2], кожен вузол обирає список MPR вузлів серед своїх односкачкових сусідів, на основі чого створюється набір MPR вузлів мережі в цілому. Для прикладу, на рис.1 зображено топологію мережі між вузлами якої, в ході обміну HELLO повідомленнями, будуть сформовані такі MPR вузли: 1, 4, 6, 7, 8, 12, 13.

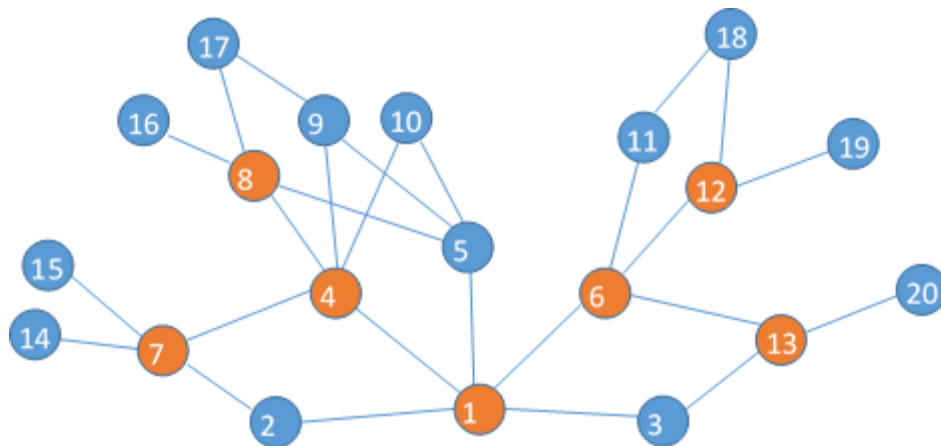


Рис.1. Запропонована топологія мережі.

В нашій роботі пропонується новий алгоритм вибору 2-скачкових MPR вузлів, а кінцевою ціллю очікується зменшення кількості службової інформації, яка передається в мережі.

Алгоритм вибору MPR вузлів.

1. Вводиться додатковий стан вузла, квазі-MPR. В якості квазі-MPR обираються вузли, які можуть передавати TC повідомлення, але при цьому не виконують функції їх генерування.

2. Кожен вузол обирає собі набір 2-скачкових MPR. При чому з цього набору в якості основного MPR обирається той вузол, який забезпечує максимальне покриття трьохскачкових сусідів. Іншим вузлам, які мають бути обрані як MPR, присвоюється статус квазі-MPR. Всі основні 2-скачкові MPR мають бути пов'язані між собою на відстані в два скачка.

3. При виникненні ситуації, коли 2-скачкові MPR не пов'язані між собою на відстані в два скачка (тобто знаходяться на відстані одного скачка), при обміні TC повідомленнями кожен з них доповнює свою інформацію прийнятою від суміжного MPR.

4. Кожен вузол, який записуватиме в собі інформацію про те, що він квазі-MPR, також буде перезаписувати її, якщо його обиратимуть як MPR (отримає TC повідомлення від суміжного MPR).

Змінений алгоритм можна сформулювати наступним чином: як MPR вибирається вузол із найбільшою готовністю серед 2-скачкових сусідів із ненульовою доступністю. У випадку, якщо таких вузлів кілька, обирається той, який забезпечує доступ до найбільшої кількості 3-скачкових сусідів. Якщо і таких вузлів кілька то вибирається той, у якого  $D(y)$  найбільше ( $D(y)$  - це степінь вузла  $y$  чи кількість симетричних сусідів вузла  $y$ , виключаючи всіх односкачкових сусідів вузла який проводить вирахування і його самого) [1].

На прикладі топології мережі на рис.1, згідно запропонованого алгоритму, буде сформовано набір 2-скачкових MPR вузлів, які генерують TC повідомлення: 1, 4, 6, 8 і наступний набір квазі-MPR вузлів: 7, 12, 13, які лише передаватимуть згенеровані TC повідомлення. Таким чином, замість повного передавання по мережі інформації про топологію від 7 вузлів, TC повідомлення будуть сформовані лише 4-ма вузлами.

Таблиця 1.

TC <sub>1</sub>	TC <sub>4</sub>	TC <sub>6</sub>	TC <sub>7</sub>	TC <sub>8</sub>	TC <sub>12</sub>	TC <sub>13</sub>
2	1	11	14	16	18	20
3	7	12	15	17	19	3
4	8	13	2	4	6	6
5	9	1	4	5		
6	10					

Таблиця 2.

TC <sub>1</sub>	TC <sub>4</sub>	TC <sub>6</sub>	TC <sub>8</sub>
7	2	4	1
8	3	5	
9	6	18	
10	14	19	
11	15	20	
12	16		
13	17		

В таблицях 1 і 2 показано приклад згенерованих TC повідомлень для роботи оригінального та запропонованого алгоритму вибору MPR вузлів.

#### Література

1. T. Clausen, Ed., P. Jacquet, Ed. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC 3626 // Project Hipercom, INRIA October 2003.
2. T. H. Clausen, G. Hansen, L. Christensen, and G. Behrmann The optimized link state routing protocol, evaluation through experiments and simulation // Proceedings of the IEEE conference on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC). — October 2001 (Електронний ресурс: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.4.3226&rep=rep1&type=pdf>).

## НАПРЯМКИ ПОБІЛЬШУВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ ЛІНІЙНИХ ТРАКТІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

**Бердников О.М., Щирий А.В.**

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: shchiriy21@gmail.com*

**The directions for increasing transmission speeds  
linear paths of a telecommunication transport system**

The telecommunication transport systems (TTS) classification and capability of wavelength division multiplexing (WDM) of the optical range for long-distance communication were conducted. The traces of increasing the linear paths transmission rate TTS were analyzed, the recommendations to improve the capacity of telecommunications transport networks and access networks were provided.

Сучасний стан мереж зв'язку та інформатизації характеризується широким упровадженням додаткових мультимедійних послуг, високим зростанням обсягу інформаційного обміну у всесвітній мережі Internet, масовим упровадженням технологій високошвидкісної передачі цифрових сигналів із комутацією пакетів.

Реалізація цих процесів вимагає різкого збільшення пропускної спроможності телекомунікаційних транспортних мереж та мереж доступу, підвищення їхньої гнучкості, забезпечення ефективної маршрутизації при передачі текстової та мовної інформації, рухомих і нерухомих зображень, інших мультимедійних послуг. Наприклад, ріст трафіка Internet у США подвоюється кожні шість місяців, тому вже зараз потрібна загальна пропускна спроможність мережі зв'язку, що перевищує терабітних значень. Тому особливий інтерес представляє середовище передачі, що повинне мати високу потенційну пропускну спроможність та дозволяти збільшувати обсяг переданої інформації без особливих витрат на модернізацію кабельно-лінійних споруд. Цим вимогам відповідають одномодові оптичні волокна (ООВ), що визначені рекомендаціями ІТУ-Т G.652, G.653, G.654, G.655, G.656, G.657

Реальна можливість підвищення ефективності використання задіяних у прокладених оптичних кабелях – це застосування технології, що називається мультиплексуванням за поділом по довжині хвилі WDM (Wavelength Division Multiplexing) або хвильове мультиплексування (ХВ). Основна мета впровадження технології ХВ – це суттєве збільшення, у сотні та тисячі разів, пропускної спроможності ООВ [1].

Якщо розділити робочий діапазон довжин хвиль ООВ на множину оптичних трактів (ОТр) і зберегти в кожному з них швидкість передачі сигналів на рівні, наприклад, 10 Гбіт/с, то загальний обсяг сигналів, одночасно переданих по волокну, збільшиться. Саме ця ідея реалізована в технології ХВ.

Суть технології ХВ полягає в тому, що в ній множина  $N$  вихідних оптичних сигналів  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  різноманітних систем передачі, що використовують метод TDM, наприклад, СП SDH, мультиплекуються в єдиний оптичний лінійний сигнал  $\lambda_{1+2+\dots+N}$ , який передається по одному ООВ лінійного тракту телекомунікаційної транспортної системи технології ХВ (ТТС ХВ). Системи ТТС ХВ по параметру розносу довжин хвиль  $\Delta\lambda$ , або по ширині смуги пропускання  $\Delta f$  утворених ОТр можна класифікувати таким чином [табл. 1]:

Табл. 1. Класифікація технологій хвильового мультиплексування за шириною смуги частот (діапазону довжини хвилі), що відведено на оптичний тракт (ОТр)

Позна-чення	Назва		Рознос за:		Діапазон	Кіль-кість ОТр	Рекомен-дації ІТУ-Т	
	англ.	укр.	довжиною хвилі $\Delta\lambda$ , нм	частотою $\Delta f$ , ГГц				
CWDM	Coarse WDM	грубе (неточне)	10	1250	C	4	G.694.2 (2002 р.)	
			20	2500	S+C+L*	8		
WDM	WDM	просте (звичайне)	1,6	200	C	20	G.692 (1998 р.)	
			3,2	400		10		
			4,0	500		8		
			8,0	1000		4		
DWDM	Dense WDM	щільне	$\approx 0,8$	100	C	32 або 40	G.692 (1998 р.)	
					C+L*	64 або 80		
HDWDM	High Dense WDM	високо-щільне	0,4	50	C	64 або 80		G.692 (1998 р.)
					C+L*	160 або 192		
					S+C+L*	273		
NWDM	Narrow-band WDM	вужьке-смугове	0,2	25	C	160		
UNWDM	Ultra Narrow-band WDM	понадвужь-космугове	0,1	12,5			G.694.1 (2002г.)	
			0,08	10				
			0,04	5				
			й менш					

Комплекси волоконно-оптичних засобів, що утворюють ТТС ХМ дозволяють по ООВ передавати десятки і сотні незалежних оптичних сигналів. Це, в свою чергу, дозволило освоїти і практично використовувати в інтересах високошвидкісного зв'язку величезний оптичний діапазон смуги пропускання прокладених ООВ [2].

Більша частина існуючих телекомунікаційних транспортних мереж (ТТМ) побудована системами ТТС ХМ на технологіях щільного і високощільного хвильового мультиплексування (*DWDM* і *HDWDM*). Телекомунікаційна транспортна мережа України, в основному, сформована ТТС ХМ *DWDM*, які працюють в смуги пропускання С-оптичного діапазону, рекомендованому ІТУ-Т для дальньої оптичного зв'язку [табл. 2]. При цьому по парі ООВ утворюється до 40 оптичних трактів, що дозволяє при передачі по кожному з них 10 або 40 гігабітних цифрових потоків отримати сумарну швидкість передачі оптичного лінійного тракту (ОЛТ) ТТС ХМ в 400 або

1600 Гбіт / с. Такі швидкості передачі поки здатні задовольнити потреби трафіку ТТМ України на найближчі роки. Для подальшого збільшення швидкості передачі по ОЛТ можливо використовувати такі підходи.

Перший передбачає організацію ОЛТ не тільки в *C*-діапазоні, а й в *L*-, а в подальшому і в *S*-діапазонах оптичного зв'язку. Такий шлях багаторазово збільшує пропускну здатність ТТМ, але веде до чималих матеріальних і технічних витрат, так як потребує перебудови ОЛТ, що складаються з великого числа проміжного обладнання.

Інший шлях полягає у використанні ТТС ХМ технології *HDWDM* (високощільне хвильове мультиплексування), а в подальшому і ТТС ХМ *NWDM* (вузькосмугове хвильове мультиплексування). Тоді, за рахунок зменшення розносу між центральними довжинами хвиль (частот) трактів також можливо значно збільшити, аж до терабітних значень, швидкість передачі ОЛТ по парі ООВ. В цьому варіанті по парі ООВ можливо утворювати від 80 до 160 ОTr, що дозволяє при передачі по кожному з них 10 або 40 гігабітних цифрових потоків отримати сумарну швидкість передачі лінійного тракту ТС ХМ в 800 (3200) або 1600 (6400) Гбіт / с. Однак, зі зростанням щільності оптичних сигналів в ООВ починають проявлятися нелінійні ефекти, наприклад, чотирьоххвильове змішування, що викликає між сигналами оптичних трактів перехідні перешкоди.

Порівняння параметрів і характеристик обладнання та аналіз засобів необхідних для реалізації узагальнених структур ТТС ХМ і їх ОЛТ дозволяє сформулювати рекомендації та умови для збільшення швидкостей передачі лінійних трактів телекомунікаційних транспортних систем та мереж.

Табл. 2. Робочі діапазони довжин хвиль ООВ за Рекомендаціями ІТУ–Т

№№ з/п	Найменування діапазонів	Позначення діапазонів	Діапазон довжин хвиль / $\Delta\lambda$ , нм	Кількість оптичних трактів	
				Технологія DWDM	Технологія HDWDM
1	Основний (Original)	О-діапазон	1260...1360 / 100	125	250
2	Розширений (Extended)	Е-діапазон	1360...1460 / 100	125	250
3	Короткохвильовий (Shortwavelength)	S-діапазон	1460...1530 / 70	87	174
4	Стандартний (Conventional)	C-діапазон	1530...1565 / 35	≈ 40	≈ 80
5	Довгохвильовий (Longwavelength)	L-діапазон	1565...1625 / 60	75	150
6	Понаддовгохвильовий (Ultra-Longwavelength)	UL-діапазон	1625...1675 / 50	62	124

#### Література

1. Хмельов К.Ф. Основы фотонного транспорта. – Киев: Техніка. 2008. – 680 с.
2. Бердников О.М., Хмельов К.П. Застосування технології *WDM* на телекомунікаційних мережах. / Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2003. – № 3. – с. 5...11.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИМИ DDoS-АТАКАМИ

Шаповалов Р.С., Гаттуров В.К.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: sharom94@gmail.com*

### **Research effective methods to combat the most common DDoS-attacks**

This article presents the main research ways of dealing with DDoS-attacks on transport networks, thus shows the reliability of these networks using these methods to combat the most common DDoS-attacks.

У разі, коли напад здійснюється відразу з декількох джерел, таку атаку називають «розподіленою» Distributed Denial of Service. Власне DDoS і є сьогодні найбільшою загрозою, оскільки єдине джерело DoS- атак всі сучасні системи безпеки вже давно навчилися виявляти і блокувати. Проблема ускладнюється тим, що організувати DDoS можна швидко і недорого [2].

Ситуація з DDoS-атаками в Україні вкрай невтішна, ми спостерігаємо зростання їх кількості з кожним роком. Це відзначають багато аналітичні компанії, фахівці в області інформаційної безпеки, а також самі замовники, котрі все частіше стикаються з тим чи іншим видом мережевих погроз. Якщо раніше ці загрози були здебільшого загальними і пізнаваними, то зараз атаки значно еволюціонували і придбали цілеспрямований, точковий характер. DDoS-атак - найбільш поширена та заснована на ідеї флуду, тобто завалювання жертви величезною кількістю пакетів. Флуд буває різним: ICMP-флуд, SYN-флуд, UDP-флуд і HTTP-флуд. Сучасні DoS-боти можуть використовувати всі ці види атак одночасно, тому слід заздалегідь подбати про адекватну захист від кожної з них.

#### *1. ICMP-флуд*

Дуже примітивний метод забивання смуги пропускання і створення навантажень на мережевий стек через монотонну послідовність запитів ICMP ECHO (пінг). Легко можна знайти за допомогою аналізу потоків трафіку в обидві сторони: під час атаки типу ICMP-флуд вони практично ідентичні. Майже безболісний спосіб абсолютного захисту заснований на відключення відповідей на запити ICMP ECHO або за допомогою брандмауера [1].

#### *2. SYN-флуд*

Один з поширених способів не тільки забити канал зв'язку, але і ввести мережевий стек операційної системи в такий стан, коли він вже не зможе приймати нові запити на підключення. Заснований на спробі ініціалізації великого числа одночасних TCP-з'єднань через послідовність SYN-пакета з неіснуючим зворотною адресою. Після декількох спроб відіслати відповідь

АСК-пакет на недоступний адрес, більшість операційних систем ставлять невстановлене з'єднання в чергу. І тільки після  $n$ -ої спроби закривають з'єднання. Так як потік АСК-пакетів дуже великий, незабаром чергу виявляється заповненою, і ядро дає відмову на спроби відкрити нове з'єднання. Найбільш розумні DoS-боти ще й аналізують систему перед початком атаки, щоб слати запити тільки на відкриті життєво важливі порти. Ідентифікувати таку атаку просто: досить спробувати підключитися до одного з сервісів. Оборонні заходи зазвичай включають в себе:

- Збільшення черги «напіввідкритих» TCP-з'єднань.
- Зменшення часу утримання «напіввідкритих» з'єднань.
- Включення механізму TCP syncookies.
- Обмеження максимального числа «напіввідкритих» з'єднань з однієї

IP до конкретного порту [2].

### 3. UDP-флуд

Типовий метод захаращення смуги пропускання. Заснований на нескінченній посилці UDP-пакетів на порти різних UDP-сервісів. Легко усувається за рахунок відрізання таких сервісів від зовнішнього світу і установки ліміту на кількість з'єднань в одиницю часу до DNS-сервера на стороні шлюзу [2].

### 4. HTTP-флуд

Один з найпоширеніших на сьогоднішній день способів флуду. Заснований на нескінченній посилці HTTP-повідомлень GET на 80-й порт з метою завантажити web-сервер настільки, щоб він виявився не в змозі обробляти всі інші запити. Часто метою флуда стає корінь web-сервера, а один з скриптів, що виконують ресурсомісткі завдання або працює з базою даних. У будь-якому випадку, індикатором почалася атаки служитиме аномально швидке зростання податків web-сервера.

Методи боротьби з HTTP-флудом включають в себе тюнінг web-сервера і бази даних з метою знизити ефект від атаки, а також відсіювання DoS-ботів за допомогою різних прийомів. По-перше, слід збільшити максимальну кількість конектів до бази даних одночасно. По-друге, встановити перед web-сервером Apache легкий і продуктивний nginx - він буде кешувати запити і віддавати статику. Це рішення зі списку «must have», яке не тільки знизить ефект DoS-атак, але і дозволить сервера витримати величезні навантаження [2].

У разі необхідності можна задіяти nginx-модуль ngx\_http\_limit\_req\_module, що обмежує кількість одночасних підключень з однієї адреси. Ресурсомісткі скрипти можна захистити від ботів за допомогою затримок, кнопок «Натисни мене», виставлення кукисов і інших прийомів, спрямованих на перевірку «людяності».

Надалі розглянемо універсальні поради, щоб не потрапити в безвихідне

становище під час обвалення DDoS-шторму на системи, необхідно ретельно підготувати їх до такої ситуації:

1. Всі сервера, що мають прямий доступ в зовнішню мережу, повинні бути підготовлені до простого і швидкого віддаленого ребуту. Великим плюсом буде наявність другого, адміністративного, мережевого інтерфейсу, через який можна отримати доступ до сервера в разі затурканості основного каналу. Перевагою буде також перенесення роботи sshd зі стандартного порту на будь-який інший [3].

2. ПО, що використовується на сервері, завжди має перебувати в актуальному стані. Всі дірки - пропатчити, поновлення встановлені (простий, як чобіт, рада, якій багато хто не йдуть). Це захистить тебе від DoS-атак, що експлуатують баги в сервісах.

3. Всі, хто слухає мережеві сервіси, призначені для адміністративного використання, повинні бути захищені брандмауером від усіх, хто не повинен мати до них доступ. Тоді атакуючий не зможе використовувати їх для проведення DoS-атаки або брутфорса [4].

4. На підходах до сервера (найближчому маршрутизаторі) повинна бути встановлена система аналізу трафіку (NetFlow в допомогу), яка дозволить своєчасно дізнатися про початок атаки і вчасно вжити заходів по її запобіганню.

*Висновки.* Масштаби і руйнівна сила атак DDoS продовжують рости, оскільки застосовуються все більш потужні і легкодоступні інструменти атаки, в мережі Інтернет багато вразливих точок, і росте «Інтернет-залежність» компаній. Оскільки збиток від таких атак збільшується, провайдери, компанії та урядові відомства повинні застосовувати відповідні заходи для захисту своїх інвестицій, доходів і послуг. Тут потрібно рішення нового типу, яке доповнило б існуючі рішення щодо забезпечення безпеки, зокрема, міжмережеві екрани і системи IDS, і могло не тільки виявляти найвитонченіші атаки DDoS, а й блокувати все більш витончений і важко вловимий трафік атак без шкоди для благонадійних транзакцій. При такому підході потрібно більш досконала, ніж в існуючих на сьогоднішній день рішеннях, перевірка і аналіз трафіку атаки, що підтверджують результати дослідження.

### Література

1. David Dittrich, The "Tribe Flood Network" distributed denial of service attack tool, October 21, 1999.
2. Скудис Э. Противостояние хакерам. М.: ДМК Пресс, 2003. — 506 с. —с. 349-370.
3. Журнал Хакер. DDoS с умножением через DNS-резолверы: технические подробности.
4. Стивен Норткат, Джуди Новак. Обнаружение нарушений безопасности в сетях. Третье издание. Перевод с английского: Издательский дом «Вильямс», 2003 – 448 стр.



## СЛУЖБИ БЕЗПЕКИ SDN

**Сікач Т.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: Nainek95@gmail.com*

### **Software-Defined Networking Security Services**

We will discuss the limitations of existing systems and presents a possible SDN-based system to assert network resources by controlling unsafe and doubtful network traffic. We consider the main vulnerabilities of Software Defined Networks such as limitation inheritance and do some research of ways of solution those problems.

Програмно-конфігурована мережа ( SDN ) – це набір методів, що дозволяє користувачам напряму програмувати, організувати, контролювати та керувати мережевими ресурсами за допомогою програмного забезпечення ( SDN аплікації). Вона переводить управління мережевими ресурсами на окремий мережевий елемент, а саме SDN контролер.

Контролер SDN використовує інтерфейс і керує розподілом мережевих ресурсів логічно-централізованим чином. Він також керує і налаштовує розподіленими мережевими ресурсами і надає абстрактні представлення мережевих ресурсів для аплікацій SDN. Аплікація SDN може налаштувати і автоматизувати операції абстрактних мережевих ресурсів в програмному режимі через інтерфейс.

Перейдемо до загроз безпеки, через зростання складності мережевих атак, з наслідуванням служб безпеки стає складно справлятися в автономному режимі.

SDN був введений, щоб зробити мережі більш контрольованими. І ця технологія повинна автономно справлятися з такими мережевими атаками у вигляді підказок, або у режимі запит-відповідь. Цілі та вимоги для підтримки захисту мережевих ресурсів забезпечуються через SDN сервіси безпеки використовуючи загальний інтерфейс для функцій мережевої безпеки.

В якості вирішення цих проблем, пропонується два варіанти використання служб безпеки, таких як централізована брандмауер система і централізована система попередження та зменшення наслідків після атак на відмову (DDoS).

Для централізованої системи брандмауера виникають обмеження з наслідуванням в брандмауерах з точки зору гнучкості та витрат на

адміністрування. Оскільки в більшості випадків керування доступом в брандмауері виконується вручну, складно додати правила управління доступу, відповідно до нових мережових атак швидко та автономно. Таким чином, ця ситуація вимагає великих витрати на адміністрування.

Для системи попередження та зменшення наслідків після атак на відмову, виникають такі ж самі обмеження щодо успадкування з точки зору гнучкості та витрат на адміністрування. Так як в багатьох випадках, конфігурація мережі для попередження і зменшення наслідків виконується вручну, виникає складність в динамічній конфігурації мережових пристроїв для обмеження і контролю підозрілого мережового трафіку для атак на відмову.

На рис.1 показана структура для служб безпеки SDN. Як показано на рисунку, аплікації для служб безпеки ( брандмауер та система боротьби з атаками на відмову ) виконується поверх SDN контролеру. Коли адміністратор нав'язує політики безпеки для служб безпеки через інтерфейс аплікації, SDN контролер генерує відповідну політику доступу ( або конфігурацію мережі ) для задоволення політики безпеки в автономному режимі та режимі запит-відповідь. Згідно згенерованих правил політики контролю, мережеві ресурси, такі як комутатори, вживають заходи щодо пом'якшення мережових атак, наприклад скидання пакетів з підозрілими шаблонами.

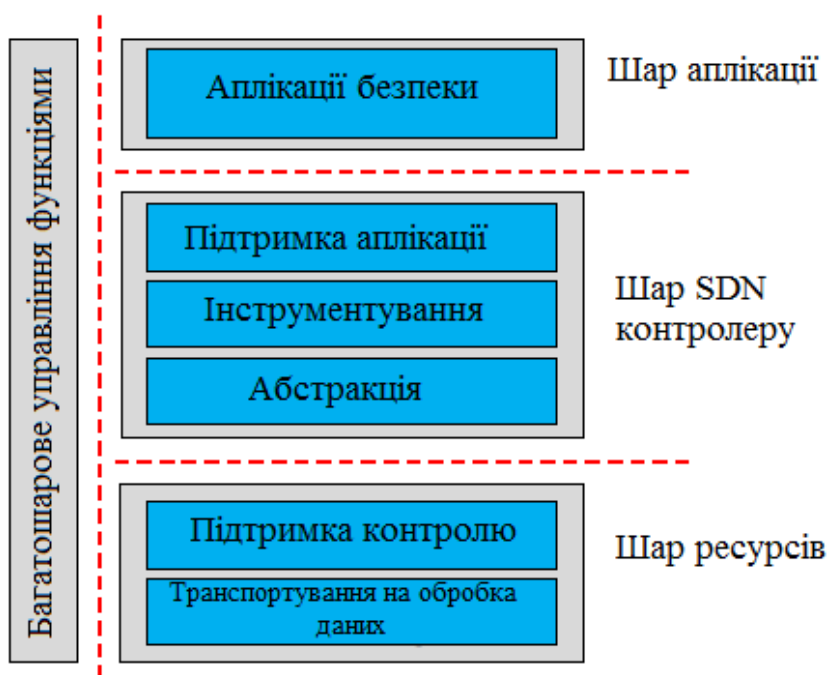


Рис. 1. Високорівнева архітектура для служб безпеки SDN.

Питання дослідження: Для запобігання несанкціонованого управління комутаторами, безпечний і справжній, автентичний канал між SDN контролером і комутаторами повинні бути встановлені перемикачі. Тобто нам потрібно розглянути управління ключами для забезпечення безпечного зв'язку між ними.

Централізований сервер ( SDN контролер ) буде страждати від єдиної точки відмови або компромісу. Без захисту контролеру SDN, неможливо розгорнути служби безпеки на основі SDN.

Для підтримки служб безпеки SDN, нам необхідно розглянути зміни в існуючих комутаторах і протоколах SDN.

Теоретично SDN здається розумною архітектурою для забезпечення централізованих служб безпеки. Однак, коли ми розглядаємо множини комутаторів і хостів, зв'язок між контролером SDN і комутаторами є потенційно слабкою ланкою, тому проблема масштабованості є актуальною.

Підтримка служби безпеки в тенденціях автономності та масштабованості, комутатори повинні інтелектуальними щоб здійснювати рішення відносно безпеки щодо атак. Отже це важливе питання на скільки інтелектуальними є комутатори з точки зору продуктивності та автономності.

Ефективні інтерфейси для функцій безпеки мережі, повинні бути реалізовані на базі NETCONF/YANG в середовищі віртуалізації мережі, таких як SDN комутатори можуть бути швидко сконфігурованими відповідно до вимог служб безпеки. Це можливо завдяки ефективній взаємодії між контролером безпеки і контролером SDN.

### **Література**

1. Recommendation ITU-T Y.3300, "Framework of Software-Defined Networking," ITU-T, Jun. 2014.
2. J. Jeong, H. Kim, and J. Park, "Requirements for Security Services based on Software-Defined Networking," IETF draft-jeong-i2nsf-sdnsecurity-services-02, Jul. 2015.
3. R. Enns, M. Bjorklund, J. Schoenwaelder, and A. Bierman, "Network Configuration Protocol (NETCONF)," IETF RFC 6241, Jun. 2011.
4. Open Networking Foundation, "SDN Architecture," ONF, Jun. 2014.
5. H. Kim and N. Feamster, "Improving Network Management with Software Defined Networking," IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 2, pp. 114–119, Feb. 2013.

## **Секція 2. Технології транспортних телекомунікаційних систем та мережні технології**

УДК 261.396

### **МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ В МЕРЕЖІ В УМОВАХ ВИСОКОЇ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ QoS**

**Бабійчук Т.В., Правило В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: tarasbabiiichuk@gmail.com*

#### **Traffic Engineering methods in conditions of high dynamics changes in QoS indicators**

In this article, we review the problem of improving the efficiency of traffic engineering in a packet multiservice network in conditions of high dynamics changes in the QoS of network routes.

Сучасні мультисервісні мережі операторів зв'язку використовуються для надання повного набору мультимедійних послуг, включаючи доступ в Інтернет, голосову і відеотелефонію, P2P-обмін даними, оперативне управління промисловими об'єктами та ін. [1]. При цьому оператори зв'язку майже повністю відмовилися від різномірних технологій передачі даних, орієнтованих в основному на якісну доставку певного виду трафіку, на користь побудови єдиної для всіх сервісів транспортної мережі на базі стека технологій Ethernet/MPLS/IP. З цієї причини сучасні транспортні мережі характеризуються неоднорідністю трафіку, який вони переносять, а, отже, до них пред'являються високі вимоги щодо забезпечення якості обслуговування (QoS).

Одним із способів підвищення рівня якості обслуговування трафіку є вибір найбільш раціонального шляху його проходження через мережу. Існуючі протоколи маршрутизації класу IRP, такі як RIP, OSPF, IGRP/EIGRP і IS-IS, при оцінці маршрутів не враховують такі QoS-параметри як затримка, ймовірність втрати пакетів і надійність, а спираються лише на пропускну здатність каналів і/або кількість проміжних маршрутизаторів. Це призводить до нераціонального вибору маршрутів (протяжних, перевантажених або ненадійних) і, як наслідок, появи високих затримок доставки пакетів і навіть їх втрат.

Таким чином, очевидно, що актуальним на сьогоднішній день є завдання розробки протоколу маршрутизації, що орієнтується при виборі маршруту на його QoS-характеристики.

Існують дві концепції функціонування таких протоколів маршрутизації. Перша – концепція QoS-маршрутизації, згідно з якою для всіх прибуваючих на граничний вузол мережі потоків повинні бути визначені необхідні їм значення QoS-характеристик, виконаний пошук по маршруту, що задовольняє цим вимогам, і якщо такий маршрут знайдений – потік буде спрямований по ньому, в іншому випадку відбудеться відмова в обслуговуванні [2]. Іншою концепцією є QoS-орієнтована «best effort» маршрутизація, що відрізняється від існуючих протоколів маршрутизації з точки зору вирішення завдання вибору маршруту

ти, що «найкращий» маршрут визначається на підставі деякої інтегральної метрики, при розрахунку якої враховуються його QoS-характеристики. Незважаючи на те, що дана концепція, на відміну від першої, що не передбачає наявності гарантій щодо забезпечення необхідної якості обслуговування, вона має на увазі пошук маршруту за поліноміальний час, а отже є значно перспективнішою з точки зору можливості її практичного застосування [3].

Розробка QoS-орієнтованого протоколу маршрутизації може бути зведена до вирішення питань, пов'язаних з функціонуванням його окремих компонентів, таких як підсистеми збору і поширення інформації про характеристики каналів мережі, управління потоками трафіку в умовах високої динаміки маршрутних метрик, розрахунку показника переваги маршрутів.

Робота QoS-орієнтованого протоколу маршрутизації трафіку в пакетній мережі повинна ґрунтуватися на показниках якості обслуговування мережевих маршрутів, таких як «затримка» і «вірогідність втрати» пакетів, а пошук «найкращих» маршрутів – на інтегральній метриці, що є функцією даних змінних.

На рис. 1 показаний приклад мережі, щодо якої вводяться наступні припущення:

- В мережі проводиться періодична переоцінка метрик маршрутів на підставі даних про їх динамічних QoS-характеристиках.

- Трафік рухається з мережі «А» в мережу «В» через мережу «С».

- В мережі «С» існує два альтернативних маршруту (P1 і P2) для доставки даного трафіку, метрики яких позначені на малюнку як M1 і M2, відповідно.

- Збільшення інтенсивності трафіку, що надходить на деякий вихідний інтерфейс комутаційного пристрою, робить деякий негативний вплив на QoS-характеристики асоційованого з даним інтерфейсом каналу, і відповідно всього мережевого маршруту в цілому.

- В деякий момент часу  $t_0$  метрика  $M1 < M2$ , і, отже, відповідно до моделі роботи всіх існуючих протоколів маршрутизації, маршрут P1 заноситься в таблицю маршрутизації і всі потоки трафіку з мережі «А» в мережу «В» йдуть за маршрутом P1.

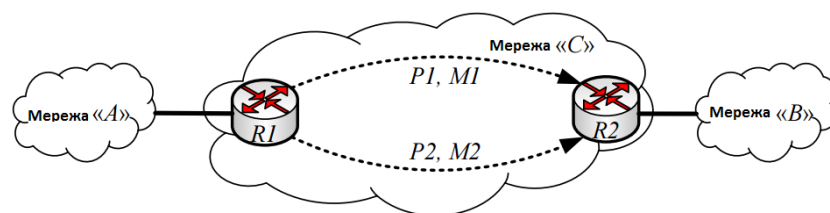


Рис. 1. Приклад мережі.

Оскільки з ростом навантаження, що надходить в мережу, погіршуються QoS-характеристики, то в деякий момент часу  $t_1$  значення метрики M1, в результаті чергової переоцінки, може перевищити значення метрики M2. У підсумку всі потоки трафіку будуть перенаправлені по маршруту P2, а маршрут P1 буде повністю розвантажений (не рахуючи службового трафіку різних протоколів). Результатом наступної переоцінки, ймовірно, буде повернення

трафіку на маршрут P1, і так далі. Дане явище називається осциляцією маршрутів. Очевидно, що такі постійні перемикання трафіку з одного маршруту на інший не тільки не дозволять підвищити рівень якості обслуговування, що надається мережею «С», але і будуть сприяти його зниженню (спотворення послідовності доставки пакетів і збільшення величини «джитеру»).

Уявімо набір альтернативних маршрутів, як набір обслуговуючих пристроїв, потоки трафіку – як заявки, що вимагають обслуговування, а маршрутизатор – як пристрій, який приймає весь потік вхідних заявок, визначає для кожної з них пристрій, яким вона буде обслуговуватися, і перенаправляє їх обраному обслуговуючому пристрою. У такій інтерпретації завдання управління потоками трафіку зводиться до задачі ефективної балансування навантаження. Балансування навантаження передбачає закріплення заявки за обраним обслуговуючим пристроєм до закінчення її обслуговування, що виключає небажані «перемикання» вже обслуговуються заявок з одного пристрою на інше [4].

Одним з найбільш відомих методів балансування навантаження є методи «екстрених виходів». Вони мають важливу особливість, що вигідно відрізняє їх від останніх. Ця особливість полягає в тому, що такі методи не передбачають необхідність в високочастотному оновленні інформації про стані мережі і таблиць маршрутизації. Замість цього, кожен маршрутизатор стежить за станом своїх вихідних інтерфейсів, і якщо він виявляє виникнення перевантаження на одному з них, то вживає заходів з тимчасового перенаправлення трафіку в обхід даного інтерфейсу, до моменту зникнення перевантаження. При цьому не відбувається розсилка нової інформації про стан каналів на всі пристрої мережі. Короткочасні перевантаження будуть «згладжуватися» непомітно для всієї мережі в цілому. Оновлення маршрутної інформації передбачається тільки за певних стійких змінах характеристик каналів мережі, що впливають на значення їх метрик [5].

Методи «екстрених виходів» не вирішують проблему осциляцій найкоротших маршрутів повністю. Однак вони здатні в значній мірі знизити негативний ефект осциляцій. По-перше, «згладжування» короткочасних заторів буде сприяти зменшенню коливань метрик каналів, і, отже, частоти, з якою в мережі буде відбуватися оновлення маршрутної інформації.

### Література

1. Филимонов А.Ю. Построение мультисервисных сетей Ethernet. -СПб.:Бхв-Петербург, 2007. - 592 с.
2. Кучерявый Е.А. Управления трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. - СПб.: Наука и Техника, 2004. - 336 с.
3. Брайан Хилл. Полный справочник по Cisco. - Москва: Издательский дом «Вильямс», 2009. - 1 088 с.
4. Payal Beniwal, Atug Garg. A comparative study of static and dynamic load balancing algorithms // International journal of advanced research of computer science and management studies. – 2014. – Volume: 2. – Issue: 12. – 386–392 pp.
5. A. Atlas, A. Zinin. Basic specification for IP Fast Reroute: Loop-free alternates [Elektronnyy resurs] // RFC 5286. – 2008. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc5286>.

**ІР-ІНФРАСТРУКТУРА ЯК ЗАСІБ  
ПОБУДОВИ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ ОПЕРАТОРІВ  
МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

**Харлай Л.О.**

*Державний заклад «Київський коледж зв'язку»*

*E-mail: Lharlay@i.ua*

**IP-infrastructure as a means of building  
transport networks of mobile operators**

The transition from traditional heterogeneous structure of the transport network to unified IP-infrastructure operator brings several advantages.

Інфраструктура практично будь-якого стільникового оператора, на жаль, може виявитися недосконалою. Це, звичайно, не означає, що вона невірно побудована і навіть не говорить про помилки при її модернізації та розвитку. Але час біжить невідомо, і нові типи клієнтських пристроїв, а також збільшення загального трафіку і кількості сервісів вимагають іншого підходу до створення транспортної мережі, для того щоб зробити передачу різноманітних даних більш ефективною.

Якщо аналізувати транспортну систему, слід враховувати що багато каналів не є власністю операторів і саме тому, вони прагнуть якомога більше завантажити орендований канал. В даному випадку збільшується ризик зниження якості послуг, що є не дуже гарним для клієнта. В даному випадку необхідно стримувати баланс між питаннями якості та вартості каналів.

Від якості транспортної телекомунікаційної мережі повністю залежить якість послуг, що надаються. Саме тому при виборі технології та і побудови інфраструктури, оператори особливо ретельні, уважні і прискіпливі. Наприклад, якщо системи UMTS Release 99 орієнтовані на транспорт, заснований на технології ATM, то наступні розробки UMTS Revision 5/6 - на IP-рішення з використанням мереж Ethernet і технології MPLS. Тому обладнання транспортних телекомунікаційних мереж має забезпечувати ефективну передачу всіх типів трафіку - TDM, ATM, IP (рис. 1).

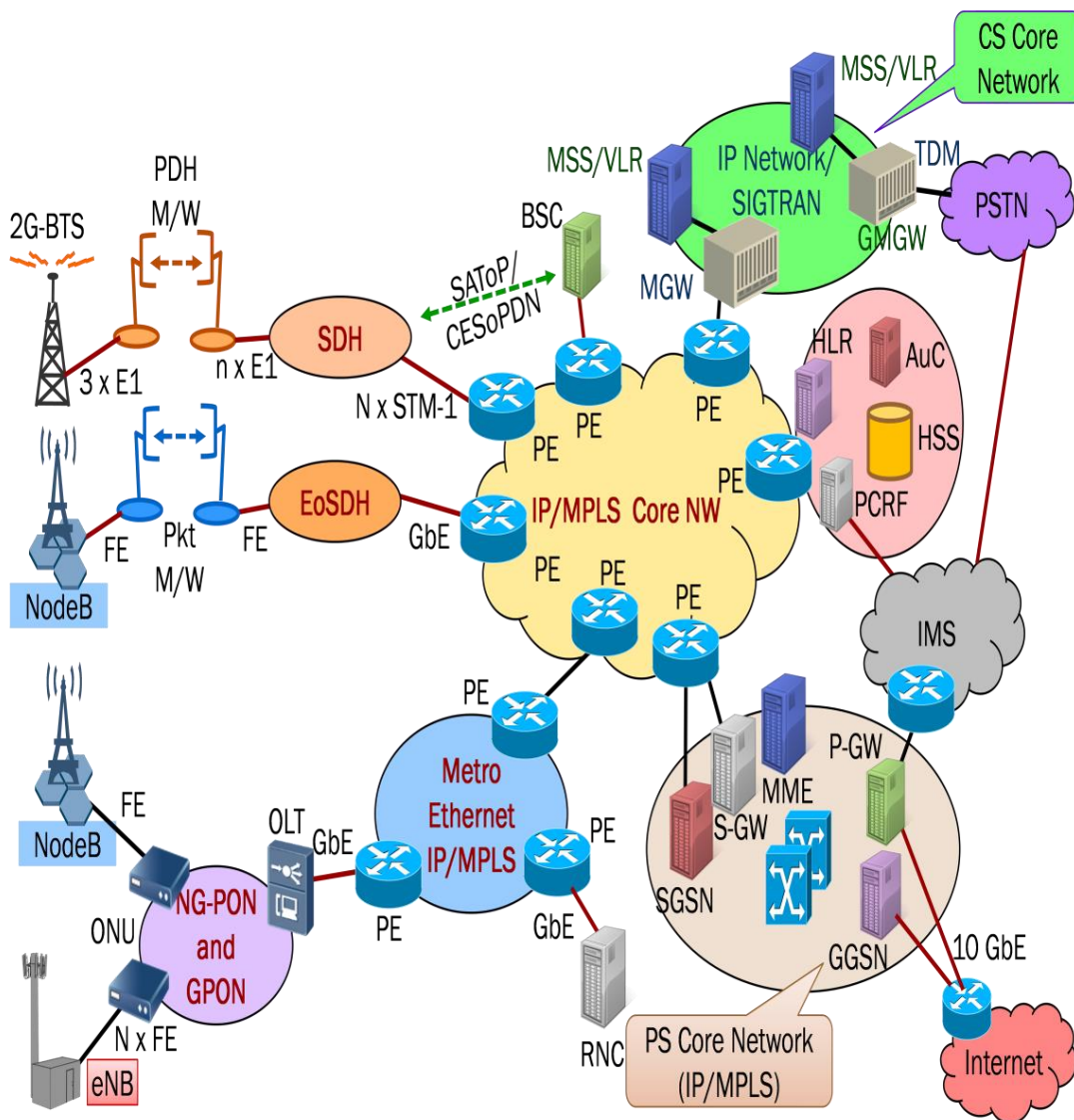


Рис.1. Принцип побудови транспортної системи оператора мобільного зв'язку

З переходом до технології наступного покоління, смуга пропускання прямого і зворотного каналів передачі трафіку значно збільшується.

Очевидні й зміни структури переданого трафіку. Треба врахувати той фактор, що мережі, в яких переважає голосовий трафік на сьогодні нівелюється, при цьому роль послуг передачі даних в сучасних мережах зростає, і істотно збільшиться їх внесок у загальний обсяг трафіку. У певний момент IP-трафік стане переважаючим, особливо з урахуванням загальної міграції голосу від каналної до пакетної комутації.

Миттєва відмова від традиційних технологій і перехід до IP - мережі неможливі, а тому транспортне середовище оператора мобільного зв'язку повинне забезпечувати поступову міграцію. Можливість передачі трафіку за традиційними протоколами (TDM, ATM і FR) через IP-мережу за допомогою



технології PWE3 (Pseudo Wire Emulation End-to-End) робить IP-середу універсальною з точки зору підтримки послуг другого і третього покоління.

У загальному випадку в транспортній мережі мобільного оператора можна виділити два основні сегменти: магістральну транспортну мережу та мережу радіодоступу (RAN). Принципи побудови магістральної мережі мобільного оператора мають свої особливості, але в цілому збігаються з принципами побудови інших магістральних мереж.

Як уже зазначалося, нові послуги вимагають розширення смуги пропускання. Якщо раніше ємності виділеного каналу 2 Мбіт / с (E1) було досить для передачі трафіку від базової станції до контролера, то БС 3G вимагають вже чотирьох каналів E1. У найближчому майбутньому базовим станціям знадобиться смуга пропускання 14,4 Мбіт / с, і це - не межа. Для підключення однієї БС потрібно цілий «пучок» каналів E1, що незручно і має ряд обмежень.

Використання IP, як транспортного середовища, дозволяє без труднощів отримати смугу пропускання 100 або 1 тис. Мбіт / с, що багаторазово перевищує ємність каналів E1.

Перехід від традиційної різнорідної структури транспортної мережі до уніфікованої IP-інфраструктури приносить оператору кілька переваг. По-перше, це можливість планомірного розвитку мережі без модернізації обладнання, по-друге, збільшення пропускнуєї спроможності транспортного сегмента за рахунок звільнення порожніх службових та інших додаткових тайм-слотів і, по-третє, мультиплексування різних типів даних для передачі по одній IP-мережі, що важливо в умовах стрімкого збільшення популярності мультимедійних послуг в мережах стільникових операторів третього покоління.

І якщо правильно реалізувати перехід від однієї технології до іншої, оператор як зберігає інвестиції в придбане раніше обладнання, так і отримує можливість розширення мережі, підтримуючи належний рівень QoS. А це в свою чергу має на увазі безболісне підключення нових абонентів і розширення кількості сервісів, що вимагають високошвидкісної передачі даних.

### Література

1. Тихвинский В.О., Володина Е.Е. Подвижная связь третьего поколения «Радио и связь», Москва, 2008 г.
2. Наумов В. А., Самуйлов К. Е., Яркіна Н. В. Теория телетрафика мультисервисных сетей. «Радио и связь», Москва, 2007 г.
3. Vijay K. Garg, Joseph E. Wilkes Principles & Applications of GSM. Prentice-Hall Inc.1999.

## ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТРИК РЕДІСТРИБ'ЮЦІЇ БАГАТОПРОТОКОЛЬНИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

**Тичинський В.Я., Голь В.Д.**

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: inspirer000@gmail.com*

### **Optimization metrics redistribution metrics for multiprotocol data networks**

Comparative analysis of various routing protocols for correct configuration metrics by using redistribute in the central router was made. Algorithms of basic commands and configuration of metrics with different routing protocols presented in the work.

На даний час існують різні протоколи маршрутизації, а саме RIP, OSPF, EIGRP та BGP, які мають різне налаштування та різний алгоритм формування метрик центрального маршрутизатора, який з'єднує автономні системи (АС) між собою. А отже, потрібне оптимальне налаштування метрики центрального маршрутизатору для коректного сприйняття маршрутизатора взаємодіючих АС при створенні таблиць маршрутизації.

Завдання маршрутизації полягає у виборі маршруту для передачі від відправника до одержувача. Вона має сенс в мережах, де не тільки необхідний, але і можливий вибір оптимального або прийнятного маршруту. Йдеться перш за все про мережі з довільною топологією, в яких реалізується комутація пакетів. Однак в сучасних локальних мережах (LAN) зі змішаною топологією вирішується завдання вибору маршруту для передачі кадрів, для чого використовуються відповідні засоби, наприклад, маршрутизатори.

Основні цілі маршрутизації полягають в забезпеченні:

- мінімальної затримки пакета при його передачі від відправника до одержувача;
- максимального захисту пакета від загроз безпеки, що містить в ньому інформацію;
- надійності доставки пакета адресату;
- мінімальної вартості передачі пакета адресату.

Метою даної роботи є забезпечення раціонального формування значень метрик маршрутів при виконанні їх редістриб'юції між АС в багатопротокольних мереж передачі даних.

У роботи були поставлені такі завдання:

1. За допомогою емулятору Cisco packet tracer створити 2 автономні системи з різними протоколами маршрутизації;
2. За командою redistribute, провести налаштування центрального маршрутизатору, який з'єднує дві автономні системи між собою;
3. Здійснити аналіз формування метрик у різних АС.
4. Виведення коефіцієнту оптимальних параметрів протоколів

маршрутизації.

Для досягнення цих завдань треба враховувати такі параметри (характеристики) протоколів:

1. Пропускна здатність (ширина смуги);
2. Затримка;
3. Надійність;
4. Ефективна пропускна здатність (завантаження);
5. MTU.

На даний час існує проблема у коректному виборі метрик при налаштуванні центрального маршрутизатора, який з'єднує декілька автономних систем з налаштуванням різних протоколів маршрутизації.

#### **Існують такі типи протоколів маршрутизації:**

Протоколи які працюють всередині мережі (корпоративних, мереж провайдера): IGP, RIP, OSPF, BGP та ін. Найпоширенішими серед них є протоколи RIP та OSPF.

**RIP** (Routing Information Protocol) – протокол маршрутизації для невеликих комп'ютерних мереж, дозволяє маршрутизаторам динамічно оновлювати маршрутну інформацію (напрямок и дальність в хопах), отримуючи її від сусідніх маршрутизаторів. Перевага цього протоколу – простота конфігурування, отже його підтримують практично всі маршрутизатори початкового рівня. Водночас протокол має низьку недоліків:

- RIP не працює з адресами підмереж;
- RIP вимагає багато часу для відновлення зв'язку після збою в маршрутизаторі (хвилини). До того ж в процесі встановлення режиму можливі цикли;
- RIP використовує лише єдиний параметр маршруту – число кроків;
- RIP обмежує розмір мереж досяжними виключно за 15 кроків.

**OSPF** (Open Shortest Path First) є протоколом маршрутизації з об'явленням стану про канал (link-state). Отже він відправляє об'явлення про стан каналу (link-state advertisement – LSA) у всі маршрутизатори, які знаходяться в межах однієї і тої ж ієрархічної області. У стандарті OSPF були представлені нові концепції, такі як аутентифікація оновлень маршрутизації, маски підмережі змінної довжини (VLSM), підсумовування маршрутів і т.п. Протокол OSPF має кілька суттєвих переваг.

Проте протокол не надає простих механізмів для отримання інформації про переваги каналів для вузлів, що підтримують інші протоколи маршрутизації, або зі статичної маршрутизацією. До того ж протокол OSPF є лише внутрішнім протоколом.

Для об'єднання мереж з різними протоколами внутрішньої маршрутизації як правило використовується протокол BGP.

**BGP** (Border Gateway Protocol) – призначений для обміну інформацією про маршрути для мереж між автономними системами (АС, англ. AS – autonomous system), тобто групами маршрутизаторів під єдиним технічним і адміністративним управлінням, що використовують протокол всередині

доменної маршрутизації для визначення маршрутів всередині себе і протокол всередині доменної маршрутизації для визначення маршрутів доставки пакетів в інші АС. Передана інформація включає в себе список АС, до яких є доступ через дану систему. Вибір найкращих маршрутів здійснює виходячи з правил, прийнятих в мережі.

Коли BGP працює між маршрутизаторами в різних автономних системах, він називається зовнішнім BGP (EBGP). Коли BGP працює між маршрутизаторами всередині однієї автономної системи, він називається внутрішнім BGP (IBGP). BGP визначає шлях для пакетів між автономними системами. Важливо розуміти, як працює BGP для уникнення створення проблем для автономної системи в результаті роботи BGP.

Для реалізації запропонованих засобів використовують такі команди:

### **Router eigrp 10**

Команда виклику протоколу маршрутизації EIGRP.

### **Redistribute rip metric 429496 1 255 255 60000**

Команда редистриб'юції протоколу rip з параметрами: пропускна здатність – 429426 кбіт/с, величина затримки 1, надійність від 0 – 255 , ефективна пропускна здатність (завантаження) від 0 – 255, максимальний розмір навантаження в кадрі.

### **Redistribute ospf 20 metric 429496 0 255 255 60000**

Команда редистриб'юції протоколу ospf зі своїми параметрами

### **Router rip**

Команда виклику протоколу маршрутизації rip

### **Redistribute eigrp 10 metric 10**

Команда редистриб'юції eigrp з метрикою 10

### **Redistribute ospf 20 metric 14**

Команда редистриб'юції ospf з метрикою 14

У приведених командах існує можливість змінювати певні параметри та добиватися більш коректних значень метрик маршрутів, що охоплюють автономні системи з різними протоколами маршрутизації.

Запропоновані в доповіді рекомендації розроблені для більш швидкого та коректного налаштування адміністратором центрального маршрутизатору за допомогою команди Redistribute та забезпечення раціонального формування значень метрик маршрутів при виконанні їх редистриб'юції між АС в багатопрокольних мережах передачі даних.

## **Література**

1. [http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92033\\_bgp-toc.html](http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92033_bgp-toc.html).
2. [http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92027\\_1.html](http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92027_1.html).
3. Підручник Cisco CCNA, ICND2 200-101 Маршрутизція і комутація.
4. Програма сетевой академии CISCOCCNA 1 и 2. М.: Вильямс, 2006. 1168 с.
5. Програма сетевой академии CISCOCCNA 3 и 4. – М.: Вильямс, 2008. – 876 с.

## МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ФРАГМЕНТОВ В ПИРИНГОВЫХ СЕТЯХ

Поповская Е.О., Москалец Н.В.

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина*

*E-mail: moskalets1@yandex.ua*

### CONTROL METHODS OF FRAGMENTS IN PEER-TO-PEER NETWORKS

A mathematical model for control of fragments flow using the criterion of a minimum of the total loss of time for servicing N-fragments of information sequence is proposed for the rapidly progressing information transmission technology in the peer-to-peer network. A solution leading to the procedure of dynamic programming is obtained.

Для быстро прогрессирующей технологии передачи информации в пиринговой сети предложена математическая модель управления потоком фрагментов с использованием критерия минимума суммарной потери времени на обслуживание N-фрагментов информационной последовательности. Получено решение приводящее к процедуре динамического программирования.

В силу спецификации пиринговую сеть можно считать однородной, а экспоненциальный характер функции распределения вероятностей допускает использование для ее исследований методов теории массового обслуживания. Для сетей этого типа характерна мультипликативная форма стационарных вероятностей, что позволяет достаточно просто находить условия глобального и локального балансов, что составляет основу для исследования и проектирования сети. Вместе с тем, для модели потока фрагментов при скачивании соответствующего файла методы теории массового обслуживания не подходят, поскольку в данном случае имеет место случайный управляемый поток обслуживания, а не чисто случайный. В нашей задаче необходимо найти оптимальный план (управление) поступления фрагментов от различных пиров, предписывающий каждому  $i$ -му фрагменту время поступления на обслуживание:  $U = \varphi_{nn}(t_1, t_2, \dots, t_n)$ .

В процессе обслуживания необходимо учесть следующую специфику [1,2]: а) случайное время поступления  $i$ -го фрагмента на обслуживание  $t_i^0(\varphi_i)$ , отличающееся от некоего планируемого  $t_i^{nn}$ ; б) случайное время обслуживания  $i$ -го фрагмента  $\theta_i(\varphi_i)$ . В результате различных случайных факторов и управляющих воздействий возможны две причины потерь времени, приводящих к соответствующим задержкам: 1) потери, связанные с тем, что  $i$ -й фрагмент поступил раньше, чем завершилось считывание  $i$ -го фрагмента;  $\delta_i^0(\varphi_i, U)$ ; 2) потери при задержке поступления  $i$ -го фрагмента, если считыватель простаивает  $\delta_i^{II}(\varphi_i, U)$ .

Суммарные потери времени при обслуживании  $n$ -фрагментов составит:

$$\Phi(U) = \sum_{i=1}^n (m\{\delta_i^0(\varphi_i, U)\} + cm\{\delta_i^{\text{II}}(\varphi_i, U)\}) \quad (1)$$

где  $c$  - коэффициент, учитывающий стоимость потерь;  
 $m\{\cdot\}$  - знак математического ожидания.

Задача оптимального планирования процесса считывания файла состоит в минимизации функционала  $\Phi(U)$ .

Рассмотрим  $k$ -й шаг процесса. Обслуживание  $k-1$  фрагмента завершается в случайный момент  $t_{k-1}$ , функция распределения вероятностей которого

$$F_{k-1}(t) = P\{t_{k-1} < t\}.$$

Фрагмент  $k$  поступает в случайный момент  $t_k^0$ , функция распределения которого:

$$F_k^0(t) = P\{t_k^0 < t\}.$$

При этом среднее:

$$\int_{-\infty}^{\infty} t dF_k^0(t) = t_k^{nn}.$$

Обслуживание  $k$ -го фрагмента начинается в случайный момент времени:

$$t_k^H = \max(t_{k-1}, t_k^0)$$

с функцией распределения:

$$F_k^H(t) = P\{t_k^H < t\} = P\{t_{k-1} < t, t_k^0 < t\}.$$

Значения случайных величин  $t_{k-1}$  и  $t_k^0$  порождаются различными процессами связанными соответственно с выбором  $k-1$  пира и процессом считывания, что позволяет считать их независимыми, поэтому:

$$F_k^H(t) = F_{k-1}(t)F_k^0(t). \quad (2)$$

Время обслуживания  $k$ -го фрагмента  $\theta_k$  является случайной величиной, заданной функцией распределения

$$\Phi_k(t) = P\{\theta_k < t\},$$

причем  $\theta_k$  не зависит от времени канала обслуживания.

Время конца обслуживания  $k$ -го фрагмента  $t_k$  является композицией двух независимых величин:

$$t_k = t_k^H + \theta_k$$

С функцией распределения, определяемой интегралом свертки:

$$F_k(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F_k^H(t-\tau) d\Phi_k(\tau). \quad (3)$$

При известном распределении  $F_{k-1}(t)$  можно определить потери времени для фрагмента  $\delta_k^0$  и для считывателя  $\delta_k^{\text{II}}$  на  $k$ -м шаге управления:

$$\delta_k^0 = \begin{cases} 0 & \text{при } t_k^0 \geq t_{k-1}, \\ t_{k-1} - t_k^0 & \text{при } t_k^0 < t_{k-1}; \end{cases} \quad m\{\delta_k^0\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_t^{\infty} (\tau - t) dF_{k-1}(\tau) dF_k^0(t);$$

$$\delta_k^{\text{II}} = \begin{cases} 0, & t_k^0 \leq t_{k-1}, \\ t_{k-1}^0 - t_k, t_k > t_{k-1}; \end{cases} \quad m\{\delta_k^{\text{II}}\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^e (t - \tau) dF_{k-1}(\tau) dF_k^0(t).$$

Суммарные потери времени на  $k$ -м шаге зависит от выбора управления на  $k$ -м шаге от функции распределения  $F_{k-1}(t)$ :

$$f_k(t_k, F_{k-1}(t)) = m\{\delta_k^0\} + cm\{\delta_k^H\} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_t^{\infty} (\tau-t) dF_{k-1}(\tau) + c \int_{-\infty}^t (t-\tau) dF_{k-1}(\tau) \right] dF_k^0(t) = \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ m\{t_{k-1}\} - t + c \int_{-\infty}^t (t-\tau) dF_{k-1}(\tau) \right] dF_k^0(t),$$

Функция  $F_{k-1}(t)$  в силу монотонности интегрируема для непрерывного и дискретного распределений следовательно:  $\int_{-\infty}^t (\tau-t) dF_{k-1}(\tau) = \int_{-\infty}^t F_{k-1}(\tau) d\tau$ .

В результате получаем:

$$f_k(t_k, F_{k-1}(t)) = m\{t_{k-1}\} - t_k + c \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^t F_{k-1}(\tau) d\tau dF_k^0(t). \quad (4)$$

Полученная функция потерь на  $k$ -м шаге (4) позволяет применить метод динамического программирования. Состояние системы на  $k-1$  шаге характеризуется функцией распределения  $F_{k-1}(t)$ , поэтому уравнение Беллмана [3] имеет вид:  $S_{k-1}(F_{k-1}(t)) = \min[f_k(t_k, F_{k-1}(t)) + S_k(\varphi_k(t_k, F_{k-1}(t)))]$ , где:  $F_k(t) = \varphi_k(t, F_{k-1}(t))$  - уравнение состояния в рекуррентной форме заданной выражениями (2) и (3).

Функция (4) является функцией с монотонным включением переменных

$$f_k(t_k, F_{k-1}(t)) = f_k(t_k, \varphi_{k-1}(t_{k-1}, \varphi_{k-2}(t_{k-2}, \dots, \varphi_1(t_1), \dots))). \quad (5)$$

Задача минимизации функционала (1) является задачей Майера, схема которой изложена в [4].

Очевидно, состояние на  $k-1$  шаге, которое характеризуется одной из возможных реализаций функции  $F_{k-1}(t)$ , наиболее существенно зависит от ближайших шагов процесса. Таким образом можно считать, что  $F_{k-1}(t)$  определяется выбором управления  $t_i$  на  $N$ -х предыдущих шагах

$$F_{k-1}(t) = F(t_{k-1}, t_{k-2}, \dots, t_{k-N}).$$

Функции  $F_k^0(t)$  и  $\Phi_k(t)$  определяются по статистическим данным, коррекция функций позволяет адаптировать систему с учетом опыта предыдущего планирования. Для реализации данного алгоритма следует представить (2), (3) и (4) в дискретной форме, заменить знаки интегралов соответствующими суммами.

С использованием критерия минимума суммарной потери времени на обслуживание  $N$ -фрагментов информационной последовательности получено решение приводящее к процедуре динамического программирования.

#### Литература

1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology. – 2012-2017. Cisco Public. – 2013.
2. Zhi-Hui Lu, Ye Wang, and Yang Richard Yang. An Analysis and Comparison of CDN-P2P-hybrid Content Delivery System and Model // JCM. – 2012. – 7(3). – 232-245.
3. Bellman Richard. Dynamic programming. Princeton University Press. – 1957. – P.363.
4. Мусеев, Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. Монография. [Текст] / Н.Н. Мусеев. – М. Наука. – 1971. – 428 с.

## **СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И ВРЕМЕНИ РАССОГЛАСОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИГНАЛОВ ДВУХ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Шарко В.П., Цулая А.В., Паршин О.Г.**

*ООО «Софттим» (www.softtime.com, Украина, Киев, ул. Московская, 8е)*

*E-mail: vadim.sharko@softtime.com*

### **Systematic Error in Measurements of Coordinates and Time Deviation on Processing Spatial Signals of Two Navigation Satellites**

The phase front measurements of satellite spatial-time signals in global satellite navigation systems, in addition to existing pseudo-range methods, give a possibility to decrease the minimal number of satellites down to two, while still allowing to solve navigation problems. A systematic error in measurements of coordinates and time deviations between clocks of receiver and satellite transmitters that arises, during processing spatial signals of two satellites, in global satellite navigation systems is analyzed in this paper.

Измерения фазового фронта пространственно-временного сигнала (ПВС) космического аппарата (КА) в глобальной навигационной спутниковой системе (ГНСС) дополнительно к существующим псевдодальностным методам позволяют уменьшить число КА, минимально требуемое для решения навигационной задачи, до двух. В работе исследуется систематическая ошибка (СО) измерения координат и значения рассогласования временных шкал аппаратуры потребителя (АП) и КА, возникающая при обработке пространственных сигналов двух КА в ГНСС.

В работах [1, 2] обоснована возможность измерения навигационных параметров (НП) (координат АП, составляющих скорости АП и значения времени рассогласования (ЗВР) между шкалами приёмников АП и КА), применяя методы пространственной обработки ПВС дополнительно к методам определения псевдодальностей, используемых в современных ГНСС. Минимальное число КА, требуемых для получения НП в описанной методике, равно одному или двум при известном или неизвестном ЗВР соответственно. В настоящей работе рассматривается СО измерения метрических координат и ЗВР при использовании алгоритма сверхразрешения Кейпона (АСК) [3] для разделения пространственных сигналов (ПС) двух КА.

Ограничивая геометрию задачи одной плоскостью, получена система уравнений, позволяющая вычислить глобальные координаты аппаратуры приёмника (АП), если измерены угловые координаты КА относительно АП и известны глобальные координаты двух КА:



$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{Rc} = Y_{St_1} - R_{St_1} \sin \gamma_{St_1}, Z_{Rc} = Z_{St_1} - R_{St_1} \cos \gamma_{St_1} \\ R_{St_1} = \hat{R}_{St_1} - ct_{\Delta} \\ ct_{\Delta} = \hat{R}_{St_2} - \sqrt{(Y_{Rc} - Y_{St_2})^2 + (Z_{Rc} - Z_{St_2})^2} \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $Y_{Rc}$ ,  $Z_{Rc}$  - искомые глобальные координаты АП,  $R_{St_1}$  - истинная дальность до первого КА,  $g_{St_1}$  - угловая координата первого КА, измеряемая по ФФ ПВС,  $\hat{R}_{St_k}$  - псевдодальность, измеряемая по времени задержки,  $Y_{St_k}$ ,  $Z_{St_k}$  - известные глобальные координаты k-го КА соответственно,  $k=1,2$ ,  $t_D$  - ЗВР. Систему уравнений (1) можно решить относительно неизвестных  $Y_{Rc}$ ,  $Z_{Rc}$  и  $t_D$ , решив тем самым навигационную задачу.

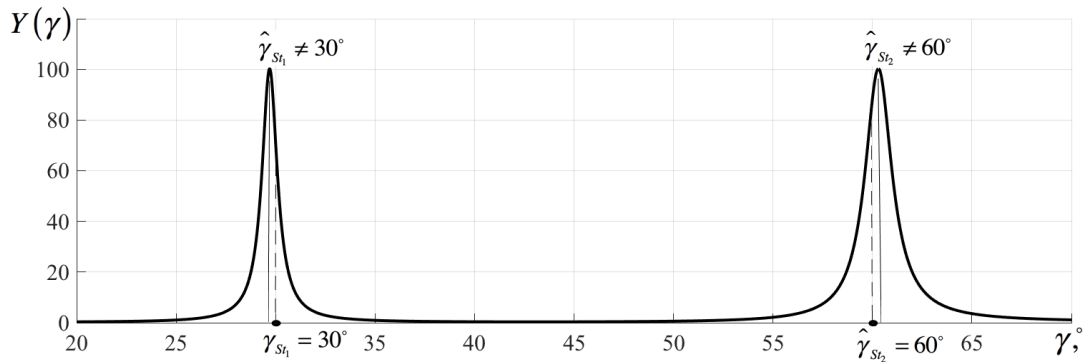


Рис. 1. РФ АСК для случая двух КА.

При использовании АСК может иметь место систематическая ошибка (СО) измерения угловой координаты КА относительно АП. Максимумы решающей функции (РФ) АСК соответствуют некоторым точкам  $\hat{\gamma}_{St_k}$ , которые в общем случае не совпадают с точками истинного местоположения  $g_{St_k}$ , определяя СО  $X_{St_k}$  (рис. 1):

$$\xi_{St_k} = |\gamma_{St_k} - \hat{\gamma}_{St_k}| \neq 0 \quad (2)$$

так как

$$\frac{dY(\gamma_{St_k})}{d\gamma} \neq 0 \quad \text{и} \quad \frac{dY(\hat{\gamma}_{St_k})}{d\gamma} = 0 \quad (3)$$

Эта ошибка ведёт к ошибкам измерения координат АП и значения времени рассогласования (ЗВР) временных шкал АП и КА, что следует из системы уравнений (1).

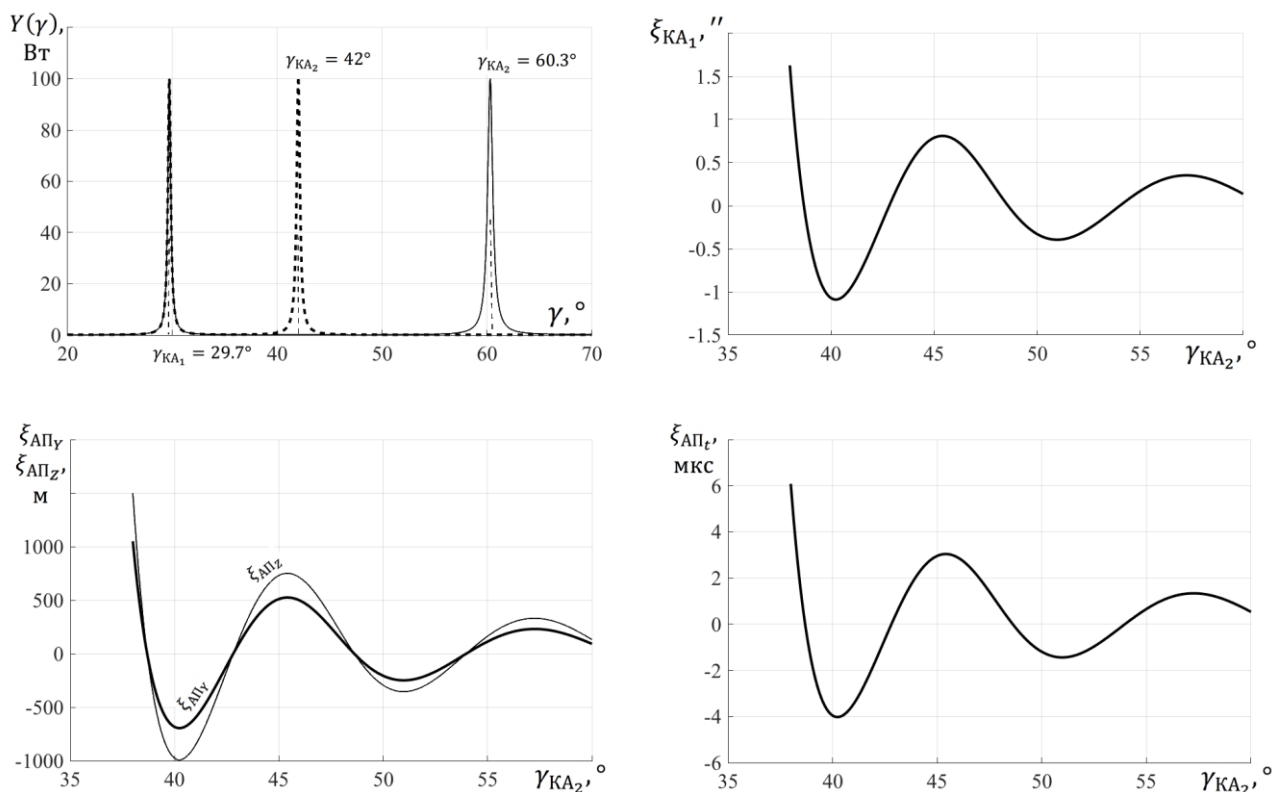


Рис. 2. СО измерения координат и ЗВР.

На рис. 2 представлены результаты определения СО угловой координаты первого КА  $\chi_{S_1}$ , вычисления СО глобальных координат  $\chi_{R_{C_1}}, \chi_{R_{C_2}}$  и ЗВР  $\chi_t$  временной шкалы АП при изменении положения второго КА  $\beta_{S_2}$  от 42 до 60.3 угловых градуса, выполненных в математических моделях среды MatLab для антенной решётки с числом АЭ 9, расстоянии между АЭ 20 см, длиной волны 20 см и отношении сигнал/шум в одном АЭ 20 дБ. Из полученных результатов следует, что СО определения глобальных координат может достигать нескольких сотен метров, что следует учитывать при проектировании таких систем.

### Литература

1. Шарко В. П. Методика определения навигационных параметров движущихся объектов по волновому фронту сигналов радионавигационных систем: дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / Шарко Вадим Павлович. – Киев, 2012. – 150 с.
2. Шарко В.П. Определение потенциальной точности измерений координат по фазовым характеристикам радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Наука и техника Воздушных Сил Вооружённых Сил Украины, № 2(8), 2012
3. J. Capon. High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis. Proc. IEEE, Vol. 57, No. 8, August 1969

## ELECTROMAGNETIC WAVES SCATTERING ON COUPLED DIELECTRIC RESONATORS IN THE TIME DOMAIN

**Trubin A. A.**

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*

*E-mail: atrubin@ukrpost.net*

### Розсіювання електромагнітних хвиль на зв'язаних діелектричних резонаторах у часовій області

Розраховані характеристики розсіювання імпульсів на системах зв'язаних діелектричних резонаторів, розташованих в лінії передачі. Виведено система диференціальних рівнянь, яка описує форму розсіяних імпульсів. Знайдено загальне рішення системи. Запропонований підхід дозволяє розраховувати форму розсіяних імпульсів без застосування функцій Гріну.

Attempts of obtaining the analytical solutions of the Maxwell's equations in the spatial and time domains generally lead to extraordinary cumbersome expressions [1-2]. Finding accurate solutions of Maxwell's equations for complex structures such as the multiple Dielectric Resonator (DR) systems is not possible. A more reasonable to search for new physical laws that facilitate the construction of analytical models of devices with DR and adequately describe these structures. The goal of the current work is the developing of the scattering theory on DR in the time domain.

Consider the problem of scattering of electromagnetic waves  $(\vec{E}^+(t), \vec{H}^+(t))$  on the coupled  $N$  DR system. We assume that all DR are made of material with  $\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_1 - i\varepsilon_1''$ . We write a general expression for the field  $(\vec{E}(t), \vec{H}(t))$  and  $v$ th coupled oscillations of the DR system  $\vec{e}^v = \sum_{u=1}^N b_u^v \vec{e}_u$ ;  $\vec{h}^v = \sum_{u=1}^N b_u^v \vec{h}_u$  [3] ( $v = 1, 2, \dots, N$

$$(1) \quad \text{div}\{[\vec{h}^{v*}, \vec{E}(t)] + [\vec{H}(t), \vec{e}^{v*}]\} = [\tilde{\varepsilon} \frac{d\vec{E}(t)}{dt} - i\tilde{\omega}^{v*} \varepsilon_1 \vec{E}(t)] \vec{e}^{v*} + \mu_0 [\frac{d\vec{H}(t)}{dt} - i\tilde{\omega}^{v*} \vec{H}(t)] \vec{h}^{v*}.$$

Where  $(\vec{e}_u, \vec{h}_u)$  are known  $u$ th oscillations of the partial isolated DR [4].

The solution of the wave  $(\vec{E}^+(t), \vec{H}^+(t))$  scattering on the DR system we will search in the form of expansion on coupling modes of the DR lattice  $(\vec{e}^v, \vec{h}^v)$ :

$$(2) \quad \vec{E}(t) \approx \vec{E}^+(t) + \sum_{s=1}^N a^s(t) \vec{e}^s; \quad \vec{H}(t) \approx \vec{H}^+(t) + \sum_{s=1}^N a^s(t) \vec{h}^s.$$

After using the ratios for  $(\vec{e}^s, \vec{h}^s)$  and for the  $(\vec{E}^+(t), \vec{H}^+(t))$  similar (1) after the volume integration of each partial resonator  $(\vec{e}_u, \vec{h}_u)$ , the equation system with the unknown coefficients  $a^s(t)$  has been obtained:

$$\sum_{s=1}^N [(2Q_u^D - i) \frac{da^s(t)}{dt} - 2i\tilde{\omega}^s Q_u^D a^s(t)] b_u^s = -\frac{\omega_0}{P_u^D} c_u^+(t)^* , \quad (u = 1, 2, \dots, N), \quad (3)$$

where the expansion coefficients of the DR field  $(\vec{e}_u, \vec{h}_u)$  on the incident wave  $(\vec{E}^+(t), \vec{H}^+(t))$  of the transmission line:

$$c_u^\pm(t) = -1/2 \int_{s_t} \{ [\vec{e}_u, \vec{n}] (\vec{H}^\pm(t))^* + [\vec{n}, \vec{h}_u] (\vec{E}^\pm(t))^* \} ds. \quad (4)$$

$P_u^D = \omega_0 \varepsilon_u'' / 2 \int_{V_u} |\vec{e}_u|^2 dv$  - is the dielectric power loss in the volume of  $u$ th resonator:  $V_u$ ;  $Q_u^D = \varepsilon_u / \varepsilon_u'' \approx \omega_0 w_u / P_u^D$ ;  $w_u = 1/4 \int_{V_u} (\varepsilon_u |\vec{e}_u|^2 + \mu_0 |\vec{h}_u|^2) dv$  - is the energy, stored in the dielectric material of the  $u$ th resonator.

Provided  $Q_u^D \gg 1$ , the equation (3) becomes even more simple form:

$$\sum_{s=1}^N \left[ \frac{da^s(t)}{dt} - i\tilde{\omega}^s a^s(t) \right] b_u^s = -\frac{1}{2w_u} c_u^+(t)^*. \quad (5)$$

A linear system of differential equations (3) or (5), taking into account the expansion (2), gives the general solution of the scattering problem in the time domain.

In the absence of incident waves, solution of (5) has the form of coupled oscillations  $a^s(t) = a^s e^{i\tilde{\omega}^s t}$  of the DR system. In the case of incidence of waves falling on the resonators, a general solution of (5) can be obtained in an explicit form:

$$a^s(t) = -\frac{1}{2} e^{i\tilde{\omega}^s t} \int_{-\infty}^t e^{-i\tilde{\omega}^s \tau} \frac{\det C_s(\tau)}{\det B} d\tau, \quad (6)$$

where

$$C_s(t) = \begin{bmatrix} b_1^1 & b_1^2 & \dots & c_1^+(t)^* / w_1 & \dots & b_1^N \\ b_2^1 & b_2^2 & \dots & c_2^+(t)^* / w_2 & \dots & b_2^N \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ b_N^1 & b_N^2 & \dots & c_N^+(t)^* / w_N & \dots & b_N^N \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_1^1 & b_1^2 & \dots & b_1^N \\ b_2^1 & b_2^2 & \dots & b_2^N \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ b_N^1 & b_N^2 & \dots & b_N^N \end{bmatrix}.$$

Vector  $[c_v^+(t)^* / w_v]_{v=1, \dots, N}$  is situated in the  $s$ th column of the matrix  $C_s(t)$ .

It is easy to see that for the coherent harmonic waves the (6) coincides with (6.12), [3]. The fig. 1 show results of the calculation of the rectangular and Gaussian pulses, scattered by the one and two DR.

The obtained analytical solution allows us to directly calculate the shape of the pulses scattered by a system of coupled DR without the use of time-domain Green's functions.

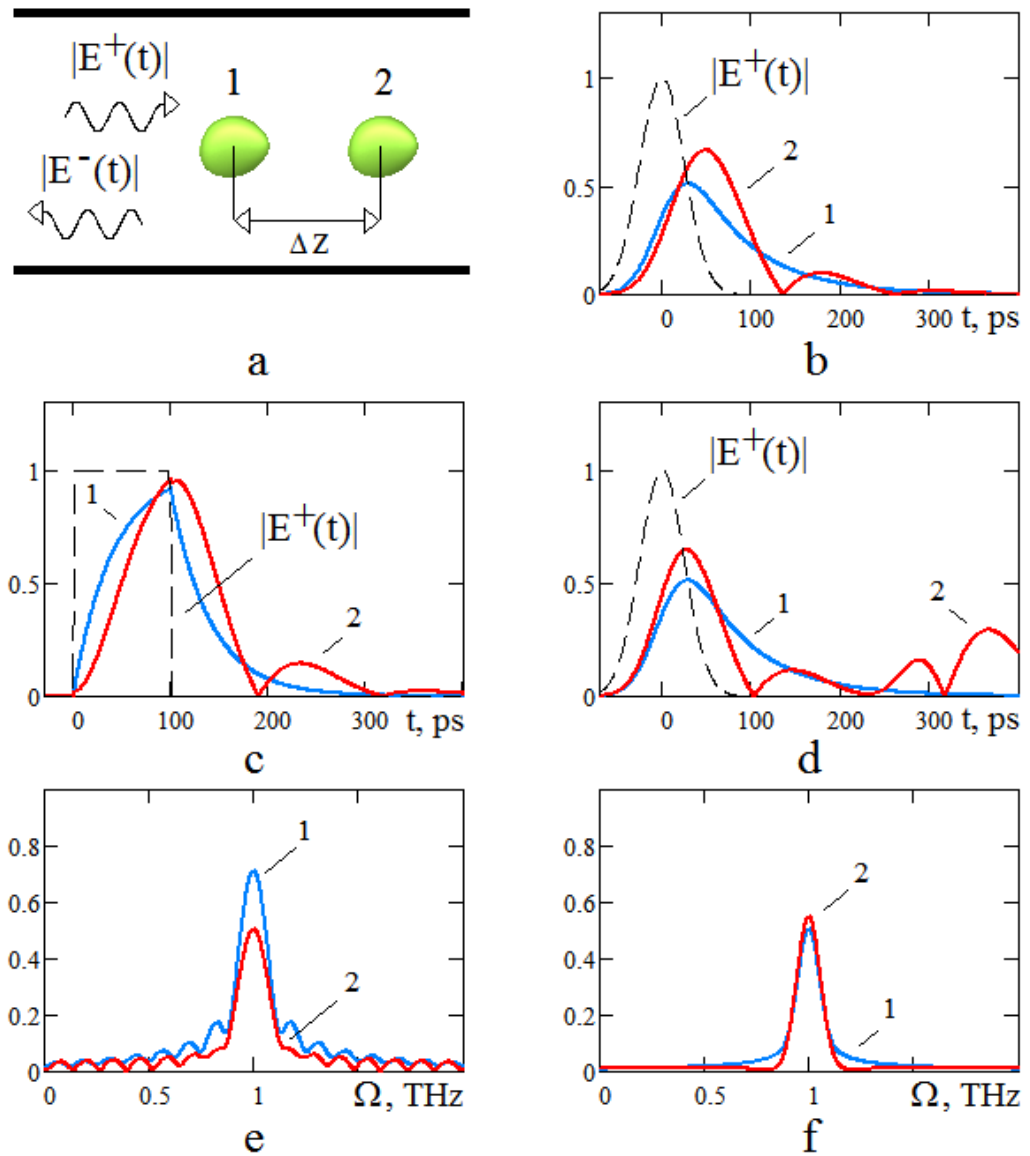


Fig. 1. The pulse envelopes  $|E^-(t)|$ , scattered by the one (1) two (2) DR (b-f) in the transmission line (a);  $\tilde{k}_1 = \tilde{k}_2 = \tilde{k}_{11}^+ = 0,03$ ;  $k_{12} = 0,02$ ;  $\omega_0 = 1\text{THz}$ ;  $\Omega$  - is the frequency of the pulse carrying;  $\Gamma\Delta z = \pi/2$  (b, c);  $\Gamma\Delta z = 181\pi/2$  (c, d).

### References

1. Afrooz K., Abdipour A., Martin F. Finite Difference Time Domain Analysis of Extended Composite Right/Left-Handed Transmission Line Equations // International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, – 2014, – vol. 24, – № 1. PP. 68–75.
2. Gomez-Diaz J. S., Gupta S., Alvarez-Melcon A., Caloz C. Efficient Time-Domain Analysis of Highly-Dispersive Linear and Non-Linear Metamaterial Waveguide and Antenna Structures operated in the Impulse-Regime // IET Microwaves, Antennas & Propagation, –2010, –vol. 4, – №10. PP. 1617–1625.
3. Trubin A.A. Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland. Series in Advanced Microelectronics, – 2016, – vol. 53, 159 p.

## АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ЭТАПЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СЕТЕЙ 5G

**Триска Н.Р.**

*ИТС КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: ntriska@ukr.net*

### **The actual issues of time synchronization during 5G networks deployment**

The main factors and perspectives of 5G mobile networks deployment are summarized. The role of time synchronization in the 5G concept development is emphasized, including standardization issues.

На сегодняшний день ведущие мировые операторы телекоммуникаций и производители оборудования находятся на этапе подготовки к развертыванию сетей мобильной связи нового, 5-го поколения (5G). Ожидается, что технология 5G станет также толчком к развитию целого ряда перспективных приложений и концепций, таких как Интернет вещей, автоматически управляемые транспортные средства и “виртуальная реальность”.

Движущей силой разработки и последующей реализации концепции 5G стал сформировавшийся устойчивый спрос пользователей мобильной связи на более высокие скорости передачи данных, с одной стороны, и на повышение качества обслуживания – с другой. Чтобы удовлетворить этот спрос в условиях постоянного роста количества абонентов и обслуживаемых мобильных устройств, операторы готовы инвестировать средства в проекты 5G, что, в свою очередь, стимулирует научные исследования и стандартизацию в данной области. Учитывая, что большинство операторов будут строить сети 5G не “с нуля”, а на основе уже существующей инфраструктуры сетей предыдущих поколений, важным аспектом будет обеспечение преемственности и сосуществования технологий.

Согласно прогнозам, первые коммерческие сети 5G появятся в начале 2020-х годов [1, 2]. К этому времени необходимо разработать, проверить на практике и стандартизировать основные технические решения, на что уже сейчас направлены усилия ведущих органов по стандартизации, специализированных форумов и рабочих групп. На данном этапе 5G – это еще не технология в привычном понимании, а скорее общая концепция – набор ожидаемых технических характеристик, призванных удовлетворить растущие требования абонентов. Так, предполагается обеспечить передачу данных к абоненту со скоростью до 20 Гбит/с с задержкой менее 1 мс (для сравнения, в сетях 4G эти параметры составляют 1 Гбит/с и 70 мс соответственно). Для решения поставленных задач предполагается использовать целый ряд новых подходов и технических решений – как в технологическом плане, так и в части планирования сети и адаптации инфраструктуры. При этом ожидается, что для опытной эксплуатации и тестирования первых сетей 5G будет выбран

упрощенный сценарий организации широкополосного беспроводного доступа для фиксированных, а не мобильных абонентов, что позволит отработать основные технические решения 5G для последующей реализации мобильного доступа [2].

Среди наиболее перспективных направлений, которые могут найти применение в сетях 5G, выделяют следующее:

- использование миллиметрового диапазона (30 – 300 ГГц);
- малые соты;
- технология ММО (антенные решетки);
- использование полного дуплекса (с обязательным подавлением эха);
- адаптивное формирование диаграммы направленности (beamforming), что позволит выбрать наиболее эффективный путь распространения сигнала к каждому абоненту с подавлением межканальных помех.

Вопрос о том, какие из этих решений и в каких сочетаниях будут реализованы в сетях 5G, пока остается открытым. Разработчикам предстоит решить целый ряд технических проблем, одна из которых – обеспечение жестких требований по параметрам задержки (менее 1 мс). По мнению ряда экспертов, для достижения таких показателей следует максимально приблизить сетевые ресурсы, используемые для предоставления чувствительных к задержке услуг (в частности, серверы), к конечному абоненту. На практике это может означать, что, например, сервер, с которого абонент получает запрашиваемую информацию, должен находиться на расстоянии не более 1 км от местонахождения абонента [1]. Такой подход потребует существенных изменений структуры сети мобильной связи и, в частности, принципов хранения и распределения данных на информационных серверах.

С другой стороны, величина задержки, как и другие показатели качества работы сети, непосредственно связана с параметрами синхронизации по тактовой частоте и времени. Необходимость поддержания точной синхронизации в пакетной сети операторского класса (прежде всего, при предоставлении услуг в реальном времени) подтверждена еще на этапе внедрения сетей 3G и сегодня уже не вызывает сомнений. Детальный анализ данного вопроса и соответствующей нормативной базы ITU можно найти, например, в [3]. С появлением технических требований к сетям 4G и 5G (в первую очередь, по показателям задержек) актуальность задач синхронизации еще более возросла, о чем свидетельствует активность исследований (в частности ITU и IEEE), а также последние разработки ведущих производителей оборудования синхронизации, позиционируемые на рынке как решения для сетей 5G.

В контексте услуг 3G-5G, как правило, говорят о необходимости синхронизации по фазе и/или по времени, то есть о согласовании шкал времени сетевых элементов с использованием стандартизированного двустороннего протокола передачи меток точного времени РТР (IEEE1588v2). Однако точность фазовой синхронизации напрямую связана с точностью тактовой синхронизации на физическом уровне, и поэтому на практике все шире

применяется комбинированный сценарий, предусматривающий совместное использование синхронного Ethernet для передачи тактовой частоты и протокола PTP для передачи точного времени. Кроме того, для синхронизации пакетных сетей широко применяются приемники спутниковых навигационных систем (прежде всего, GPS), причем не только в базовой транспортной сети, но и на участке радиодоступа.

Повышение требований к точности синхронизации с учетом перспективы внедрения 5G ставит новые задачи перед разработчиками специализированного оборудования и инженерами, занимающимися проектированием и эксплуатацией сетей синхронизации. Обновляется и международная нормативная база, в частности, требования к генераторному оборудованию различного класса. Примером может служить недавно вышедшая Рекомендация ITU-T G.8272.1/Y.1367.1 [4], определяющая основные характеристики улучшенного первичного эталонного генератора частоты и времени ePRTC (enhanced primary reference time clock), предназначенного для синхронизации будущих сетей 5G. По сравнению с “обычным” PRTC (Рекомендация ITU-T G.8272/Y.1367 [5]), к генераторному оборудованию ePRTC предъявляются более жесткие требования в части уровня фазовых шумов на выходе:

- в режиме захвата опорного сигнала максимальное отклонение временного интервала МОВИ (MTIE) не должно превышать 30 нс при  $\tau \geq 400\,000$  с (в то время как для “обычного” PRTC значение МОВИ не должно превышать 100 нс при  $\tau \geq 273$  с);
- в режиме удержания максимальный уход фазы за 14 суток не должен превышать 100 нс.

В настоящее время ведущие производители работают над созданием образцов генераторного оборудования, способных обеспечить подобные показатели кратковременной и долговременной стабильности. Однако даже если такое соответствие будет подтверждено в лабораторных условиях, остается еще целый ряд задач, связанных с практической реализацией требований к синхронизации в сетях 5G. Это планирование распределительной сети синхронизации, методики тестирования, метрологическое обеспечение, образование (подготовка специалистов) и другие вопросы, нуждающиеся в серьезной научной и практической проработке.

### Литература

1. Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile. Analysis./ Den Warren, Calum Dewar. – GSMA Intelligence, December 2014.
2. <http://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>.
3. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Худынецов Н.Н. Обзор направлений исследований МСЭ в области частотно-временного обеспечения современных сетей связи. – Т-Comm, № 2-2014. – с.12-17.
4. ITU-T Recommendation G.8272.1/Y.1367.1 (11/2016) Timing characteristics of enhanced primary reference time clocks.
5. ITU-T Recommendation G.8272/Y.1367 (01/2015) Timing characteristics of primary reference time clocks.



## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДАЛЬНОСТИ ДО ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПО СФЕРИЧНОСТИ ФРОНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

**Цуканов О.Ф., Якорнов Е.А.**

*Институт телекоммуникационных систем  
КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина  
E-mail: yakornov@its.kpi.ua*

### Method of estimating dynamic errors in determining the distance to the radio source in the sphere of front of an electromagnetic wave

The technique allows to improve the accuracy of determining the distance of the radio source according to the spherical phase front of electromagnetic wave based on the assessment of dynamic errors. The dynamic error is determined by simulation results and then used for distance calculation.

В работе [1] рассмотрена задача оценки дисперсии дальности до источника радиоизлучения (ИРИ) при его нахождении в зоне Френеля по сферичности фронта электромагнитной волны (ЭМВ), принимаемой линейной антенной решеткой (АР), на основе измерения разности фазовых сдвигов ( $\Delta\varphi$ ). Эта оценка позволяет обоснованно выбирать, например, максимальное количество элементов решетки. За основу оценки был принят параметр  $\alpha^* = 1/r^*$ , введенный в [2], как параметр, характеризующий сферичность (кривизну) фронта ЭМВ, где  $r$  – дальность до ИРИ.

Используя основные положения работы [1] рассмотрим методику оценки динамической ошибки возникающей из-за неточностей измерений  $\Delta\varphi$ , под которой будем понимать несоответствие выбранной степени полинома аппроксимации реальному изменению фазовых сдвигов. Это позволит повысить точность оценки дальности до ИРИ по сферическому фронту его ЭМВ.

Обозначим расстояние от ИРИ до произвольной точки раскрыва АР как

$$R(L, \theta, r) = \sqrt{(r^2 + L^2 + 2rL \cos \theta)}, \quad (1)$$

где  $L$  - ширина раскрыва АР,  $\theta$  – пеленг на ИРИ (предполагается известным).

Выражение (1) можно записать в виде степенного ряда [3, с.26-29], которое при ограничении членами третьего порядка запишется в виде  $R(L, \theta, r) = r \cdot L \cdot \cos \theta + (L^2/2 \cdot r) \cdot \sin^2 \theta + (L^3/2 \cdot r^2) \cdot \cos \theta \cdot \sin^2 \theta$ . Тогда изменение фазы на входе АР можно представить в виде [2]

$$\varphi(L, \theta, r) = -k \cdot L \cdot \cos \theta + k \cdot (L^2/2 \cdot r) \cdot \sin^2 \theta + (L^3/2 \cdot r^2) \cdot \cos \theta \cdot \sin^2 \theta + n(L, \theta, r), \quad (2)$$

где  $k=2\pi/\lambda$  - волновое число;  $n(L, \theta, r)$  - случайные флуктуации фазы. Или

$$\varphi(L, \theta, r) = \Delta \varphi(L, \theta, r) + \Delta \Delta \varphi(L, \theta, r) + n(L, \theta, r), \quad (2.a)$$

где первое слагаемое  $\Delta \varphi(L, \theta, r)$  - изменение фазы за счет разности хода

лучей между приемными антеннами и равное  $\Delta \varphi(L, \theta, r) = -k \cdot L \cdot \cos \theta$ ; а второе –  $\Delta \Delta \varphi(L, \theta, r)$  - изменение фазы за счет кривизны фазового фронта ЭМВ соответственно равное

$$\Delta \Delta \varphi(L, \theta, r) = k \cdot (L/2 \cdot r) \cdot \sin^2 \theta + (L^3/2 \cdot r^2) \cdot \cos \theta \sin^2 \theta \quad (3)$$

Для оценки дальности по сферичности фронта ограничимся вторым членом разложения (2) в ряд и представим его в виде

$$\Delta \Delta \varphi(L, \theta, r) = G L^2 \alpha + n(L, \theta, r), \quad (4)$$

где  $G = k \cdot \sin^2 \theta / 2$ .

На рис 1 показана зависимость  $\Delta \Delta \varphi$  от  $r$ , определяемая в соответствии (1) и (4) без учета  $n(L, \theta, r)$  (плавная кривая) и с ее учетом.

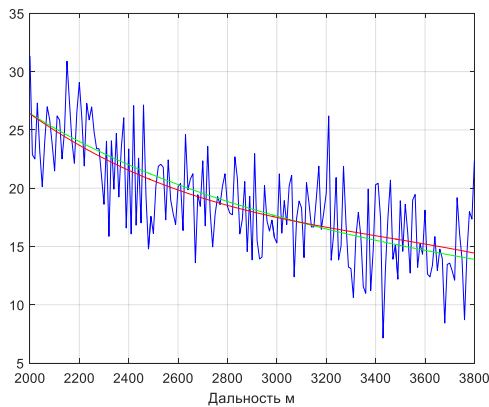


Рис.1. Зависимость  $\Delta \Delta \varphi$  от  $r$

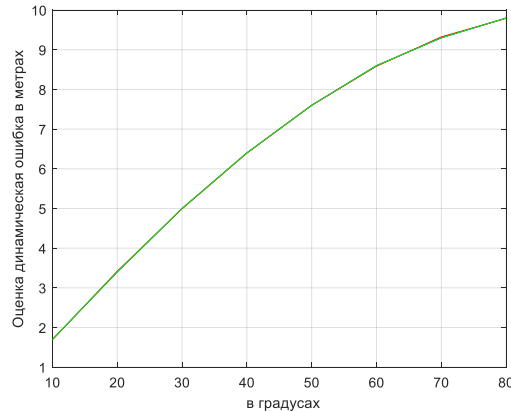


Рис. 2. Зависимость  $\Delta r$  от  $\theta$ .

После дискретизации (4) для постоянного значения  $\theta$  запишем его в виде  $\overline{\Delta \Delta \varphi}(L, \alpha^*) = \overline{X}(L, \alpha^*) + \overline{n}(L)$ , где  $\overline{X}(L, \alpha^*)$  - вектор изменения фазы в раскрыве АР.

Далее используем метод определения оценок по максимуму отношения правдоподобия [3] для функции с полностью известными параметрами, кроме измеряемых параметров, и с учетом нормального закона распределения случайных изменений фазы  $\overline{n}(L)$  получаем

$$\ln [\overline{\Delta \Delta \varphi}(L, \alpha^*)] = \overline{\Delta \Delta \varphi}(L, \alpha^*)^T \overline{g}(L, \alpha^*) - 0.5 \overline{X}(L, \alpha^*)^T \overline{g}(L, \alpha^*),$$

$$\overline{g}(L, \alpha^*) = \Phi^{-1} \overline{X}(L, \alpha^*),$$

где  $\overline{g}(L, \alpha) = \Phi^{-1} \overline{X}(L, \alpha^*)$ ,  $\Phi^{-1}$  - обратная корреляционная матрица фазовых флуктуаций сигнала.

Максимально правдоподобная оценка соответствует выражению

$$\hat{\alpha} = \frac{\overline{\Delta \Delta \varphi}(L, \alpha^*)^T \overline{g}(L)}{\overline{X}(L)^T \overline{g}(L)} \quad (5)$$

где  $\overline{X}(L)$ ,  $\overline{g}(L)$  - нормированные по  $\alpha$   $\overline{X}(L, \alpha^*)$ ,  $\overline{g}(L, \alpha^*)$ ;

$$\overline{X}(L)^T = GL^2 / M^2 \left[ \left(\frac{M}{2}\right)^2, \left(\frac{M}{2} - 1\right)^2, 2, 1, 0, 1, 2 \left(\frac{M}{2} - 1\right)^2, \left(\frac{M}{2}\right)^2 \right], \quad (6)$$

ожидаемый сигнал в векторной форме,  $M$  - количество приемных элементов АР.

Дисперсия ошибки измерения будет равна  $\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{\overline{X}(L)^T \overline{g}(L)}$ .

Положим, что фазовые флуктуации некоррелированные. При этом весовой вектор будет соответствовать выражению  $\bar{g}(L) = \frac{\bar{X}(L)}{\sigma_{\Phi}^2}$ .

Окончательное выражение для оптимальной оценки из (4) и (5) с учетом (6) имеет вид  $\hat{\alpha}^* = \frac{\bar{Y}(L, \alpha^*)^T \bar{X}(L)}{\bar{X}(L)^T \bar{X}(L)}$ . Учитывая, что  $\bar{X}(L)^T \bar{X}(L)$  можно представить в виде известной суммы [4] запишем полученное в [1,2] аналитическое выражение для оценки кривизны фазового фронта в виде

$$\hat{\alpha}^* = 1/r = \frac{15 M^2 \sum_{i=1}^{\frac{M}{2}} i^2 \Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{-i}}{G L^2 (M/2)(M/2+1)(M+1)[3(M/2)^2 + 3(M/2) - 1]}, \quad (7)$$

где  $\Delta\varphi_i, \Delta\varphi_{-i}$  разности фаз между симметричными элементами АР относительно центрального. Выражение (7) позволяет минимизировать случайную ошибку измерения фазы, но динамическую ошибку не уменьшает. Попытка увеличения количества слагаемых в (3) приведет к необходимости расчета оценки  $\hat{\alpha}^*$  численными итерационными методами что существенно усложнит практическую реализацию устройства.

Мы рассмотрели методику оценки динамической ошибки при определении дальности до ИРИ для фиксированного пеленга. Однако из вышеприведенных соотношений следует, что динамическая ошибка оценки дальности зависит также и от  $\theta$ .

Запишем выражение для оценки дальности с учетом (7) в виде  $\hat{r} = r + \Delta r$ , где  $\Delta r$  обозначено значение динамической ошибки. Определим  $\Delta r$  как разницу результатов моделирования с помощью выражений (1) и (3), при различных значениях  $\theta$ . При этом коэффициенты аппроксимации  $\Delta r$  от  $\theta$  определяются методом наименьших квадратов. Зависимость динамической ошибки  $\Delta r$  от значений пеленгов  $\theta$  приведены на рис. 2.

Результаты имитационного моделирования показывают, что учет динамической ошибки по дальности в зависимости от значения пеленга  $\theta$  позволяет повысить точность оценивания дальности в сантиметровом диапазоне волн, в среднем на 3-7 метров.

Полученные результаты работы могут быть использованы при разработке аппаратуры многопозиционных систем и систем разнесенного приема для определения местоположения ИРИ с высокой точностью.

#### Литература

1. Цуканов О.Ф., Якорнов Е.А. Оценка дисперсии дальности до источника радиоизлучения по результатам измерения фазовых сдвигов для выбора максимального количества элементов антенной решетки. Матеріали Десятої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» (ПТ-16) К.: НТУУ «КПІ», 2016, с. 210-211.
2. Патент № 2322681 (Россия) Способ определения дальности до забрасываемого передатчика помех и устройство для его реализации. Кл. МПК: G01S11//00 Боровиков С.Г., Ястребов Ю.В., 2008 г.
3. Кремер И.Я., Кремер А.И., Петров В.М. и др. Пространственно-временная обработка сигналов. - М.: Радио и связь, 1984, 224 с.
4. Интегралы и ряды. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. - М.: Наука, 1981, с.597.

## MODELLING OF COMMUNICATION SYSTEMS WITH IMPULSE-RADIO ULTRA-WIDE BAND SIGNALS

**Mykhailov S.O., Bunin S.G., Trubarov I.V.**

*Institute of Telecommunication Systems National Technical  
University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
E-mail: moderya7@gmail.com*

### Моделювання систем зв'язку, що використовують імпульсні надширокопосмугові сигнали

Представлено імітаційну модель найпростішої системи зв'язку, що використовує імпульсні надширокопосмугові (IR-UWB) сигнали. Модель реалізує метод неенергетичного прийому імпульсів. При цьому застосовано найпростіший метод каналного кодування із пасивним нулем.

Nowadays, investigations into the systems that use Impulse-Radio Ultra-Wideband (IR-UWB) signals are of great interest due to many positive properties they have [1 – 4]. The most important features of such signals are: high communication channel capacity; low power consumption (owing to discrete structure of the signal); difficult signal identification (owing to small spectral density of the signal). These and some other properties of IR-UWB signals reduce possibility of unauthorized access to the information being transmitted through the channel [3] and make them perfect for use in military communication systems.

In this paper, a model of a communication system that uses IR-UWB signals is considered. In such a communication system, receiver generates a sequence of Gaussian pulses. The duration of a single pulse is taken to be 2.63 ps at level -3 dB, as it is shown in Fig. 1. Such a small pulse duration has been chosen in order to move the maximum of signal's spectrum to higher, less used, frequency band. The maximum of the power spectral density in this case will be at frequency of 103 GHz, as can be seen from Fig. 2.

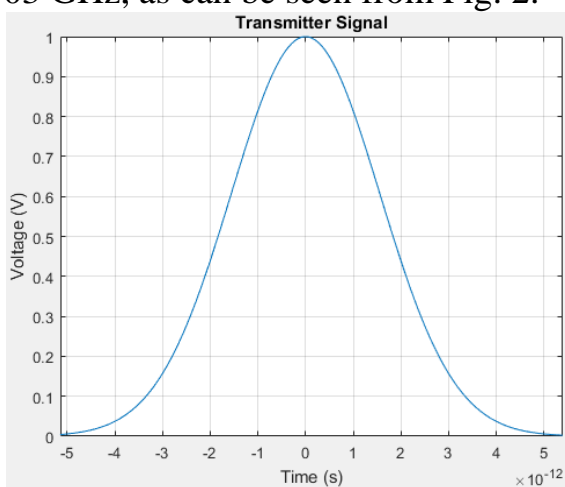


Fig.1. Shape of transmitted pulses.

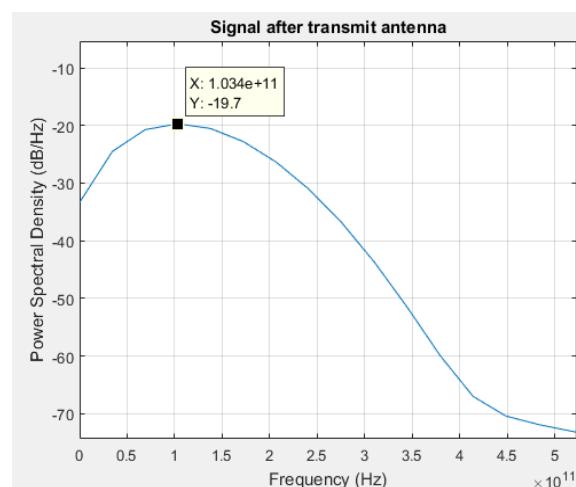


Fig.2. Spectral density of pulse in channel.

However, a short pulse has small energy in case of a feasible magnitude of the pulse. This complicates retaining synchronization. Thus, the system with IR-UWB signals should be asynchronous. An approach to effective asynchronous transmission over an IR-UWB channel was proposed in [1]. This IR-UWB pulses processing technique was called “non-energy” receiving method. According to this approach, the receiver doesn’t accumulate the energy of incoming pulses, but implements the selection of their position in time domain.

In the system that is proposed, the receiver selects the impulses, whose amplitudes exceed the mean noise level. Each selected pulse triggers a monostable generator, which generates an impulse with longer duration and fixed amplitude. Described non-energy receiver is the main component of the considered communication system, model of which is shown in Fig. 3. The advantage of such a system is its simplicity. The model implements both Simulink and Matlab means of simulation and programming.

At first, previously formed in Matlab uniform sequence of Gaussian pulses is modulated by a random sequence of rectangular pulses (Random Integer Generator Block). This sequence is sent at the input of the differentiating block Derivative2 and being than scaled in Gain4. The last two blocks simulate the antenna at the transmitting side. We assume the antennas ideal. Therefore, after differentiating blocks the signal is multiplied by the calculated in Matlab coefficient in order to keep the energy of the signal the same.

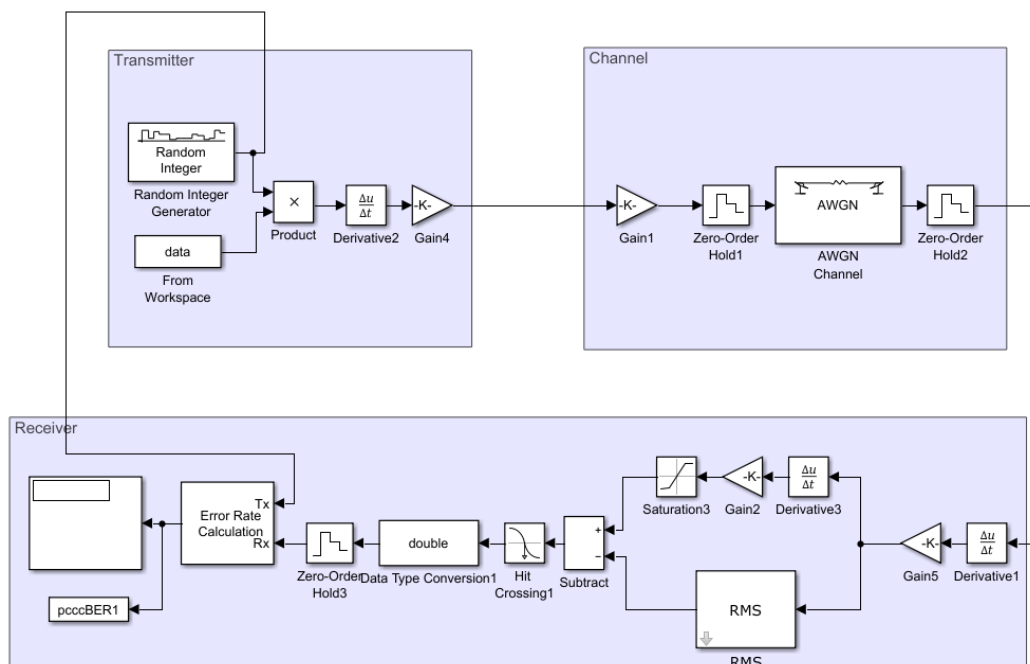


Fig.3. Functional diagram of IR-UWB system.

In the radio channel, the signal is attenuated in Gain1 that simulates the signal loss in open space, and then summed with white Gaussian noise in AWGN Channel. After that, the signal is differentiated again in Derivative1 and scaled in Gain5. These two blocks simulate the receiver antenna.

In the receiver, the signal is sent to two parallel chains. One of them differentiates the signal, whereas another one integrates it giving its root-mean-

square (RMS) value at the output. The difference of these two signals is then sent to the input of the monostable multivibrator (Hit Crossing1), triggered by the falling edge of an impulse. The threshold for the multivibrator is chosen to be - 0.4 V.

The resulting bit error rate for different values of the ratio  $E_b/N_o$  is shown in Fig. 4. It should be noted, that this graph is built for ideal conditions and demonstrates very high noise immunity of the channel. This is caused by very small power of the signal (of a few pW order) relative to the mean value of Gaussian noise.

It is proposed to put at transmitter output and receiver input broadband filters with bandwidth of 50 GHz – 150 GHz. This will not only cut off most of the noise and decrease the probability of erroneous reception, but also reduce noise created by the designed system to other communication systems in the adjacent bands.

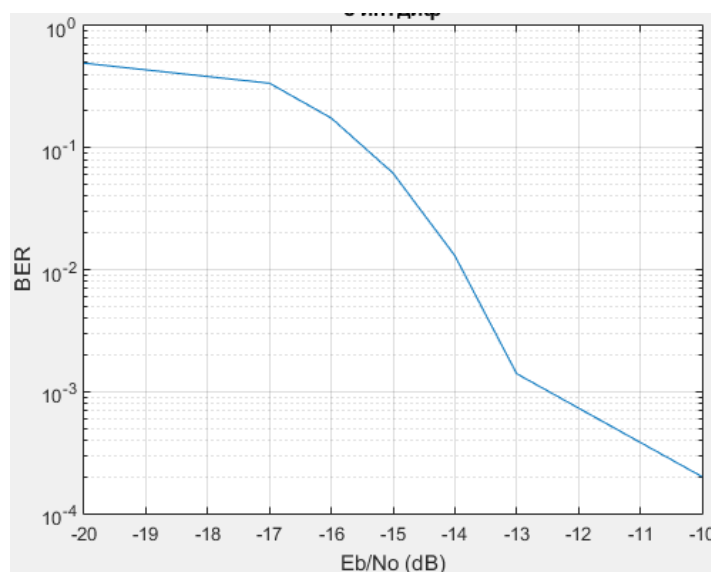


Fig.4. BER

In this paper, a communication system that uses broadband pulsed signals was modelled using Matlab /Simulink. Energy parameters were calculated for simulated system.

### References

1. 'Non Energy' Reception of Ultra Short Impulse Signals / Sergey Bunin, Institute of Tetelecommunications of the National Technical University of Ukraine "KPI", Ukraine, 2010, 4 p.
2. Giordano, A. A. Modeling of Digital Communication Systems Using SIMULINK / Giordano A. A, Levesque A. H. - M.: John Wiley & Sons, 215. — 264 p.
3. Why UWB? A Review of Ultrawideband Technology / Leonard E. Miller Institute of Wireless Communication Technologies Group National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Maryland, 2003, 78 p. - ISBN 978-1-118-40005-0
4. Nekoogar, Faranak. Ultrawideband Communications: Fundamentals and Applications // Prentice Hall, USA. 2005 – 240 pp.

## DESIGN OF MICROWAVE WIDEBAND MICROSTRIP FILTERS USING DIFFERENT NUMERICAL METHODS

**Zelepukina T.V., Nemchenko K.V., Trubarov I.V., Avdeyenko G.L.**

*National Technical University of Ukraine*

*“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ”*

*E-mail: greenatan@gmail.com*

### **Проектування широкопasmових мiкросмужкових фiльтрiв НВЧ-дiапазону з використанням рiзних чисельних методiв розрахунку**

Описано пiдхiд до проектування мiкросмужкових НВЧ-фiльтрiв iз застосуванням рiзних чисельних методiв розрахунку i пов'язаних з ними систем автоматизованого проектування. Здiйснено розрахунок та моделювання фiльтру для системи мобiльного зв'язку DCS-1800 iз смугою пропускання 1710...1880 МГц. Здiйснено порiвняння характеристик фiльтру, отриманих методами моментiв, скiнченних елементiв та розрахованих за значеннями S-матриць вiдрiзкiв лiнiй передачi.

Rapid development of mobile communication systems and growth of the number of corresponding equipment increase the demand for small-size and high-performance microwave filters. At present, theory of filter design is well-studied part of microwave engineering, and there are a large number of filter types and design techniques that can be used for designing and fabrication of filters [1] – [3].

Nowadays, a filter design is usually an iterative procedure involving numerous simulations and optimization of structure of a filter. There a few most used in filter design process numerical techniques: method of moments (MoM), finite-element method (FEM), finite-difference time-domain method (FDTD).

In this paper, the comparison of three numerical methods for a bandpass filter is done. At first, the frequency responses of the filter are calculated using the S-matrix theory, where the topology of a filter is considered as a set of connected segments of transmission line and discontinuities. Each part of the structure is then represented by its S-matrix. The S-matrix for the whole structure is calculated using the rules for S-matrix transformations for cascade and parallel connections of two-port networks. After that, two numerical results were used: MoM and FEM.

Let us design a bandpass microstrip filter for the DCS-1800 band, that is 1710 – 1880 MHz. The parameters of the filter are as follows: passband  $BW = 170$  MHz; stopband  $SB = 250$  MHz; insertion loss in the stopband  $IL \leq -30$  dB; ripple within the passband 0.1 dB. Let the filter be of edge-coupled type.

For the realization of the filter, the RT/Duroid 6010LM laminate was used. The parameters of the material are as follows: dielectric constant  $\epsilon_r = 10.5$ ; thickness  $h = 0.635$  mm; thickness of strip  $t = 0.017$  mm; dissipation is defined by  $\tan\delta = 0.0023$ ; height of the top shield  $H = 10$  mm.

The Chebyshev response was used. To meet the listed above demands, the 7-order prototype should be used. Using the parameters of low-pass prototype, the parameters of the transmission line segments for the edge-coupled structure can be

calculated using the procedure given in [1]. The model of the filter was prepared using the Microwave Office software and is shown in Fig.1.

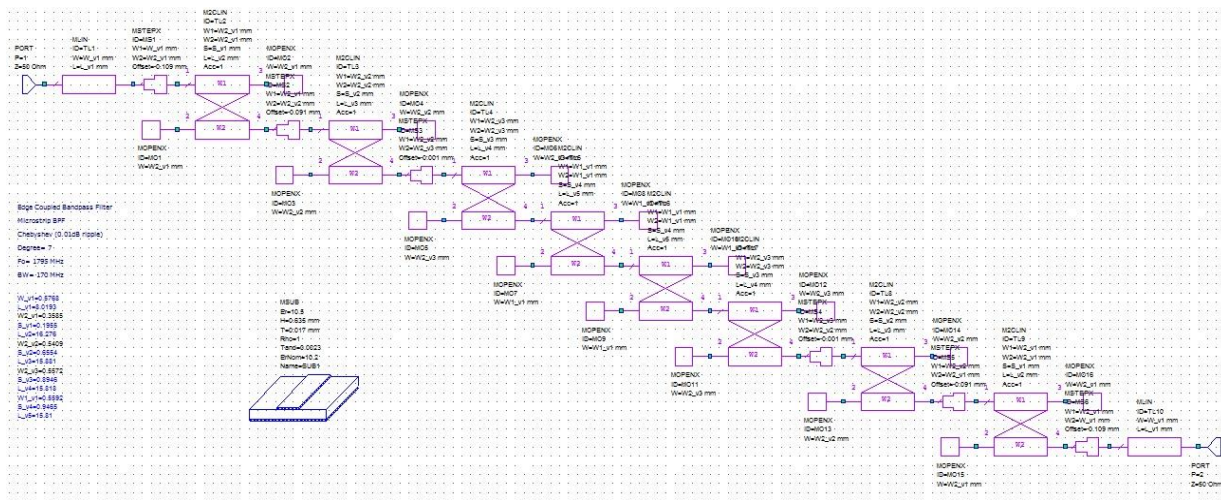


Fig.1. Model of the filter

As it can be seen, the filter topology consists of 8 pairs of coupled microstrip resonators. Using this model, the topology of the filter was generated. It was then used for preparing the 3D model for the filter shown in Fig.2.

The dimensions of the filter are  $143.6 \times 10.4 \text{ mm}^2$ . The side shielding metal walls should be shifted from the edge strips in order not to influence the electromagnetic fields in it. The resulting dimensions of the filter are  $144 \times 16 \text{ mm}^2$ .

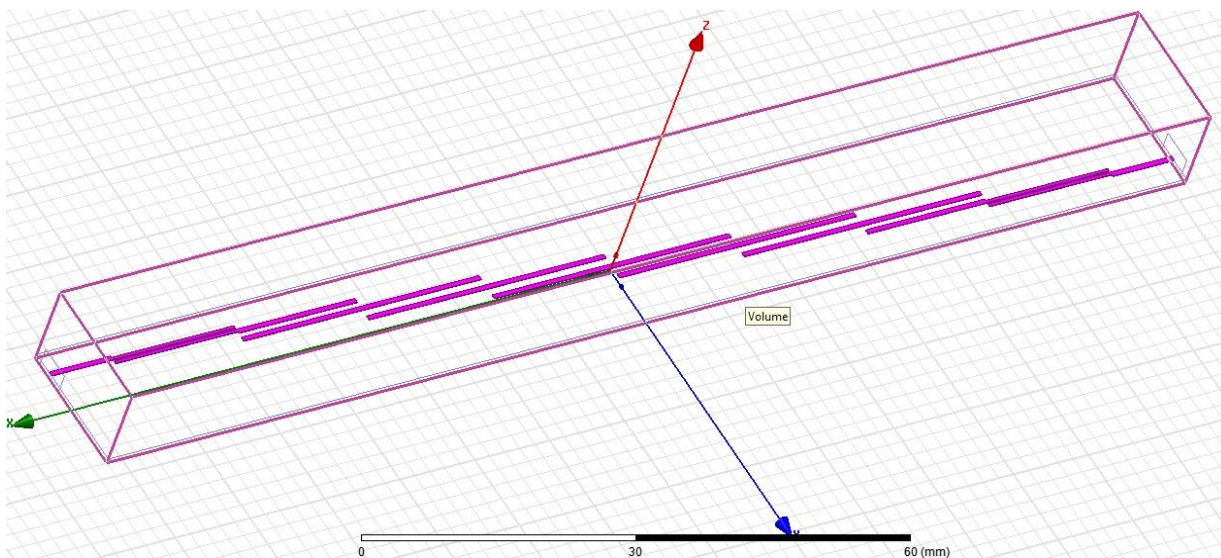


Fig.2. Model of the filter.

To perform the analysis using MoM method, the grid of  $0.05 \times 0.05 \text{ mm}^2$  was used. The dimensions of all elements were approximated in order to correspond to the grid cells. This rounding impacts the end characteristics of the filter, worsening them.

The topology was then extracted from the model and used to prepare the 3D



model for analysis using FEM method. The HFSS software was used for this purpose. The model is shown in Fig.2.

In Fig.3, the simulated results for the frequency responses of the filter are shown. It can be seen that there is a considerable difference in frequency responses for the three methods exists.

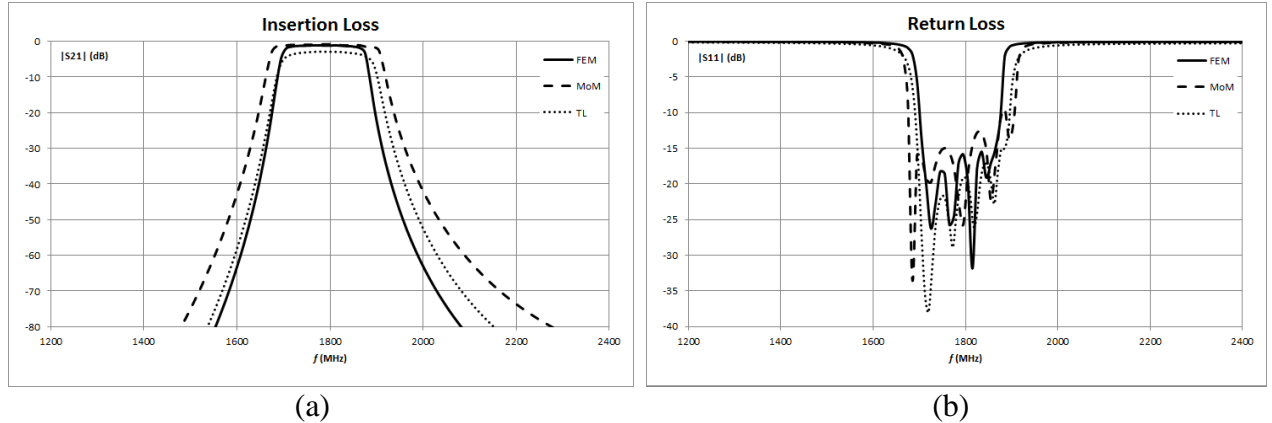


Fig.3. Frequency responses of the filter calculated by different numerical techniques.  
(a) Insertion loss. (b) Return loss.

The method based on the S-matrix theory (marked as TL in Fig.3) is based on lumped-element network representation of microwave structures and is then the least precise amongst the three compared methods. The MoM is 2.5D technique, which can be implemented only for planar structures, i.e. the structures consisting of a few layers. FEM is 3D model, where the accuracy of the results can be increased by increasing the number of the cells (of tetrahedral shape). FEM method is the most precise among the three considered techniques.

Microstrip structures are planar and the 2.5 techniques are implemented to analyse them most frequently, as it is expected that the time consumed for performing the simulation will be less than the one for 3D methods. However, in our example FEM method has demonstrated higher speed relative to MoM with higher accuracy.

Thus, general calculations and rough estimation of the filter's characteristics can be done using S-matrix calculations and MoM simulation, but the final analysis and optimization of a filter are worth being performed using 3D numerical techniques.

### References

1. Hong J.-S. *Microstrip filters for RF/microwave application*, 2<sup>nd</sup> Edition. N.Y. John Wiley and Sons, 2011.
2. Zhu, Lei, Sheng Sun, and Rui Li. *Microwave bandpass filters for wideband communications*. Vol. 232. John Wiley & Sons, 2011.
3. P. Jarry and J. Beneat. *Advanced design techniques and realizations of microwave and RF filters*. John Wiley & Sons, 2008.

## ОЦІНКА НЕОБХІДНОГО ТРАНСПОРТНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ ОБМІНУ СИГНАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В АРХІТЕКТУРИ IMS

**Верес Л.А., Гордашник Є.С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: aned@i.ua*

### Computing of the necessary transport resource for the exchange of signaling information in the IMS architecture

Bringing existing networks in line with the requirements of the IMS concept allows making the transition to All-IP networks and significantly improving the efficiency of the existing telecommunication environment. When switching to All-IP networks, one of the most important issues is the interfacing of signaling networks with different technologies. In this case, it is necessary that after solving the coupling tasks, the main signaling protocol in the system is the SIP protocol.

Приведення існуючих мереж у відповідність вимогам концепції IMS, дозволяє здійснити перехід до мереж all-IP і значно підвищити ефективність існуючої телекомунікаційного середовища. При переході до мереж all-IP, одним з найбільш важливих питань є поєднання по сигналізації мереж з різними технологіями. При цьому необхідно, щоб після рішення цих задач сполучення основним протоколом сигналізації в системі був протокол SIP.

На рис.1 представлена трирівнева архітектура IMS, на якій представлені основні елементи, які беруть участь в процесі передачі сигнальних повідомлень і рішення задач управління обслуговуванням викликів.

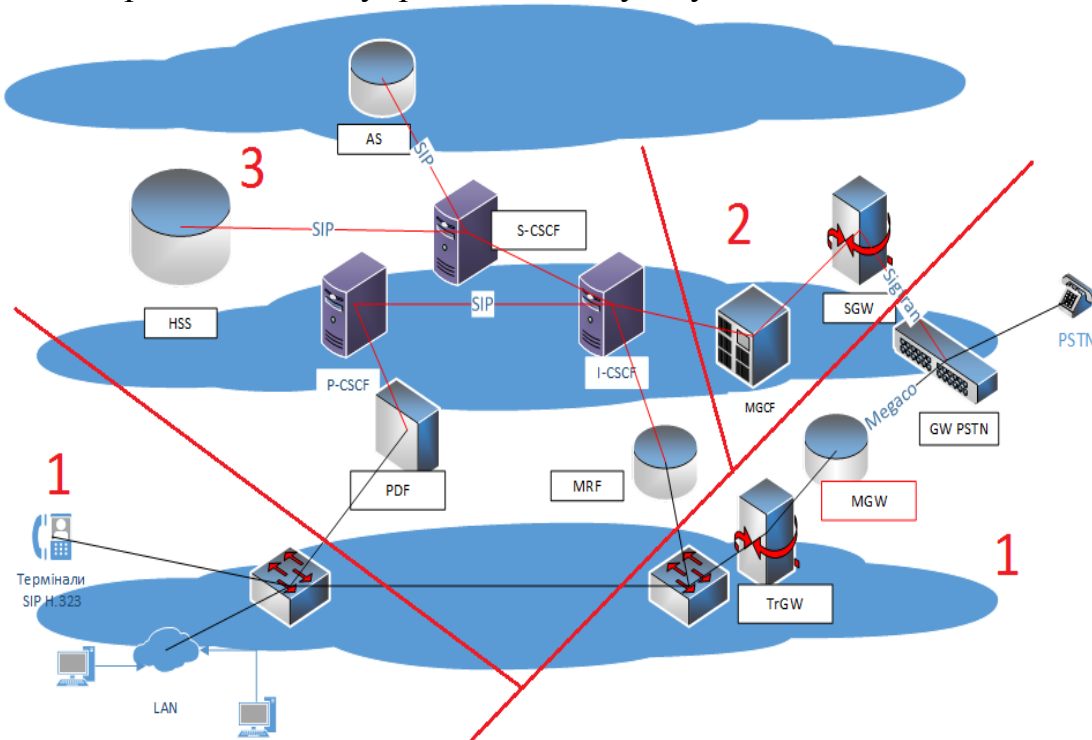


Рис. 1.

Нижній рівень, представляє собою рівень доступу. Тут навантаження телекомунікаційних мереж різних технологій зводиться до виду, зручного для передачі даних з використанням протоколу IP.

Середній рівень є рівнем управління. Основним елементом даного рівня є блок функцій CSCF, що складається з трьох функціональних блоків: S-CSCF, P-CSCF і I-CSCF. Це основні елементи рівня управління, на які покладається рішення задач сигналізації.

Для того, щоб оцінити необхідний транспортний ресурс для обміну сигнальної інформації в архітектурі IMS необхідно: визначити навантаження, створюване сегментами мережі з різними технологіями, привести її до вигляду, зручного для передачі за рівнем управління IMS і визначити необхідний каналний ресурс для обслуговування цього навантаження.

З метою зменшення складності розв'язуваних задач, на рис. 1 приведена декомпозиція мережі на сегменти 1, 2 і 3. Сегмент 1, відображається навантаження мереж, що працюють по протоколу SIP. Сегмент 2 відображає навантаження цифрових мереж з комутацією каналів. Сегмент 3 відображає навантаження, яке формується при взаємодії з рівнем додатків і базою даних HSS.

Зробимо орієнтовний розрахунок обсягу навантаження і необхідного транспортного ресурсу, необхідного в процесі функціонування блоку функцій CSCF. Для цього потрібно розрахувати необхідні параметри для кожного з трьох блоків функцій: S-CSCF, P-CSCF і I-CSCF.

**Блок функцій S-CSCF** є SIP-сервер, керуючий сеансом зв'язку. Для цього він отримує від інших мережевих елементів всю інформацію про встановлення з'єднання і необхідні послуги (рис. 1).

Введемо наступні позначення:

1. Середнє число SIP повідомлень при обслуговуванні одного виклику між:
  - MGCF и S-CSCF –  $N_{sip1}$  ;
  - MRF и S-CSCF –  $N_{sip2}$  ;
  - AS и S-CSCF –  $N_{sip3}$  ;
  - I-CSCF и S-CSCF –  $N_{sip4}$  .
2.  $L_{sip}$  – середня довжина SIP повідомлення в байтах.
3. X% – відсоток викликів, при обслуговуванні яких потрібно звернення до сервера MRF.
4. Y% - відсоток викликів, при обслуговуванні яких потрібно звернення до серверів додатків AS.
5.  $V_{mgcf-s-cscf}$  – транспортний ресурс між MGCF і S-CSCF, який потрібно для обміну повідомленнями по протоколу SIP під час обслуговування викликів.
6.  $V_{as-s-cscf}$  – транспортний ресурс між серверами додатків (AS) і S-CSCF.
7.  $V_{mrf-s-cscf}$  – транспортний ресурс між MRF і S-CSCF.
8.  $V_{i-cscf-s-cscf}$  – транспортний ресурс між I-CSCF і S-CSCF.
9.  $V_{s-cscf}$  – загальний транспортний ресурс S-CSCF, який потрібно для обміну повідомленнями по протоколу SIP під час обслуговування викликів.

Тоді загальний необхідний транспортний ресурс буде дорівнює сумарному

транспортному ресурсу взаємодії функції S-CSCF з іншими елементами IMS архітектури:

$$V_{s-cscf} = V_{i-cscf-s-cscf} + V_{mrf-s-cscf} + V_{as-s-cscf} + V_{mgcf-s-cscf} \text{ (біт/с)},$$

$$V_{mgcf-s-cscf} = k_{sig}(L_{sip} * N_{sip1} * P_{sx})/450 \text{ (біт/с)},$$

$$V_{as-s-cscf} = k_{sig}(L_{sip} * N_{sip2} * P_{sx} * X\%)/450 \text{ (біт/с)},$$

$$V_{mrf-s-cscf} = k_{sig}(L_{sip} * N_{sip3} * P_{sx} * Y\%)/450 \text{ (біт/с)},$$

$$V_{i-cscf-s-cscf} = k_{sig}(L_{sip} * N_{sip4} * P_{sx})/450 \text{ (біт/с)}.$$

**Функціональний елемент I-CSCF**, так само як і S-CSCF, бере участь в обслуговуванні викликів різнорідних мереж таких як PSTN. Оцінимо необхідний транспортний ресурс для взаємодії I-CSCF з елементами мережі. Позначимо:

- I-CSCF и S-CSCF –  $N_{sip4}$  ,
- MGCF и I-CSCF –  $N_{sip5}$  .
- P-CSCF и I-CSCF –  $N_{sip6}$  .

Крім того, позначимо:

$V_{i-cscf}$  – сумарний транспортний ресурс, що надходить на I-CSCF;

$V_{mgcf-i-cscf}$  – транспортний ресурс між MGCF і I-CSCF;

$V_{p-cscf-i-cscf}$  – транспортний ресурс між P-CSCF і I-CSCF;

Тоді загальний транспортний ресурс:

$$V_{i-cscf} = V_{mgcf-i-cscf} + V_{i-cscf-s-cscf} + V_{p-cscf-i-cscf} \text{ (біт/с)}.$$

Значення  $V_{i-cscf-s-cscf}$  розраховане раніше, а  $V_{mgcf-i-cscf}$  обчислюється:

$$V_{mgcf-i-cscf} = k_{sig}(L_{sip} * N_{sip6} * P_{sx\_SH})/450 \text{ (біт/с)}.$$

**Функціональний елемент P-CSCF** вимагає транспортного ресурсу, для забезпечення сигнального обміну з функцією P-CSCF, позначимо:

- P-CSCF и I-CSCF –  $N_{sip6}$  .
- P-CSCF и PDF –  $N_{sip7}$  .

Крім того, введемо такі позначення:

$V_{p-cscf}$  – загальний транспортний ресурс P-CSCF, який потрібно для обміну повідомленнями по протоколу SIP під час обслуговування викликів,

$V_{pdf-p-cscf}$  – транспортний ресурс між PDF і P-CSCF;

Тоді загальний транспортний ресурс:

$$V_{p-cscf} = V_{pdf-p-cscf} + V_{p-cscf-i-cscf} \text{ (біт/с)}.$$

Значення  $V_{p-cscf-i-cscf}$  розраховане раніше, а  $V_{pdf-p-cscf}$  обчислюється за формулою:

$$V_{pdf-p-cscf} = k_{sig}(L_{sip} * N_{sip7} * P_{sx\_SH})/450 \text{ (біт/с)}.$$

### Література

- 1.«The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular Worlds» by Gonzalo Camarillo, Miguel-Angel García-Martín (John Wiley& Sons, 2006, ISBN 0-470-01818-6).
2. Гольдштейн, А.Б. Softswitch/ А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. – СПб. :BHV, 2006.
3. Abhayawardhana V.S., Babbage R. A traffic model for the IP Multimedia Subsystem (IMS) // 2007, IEEE Magazine, - С.783-787.
4. Deart V.Y. Multiservice network. 2011. (Softswitch / IMS). Moscow: Briz-M,2011. 198 p.

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗРОБОК МІКРОСМУЖКОВИХ ФІЛЬТРІВ

**Немченко К.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: knemchenko@srs.kpi.ua*

### **Analytical review of the development of microstrip filters**

Analyzed the main developers of the microstrip filters and reviewed their list of products. Showed parameters of this devices and considered the main prospects of its usage in real telecommunication systems.

Розвиток і мініатюризація елементної бази надвисокочастотної техніки вимагає істотного зменшення розмірів і частотно-селективних пристроїв, що функціонують в діапазоні 0,3...100 ГГц. Одним із шляхів вирішення цієї актуальної задачі є заміна порожнистих хвилеводних структур на смугові та мікросмужкові структури. Області застосування мікросмужкових ліній передачі постійно розширюються, завдяки:

- меншим габаритам,
- вазі пристроїв,
- технологічності,
- дешевизні.

Однак мікросмужковим лініям передачі і пристроям на їх основі притаманні деякі недоліки у порівнянні з хвилеводами: в них суттєво більш високі погонні втрати; труднощі точного аналізу пристроїв; відкритий характер ліній не виключає можливість електромагнітних зв'язків між елементами схеми.

Як відомо, частотно-селективні пристрої є найважливішими елементами техніки зв'язку та радіолокації. Постійна тенденція до підвищення функціональної складності і ступеня інтеграції високочастотних пристроїв поставила перед дослідниками в цій області проблему розроблення оптимальних конструкцій надвисокочастотних (НВЧ) фільтрів зі збереженням їх основних переваг: мініатюрності і надійності. Однак у зв'язку з особливостями поширення електромагнітних хвиль у мікросмужкових

лініях виникають значні труднощі при аналізі конструкцій на їх основі і особливо при проведенні синтезу мікросмужкових пристроїв.

Розглянемо вироби Фінляндської компанії Microsaw. У супутниковій та повітряній радіонавігації ми можемо використовувати фільтр M399-1300M1 (рис. 1). Він має наступні характеристики: центральна частота 1300 МГц, полоса пропускання 200 МГц, мале затухання у смузі пропускання, амлітудно-частотна характеристика зображена на рис. 2, розмір 10.4x7.5x0.3 мм.

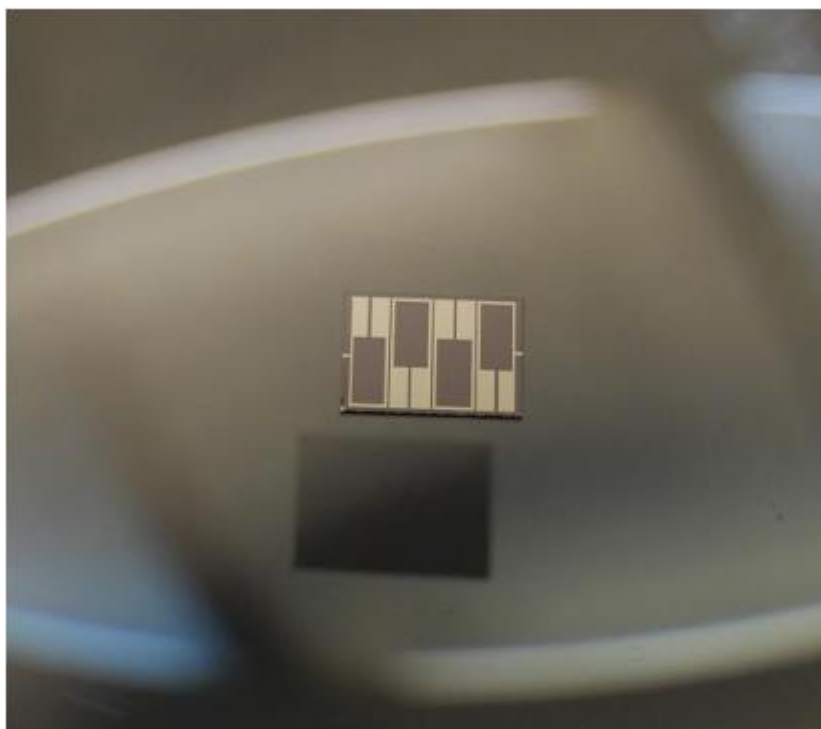


Рис. 1. Фото мікросмужкового фільтру M399-1300M1 від компанії Microsaw.

Окрім M399-1300M1 у компанії Microsaw є багато функціонуючих фільтрів (таблиця 1), які можна застосовувати у різних сферах:

- радіолокації;
- супутникових службах зв'язку;
- повітряній навігації;
- морській навігації.

Окрім розмірів, ці мікросмужкові фільтри мають ще одну перевагу. Вони можуть працювати критичних температурах від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$ .

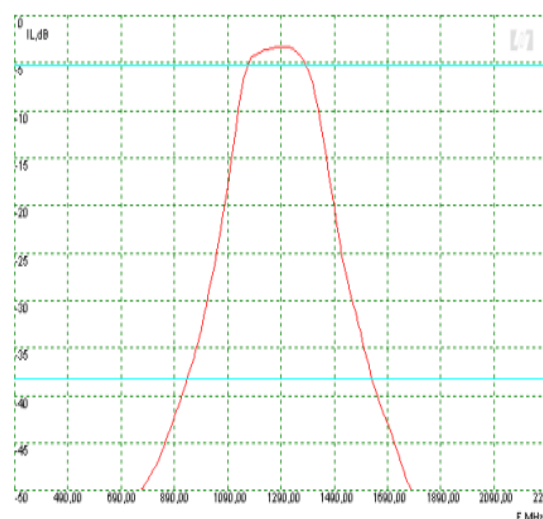
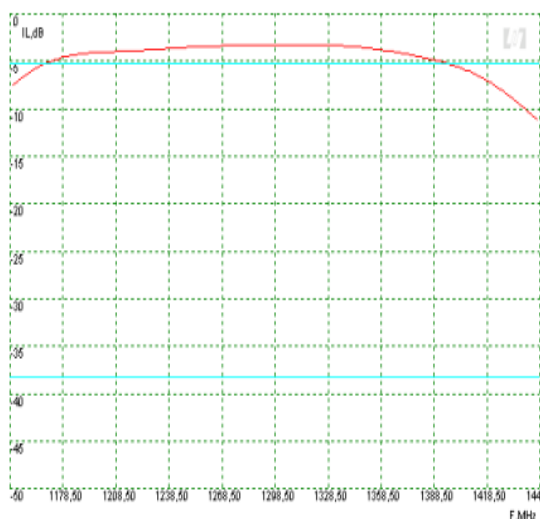


Рис. 2. АЧХ мікросмушкового фільтра M399-1300M1.

Таблиця 1. Параметри мікросмушкових фільтрів від компанії Microsaw

Модель	Центральна частота, МГц	Відносна пропускна здатність, %	Смуга пропускання, МГц	Затухання у смузі пропускання, дБ	Втрати, які вносяться у лінію, дБ	Розміри, мм
M399-1300M1	1300	16,92	220	-2	3.2	10.4x7.5x0.3
M400-3425M1	3425	0,88	30	-1	11.5	12x9.5x0.3
M300-3425M1	3425	0,99	34	-1	5.5	5.5x4.5x0.3
M299-4250M1	4250	9,41	400	-1	3.5	7.5x4.5x0.3
M299-5500M1	5500	10	550	-3	5	9.5x4.2x0.3
M199-9750M1	9750	6,67	650	-3	5.5	7.7x3.5x0.3

## Література

1. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. — М. : Радио и связь, 1990. — 288 с.
2. Jia-Sheng Hong. Microstrip Filters for RF Microwave Applications, 2nd Edition (Wiley Series in Microwave and Optical Engineering)
3. Офіційний сайт компанії Microsaw [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.microsaw.fi/products/microwave-filters/microwave-filters.php>.

## APPLICATION OF NEURONETWORK TECHNOLOGIES IN IP-TELEPHONY

**Vyhovskyi M.S.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ”  
E-mail: mvyhovsky@hotmail.com*

### **Применение нейросетевых технологий в IP-телефонии**

Рассмотрена возможность применения нейросетевых технологий в IP-телефонии. Основные этапы инженерной техники построения нейросетевых моделей выбираются на основе адаптивной нейронной сети.

The opportunity of application of neuronetwork technologies in IP-telephony has been considered. The basic stages of the engineering technique of neuronetwork models construction are selected on the basis of an adaptive neural network.

The basic feature of IP-Telephony is low cost of information transfer and use of the same channels for transferring the mixed traffic. For processing and analysis of initial data it is possible to use neural network (adaptive systems) as against expert systems they do not require beforehand known mathematical model. Neural networks have found application in those areas where it is necessary to solve problems of forecasting and management [1,2,4].

Application of neural networks is required, if traditional methods of solving a problem of forecasting and management do not give positive result, suitable to practical application. Or for solving a problem there are no known methods and algorithms. At the same time the initial data have implicit laws or the latent nonlinear dependences. To these conditions there corresponds technology of IP-Telephony. Qualitative granting services require a large amount of the initial data, the organization of constant supervision over behavior networks (monitoring), to reliability of the received data, methods and algorithms of their processing.

The analysis of jobs in the field of the control and diagnostics shows, that for application of neuronetwork technologies in IP-Telephony method Fault Detection and Identification (FDI), based on comparison of results of measurements of parameters of the network received with the help of system of monitoring with settlement parameters, calculated on mathematical model approaches [2, 5]. The basic stages of an engineering technique include the preliminary analysis of the data at a stage of production of a problem and a choice of architecture of a neural network; data processing for adjustment of adaptive system; a choice of algorithm of training, testing and the analysis of accuracy neuronetwork decisions.

For researching the application of neuronetwork technologies in IP-Telephony it is offered to use software product, carrying out classification of packages of IP-Telephony on the basis of an adaptive neural network.



In Figure 1 the structure of software product of modeling of a neural network which includes three basic functional blocks is shown: the interface of the user; the block of preliminary processing of statistics; the block of performance and the data processing, received on an output of a neural network.

The neural network carries out processing the information and passes result to the block of performance and processing the received data which will transform the received data from an output of a neural network to managing signals. The software is developed in programming language Delphi and will consist of the following program modules: NEURONET.dll; Set Net.pas; StatUnit.pas, TchUnit.pas; WorkUnit.pas; GrafUnit.pas.

Functions of the basic program modules are tabulated 1. All functions of software product are realized as classes. The neural network is realized as dynamic library NEURONET.dll.

Class NeuroNet - represents the general description of a network including the identifier, a kind of a network, purpose and scope, and also others most general characteristics. NeuroNet, realizes training a neural network by a method of return distribution of a mistake.

Library NeuroNet, allows:

- To train a multilayered neural network a method of return distribution of a mistake;
- To change parameters of training;
- To save the trained network file.

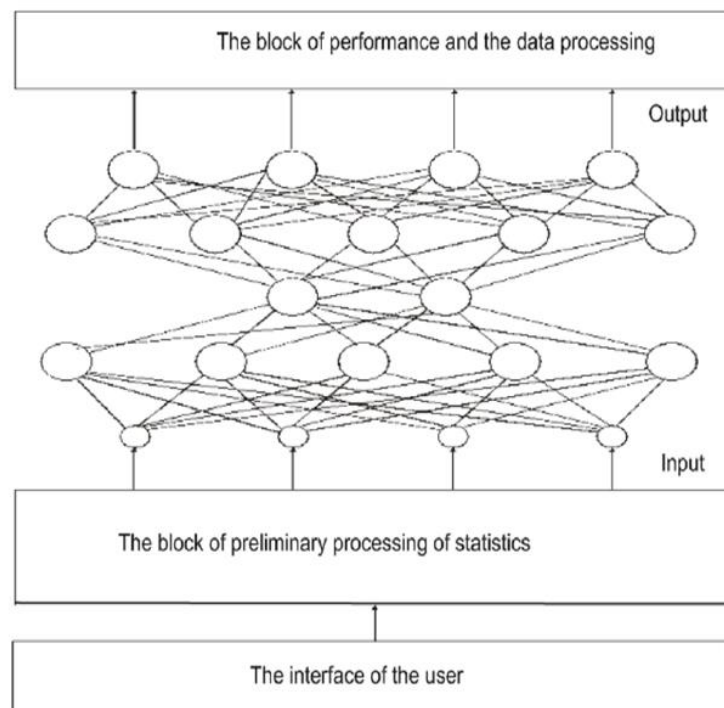


Fig. 1. Structure of the software of algorithms of processing IP-Telephony packages on the qualifier with a neural network.

Moduls	Functions	The classes realizing functions
NEURONET.dll	Creationa of a neural network	TEvent
SetNet.pas	Installation of a neural network in initial position	TSet_Net
StatUnit.pas	Processing in statistic	TStat_proc, TStat_calc
TchUnit.pas	Training of a neural network	TTeach
WorkUnit.pas	Classification of packages on the basis of a neural network	TProc_start, TAction, TFunc
GrafUnit.pas	Performance of the target information in a graphic kind	TGraf

Fig. 2. Functions of the basic program modules.

In quality activation functions neurons use sigmoid:

$$1 / (1 + \exp(\alpha + NET)) \quad (1)$$

Where  $\alpha$ - a steepness of function; NET - the weighed sum of entrance signals and a threshold level neuron.

To increase the effectiveness of training neural network is applied:

- The schedule of training - speed of change of weight factors in regular intervals decreases on all a grade level from initial speed up to final;

- Inertian changes of weights- at correction of weight its change in the previous iteration is taken into account. It allows avoiding local minima. Structure NeuroNet - the structure containing the description of a neural network. The basic properties:

- Alpha - an alpha (a steepness of function of activation);
- Moment - the moment of inertia;
- StartSpeed - initial speed of training;
- FinishSpeed - final speed of training.

The offered variant of neuronetwork technologies for IP-Telephony assumes, that the system works in two basic modes. The first mode is used when the quantity of channels on which there come packages of IP-Telephony is known and limited. The second mode is used in the absence of such information. The software product can be used as the qualifier which is carrying out processing IP-telephony packages on the boundary router.

#### References

1. Ossovski S. Neural networks for processing the information. // M.: «The Finance and statistics», 2004. – 244 p. (in Russian).
2. Barski A.B. Nejrornyie of a network: recognition, management, decision-making. // Applied information technologies. M.: «The Finance and statistics», 2004. – 168 p. (in Russian).
3. Tsaregodstev V.G. General inefficiency of use of a total gradient of sample at training a neural network // XII the All-Russia seminar «Neural informaticsand its applications». Krasnoyarsk, 2004. pp. 145-151. (in Rissian).
4. Kalan R. Basic concept of neural networks. // M.: Williams, 2001. – 288 p.
5. Khaikin S. Neural networks: a full rate.2 edition. // M.: «I.D.Williams», 2006. – 1104 p.

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СЕРВІСІВ VPN НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ MPLS РІВНЯ ISP

Денисюк С.В, Осокін М.Г.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ імені Ігоря Сікорського*

*E-mail: serhiy.denysiuk@gmail.com*

### Method of providing VPN security services based on MPLS technology ISP level

VPN services based on MPLS technology are very. They can give all that have given older 2 layer technologies, like ATM and Frame relay, and even more. Except basic VPN concepts, MPLS provide more better quality security options.

Впродовж довгого часу традиційні технології другого рівня, такі як ATM або Frame Relay лишалися домінуючими у наданні послуг приватних мереж (VPN), проте з приходом технології Multiprotocol Label Switching (MPLS) все більше компаній схиляються саме до сервісів, побудованих на основі цієї технології. Їхній вибір можна пояснити не тільки зрозумілою, добре продуманою архітектурою мереж на базі MPLS, але і їх поширенням та забезпеченням високої якості обслуговування (QoS).

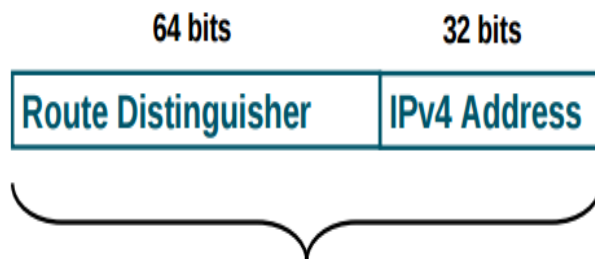


Рис. 1. Додавання розпізнавача маршрутів до маршруту IPv4.

Одним з перших пунктів, які потрібно передбачити при побудові сервісів даного типу, це розділення адресного простору між різними незалежними VPN. З точки зору маршрутизації це означає, що кожна кінцева система в VPN має свою унікальну адресу, і всі маршрути до цієї адреси вказують на ту ж кінцеву систему. Це досягається додаванням 64-розрядного розпізнавача маршрутів (рис. 1) до кожного маршруту IPv4, що робить унікальними адреси VPN в ядрі MPLS.

Також використовується спосіб розділення маршрутів між VPN. В такому випадку кожен маршрутизатор PE підтримує окремий екземпляр віртуальної маршрутизації і перенаправлення (VRF) для кожної підключеної VPN. Кожна VRF (рис. 2) на маршрутизаторі PE заповнюється маршрутами з однієї VPN, відповідно, не буде ніяких завад між віртуальними частинами VPN та маршрутизаторами PE.

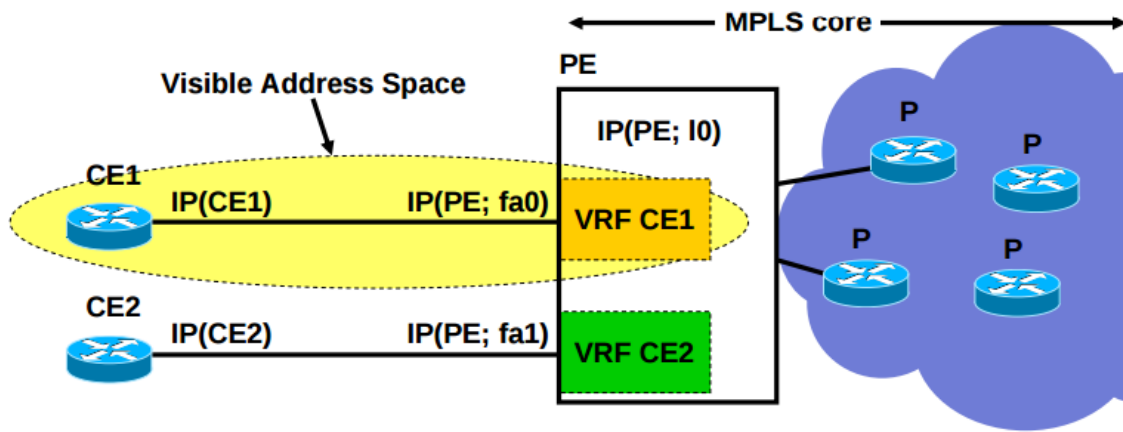


Рис. 2. Застосування VRF для відокремлення трафіку кожної VPN.

Крім того, слід зробити так, щоб крайні елементи мережі провайдера (PE) не були видимі для зовнішніх мереж (1). Це не обов'язково, але зрозуміло, що якщо ці адреси будуть доступні зовнішньому світові, то їх простіше буде атакувати. Відповідно, потрібно показати таку ж структуру, як і при звичайному інтернет-сервісі. Як варіант, можна використовувати NAT для подальшого приховування адреси. Для запобігання загрозам від атак, застосовують методи фільтрації пакетів з використанням мережевих екранів, списків керування доступом, а також приховуванням адрес від зовнішнього світу.

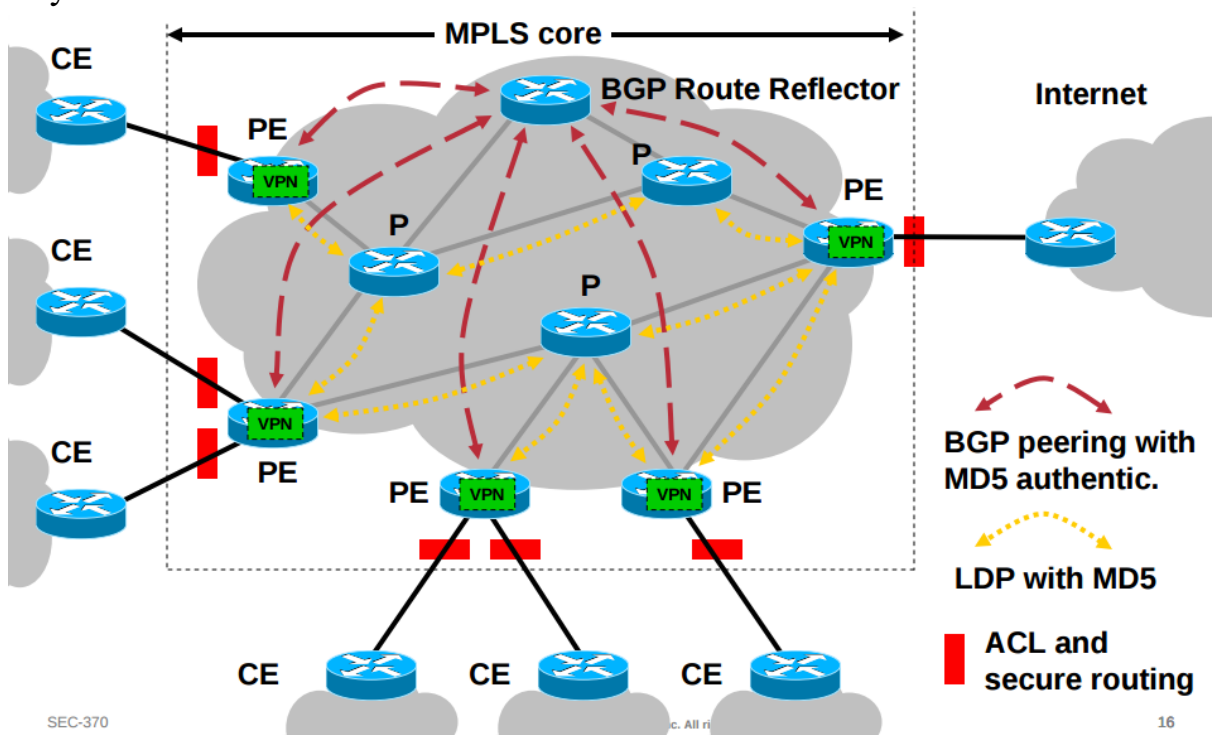


Рис. 3. Засоби захисту ядра MPLS.

У звичайній IP-мережі дуже просто підробити IP-адреси. Враховуючи те, що MPLS працює всередині з мітками замість IP-адрес, виникає питання, чи можливо підробити мітки. Припускаючи розділення адрес та

маршрутизації, зловмисник може спробувати отримати доступ до інших VPN, вставивши пакети з міткою, якою не поладіє. Це може бути проблеми ззовні, наприклад, маршрутизатор іншого клієнта, або з середини ядра MPLS. В принципі, інтерфейс між будь-яким маршрутизатором CE та його піринговим PE-маршрутизатором являється IP-інтерфейсом. Маршрутизатор CE не знає про ядро MPLS і думаю, що відправляє IP-пакети на звичайний маршрутизатор. Додавання ж мітки (2) до пакету відбувається на самому PE-пристрої. У цілях безпеки, маршрутизатор PE ніколи не повинен приймати пакет з міткою від маршрутизатора CE. В більшості рішень від провідних вендорів, пакети, які приходять на інтерфейс CE з міткою, будуть видалені. Лишається варіант підміни IP-пакету, але, враховуючи розділення адрес та застосування VRF, це нанесе шкоди тільки тій VPN, із якої прийшов пакет, відповідно, це вже питання захисту окремої мережі окремого клієнта.

Інтерфейс CE/PE має ключове значення для безпеки мереж MPLS. Пакетні фільтри (ACL) повинні бути налаштовані так, щоб було дозволено тільки один конкретний протокол маршрутизації для пірингового інтерфейсу маршрутизатора PE і тільки з маршрутизатора CE. Увесь інший трафік на маршрутизатор та мережу ISP повинен бути заборонений. Так як маршрутизація являється сигнальним механізмом між CE та PE, вона є найкращим способом ввести фіктивну інформацію у ядро. Відповідно (рис.3), всі протоколи маршрутизації повинні бути сконфігуровані у відповідності до опції аутентифікації у відношенні CE і будь-якого Інтернет з'єднання: CE/PE - з аутентифікацією BGP MD5, PE/P – аутентифікацією MD5.

Що стосується атак з середини ядра MPLS, всі класи VPN (MPLS, FR, ATM) мають одну і ту ж проблему (3): якщо зловмисник може встановити сніффер (замінник мітки), він або вона може читати інформацію в усіх VPN. Він може виконувати велику кількість атак, від підробки пакетів до впровадження нового однорангового маршрутизатора.

Таким чином, MPLS забезпечує повне розділення адрес і маршрутизації, як в традиційних VPN-службах рівня 2. Він дозволяє приховати структури адресації ядра і інших віртуальних приватних мереж, і в сьогоdnішньому розумінні неможливо з боку вторгнутися в ядро або інші VPN, зловживаючи механізмами MPLS. Крім того, неможливо проникнути в ядро MPLS, якщо воно надійно закріплене. Відповідно, інфраструктура MPLS відзначається таким же рівнем безпеки, як і класичні ATM або Frame Relay.

### Література

1. [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk436/tk428/technologies\\_white\\_paper09186a00800a85c5.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk436/tk428/technologies_white_paper09186a00800a85c5.shtml).
2. [http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/multiprotocol-label-switching-mpls/prod\\_presentation0900aecd80312062.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/multiprotocol-label-switching-mpls/prod_presentation0900aecd80312062.pdf).
3. <http://searchenterprisewan.techtarget.com/guides/MPLS-VPN-fundamentals>.

## АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ФІЗИЧНОГО ТА MAC РІВНІВ У LI-FI – СИСТЕМАХ

**Романов О.І., Федюшина Д.М., Донг Т.Т.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: a\_i\_romanov@ukr.net, robinson.kruzo375@gmail.com, dongthitho1993@gmail.com*

### The analysis of the principles of building physical and MAC levels in Li-Fi systems

The principles of Li-Fi systems development at PHY and MAC levels are considered. The list of solved problems is analyzed. Functional construction of devices is given.

Подальший розвиток бездротових мереж пов'язано з рядом труднощів, таких як: обмеженість частотного ресурсу, низька енергоефективність, обмеження використання радіозв'язку (наприклад, у літаках чи лікарнях), шкідливий вплив на біологічні чи технічні об'єкти.

Одним із можливих способів вирішення таких проблем є використання технології Li-Fi (Light Fidelity). Дана технологія була запропонована Харальдом Хаасом і передбачає передачу даних в області спектру видимого світла (від 380 нм до 780 нм, Рис.1) з використанням світлодіодних ламп (LED- Light Emitting diode). Такий підхід дозволяє розширити спектр у 10 000 разів у порівнянні з радіочастотним спектром.

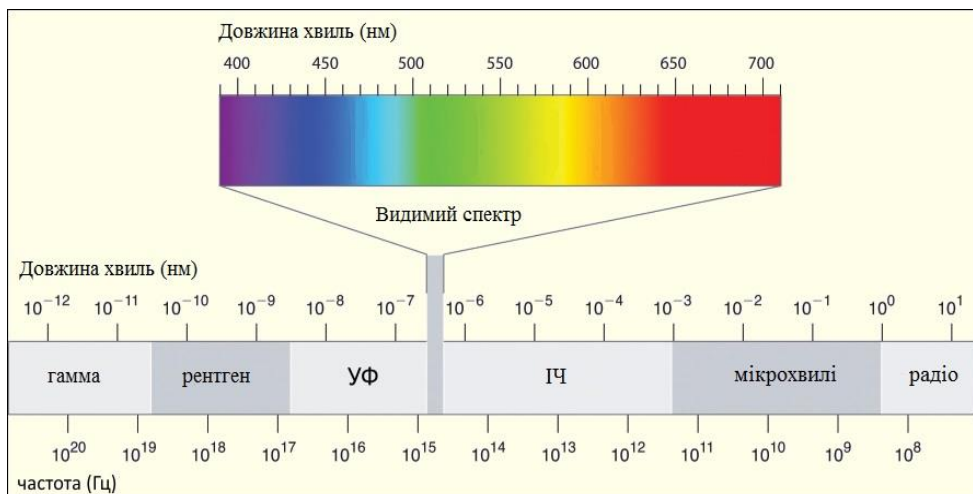


Рис.1. Графічне зображення спектру видимого світла

Важливий внесок у розвиток технології було внесено IEEE 802.15 WPAN Task Group 7, що оголосила перший офіційний стандарт VLC у другій частині 2011 року [1]. Цей стандарт охоплює як бездротовий інтерфейс фізичного рівня (PHY), так і керування доступом до середовища (MAC). Він є основою для розробки продуктів з гарантованими функціональними можливостями і дає орієнтири для майбутніх розробок.

Стандарт призначено для додатків, що відносяться до VLC Personal Area Networks (далі VPAN). В стандарті розглядаються три класи пристроїв:

- стаціонарні;
- мобільні (абоненти, термінали);
- транспортні (пристрої, розміщені на автомобілях, потягах, тощо).

В стандарті IEEE 802.15.7 розроблені рекомендації для трьох мережевих топологій: однорангової, зіркоподібної та широкомовної. Швидкість передачі даних у мережі складає від 11,67 до 96 Мбіт/с. В стандарті також розроблені рекомендації стосовно типового пристрою мережі Li-Fi. На Рис. 2 зображена архітектура такого пристрою, подана у термінах шарів та підшарів, а також їх відповідність до моделі взаємодії відкритих систем OSI. Кожен рівень даної архітектури надає послуги вищим рівням.

Архітектура пристрою VPAN містить:

- фізичний рівень (PHY), що має випромінювач і приймач світла разом з його механізмом керування низьким рівнем;
- рівень керування доступом до середовища (MAC), що забезпечує доступ до фізичного каналу для всіх типів передачі даних.
- рівень керування логічним каналом (LLC), що отримує доступ до MAC рівня через підрівень схожості послуг (SSCS);
- пристрій керування об'єктом (DME), що взаємодіє з PLME (об'єкт керування фізичним рівнем) та MLME (об'єкт керування зв'язками з MAC) для їх зв'язку з регулятором яскравості. DME отримує доступ до деяких атрибутів, пов'язаних із диммером, MLME та PLME для надання рівням MAC і PHY інформацію про регулювання яскравості. DME може також керувати пермикачами PHY, використовуючи PLME для вибору оптичних джерел та фотодетекторів.

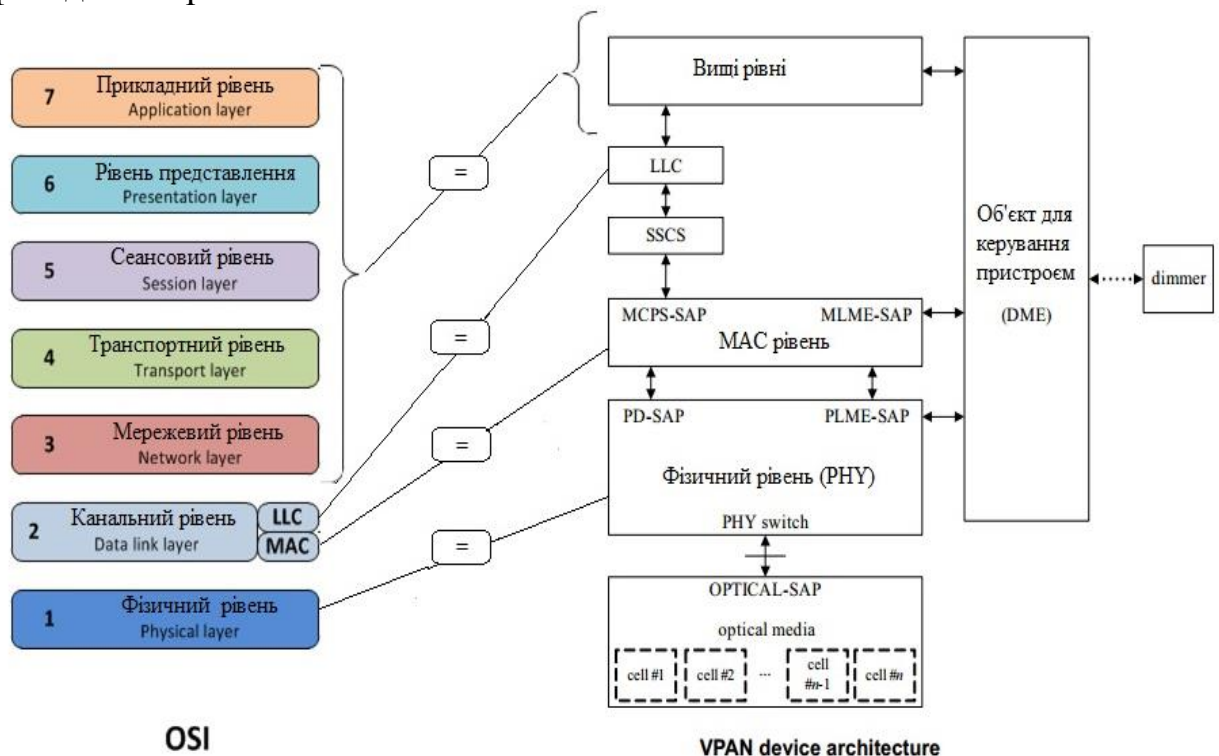


Рис. 2. Графічне зображення відповідності рівнів відкритої моделі OSI та VPAN

MAC рівень вирішує наступні задачі:

- адресація;

- запобігання конфліктів;
- керування радіомаяком та доступом до каналу;
- керування гарантованим часовим інтервалом (GTS);
- перевірка та підтвердження доставки кадру;
- пом'якшення мерехтіння;
- підтримка затемнення і т.д.

Фізичний рівень ділиться на три типи: РНУІ, ІІ і ІІІ, які використовують комбінацію різних схем модуляції. Швидкість РНУІ складає від 11.67 до 266.6 кБ/с, РНУІІ - від 1.25 до 96 МБ/с, а РНУІІІ - від 12 до 96 МБ/с [2]. РНУІ та РНУІІ визначені для одного джерела світла, вони підтримують такі види модуляції, як ООК (двохпозиційну) та VPPM (змінну модуляцію імпульсного положення). РНУІІІ використовує кілька оптичних джерел з різними частотами і має власний формат модуляції - так звану колірну маніпуляцію (CSK). Кожен режим РНУ містить механізми для модуляції джерела світла, лінійного кодування довжини рядку (RLL) та кодування каналу для прямої корекції помилок (FEC). Коди ліній RLL використовуються для того, щоб уникнути тривалих циклів 1 і 0 с, що може викликати проблеми з виявленням мерехтіння та синхронізації і відновлення даних (CDR). Лінійні коди RLL приймають символи випадкових даних на вході та гарантують баланс постійного струму з рівними 1 і 0 с на виході кожного символу. Різні стандартні лінійні коди RLL, наприклад, Manchester, 4B6B чи 8B10B, також визначені у стандарті та забезпечують компроміс між накладними витратами кодування та простотою реалізації. Для ITS-додатків тип РНУІ вважається найбільш зручним, оскільки був розроблений спеціально для зовнішнього застосування. В найпростішому випадку цифрова одиниця «1» представляється станом «включено», а цифровий нуль «0» - станом «виключено».

Для прямої корекції помилок використовуються надійні згорткові коди та коди Ріда-Соломона для подолання додаткових втрат на трасі через велику відстань чи потенційних завад, що створюються джерелами оптичного шуму, наприклад, денним чи флуорисцентним освітленням.

У наш час Li-Fi лише розвивається, проте ця технологія вважається дуже перспективною [3]. Реалізація рекомендацій стандарту IEEE 802.15.7 дозволяє уже сьогодні будувати мережі, що цілком можуть бути конкурентоздатними на сучасному ринку телекомунікацій.

#### **Література**

1. Light fidelity (li-fi) based indoor communication system. Farooq Aftab, Muhammad Nafees Ulfat khan, Shahzad Ali, School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing china (USTB). International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.8, No.3, May 2016.
2. Principles of LED Light Communications Towards Networked Li-Fi Svilen dimitrov, German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, Harald Haas, University of Edinburgh. © Cambridge University Press 2015.
3. Farooq Aftab, Muhammad Nafees Ulfat khan, Shahzad Ali «Light fidelity (li-fi) based indoor communication system» International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.8, No.3, May 2016.



## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОБХІДНОГО ОБ'ЄМУ РЕСУРСІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ SOFTWARE-DEFINED NETWORKING

Дідковський А. В., Лісковський І. О.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: antondi23@yandex.ru*

### **Research required volume of resources for implementing mobile communication based on technology Software-Defined Networking**

This article shows the organization of communication between two subscribers, using the Adaptive Multi-Rate (AMR) speech codec. Experimental test results from the Verification and Characterization phases of testing are reported to illustrate the behavior of AMR in multiple operational conditions.

Мовний кодек AMR включає в себе набір режимів мовних кодеків з фіксованою швидкістю для роботи з половинною швидкістю і повною швидкістю, з можливістю перемикання між різними режимами в залежності від умов поширення помилки. Кожен режим кодека забезпечує різний рівень захисту від помилок за допомогою виділеного розподілу повної доступної швидкості передачі бітів (22,8 кбіт/с в повній швидкості і 11,4 кбіт/с на половинній швидкості) між кодуванням джерела і каналним кодуванням. [1]

Реальна швидкість мови, яка використовується для кожного мовного кадру, залежить від існуючих умов радіоканалу. Алгоритм адаптації кодека обирає оптимізовану швидкість мови (або режим кодека) в залежності від якості каналу. У режимі поганого поширення сигналу вибирається найбільш надійний режим кодека. Режим кодека, що забезпечує найкращу якість, вибирається в хороших умовах поширення. Адаптація кодека ґрунтується на вимірюваннях якості каналу, виконуваних в мобільній станції (МС) і мережі, і на інформації про смугу, переданої по повітряному інтерфейсу разом з мовними даними. [2]

На рис. 1 зображенні основні інформаційні потоки по ключовим інтерфейсам системи.

Для адаптації режиму кодека висхідної лінії зв'язку мережа повинна оцінювати якість каналу, ідентифікувати найкращий кодек для існуючих умов розповсюдження і відправляти цю інформацію в МС по повітряному інтерфейсу (поле даних команди режиму кодека). [1]

Для адаптації кодека низхідної лінії зв'язку МС повинна оцінити якість каналу і відправити в мережу інформацію про якість, яка може бути

відображена в мережі в «запропонований» режим кодека. [1]

Теоретично, режим кодека може бути змінений для кожного мовного кадру. На практиці, через затримки поширення і необхідність фільтрації в функціях адаптації кодека, режим кодека повинен бути адаптований з меншою швидкістю. [2]

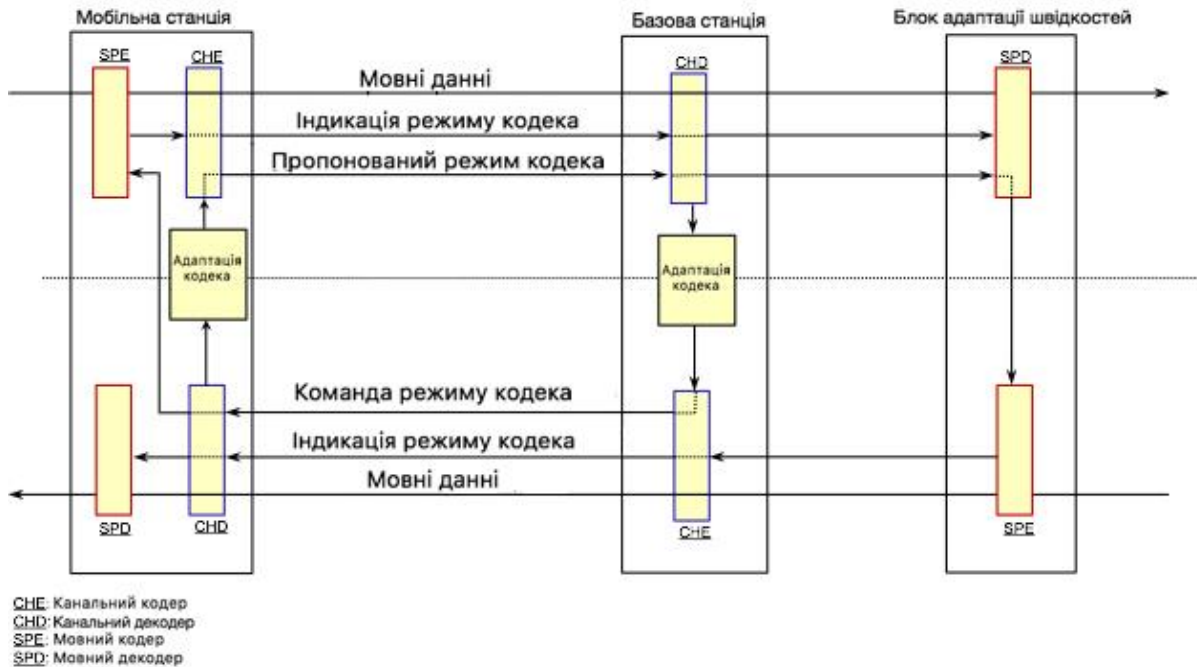


Рис. 1. Основні інформаційні потоки по ключовим інтерфейсам системи.

Кожне посилання може використовувати інший режим кодека, але для обох каналів використовується обов'язково один і той же режим каналу (повний або половинний).

Режим каналу обирається функцією управління радіо-ресурсами в мережі. Це робиться при встановленні з'єднання або після «естафетної передачі». Тип каналу може бути додатково змінений під час виклику в залежності від умов каналу.

Ключовими характеристиками обраного рішення AMR є:

- 8 режимів кодека в режимі Full Rate (повної швидкості), включаючи GSM EFR і IS136 EFR.
- 6 режимів кодека в режимі Half Rate (також підтримується в Full Rate), включаючи IS136 EFR.
- Можливість роботи з набором з 4 режимів кодеків, обраних під час налаштування виклику або передачі виклику.
- Індикація режиму кодека, мультиплексованих за допомогою команди режиму висхідного кодека і запропонованого режиму кодека низхідній лінії зв'язку, кожен другий кадр.
- У смузї сигналізації на основі 2-х бітного інформаційного поля відправляються всі інші блоки, закодовані радіопослуга. [2]

На рис. 2 представлено графіки показників AMR в промові без шумів та режимі повної швидкості та порівнюється продуктивність, записана для найкращого режиму кодер-декодер AMR з повною швидкістю для кожної умови погіршення, з відповідною ефективністю EFR і відповідні вимоги до продуктивності AMR.

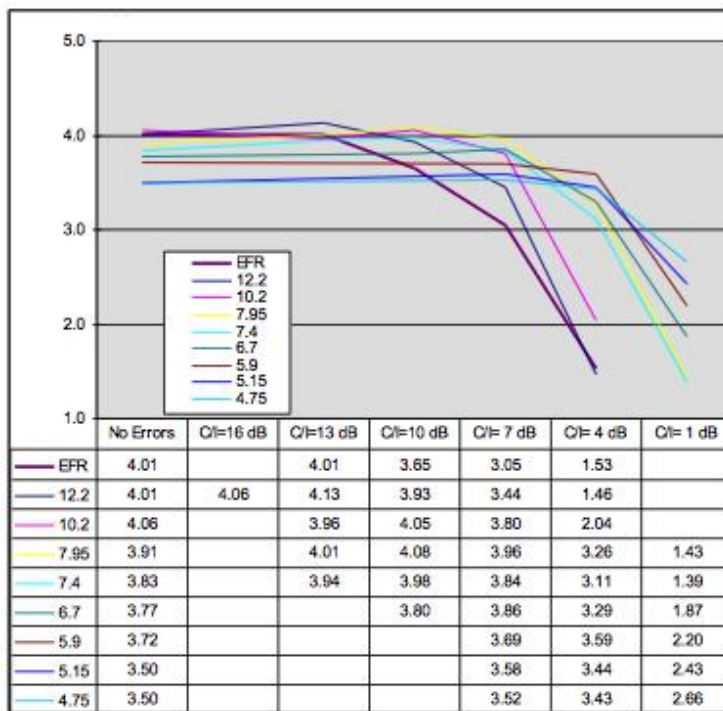


Рис. 2. Сімейство кривих при повній швидкості/мові без шумів AMR.

Результати тестування характеристики AMR показали, що обране рішення задовольняє вимоги AMR з чистою мовою в Full Rate каналі. Попередні результати показують, що комбінація всіх режимів мовного кодека забезпечує надійний мовний кодек з повною швидкістю до 4 дБ C/I.

Результати також показали, що чотири самих високих режими кодека (12.2, 10.2, 7.95 і 7.4) еквівалентні EFR в умовах без помилок і практично не схильні до поширення помилок в широкому діапазоні умов каналу (до 10-7 C/I). Чотири режими найменшого кодека (6.7, 5.9, 5.15 і 4.75) оцінюються в умовах без помилок, що еквівалентно EFR при 10 дБ C/I. Три режими молодших кодеків статистично не схильні до помилок поширення до 4 дБ C/I.

### Література

1. 3GPP TS 26.090 – Mandatory Speech Codec speech processing functions; Adaptive Multi-Rate (AMR) speech codec; Transcoding functions.
2. 3GPP TS 26.071 – Mandatory Speech Codec speech processing functions; AMR Speech Codec; General Description.

## ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В МЕРЕЖІ MPLS

**Маньківський В.Б.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: v.b.mankivskiy@gmail.com*

### **Evaluate the performance of real time traffic in MPLS network**

One of the methods of increasing network performance VoIP traffic on MPLS networks. A key feature of MPLS technology is the used LSP in datagram mode, which has minimize packet delay through effective load balancing and network management. In this article, one of the important parameter of a network, in terms of performance was rated – time of delay a packet and jitter in a congested network MPLS.

Одним із способів підвищення продуктивності обробки VoIP-трафіку в мережі є використання MPLS. Ключовою особливістю технології MPLS є створення віртуальних каналів в датаграмному режимі роботи, яка відіграє важливу роль для мінімізації затримки пакета за рахунок ефективного розподілу навантаження і управління мережею. У цій статті, розглянуто один з важливих параметрів мережі, з точки зору продуктивності, - час затримки пакета і джиттер в перевантаженій мережі MPLS.

Середовище Інтернет виступає в ролі мережі доступу в режимі реального часу для додатків, які працюють в режимі реального часу. Основний критерій роботи для таких додатків визначається в першу чергу їх функціональним призначенням - передача відео і аудіо трафіку. Основна вимога до мереж, на яких розгорнуті мережеві архітектури з підтримкою трафіку реального часу - мінімально можлива тимчасова затримка при передачі пакетів від джерела до споживача. Такі додатки оперують даними, які мають малий розмір пакета, але більшу інтенсивність передачі. Ці додатки вимагають широку пропускну здатність каналу для того, щоб забезпечити необхідні затримки, і даний показник не відноситься до підвищення економічної ефективності.

Для дослідження параметрів якості обслуговування в мережі IP / MPLS була розроблено імітаційна модель, що розгортається на персональному комп'ютері. В інтерактивних додатках при передачі трафіку в реальному часі, загальна затримка в одному напрямку повинна бути коротка, щоб дати додатком стану on-line.

Дослідження параметрів якості обслуговування в мережі MPLS методами управління трафіком передбачає реалізацію наступних п'яти модулів:

- конфігурація ядра мережі MPLS у віртуальному середовищі;
- конфігурація границі на ядрі мережі MPLS;
- конфігурація мережі IP у віртуальному середовищі;
- конфігурація мережі на рівні доступу, що передбачає підключення джерел трафіку користувачів.

В моделі досліджується параметри якості обслуговування в опорній

(транзитній) мережі MPLS (етап 2). Джерела тестового трафіку (етап 4) винесені за межі транзитної мережі та знаходяться на рівні доступу до опорної мережі. Потоки користувачів створюють навантаження на опорну мережу.

MPLS стала ключовою технологією інтеграції для здійснення передачі трафіку даних по тій же мережі, і ця технологія, яка відіграє важливу роль в мережах наступного покоління, шляхом надання якості обслуговування (QoS) і TE (Traffic Engineering). В мережі MPLS, LSPs (Label Switched Path) встановлюються з вхідного вузла до вузла вихідного трафіку до початку передачі. Кожен LSP може бути заданий з функціями, які включають обмеження і надійність за часом доставки [2]. Тому додатки, орієнтовані на складання канал, можуть скористатися "віртуальним з'єднанням", встановленим MPLS.

Між точками 1 та 2 побудовано однонаправлений тунель за шляхом LER1-LSR1-2-3-LER2, що включає 3 маршрутизатори. За маршрутом зарезервовано за допомогою протоколу RSVP смугу пропускання, рівну 512 кбіт/с.

UDP Jitter – найбільш часто використовуваний тест Cisco IOS IP SLA. В тестах UDP Jitter вимірювання часу затримки в одному напрямку вимагає синхронізації між маршрутизаторами. Для формування голосового трафіку використовується генератор на основі підключення кодека g729a.

Для даного дослідження була використана середа моделювання GNS3 для створення топології мережі, як показано на рис.1. Моделювання складаються з двох сценаріїв на представлених топологіях мережі. В рамках даного дослідження необхідно виміряти параметри якості обслуговування (затримка, джитер, втрати пакетів) при проходженні трафіку через мережу MPLS [3,4]. Сценарій 1: при побудові LSP на базі OSPF протоколу. Сценарій 2: при побудові LSP на базі RSVP протоколу. Результати моделювання використовуються для порівняння між двома режимами роботи мережі.

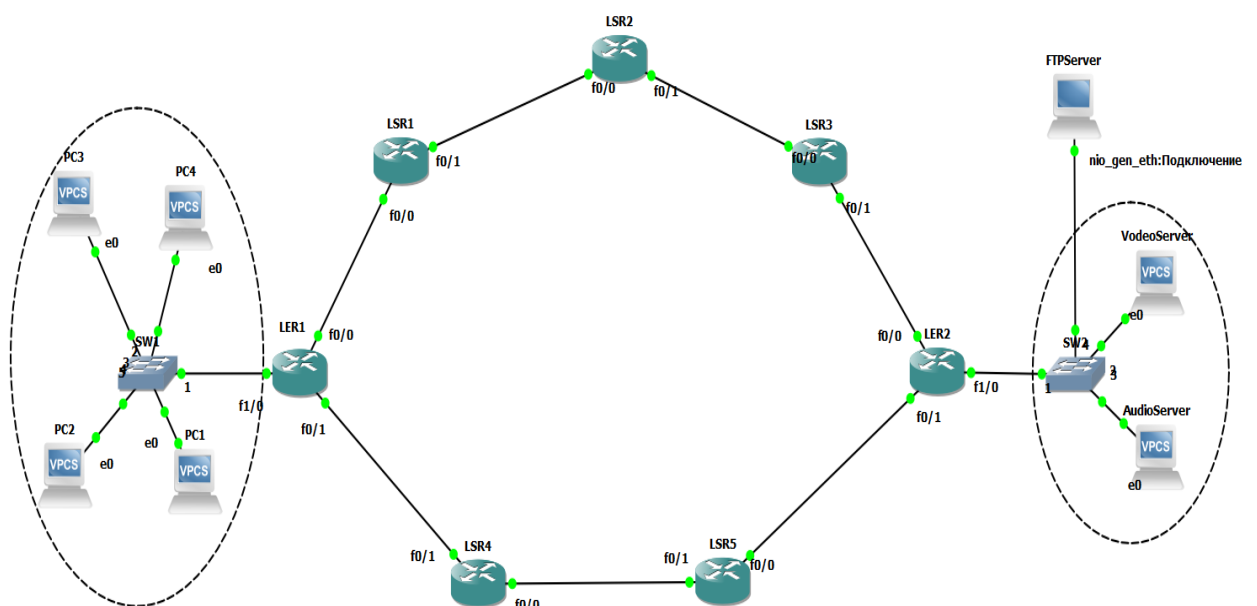


Рис.1. Топологія мережі, що досліджується, в GNS 3.

Особливістю Cisco IOS IP SLA є можливість працювати в мережі MPLS або MPLS VPN [4] мережі. IP SLA здатна розрізнити, які з таблиць маршрутизації використовується для переадресації. Ця особливість використовується для передачі тестових IP SLA пакетів від маршрутизатора Cisco до іншого постачальника устаткування, що підтримує RFC 2547 або ж для передачі пакетів між маршрутизаторами Cisco в MPLS/VPN мережі [5].

Середні показники затримки пакетів при проходженні від точки 1 до точки 2 без тунелю з зарезервованими ресурсами складають 35-40 мс, втрати пакетів відсутні за час моделювання, що склав 300 секунд, тобто, 5 хвилин.

Після увімкнення одностороннього тунелю Tunnel1, в якому зарезервована смуга пропускання рівна 512кбіт/с, маємо наступні результати: затримка пакетів при проходженні від точки 1 до точки 2 по тунелю складає в середньому 20 мс за 5 хвилин моделювання. Показник jitter складає 5-7 мс.

На рисунку 2. показано залежність затримки від часу моделювання при MPLS (власний метод розрахунку LSP) та комбінації MPLS з RSVP (OSPF).

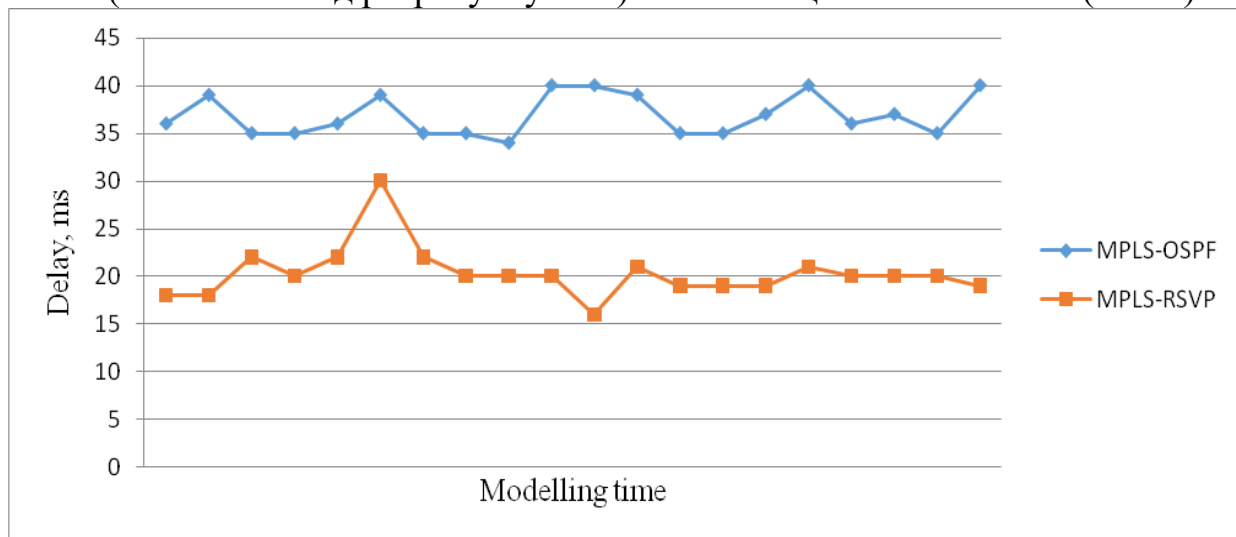


Рис. 2. Залежність затримки від часу моделювання при MPLS

Дані оцінки отримані завдяки тесту IP SLA з підключеним кодеком g729a. З часом моделювання, що склав 300 секунд, MOS для кодека g729a з позначки 4,0 зменшився до 1,5. Отже, тест IP SLA дозволяє оцінити параметри якості передачі голосового трафіку по мережі MPLS.

На рис. 3. представлені результати моделювання оцінки параметрів якості обслуговування при проходженні трафіку від точки 1 до точки 2, при застосуванні чистого MPLS та комбінації MPLS з RSVP, та власними методами подубови тунелівза допомогою реалізації ELSP.

При застосуванні на MPLS-мережі LSP-тунелю виділяється гарантована смуга пропускання, завдяки чому відсутні втрати пакетів, але необумовлена послідовність обробки пакетів. Використання механізму шейперу також запобігає втратам пакетів зарахунок зменшення швидкості передачі. Таким чином, для VoIP-трафіку смуга пропускання зберігається, а неперіоритетний трафік передається більш повільно у разі перевантаження каналу.

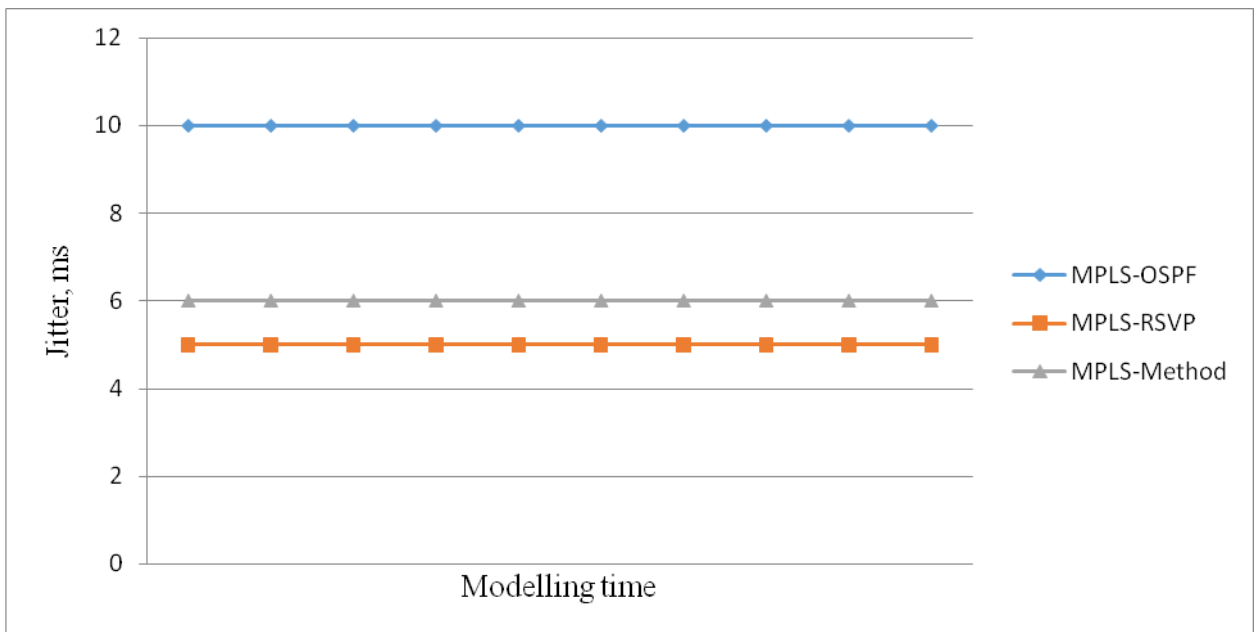


Рис. 3. Залежність джитеру від часу моделювання при застосуванні.

При застосуванні на MPLS-мережі RSVP окрім резервування смуги пропускання є можливість задати пріоритетність обробки пакетів маршрутизатором. На практиці, VoIP-пакети оброблялись в першу чергу, таким чином зменшивши час їхнього перебування у буферах маршрутизаторів по шляху слідування. А це, в свою чергу, зменшило показники якості обслуговування: джитер та затримку.

Отже, можна зробити висновок про покращення параметрів якості обслуговування, таких як затримка та джитер, при застосуванні алгоритмів побудови LSP-тунелів запропонованими методами.

### Література

1. Агеев Д.В. Проектирование мультисервисной телекоммуникационной системы NGN согласно критерию максимума прибыли оператора связи / Д.В. Агеев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №6(42). – С. 53 – 56.
2. Романов А.И. Телекоммуникационные сети и управление. К., ИПЦ „Киевский университет”, 2003. – 247 с.
3. Лемешко А.В. Адаптивное ограничение интенсивности трафика на приграничных узлах мультисервисной сети связи / А.В. Лемешко, К.С. Васюта, Ю.Н. Добрышкин // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – № 151. – С. 5-10.
4. Abdellah Jamali, Najib Naja, Driss El Ouadghiri and Redouane Benaini, “Improving Quality of Service (QoS) in Multi-Protocol Label Switching Module”, IEEE Mediterranean Microwave Symposium, Nov 2009.
5. Tatiana Onali, “Quality of Service Technologies for Multimedia Applications in Next Generation Networks”, Ph.D. thesis, University of Cagliari, Italy, 2009.

## АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ АПАРАТУРИ ЧЕРЕЗ ВИВЧЕННЯ СУПУТНИКОВОЇ ЛІНІЇ УПРАВЛІННЯ АПАРАТОМ

**Парадовський А. О., Єрмаков А. В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: a.paradovsky@ukrkosmos.kiev.ua*

### Analysis and identify opportunities for the use of telemetry equipment through the study of satellite command link

The basic design of satellite command link was reviewed. The analysis made and opportunities for information transfer in terms of speed and throughput identified.

В доповіді розглянута базова конструкція лінії управління супутникового зв'язку. Проведений аналіз і оцінені можливості для передачі інформації з точки зору швидкості та пропускнуої здатності.

Враховуючи зростаючий інтерес людства до супутникового зв'язку, як до ефективного в наш час способу передачі інформації за межами атмосфери Землі, постає питання визначення можливостей використання таких систем для різноманітних завдань. За останні декілька років великі державні підприємства поступилися монополією на вивчення та використання космосу що дає великий поштовх для створення нових телеметричних систем. Підтвердженням цих слів є всім відомі компанії «Space X» та «Virgin Galactic». На найближчі роки заплановані пілотовані польоти на Марс і на Місяць, то забезпечення надійним зв'язком стає пріоритетною задачею. Тому проведемо аналіз параметрів, які впливають якість зв'язку через лінії супутникового зв'язку.

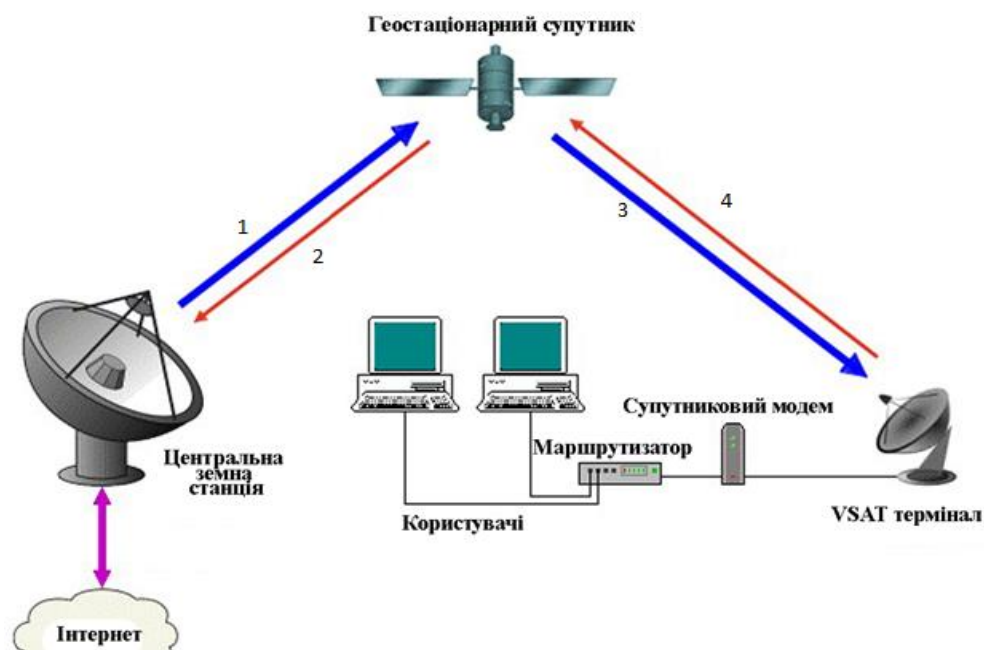


Рис. 1. Лінія зв'язку: 1/3 – прямий канал вгору/вниз, 2/4 – зворотний канал вгору/вниз.



Лінія супутникового зв'язку складається з двох ділянок: Земля-супутник (вгору) і Супутник-земля (вниз). У енергетичному сенсі обидві ділянки дуже напружені [1].

Першої - із-за тенденції до зменшення потужності передавачів і спрощення земної станції, другої - із-за обмежень на масу, габаритні з розміри і енергоспоживання бортового ретранслятора, що обмежують його потужність. Основна особливість супутникових ліній - наявність великих втрат сигналу, обумовлених загасанням його енергії на трасах великої фізичної протяжності.

Проаналізуємо рівняння передачі сигналу по лінії зв'язку між двома космічними апаратами. Припустимо, що передавач випромінює сигнал з потужністю  $P_T$  Вт, через антену з коефіцієнтом підсилення  $G_T$ . Щільність потоку потужності ( $P_{RD}$  Вт/м<sup>2</sup>) на відстані  $d$  у напрямі випромінювання антени вимірюється [2]:

$$P_{RD} = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2}.$$

Добуток  $P_T$  та  $G_T$  – ефективна ізотропна випромінювана потужність (EIRP). Якщо ефективна площа випромінюючої антени  $A_T$  велика в порівнянні  $\lambda^2$ , де  $\lambda$  – довжина робочої хвилі, то  $G_T$  можна описати як:

$$G_T = \frac{4\pi A_T}{\lambda^2}.$$

Якщо ефективна площа приймальної антени -  $A_R$ , то прийнята потужність на приймачі –  $P_R$  на відстані  $d$  від передавача описується:

$$P_R = \left( \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \right) A_R,$$

де  $A_R$  зв'язана з коефіцієнтом підсилення приймальної антени  $G_R$ :

$$G_R = \frac{4\pi A_R}{\lambda^2}.$$

Формула для опису прийнятої потужності набуває вигляду:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}.$$

або

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{\left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2} = \frac{P_T G_T G_R}{L_P}.$$

Вираз  $(4\pi d/\lambda)^2$  означає втрати потужності сигналу у вільному просторі  $L_P$ . Інша частина рівняння є так званим «Рівнянням Фрііса» [3]. Це рівняння використовують для розрахунку потужності що отримала одна з антен при ідеальних умовах від іншої антени, яка знаходиться на певній відстані і передає відому потужність.

Отриману потужність можна виразити в децибелах:

$$10 \log P_R = 10 \log P_T + 10 \log G_T + 10 \log G_R - 10 \log L_P,$$

$$P_R (dBW) = EIRP (dBW) + G_R (dB) - L_P (dB)$$

Попереднє рівняння можна переписати багатьма способами з урахування рівних втрат. Наприклад, втрати через затухання в атмосфері, втрати в антено-фідерному тракті та інші. Якщо  $L_A$ ,  $L_{TX}$  та  $L_{RX}$  – це втрати в атмосфері, в передаючій та приймальній антенах відповідно, то рівняння  $P_R (dBW)$  можна переписати:

$$P_R = EIRP + G_R - L_P - L_A - L_{TX} - L_{RX}$$

На рис. 2 наведено максимальне підсилення антени як функція від діаметру для різних частот.

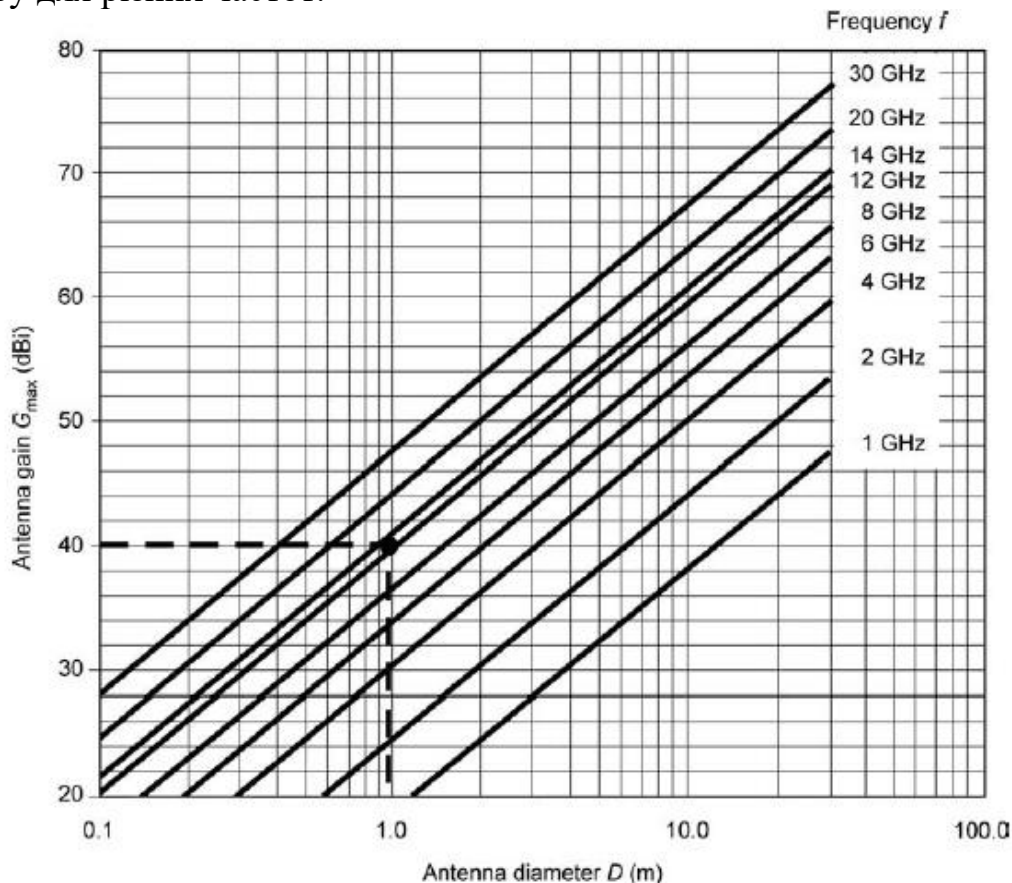


Рис. 2. Максимальне підсилення антени (функції від діаметру різних частот).

Таким чином, в роботі було розглянуто основні параметри що впливають на супутникову лінію зв'язку. Проведено аналіз та визначені можливості передачі інформації з точки зору швидкості та пропускної здатності. За допомогою цих параметрів можна розрахувати якісні та кількісні характеристики сигналу в залежності від параметрів каналу управління космічним апаратом, земної станції та типу сигналу.

#### Література

1. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Под редакцией А.С. Сырова – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.: ил.
2. Spacecraft TT&C and Information Transmission Theory and Technologies. Jiaxing Liu. The 10th Institute of China Electronics. 2015
3. Telemetry, Tracking, Communications, Command and Data Handling. Cengiz Akinli Matthew Gamache. November 18, 2004.

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕЙНЕРНОЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ

Гордашник Є.С., Омельченко Р.Ю.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: enternadore@ukr.net*

### Prospects of container virtualization in computing systems construction

In this work the author has described container virtualization technology, also it shows the differences between server virtualization and OS-level virtualization and was given the advantages and disadvantages of using virtual containers.

Технології віртуалізації стали дуже популярні - на їх базі будуються і приватні ІТ-інфраструктури, і величезні публічні хмари. Процеси віртуалізації використовуються повсюдно: в обчисленнях, при зберіганні даних, в мережевих функціях, в окремих додатках. Віртуалізація дозволяє скоротити кількість фізичних серверів: замість декількох старих можна встановити один більш потужний і запустити потрібне число гостей ОС у віртуальному середовищі, де вони будуть логічно ізольовані один від одного.

У серверній віртуалізації обчислень можна виділити два класи: гіпервізори з повноцінними віртуальними машинами і контейнери. Гіпервізори - це віртуалізація на рівні обладнання. Між хостовою і гостьовими системами є прошарок, що емулює апаратне забезпечення (див. рис. 1 а). Кожне гостьове середовище має власне ядро і заздалегідь визначений набір ресурсів. Завантаження численних копій ядра знижує щільність розміщення віртуальних машин на сервері. Час завантаження віртуальної машини становить кілька десятків секунд, що ускладнює оперативне виконання клієнтських запитів, коли потрібно швидко виділити додаткові ресурси. [1]

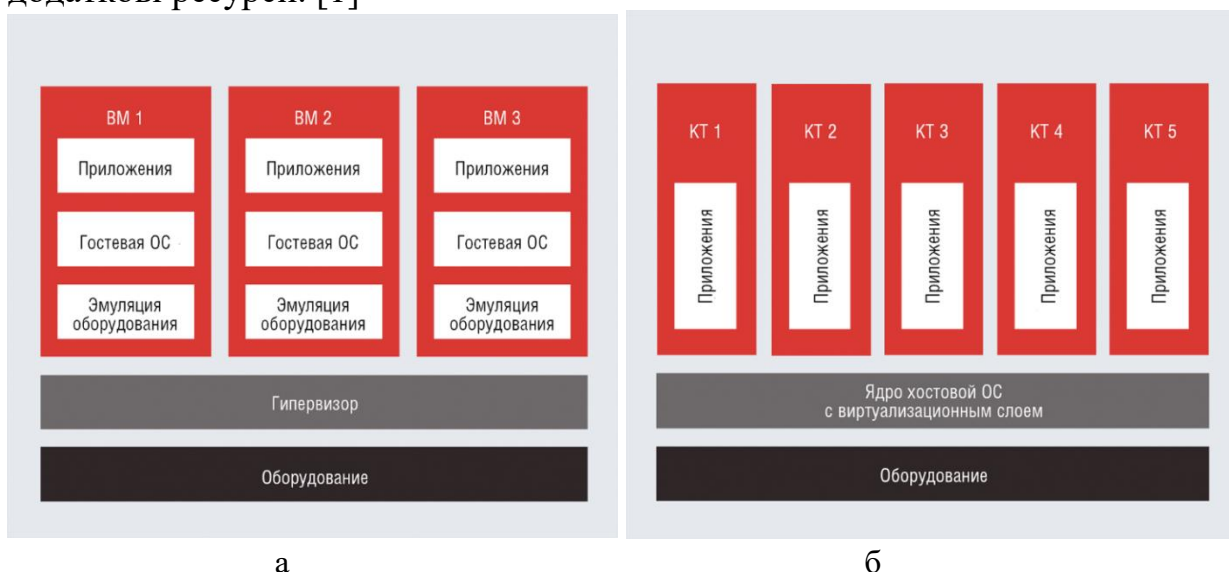


Рис. 1 Різниця між гіпервізоровою (а) і контейнерною (б) віртуалізацією

Навпаки, контейнери (див. рис. 1 б) - це віртуалізація на рівні операційної системи, а не обладнання, тобто кожна гостьова ОС використовує те ж саме ядро (а в деяких випадках - і інші частини ОС), що і хоста. Це надає контейнерам велику перевагу: вони менші і компактніші гіпервізорних гостьових середовищ, оскільки у них з хостом набагато більше спільного. [2]

Рисунок 1 (а) демонструє недоліки методу повної віртуалізації і переваги методу віртуалізації на рівні операційної системи. Метод повної віртуалізації володіє надлишковістю, кожна віртуальна машина містить в собі повноцінну операційну систему, і всі різноманітні операційні системи віртуальних машин повинні функціонувати через шар гіпервізора. Як видно з рисунка 1 (б), вищеописані недоліки в ньому відсутні, і віртуальні контейнери несуть в собі безпосередньо тільки необхідне корисне навантаження, розділяючи при цьому загальні бінарні файли і бібліотеки. Причому, кожен віртуальний контейнер працює безпосередньо з ядром основної операційної системи. [3]

Інший великий плюс - значно більша ефективність контейнерної віртуалізації щодо спільного використання ресурсів. Наприклад, коли Контейнер 1 і Контейнер 2 працюють з одним і тим же файлом, ядро хоста відкриває цей файл і розміщує сторінки з нього в сторінковий кеш ядра, які потім передаються Контейнеру 1 і Контейнеру 2: якщо обидва «хочуть» прочитати одні й ті ж дані, вони отримують одну і ту ж сторінку. Якщо ж гіпервізорним віртуальним машинам VM1 і VM2 треба виконати таку ж операцію, то спочатку сам хост відкриває запитуваний файл, а потім ще і кожне з ядер VM1 і VM2 виконує аналогічну дію. Таким чином, в процесі читання машинами VM1 і VM2 одного і того ж файлу в пам'яті існує цілих три однакових сторінки (по одній в сторінковому кеші хоста і в ядрах VM1 і VM2), тому що вони не «вміють» одночасно використовувати одну і ту ж сторінку, як це роблять контейнери.

Оскільки контейнери використовують єдине ядро, це призводить, зокрема, до підвищення щільності їх розміщення, яка і без цього механізму

спочатку вища, ніж у віртуальних машин, оскільки відсутні чисельні копії ядра. В результаті, у контейнерів щільність (кількість віртуальних середовищ, які можна запуснути на сервері) може бути до трьох разів вище, ніж у віртуальних машин, а на одному сервері цілком може розміщуватися кілька сотень контейнерів. Настільки висока щільність - одна з головних причин популярності контейнерів на ринку хостингу віртуальних виділених серверів.

Однак, незважаючи на ряд переваг, віртуальні контейнери мають деякі недоліки. Наприклад, через спільне використання ядра на одному сервері не можна запускати різні гостьові ОС (наприклад, на системі з Linux-контейнерами неможливо запуснути FreeBSD або Windows, але різні дистрибутиви Linux - скільки завгодно). Тому Windows і Linux на одному і тому ж сервері (що для гіпервізора не проблема) не працюють. [2]

Контейнерна віртуалізація ще нещодавно сприймалася як якась дивина, в кращому випадку її розглядали як недорогий варіант створення інфраструктури для хостингу. Але сьогодні, коли завдяки хмарній революції на перший план вийшли такі вимоги до центрів обробки даних, як еластичність, масштабованість і висока обчислювальна щільність, контейнери стали предметом підвищеного інтересу - перш за все тому, що вони якнайкраще підходять для вирішення вищевказаних завдань.

## Література

1. Рубанов В. Журнал сетевых решений/LAN 2017 № 01-02 Серверная виртуализация: гипервизоры против контейнеров / Владимир Рубанов. // «Журнал сетевых решений/LAN». – 2017.
2. Боттомли Д. Ажиотаж вокруг контейнеров / Джеймс Боттомли. // Журнал сетевых решений/LAN. – 2014. – №10.
3. Нанян С.М. Виртуальные контейнеры Docker: назначение и особенности применения / Нанян С.М., Ничушкина Т.М.. // Инженерный вестник. – 2015. – №2.

## **ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖЕВИХ ПРИСТРОЇВ В МЕРЕЖАХ SDN З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ OPENFLOW**

**Романов О.І., Діденко І.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: a\_i\_romanov@ukr.net*

### **Features of interaction between the controller and network devices in Software-Defined Networks using OpenFlow protocol**

Software defined networking (SDN) is an approach in which the control plane and the data plane are handled by physically separate devices.

Застосування Software-Defined Networks надає наступні можливості та переваги:

- гнучке управління мережами та мережевими ресурсами;
- швидке впровадження нових сервісів;
- незалежність від виробників мережевого обладнання;
- широкі можливості забезпечення мобільності користувачів;
- швидке впровадження нових технологій.

Це досягається за рахунок нового підходу до розподілу функцій передачі та контролю між пристроями мережі SDN. В традиційних мережах на кожному мережевому пристрої, комутаторі або маршрутизаторі, працюють необхідні протоколи, які забезпечують функціонування сервісів. В SDN мережах на комутатори та маршрутизатори покладається завдання тільки передачі трафіку, а всі управляючі функції покладаються на контролер. Контролер з використанням протоколу OpenFlow «розповідає» всім мережевим пристроям про те як, куди і кому передавати дані у різних випадках.

На рис.1 представлений найпростіший приклад взаємодії мережевого пристрою SDN (МП-SDN) і контролера SDN (К-SDN). Мережевий пристрій SDN і контролер SDN взаємодіють один з одним по спеціальному каналу SDN з використанням протоколу OpenFlow. Цей канал може бути відкритим або захищеним (засекреченим). Роботою каналу управляє процесор мережевого пристрою SDN за допомогою функціонального блоку під назвою «Менеджер каналу SDN (МК SDN).

Основними елементами мережевого пристрою є процесор і таблиця маршрутизації. МП-SDN приймає потоки трафіку від клієнтських пристроїв, або інших мережевих пристроїв і передає їх у відповідності до змісту своєї таблиці маршрутизації.

Потік трафіку є потоком з одного або декількох пакетів, що переносять дані з джерела в пункт призначення. МП-SDN здатне ідентифікувати пакети конкретного потоку даних на основі адреси джерела, адреси призначення та іншої інформації в заголовку пакетів. Кожен запис в таблиці маршрутизації відповідає певному потоку трафіку

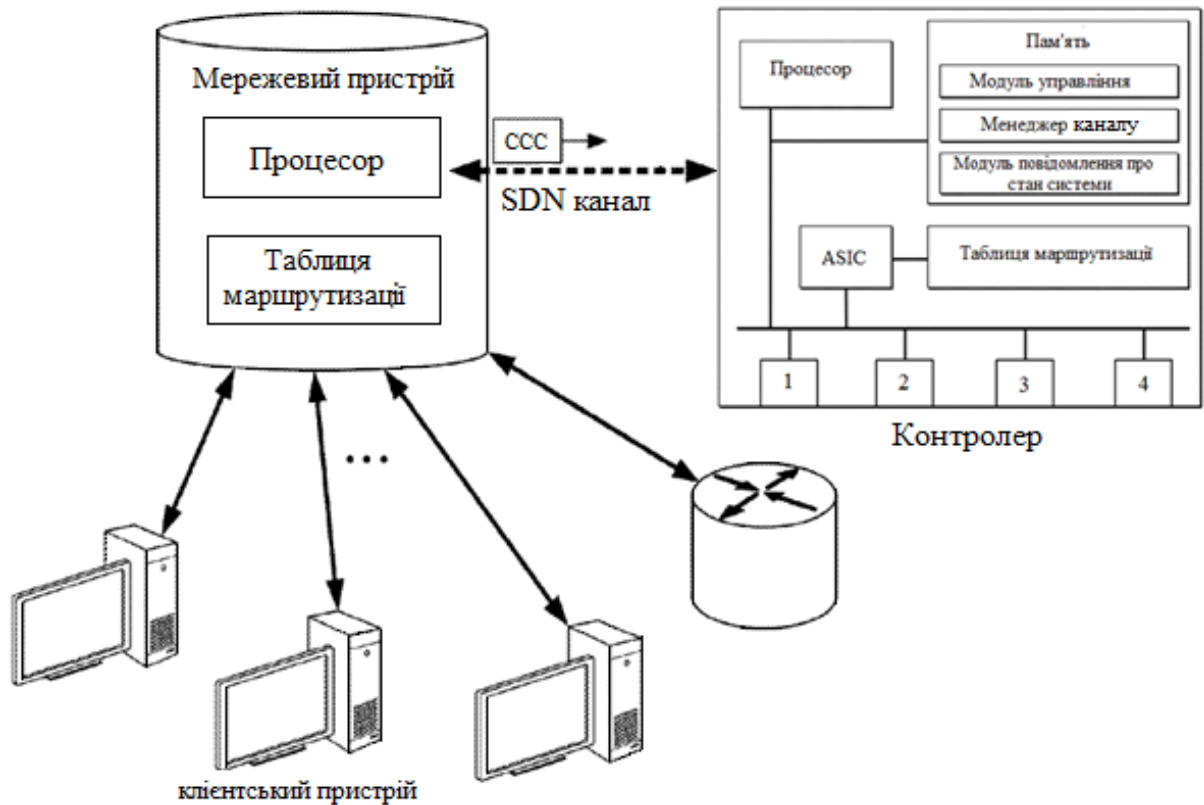


Рис. 1.

Слід зазначити, що канал SDN використовується для передачі тільки керуючої інформації. Це може бути, наприклад:

- заявка від МП-SDN до контролера на пошук маршруту для пакета, який не має необхідних даних в таблиці маршрутизації.
- відповідь контролера SDN про внесення необхідних змін до таблиці маршрутизації при появі нових потоків і зміни структури мережі.

Зазвичай передача інформації по каналу SDN ведеться з використанням протоколу OpenFlow.

Канал протоколу SDN може працювати через пряме з'єднання між мережевим пристроєм SDN і контролером SDN або непряме з'єднання через безліч вузлів в мережі. Фізичні з'єднання, які підтримують канал SDN, можуть бути з'єднаннями LAN, WAN-з'єднаннями, проводовими, оптичними або безпроводовими з'єднаннями і т.д. Канал протоколу SDN може інкапсулювати пакети в тунелі між мережевим пристроєм SDN і контролером SDN. У деяких випадках тунель може бути захищеним тунелем з використанням SSL або іншого протоколу шифрування.

Контролер SDN містить безліч портів (1, 2, 3, 4) зв'язку, які можуть бути, наприклад, портами Ethernet, оптичними портами, портами волоконного

каналу та інші, крім того процесор і таблицю маршрутизації. Таблиця маршрутизації зберігається в енергозалежному або енергонезалежному пристрої зберігання даних або пам'яті. Пристрій SDN додатково містить ASIC, яка призначена для обробки операцій пересилання потоку на основі вмісту таблиці маршрутизації.

Контролер SDN діє як рівень управління для мережевого пристрою SDN. Контролер SDN може давати вказівки на додавання записів, або видалення записів з таблиці маршрутизації мережевого пристрою SDN. При використанні попереджувальних методів мережевий пристрій, або контролер попередньо заповнює таблицю маршрутизації, вводячи потоки, які найчастіше використовуються, завчасно, а в реагуючих методах контролер додає записи потоку по мірі необхідності.

Наприклад, якщо мережевий пристрій SDN приймає потік, який не можна переадресувати на підставі поточного вмісту його таблиці маршрутизації, він може відправити повідомлення через канал SDN в контролер SDN, щоб попросити допомогу у визначенні того, як потік слід переадресувати. У відповідь контролер SDN може відправити команди пересилання мережевому пристрою SDN та / або вказати додавання або зміну запису в таблиці маршрутизації мережевих пристроїв SDN. Оскільки він здатний повідомляти рішення про маршрутизацію потоку, канал протоколу SDN в цілому досить чуйний і здатний до відносно швидкої передачі даних. Протокол SDN повинен бути відносно простим і легким протоколом.

Мережевий пристрій передає інформацію про стан системи мережевого пристрою в контролер, посилаючи повідомлення стану системи по каналу протоколу певного програмного забезпечення (SDN). Повідомлення стану системи може включати в себе заголовок, який вказує, що повідомлення відноситься до стану системи, і корисне навантаження. Корисне навантаження може включати в себе поле типу стану системи, що вказує тип інформації стану системи, і поле значень, що надає інформацію стану системи.

Оскільки повідомлення стану системи включає в себе поле типу стану системи, а також поле значення стану системи, цей підхід є гнучким і не обмежується тільки одним типом стану системи. Він може використовуватися для передачі різної інформації про стан системи і в деяких випадках може повідомляти про складні зміни в стані системи.

Крім того, оскільки мережевий пристрій передає інформацію про стан системи контролеру SDN по каналу протоколу SDN, воно може бути доставлено відносно швидко. Використання SDN-протоколу, такого як Open Flow Protocol для передачі інформації про стан системи, дозволяє контролеру швидко отримувати повідомлення про зміни.

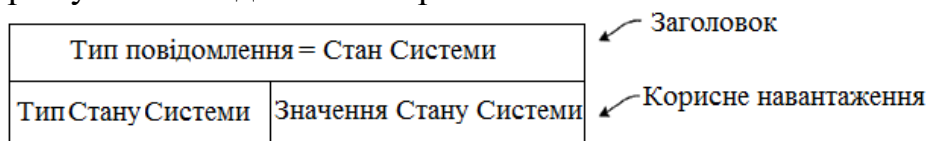


Рис. 2.



На рис. 2 показана загальна структура повідомлення про стану системи. Повідомлення включає в себе заголовок і корисне навантаження. Заголовок включає в себе поле типу повідомлення, яке вказує, що повідомлення відноситься до стану системи.

Тип повідомлення = Стан Системи		Довжина Повідомлення
Тип Стану Системи	Довжина Оповіщення	Значення Стану Системи

Рис. 3.

На рис. 3 показаний ще один приклад загальної структури для повідомлення про стану системи. Він аналогічний показаному на рис.2, але також включає в себе поле довжини повідомлення і поле довжини повідомлення про стан системи. Поле довжини допомагає контролеру дізнатися, коли закінчилося повідомлення стану системи або окреме повідомлення про стан системи в повідомленні стану системи.

Версія	Тип= Оповіщення про стан системи	Довжина
Ідентифікатор (ID) транзакції		
Корисне навантаження		

Рис. 4. Заголовок повідомлення про стан системи протоколу OpenFlow.

Рис. 4 ілюструє конкретний приклад заголовку повідомлення про стан системи, використовуючи протокол OpenFlow більш докладно. Додатково до полів, вже описаним на рис.3, заголовок на рис.4 включає в себе поле версії протоколу OpenFlow (OFP), яке вказує, що повідомлення відповідає OFP, а також може вказувати версію OFP, використовувану, і поле ID транзакції, яке вказує номер транзакції для повідомлення. Повідомлення включає в себе корисне навантаження, що включає щонайменше одне повідомлення про стан системи, яке може, наприклад, мати структуру, показану на рис. 2, або на рис. 3.

Таким чином, в роботі проведено аналіз процесу взаємодії контролера і мережевого пристрою в мережі SDN. Розглянуто завдання, які вирішує контролер при відсутності необхідної інформації в маршрутних таблицях мережевого пристрою. Визначено структуру сигналів протоколу OpenFlow в процесі взаємодії контролера і мережевого пристрою

#### Література

1. "OpenFlow Specification 1.5.1" - Open Networking Foundation, March 15, 2015.
2. OpenFlow-enabled SDN and Network Functions Virtualization// ONF Solution Brief// February 17, 2014.
3. <https://www.google.ch/patents/WO2014192005A1?cl=en>.

## **МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОБЛАДНАННЯ JUNIPER СЕРІЇ SRX**

**Валуйський С.В., П'янтковська Н.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: piantkosha@gmail.com*

### **Providing of security in enterprise network based on Juniper equipment the SRX series**

This paper describes method to improve security on systems that were originally designed as stand-alone or where security issues were ignored. It's provides an example for configuring next-generation security features on an SRX Series device in an enterprise network.

Значимість проблеми захисту інформації в сучасному світі є признаною, і підтвердженню цьому є понесені корпорацією збитки через недостатню захищеність інформації. При створенні інформаційної інфраструктури корпоративної автоматизованої системи (АС) на базі сучасних комп'ютерних мереж неминує виникати питання про захищеність цієї інфраструктури від загроз безпеки інформації. В даний час як мережі, так і вибір постачальника для їх побудови, набули великого значення. Багато постачальників (Cisco, Juniper, ALU та ін.) пропонують мережеві рішення для широкого спектру задач, але перед замовником постає питання вибору оптимального рішення для забезпечення достатнього рівня безпеки при мінімальних затратах, а також розробки методичного забезпечення для оперативного налаштування і забезпечення захисту мережі [1].

Дана робота розглядає рішення із використанням пристроїв Juniper Networks серії SRX, що повним набором інструментів забезпечують безпеку критично важливих мережевих ресурсів, які знаходяться в корпоративній власності. Рішення включає в себе брандмауер, систему запобігання вторгнень (IPS), інструмент уніфікованого управління погрозами (UTM функцій), AppSecure.

В основі концепції побудови захищених корпоративних мереж лежить наступна ідея: налаштування функцій безпеки базової топології мережі середнього рівня на серії пристроїв SRX (рис. 1). Ця топологія була обрана, щоб показати загальний і гнучкий приклад того, як методика може бути модифікована для застосування в різних корпоративних мережах і фізичних об'єктах [2]. У цій топології визначені наступні фізичні об'єкти:

Філія 1: кожен користувач буде завірений ідентифікацією брандмауера.

Філія 2: користувачі з кожного підрозділу будуть проходити перевірку автентичності за допомогою Unified Access Controller (UAC) .

Головне управління (ГУ): центр обробки даних в режимі реального часу серверів (FTP, HTTP, MySQL, Syslog) та доступність до серверів центрів обробки даних за допомогою динамічної VPN.

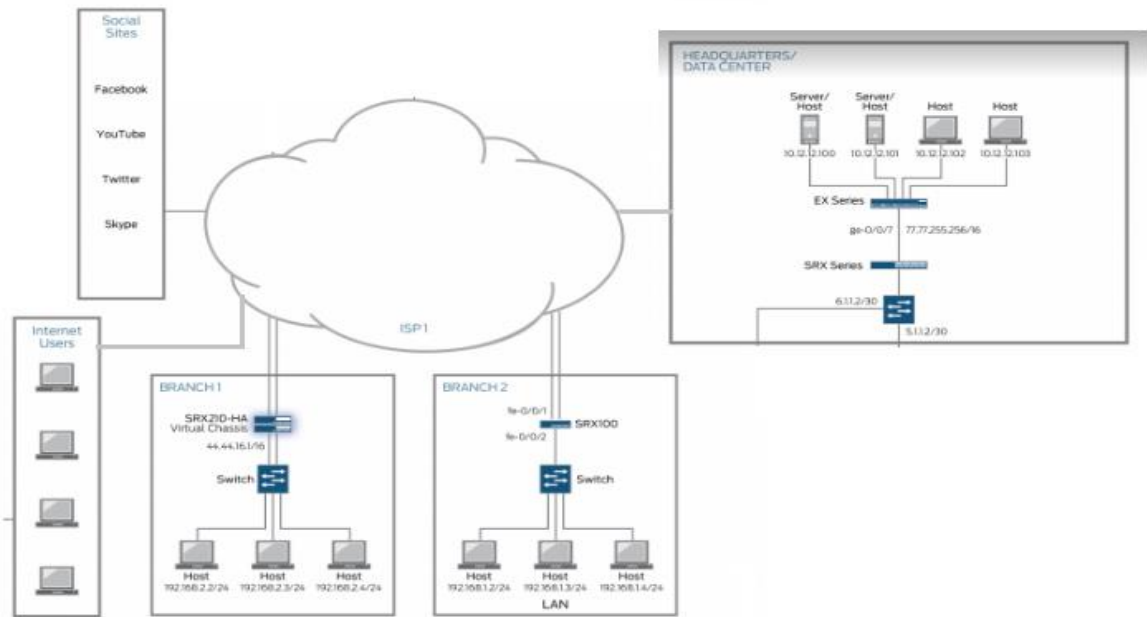


Рис. 1. Топологія корпоративної мережі.

В якості першого кроку, забезпечуємо зв'язок між хостами (ПК) в зонах (філії 1 і 2) та серверами зони ГУ. В таблиці 2 наводяться параметри конфігурації хостів, які налаштовуються на гілках 1 і 2 та головному управлінні.

Таблиця 2. Параметри конфігурації хостів.

Хост	IP адреса	Таблиця маршрутизації	Зона	Хост	IP адреса	Таблиця маршрутизації	Зона
Філія 1				Філія 2			
branch-1-user-1	192.168.2.2/24	address-book-branch-1-users	Branch1-Zone	branch-2-user-1	192.168.1.2/24	address-book-branch-2-users	Branch-2-Zone
branch-1-user-2	192.168.2.3/24			branch-2-user-2	192.168.1.3/24		
branch-1-user-3	192.168.2.4/24			branch-2-user-3	192.168.1.4/24		

Політика безпеки контролює потік трафіку з однієї зони в іншу, визначивши види трафіку.

Таблиця 3. Налаштування параметрів політики безпеки.

Хост	Мета	Ім'я політики	Зона відправлення	Зона призначення
Гілка 1	Доступ до серверів в ГУ (e-mail сервер, FTP сервер та HTTP сервер)	Branch1-policy	Branch1-Zone	HQ-Zone
	Доступ в Інтернет	permit-traffic-branch-1-to-internet	Branch1-Zone	надійний
Гілка 2	Доступ до серверів в ГУ (e-mail сервер, FTP сервер та HTTP сервер)	Branch2-policy	Branch2-Zone	HQ-Zone
	Доступ в Інтернет	permit-traffic-branch-2-to-internet	Branch2-Zone	надійний

Практично задані параметри крок за кроком забезпечують процедуру, необхідну для налаштування мережі з захищеними даними:

- конфігурація адресних об'єктів, зон безпеки і політик безпеки;
- конфігурація AppSecure модулів;
- конфігурація UTM і шаблонів IDP;
- ідентифікація трафіку на різних рівнях мережі з використанням AppID;
- конфігурація SSL проксі для безпечної передачі даних.

В результаті практичних досліджень з'являється конфігурація, яка працює належним чином і в ній існують всі механізми для боротьби за ресурси. Наприклад, конфігурація фільтрації вмісту:

```
user@host> show security utm content-  
filtering statistics  
Content-filtering-statistic: Blocked  
Base on command list: 1  
Base on mime list: 0  
Base on extension list: 3  
ActiveX plugin: 0  
Java applet: 0  
EXE files: 0  
ZIP files: 0  
HTTP cookie: 0
```

Таким чином, вихідне повідомлення відображає статистику фільтрації контенту UTM та статистику безпеки UTM функцій від анти-спаму.

Отже, у даній роботі розглянуто комплексне рішення, яке поєднує у собі стратегію захисту корпоративної безпеки, перешкоджаючи всім видам зовнішніх та внутрішніх атак. Таке рішення дозволяє застосовувати дану топологію з використанням обладнання Juniper серії SRX. Зазначений вище алгоритм налаштування системи дає якісні показники у адаптації мережі щодо ефективного плану забезпечення безпеки корпоративної мережі.

## Література

1. JNCIS-SEC Study Guide—Part 2 – 1194 North Mathilda Avenue Sunnyvale: Worldwide Education Services, 2012. – 211 с.
2. Woodberg B. Juniper SRX Series / B. Woodberg, R. Cameron. – 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media, Inc, 2013. – 1020 с. – (Juniper Network).

## АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ІР-МЕРЕЖІ

<sup>1</sup>Мєлєхова М.О., <sup>1</sup>Носков В.І., <sup>2</sup>Герасименко К.В., <sup>2</sup>Старкова О.В.

<sup>1</sup>Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського,

<sup>2</sup>Факультет електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського

<sup>1</sup>E-mail: maria.melekhova@gmail.com; <sup>2</sup>E-mail: elena\_starkova@ukr.net

### **Analysis of algorithms that regulate the congestion in IP-based network**

With the increasing number of users of Internet, increase traffic, stricter requirements for the quality of services provided by one of the frequently occurring problem in modern telecommunication networks is congestion. AQM algorithm is a solution to the problem of congestion control in the Internet. There are various existing algorithms that have evolved over the past few years to solve the problem of congestion in IP networks. Classification of the algorithms based on various congestion metrics proposed in this paper. This helps in identifying the algorithms that regulate the congestion more effectively.

У зв'язку зі зростанням числа користувачів послуг зв'язку, збільшенням обсягів трафіку, жорсткістю вимог до якості послуг, що надаються одним з часто виникаючих явищ в сучасних телекомунікаційних мережах є перевантаження (congestion). При цьому під перевантаженням розуміється перевищення вимог споживачів за швидкістю над пропускнуою здатністю каналу.

В умовах перевантаження виникає ситуація, коли пакет, що надійшов, повинен бути поставлений в чергу, яка вже досягла свого максимального розміру. В результаті деякі пакети повинні бути відкинуті. У цьому полягає традиційна політика обробки пакетів. Подібна «дискримінація» пакетів триває до тих пір, поки довжина черги не зменшиться за рахунок передачі пакетів, що вже перебувають в ній. Алгоритм управління чергою, відповідно до якого будь-яка спроба постановки пакета в повну чергу неминуче завершиться його відкиданням, отримав назву алгоритму «відкидання хвоста» (Tail Drop) [1, 2].

В цілому недоліками політики «відкидання хвоста» є:

1. При використанні Tail Drop трафік не поділяється за класами обслуговування. Отже, потоки з різними вимогами обробляються однаково.

2. Коли черга заповнюється до деякого заданого максимального розміру, всі пакети, що знову надходять, відкидаються, поки черга не матиме місце, достатнє для надходження вхідного трафіку.

3. Через те, що алгоритм сигналізує тільки про те, що черга переповнена, черги можуть виявитися заповненими протягом досить тривалого часу. Через великий розмір черг збільшується час доставки мережного пакету від однієї робочої станції до іншої.

В рамках інструментів управління мережними ресурсами на даний момент існує багато засобів боротьби з перевантаженнями, що реалізуються як на кінцевих пристроях (наприклад, хости, які встановили ТСП-з'єднання), так і на проміжних (наприклад, маршрутизатори). Крім того, ці інструменти за способом реакції на перевантаження підрозділяються на засоби контролю (congestion control) і запобігання (congestion avoidance) перевантажень [2, 5]. У загальному випадку ці інструменти розрізняються за часом реакції на виявлені перевантаження. Інструменти першого класу реагують на перевантаження лише після фактичного переповнення ресурсів і, як наслідок, втрати трафіку або істотного збільшення затримки. Інструменти другого класу дозволяють завчасно боротися з ознаками перевантаження і не допустити істотних втрат і затримок трафіку, і, врешті-решт, зберегти ефективність і стійкість мережі.

Засоби контролю перевантажень використовують реактивний (reactive) або пасивний (passive) підхід до вирішення завдання боротьби з перевантаженнями. Більш ефективними є засоби запобігання перевантажень, що використовують проактивний (proactive) або активний (active) підхід до запобігання перевантажень.

Алгоритми активного управління чергою (Active Queue Management, AQM) намагаються оцінити затори у вузлі і сигнал, відкидаючи пакети до того, як буфер буде заповнений. Чутлива до перевантажень стратегія управління перевантаженням потім зменшує свою швидкість передачі. Це допомагає уникнути подальших заторів і зменшити швидкість втрати пакетів, а також зберегти середній низький розмір черги.

Таким чином, політика AQM складається з двох компонентів; один компонент оцінює затори, а інший компонент приймає рішення відкидання пакету. Продуктивність, таким чином, залежить від того, наскільки агресивна або консервативна оцінка заторів, а також від того, наскільки агресивно пакети відкидаються на основі цієї оцінки. Класифікація AQM-алгоритмів наведена на рис.1, порівняння алгоритмів за основними характеристиками наведено у табл. 1.

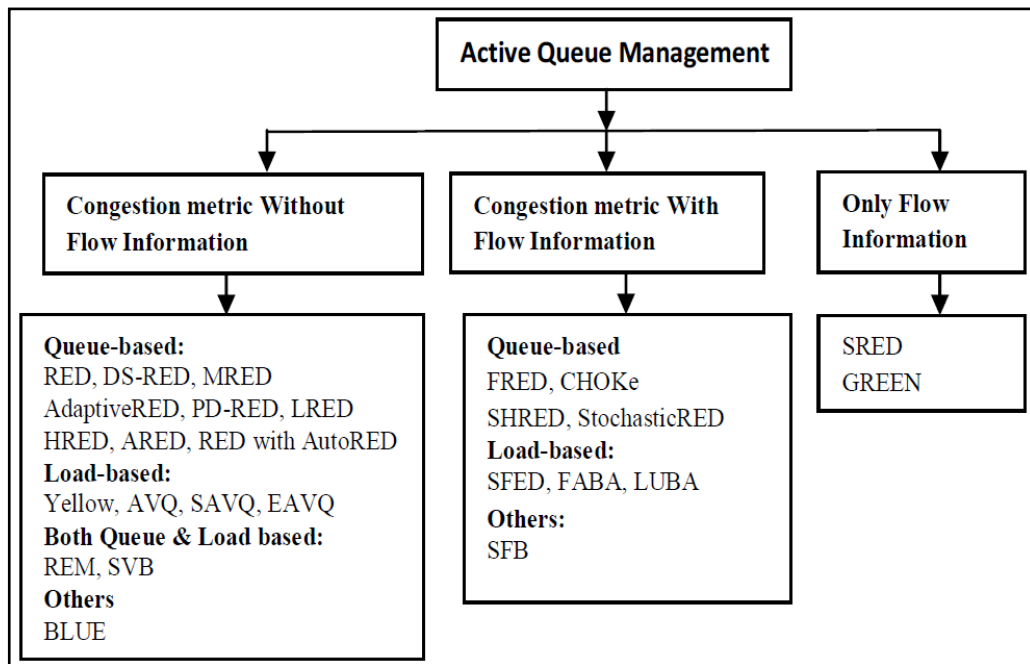


Рис. 1. Класифікація AQM-алгоритмів.

Таблиця 1. Порівняння схем AQM на основі метрик продуктивності.

<b>AQM</b>	<b>Link Utilisation</b>	<b>Throughput</b>	<b>Loss Rate</b>	<b>Queue stability</b>	<b>Fairness</b>	<b>Complexity, computation</b>
RED	High	Low	High	Moderate	Low	High
ARED, LRED	High	Moderate	Moderate	High	Low	High
REM	High	Very Low	Low	Very Low	Low	High
YELLOW	Very High	Low	Very Low	High	Low	High
AVQ	Very High	High	Low	Moderate	Low	High
BLUE	High	Very High	Moderate	Low	Low	Moderate
FRED	High	High	Low	Moderate	High	Very High
CHOCe	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
StoRED	High	High	Low	Moderate	Very High	High
SFB	High	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	High
FABA	Very High	Very High	Low	High	Very High	Very High
GREEN	Very Low	Moderate	High	High	Low	Very High

Таким чином, основними цілями AQM-алгоритмів є:

1. Зменшення кількості втрат пакетів внаслідок переповнення буферного простору маршрутизаторів, що досягається за рахунок підтримки величини середнього значення черги досить малою, отже, залишаючи місце для тимчасових сплесків.

2. Забезпечення інтерактивних сервісів, критичних до затримки, оскільки гарантія невеликої величини середнього значення черзі сприяє малим затримкам з кінця в кінець.

3. Запобігання випадків блокування потоків з низькою швидкістю передачі і пульсуючих потоків і гарантія справедливого обслуговування різних типів трафіку.

### Література

1. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Изд. дом Вильямс», 2003. – 368 с.
2. G.F.Ali Ahammed, Reshma Banu Analyzing the Performance of Active Queue Management Algorithms / International journal of Computer Networks & Communications (IJCNC). – 2010. – Vol.2, No.2. – Pp. 36 – 55.
3. K.Chitra, Dr. G.Padamavathi Classification and Performance of AQM-Based Schemes for Congestion Avoidance / (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security, - Vol. 8, No. 1, 2010. – Pp. 331-340.
4. Mieliekhova Mariia, Starkova Olena, Herasymenko Kostiantyn Prioritization of Network Traffic to Improve VoIP Traffic Quality / Third International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T-2016), 4-6 October, 2016.
5. К.В. Герасименко, О.В. Старкова, П.В. Попович, М.О. Шепель Реалізація системи віддаленого керування електроживленням на базі сучасної платформи IoT / Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №2(42) – С. 107-115.
6. Olexandr V Lemeshko, Ali S Ali, Olena V Starkova A flow-based model of dynamic queue balancing in the MPLS-network with Traffic Engineering Queues support / CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2011. – Pp. 116-117.



## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ VPN-ТЕХНОЛОГІЙ

Нестеренко М.М., Сасенко Б.В., Кукліна А.С.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: nesterenko\_nik@ukr.net, saienko.bohdan@gmail.com,*

*kuklina\_anna1995@mail.ru*

### **Analysis methods of construction corporate networks VPN-based technologies**

Modern technology VPN occupy a leading position in creating a secure corporate network. The most promising technology for current time OpenVPN technology is supported by virtually all operating systems and has a robust and flexible mechanisms to organize secure tunnel.

На теперішній час, технологія *Virtual Private Network (VPN)* набула широкого використання, постійно вдосконалюється та являється актуальною системою інформаційної безпеки для розгортання захищених корпоративних мереж. Основним завданням при адмініструванні даного типу мереж є організація захищеного тунелю між локальними мережами віддалених філій корпорації (захищене підключення користувачів *VPN*), через загальнодоступні канали (наприклад *Internet*), всередині якого в передається інформація зашифрованому вигляді [1].

Розглянемо існуючі технології організації віртуальних приватних мереж. Один з перших протоколів *VPN* – це протокол тунелювання „точка-точка” *Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP)*. Однак, на даний час *PPTP* вважається недостатньо безпечним, так як використовує слабкі механізми аутентифікації, більшість *PPTP* реалізацій базується на основі протоколу *MS-CHAPv2* для шифрування паролів що вважається умовно надійним, не всі клієнти *PPTP* підтримують *EAP-TLS* для використання сертифікатів *X.509* [2].

Технологія *IPSec* є офіційним стандартом *IEEE/IETF* для захисту *IP*-мереж та працює на рівнях 2 і 3 моделі *OSI*. *IPSec* може бути налаштований на використання загальних ключів або сертифікатів *X.509* для захисту з'єднання *VPN*. Крім того, він використовує сертифікати *X.509*, одноразові паролі або протоколи (ім'я користувача/пароль) для аутентифікації *VPN*-з'єднання. Цілісність пакетів *IPSec* забезпечується за допомогою хеш-кодів *Hash-based Message Authentication Code (HMAC)*, умовно цифровий підпис пакетів. Одним з головних недоліків *IPSec* є те, що багато виробників реалізували власні розширення до цього стандарту, що ускладнює конфігурування (або призводить до не сумісності) мережевого обладнання різних вендорів, при встановленні *VPN*-тунелю.

Також необхідно відмітити, що однією з сучасних технологій віртуальних приватних мереж є *Secure Sockets Layer (SSL)*, тобто захист на рівні сокетів. Вона заснована на протоколі *SSL* (криптографічний протокол, що забезпечує встановлення безпечного з'єднання між клієнтом і сервером за

рахунок асиметричного шифрування і використання сертифікатів X.509) та протокол *Transport Layer Security (TLS)*, який усуває недоліки *SSL* та прийнятий як стандарт *RFC*. *SSL* розташований між транспортним рівнем і рівнем додатків та здійснює шифрування на рівні додатків рис. 1.

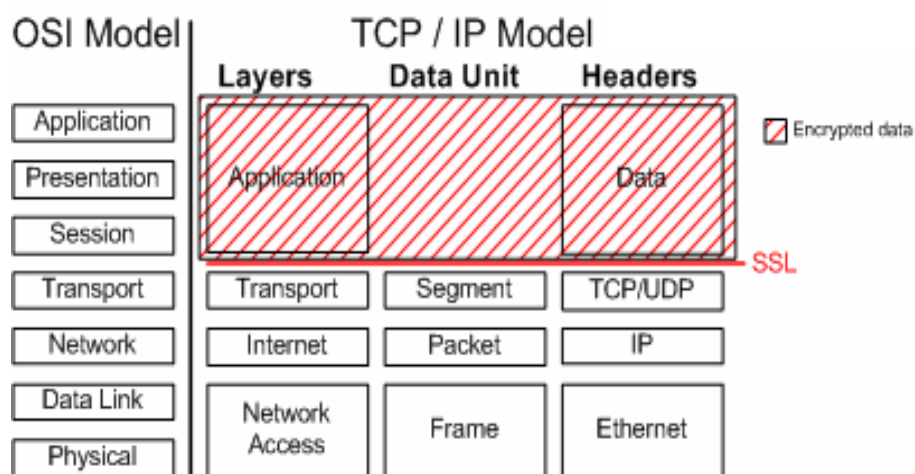


Рис. 1. Принцип роботи протоколу *SSL* та його відповідність стеку *TCP/IP*.

Але немає чітко визначеного стандарту для побудови *VPN* на основі *SSL* та більшість програмних рішень використовують протокол *SSL/TLS*, лише для захисту при встановленні з'єднання [3].

Однією з перспективних *SSL*-подібних захищених приватних мереж є технологія *Open VPN*. *OpenVPN* – інструмент з відкритим вихідним кодом, що дозволяє шифрувати *TCP* або *UDP* тунелі в мережах типу *site-to-site* та клієнт/сервер. Особливістю даної технології полягає в тому, що *OpenVPN* має власний формат для шифрування і підписування трафіку даних, а саме *HMAC* (алгоритм цифрового підпису пакету) в поєднанні з алгоритмом дайджест (або хешування) за необхідності налаштований на використання загальних (*pre-shared*) ключів, а також сертифікатів X.509. Також вона дозволяє встановлювати *VPN*-з'єднання між комп'ютерами, що знаходяться за *NAT* і мережевим екраном, без необхідності зміни їх налаштувань.

Перевага *OpenVPN* полягає в легкості інсталяції і конфігурування, надання широкого спектру алгоритмів шифрування (симетричні алгоритми: *Blowfish*, *DES*, *3DES*, *AES*; сертифікати: x509; хеш-функції: *HMAC*, *MD5*) та аутентифікації користувачів на основі інфраструктури відкритих ключів (*Public Key Infrastructure*) *PKI*. Це реалізовано за рахунок інтеграції *OpenSSL* до складу *OpenVPN*. Тобто для аутентифікації *VPN* вузлів перед тим як почати передавати зашифровані дані створюються ключі, здійснюється їх підпис, а також є можливість шифрування даних і тестування *SSL/TLS* з'єднань [4].

При чому на *OpenVPN* сервері один і той же порт може бути використаний для кількох тунелів. Принцип роботи *VPN*-тунелю для мережі *site-to-site* представлена на рис 2.

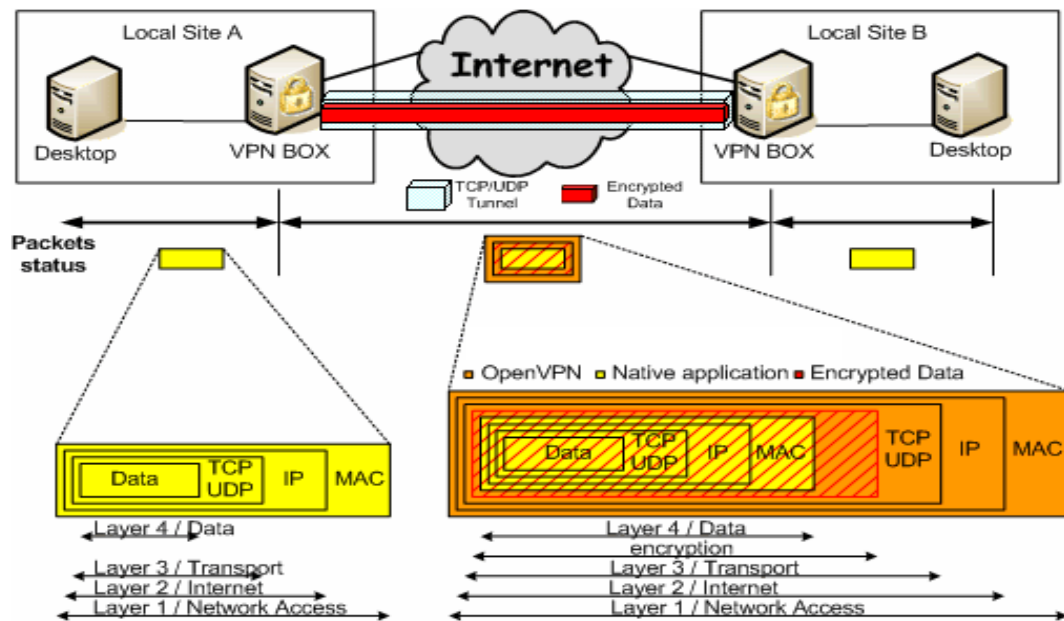


Рис. 2. Передача пакетів всередині локальної мережі і VPN.

При використанні *Open VPN* в мережі типу клієнт/сервер існує два режими: режим тунелювання і режим транспорту (*TUN/TAP*). У режимі *TUN* можливо маршрутизувати *IP*-трафік, *TAP* – можливо передавати *Ethernet*-трафік [5].

Для визначення продуктивності приватної мережі на основі *Open VPN* було здійснено оцінку пропускної спроможності каналу при використанні *VPN*-тунелю за допомогою утиліти *iperf* (рис. 3.).

```

Mastering OpenVPN
File Edit View Search Terminal Help
$ iperf -c openvpn.example.org
-----
Client connecting to openvpn.example.org, TCP port 5001
TCP window size: 85.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 192.168.3.17 port 43909 connected with <SERVER-IP> port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-10.4 sec  5.25 MBytes  4.22 Mbits/sec

```

Рис. 3. Результати аналізу впливу тунелю на пропускну здатність каналу

При проведенні вимірювань при інших умовах спостерігається зниження пропускної здатності каналу приблизно 4.5%. Це пояснюється, тим що використання *VPN* вносить деякі накладні витрати для інкапсуляції, шифрування і аутентифікації (підписи) вихідних даних. Також істотний вплив на ефективність роботи тунелю *OpenVPN* є апаратна платформа вузлів мережі та метод шифрування.

#### Література

1. Eric F Crist Jan Just Keijser Master building and integrating secure private networks using OpenVPN, 2015 341 pages.
2. <https://www.schneier.com/paper-pptpv2.html>.
3. Marcus Fellner OpenVPN Building and Integrating Virtual Private Networks 272 pages.
4. <http://www.linuxsecurity.com/content/view/117363/49/>
5. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2005SPIE.6011..138H>.

УДК 621.398.96

**METHODS TO IMPROVE THE MILLIMETER RANGE SYSTEM  
BASED ON HYBRID TECHNOLOGY THROUGHPUT ANALYSIS**

**Kremenetskaya Y.A., Zhukova E.R.**

*State University of telecommunications of Ukraine, Kyiv*

*E-mail: ya.cremen@mail.ru, zhukova.olena@gmail.com*

**Аналіз методів підвищення пропускної здатності  
систем міліметрового діапазону на основі гібридних технологій**

У статті показано, що використання різних гібридних топологій структури мережі, оптоелектронних методів формування і обробки сигналів, формування діаграм спрямованості антен, а також аналіз обмежуючих факторів і компенсуючих методів може підвищити спектральну і енергетичну ефективності перспективних систем зв'язку в діапазонах 75-110 ГГц, 200-450 ГГц.

The article shows that the use of different hybrid topologies network structures, optoelectronic methods of formation and signal processing, the formation of the antennas directional diagrams, and the analysis of limiting factors and compensatory techniques can improve the advanced communication systems spectral and energy efficiency in the range of 75-110 GHz, 200-450 GHz.

Most modern radio standards operate in the microwave range from 2 to 5 GHz, which theoretically limits the potential resources to increase capacity (Fig.1.). However, the projected increase in mobile traffic, the possibility of live UHDTV format or 3DTV transmission, and other services that requires a higher information transmission rates over 1 GBit/s. This requires the extension of the frequency resources to the millimeter range (MMR, 30 - 300 GHz) and even more short-wave terahertz (300-3000 GHz). However, the distribution of millimeter-wave (MMW) is limited by high losses in the atmosphere, urban areas, foliage of trees, the human body, etc [1]. However, due to the characteristics of the MMR signals spreading (radiation) spectral efficiency increases with the increase of distribution density of base stations (place density phased emitting elements, antenna arrays), which is contrast to the interference limitations of the UHF band for cellular communication.

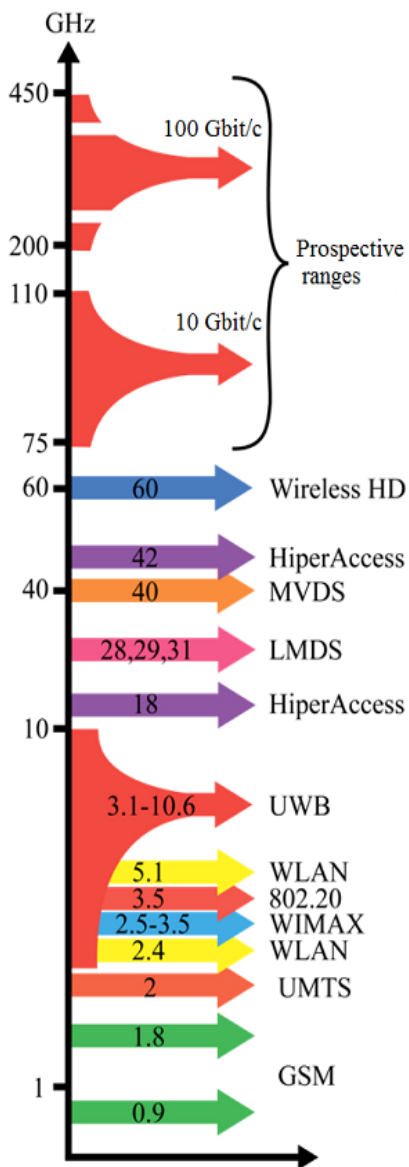


Fig. 1 The Use of spectrum by different radio performances. GSM: global system for mobile system; UMTS: universal mobile telecommunication system; WIMAX: worldwide interoperability for microwave access; WLAN: wireless local area network; UWB: ultra-wideband; LMDS: local multipoint distribution service; MVDS: multipoint video distribution system.

While there is no generally accepted model for energy budget and the algorithm of such networks operation. Possible reasons are the insufficient study of the physical properties distribution of the MMW and hardware limitations, although the 2018-2020 years is already projected use of millimeter range in mobile systems [2,3].

The fundamental solutions for the implementation of MMR systems are hybrid technologies such as [3-6]:

- optoelectronic methods for processing and generating radio signals;
- hybrid network topology RoF (radio-over-fiber, radiofiber-optical communication);
- hybrid analog-digital methods of the antennas directional diagrams formation (MIMO technology);
- radar sensing information to the radiochannels.

In all of these technologies provides wide bandwidth for one channel up to 10 GHz. More important in the MMR development experts believe the ranges in the atmospheric transparency windows 75-110 GHz transmission capability up to 10 Gbit/s.

For ultra-high performance network experts consider spectral windows in the frequency range from 200 to 450 GHz where the low additional losses due to water absorption, and at least you can organize the information transmission over short distances up to 100 m [6]. Each of these windows has a bandwidth of several tens GHz, making them suitable for ultrahigh transmission of 100 Gbit/s without the use of high spectral efficiency formats modulate (e.g., 512-QAM).

The use of hybrid technologies based on optoelectronic and electrooptical conversions gives great prospects in the development of MMW systems. However, limiting factors to date, for example, the use of complex types (formats) for the MMR due to the phase noise modulation IQ imbalance, nonlinear effects are also associated with further progress in the above mentioned hybrid technology and study of the physical features of distribution of the MMW. The development of balancing techniques, for example, shown in Fig.2, may contribute to the development of fully all of the frequency and energy resource potential of MMR. In conclusion, we can draw the following conclusions. The development of millimeter and terahertz range are necessary to further increase the telecommunication systems bandwidth. However, the physical features of the MMW, for example, diffusion and radiation, significantly distinguishable from the

waves of the microwave range, hardware-based methods based on the use of photonic technology and optoelectronic conversion and other hybrid technology can significantly affect the architecture of work and the quality of the MMW system. On the model of a single channel is not possible to evaluate the network performance, spectral efficiency, power budget, and other characteristics. To create the model, architecture systems MMR and terahertz range, you should be mindful and compensating methods in each area associated with the development of these ranges.

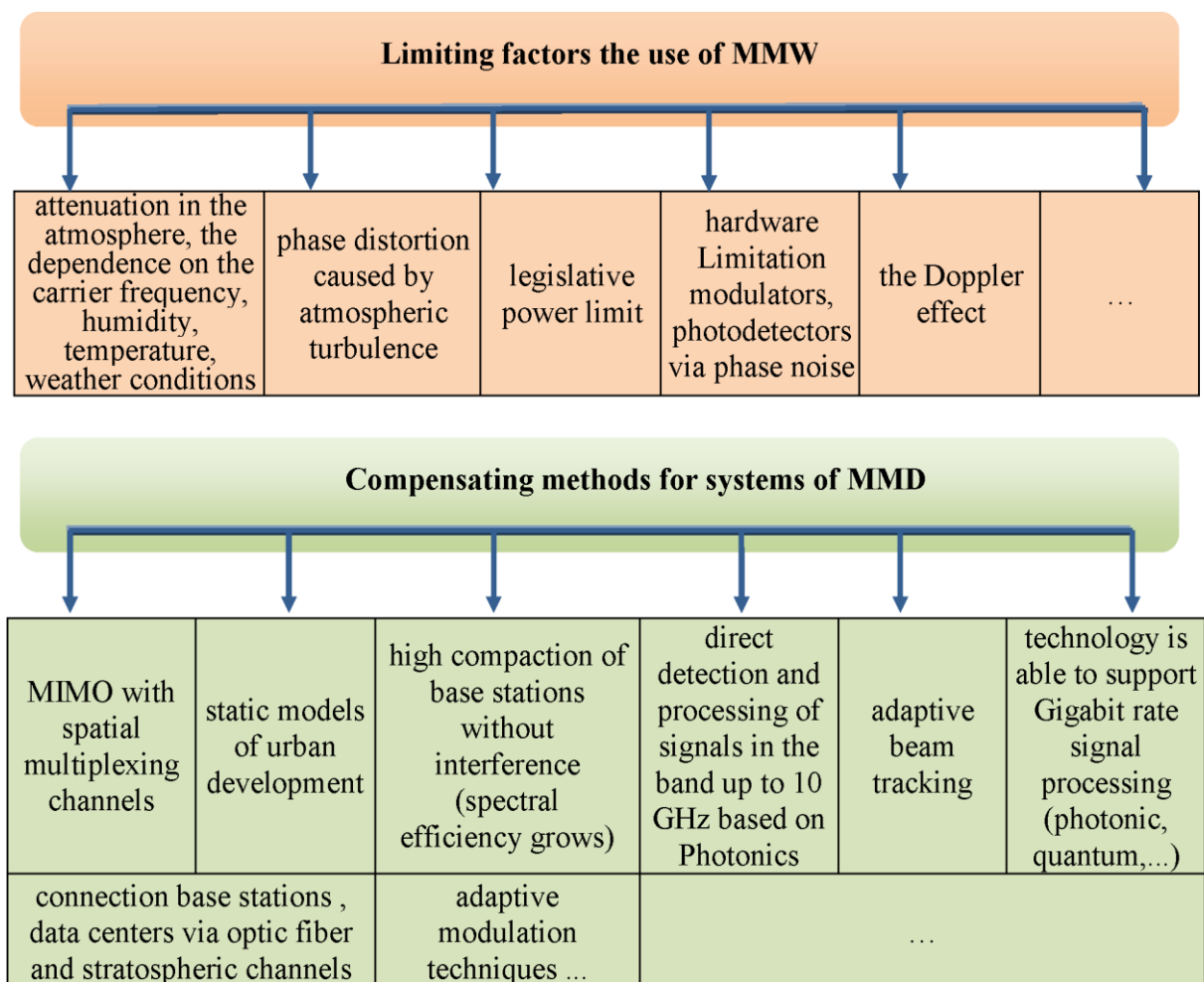


Fig. 2. Limiting and compensating factors to evaluate network performance MMR.

### References

1. Пи, Жоую. Введение в широкополосные системы связи миллиметрового диапазона / Жоую Пи, Фарук Хан // Электроника: наука, технология, бизнес.— 2012.— № 3.— С. 86–94.
2. *Preparing for a 5G World.* Richard Adler. *Communications and Society Program.* 2016 : <https://www.yumpu.com/en/document/view/55693626/preparing-for-a-5g-world>.
3. Sarabjot S. Tractable Model for Rate in Self Backhauled Millimeter Wave Cellular Networks / S. Sarabjot et al. // *IEEE Journ. on Sel. Areas in Commun.*, Oct. 2015., vol.33, no.10, pp. 2196-2211.
4. Heath R. W. An Overview of Signal Processing Techniques for Millimeter Wave MIMO Systems / R. W Heath et al. // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, April 2016.
5. Koenig S. Wireless sub-Thz communication system with high data rate / S. Koenig et al. // *Nat Photon*, 7(12). 2013. pp. 977–981.
6. Урик, Винсент Дж. Основы микроволновой фотоники: [монография] / Винсент Дж. Урик-мл., Джейсон Д. МакКинни, Кейт Д. Вилльямс ; пер. с англ.: М. Е. Белкин, И. В. Мельников, В. П. Яковлев ; под ред.: С. Ф. Боева, А. С. Сигова // Москва: Техносфера. — 2016. — 375 с.

## АНТЕННО-ПОВОРОТНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЇ ТРОПОСФЕРНОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ

Кравчук С.О.<sup>1</sup>, Кайденко М.М.<sup>1</sup>, Гаманенко О.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна

<sup>2</sup>ПрАТ "РОКС", Україна

<sup>1</sup>E-mail:sakravchuk@ukr.net ; <sup>2</sup>E-mail:pks@roks.com.ua

### Antenna-turning device for a compact troposcatter radiorelay station

The results of the development of a new portable antenna-turning device (ATD) for tropospheric radiorelay system in range 4 ... 5 GHz band, which is able keep the antenna mirror of diameter 2.4 m and make their adjustment in azimuth 360°, and elevation at 60°. Features of the ATD: bore diameter slewing device - 60 mm; height support - 1275 mm; plenty of support - 29 kg. Antenna mass without antenna rotator mirror - 40 kg. ATD Height within 1500...1800 mm regulated by moving the feet and the angle of the antenna dish installation site. Diameter supports deploying tripod reaches 3 m.

На даний час підвищення інтересу до розробки та модернізації малогабаритних тропосферних радіорелейних станцій (ТРРС) потребує створення високоефективного спеціального антенно-поворотного пристрою (АПП) [1]. Метою даної роботи є розробка АПП для портативної (переносної) ТРРС діапазону 4,4...5,0 ГГц для забезпечення конкурентоздатності зазначеної ТРРС по відношенню до інших систем безпроводового доступу.

Призначення АПП – монтаж антени, блоку приймально-передавального та орієнтування антенного дзеркала на максимальний сигнал зв'язку між пунктами прийому-передачі тропосферної радіорелейної станції. Розроблено варіант АПП що має ручну юстировку антени.

Конструкторські рішення, які закладені при розробленні антенно-поворотного пристрою та блоку живлення ТРРС а також сучасна елементна база і матеріали сприяють підвищенню технологічності при виготовленні цих пристроїв і таким чином зменшенню загальної вартості мобільної тропосферної радіорелейної станції [2-6]. Така портативна ТРРС може бути конкурентоспроможною і широко використовуватись для організації оперативного і спеціального зв'язку, може дозволити гнучке розміщення (розгортання і експлуатацію) її на землі, на дахах та на рухомих об'єктах. Склад антенно-поворотного пристрою: опора (тринога); антена; азимутально-кутовий поворотний пристрій (АКПП).

Опора (трипод) виконана у вигляді збірної конструкції зі сталі. Для забезпечення стійкості при вітрових навантаженнях також передбачена можливість анкерного кріплення опорних лап до поверхні. Опора поставляється в розібраному вигляді для зручного транспортування.



*a*



*б*

Рис. 1. Антенно-поворотний пристрій: *a* – вид збоку; *б* – вид спереду

Особливості параболічних антенних систем для тропосферних малогабаритних станцій наступні: можливість неперервного випромінювання потужності більшого за 400 Вт; можливість роботи в двох і більше частотних діапазонах. Наприклад 4,4...5,0 ГГц (*C*-band) і 14,8...15,5 ГГц (*Ku*-band); крос-поляризація становить не менш 30 дБ; коефіцієнт стоячої хвилі по напрुзі на фланці антени становить не більше 1,35; можливість перевезення антенної системи малим транспортним засобом, або розбирання антенної система та послідуоче її перенесення декількома чоловіками; широке рознесення антенних опор для протистояння вітровому навантаженню (швидкість вітру при роботі 120 км/год та пориви вітру до 200 км/год); загальна висота антенної системи визначається розміром дзеркала антени.



*a*



*б*



*в*

Рис. 1. Антена і АПП: *a* – параболічне дзеркало антени; *б* – поворотний механізм по куту місця; *в* – вигляд АПП зверху збоку





Рис. 2. Антенно-поворотний пристрій при куті місця антени, град:  
*a* – 0; *б* - 22; *в* - 45

Розроблена антена КПШ-Рокс1.5 складається з вісь-симетричного параболічного дзеркала з діаметром розкриву 1500 мм (рис. 1, *a*) та випромінювача на круглому хвильоводі. Зауважимо, що АПП розрахований на встановлення параболічного дзеркала діаметром 1800 і 2400 мм. Для порівняння в табл. 1 наведено характеристики параболічних антен для формування тропосферних радіоліній 4,4...5,0 ГГц при КСХН входу не більше 1,3 як розробленої антени, так і її зарубіжних аналогів.

Таблиця 1. Характеристики параболічних антен для формування тропосферних радіоліній

Модель антени	Діаметр антени, м	КП, дБі, середній	Ширина діаграми спрямованості по рівню -3 дБ, град	Подавлення першого бічного пелюстка, дБ	Виробник
MRF-1	4,7	44,8	1,01	-20	SATCOM Technologies
CSA3000	3,0	40	-	-25	Comtech systems
HWT	2,4	38,3	2,08	-20	SATCOM Technologies
ASC Signal	2,4	39	2	-25	MilSatCom
<b>КПШ-Рокс1.5</b>	<b>1,5</b>	<b>36</b>	<b>2,1</b>	<b>-19</b>	<b>КПШ ім. І. Сікорського</b>
MA-WP56-DP34	1,2	32	3	-18	MARS Antennas & RF Systems
SHF4450P08	0,7	27	5	-30	Comrod

За допомогою рухомого механізму (рис. 1, б) здійснюється нахил антени в вертикальній площині на кут  $+45 -15$  град (рис. 2). Поворот антени в азимутальній (горизонтальній) площині здійснюється вручну вільно і стопориться.

Висота АПП (рис. 1, в) в межах 1500...1800 мм регулюється рухомими ногами та кутом місця встановлення антенного дзеркала. Діаметр розгортання опор триноги сягає 3050 мм.

Характеристики: посадковий діаметр опорно-поворотного пристрою (ОПУ) - 60 мм; висота опори - 1275 мм; маса опори - 29,0 кг. Маса антенно-поворотного пристрою без антенного дзеркала не більше 40 кг.

Таким чином, представлено результати розробки нового портативного АПП для тропосферної радіорелейної системи діапазону 4...5 ГГц, який може фіксовано утримувати антенні дзеркала діаметром до 2,4 м та їх юстирувати по азимуту на  $360^\circ$ , а по куту місця на  $60^\circ$ .

### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Кравчук С.О. Принципи створення портативних тропосферних радіорелейних станцій // Матер. 9-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 21–25 квітня, 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 254–256.
3. Кравчук С.О. Портативна тропосферна радіорелейна станція зв’язку // Матер. 10-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 19–22 квітня, 2016 р. – К.: Хімджест, 2016. – С. 305–307.
4. Kravchuk S., Kaidenko M. Features of creation of modem equipment for the new generation compact troposcatter stations // Proceedings of the International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo'2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. – IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo'2016.7739634), 2016.– P. 365-368.
6. Kravchuk S.O., Kaidenko M.M. Modem equipment for the new generation compact troposcatter stations // Information and telecommunication sciences. – 2016. – Vol. 7. – Nu. 1. – P. 5–12.
7. Ільченко М.Ю., Кайденко М.М., Кравчук С.О. Модемне обладнання на основі SDR-технології для тропосферних станцій нового покоління // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2016. – № 5. – С. 7–16.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ МЕРЕЖ БАГАТОПРОЛЬОТНОЇ РЕТРАНСЛЯЦІЇ СТАНДАРТУ IEEE 802.16J

**Рижко А.В., Кравчук С.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: ryzhkoandre@gmail.com, sakravchuk@ukr.net*

### **Investigation of ability to increasing quality of service for IEEE 802.16j multishop repeater networks**

Broadband wireless access systems IEEE 802.16j, also called WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) were designed for the development of the software package air interface for fixed, portable and mobile wireless systems.

Системи широкосмугового безпроводового доступу стандарту IEEE 802.16j (WiMax) призначені для створення високошвидкісного радіоінтерфейсу для фіксованих, переносних та мобільних систем безпроводового доступу. В таких системах мобільні станції (МС) користувачів можуть надсилати дані прямо до базової станції (БС), або використовувати проміжні ретрансляційні станції (РС) для доступу до цільової станції (ЦС) [1].

Для досягнення високої швидкості передачі даних в безпроводових мобільних мережах стандарту IEEE 802.16j [2] використовується механізм опитування в якості механізму управління доступом до середовища (МАС). На МАС-рівні протоколу WiMAX реалізуються функції, які пов'язані з формуванням структури даних, що передаються між БС та МС, а також управлінням множинним доступом до безпроводового середовища. Механізми доступу МАС-рівня повинні також вирішувати задачі забезпечення заданої якості обслуговування різних сервісів. У разі обмеженості пропускну здатності, або великої кількості МС, БС використовує групові або широкосмугові виборчі режими, в яких у якості алгоритму усунення колізії використовується алгоритм скороченої двійкової експоненціальної затримки. Однак, такий алгоритм може збільшити кількість зіткнень (колізій) при перемиканні каналу і подовжує затримку передачі обслуговування [3].

Метою даної роботи є підвищення якості обслуговування шляхом розробка покращеного алгоритму усунення колізії. При цьому робота алгоритму враховуватиме значення класу трафіку та пріоритетності

терміналів (МС). Очікується зменшення кількості колізій та тривалості затримки.

Запропонований інтегруючий алгоритм, що кооперує три відомі субалгоритми:

- Алгоритм адаптивного значення затримки для визначення тривалості вікна затримки та захисного інтервалу в залежності від класу трафіку та пріоритетності терміналів [4].

Адаптивний розмір вікна колізії визначатиметься як:

$$W_{i,max}^{r,t} = (2^{i^{r,t}} - 1) \cdot W,$$

де  $W$  – розмір канального слоту,  $i^{r,t}$  – значення затримки для вузла  $t$  з класом трафіку  $r$ .

- Алгоритм динамічного контролювання для відстеження значення затримки та ревізування станів передачі інформації в залежності від кількості вузлів, їх пріоритету та класу трафіку. Використання даного алгоритму дозволить знизити колізію високопріоритетного трафіку без суттєвого зростання колізії у низькопріоритетному трафіку [5]. За рахунок зменшення колізії, вдасться підвищити корисну пропускну здатність мережі.

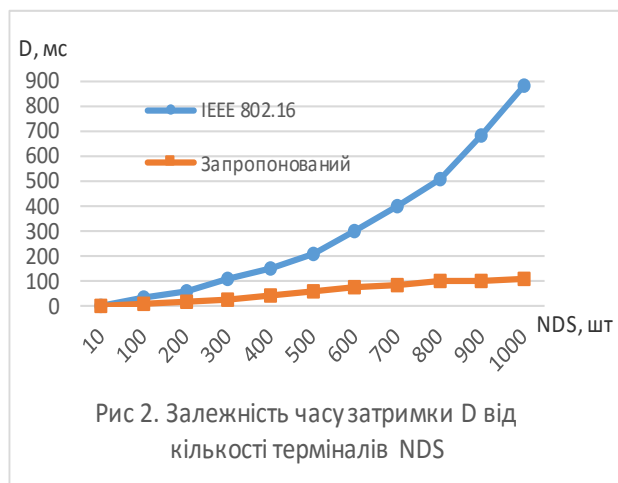
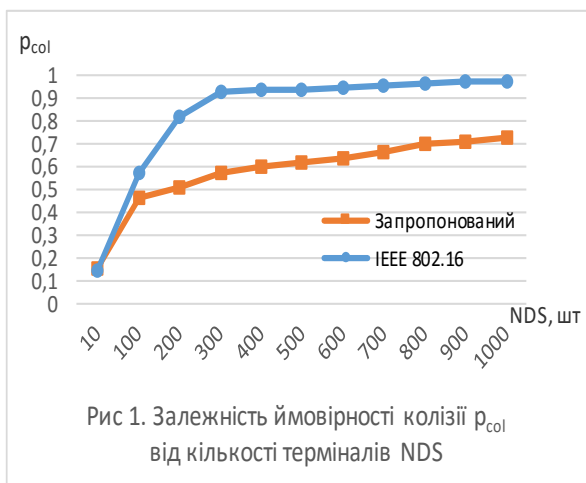
Динамічне значення затримки визначатиметься як:  $Z_i^{r,t} = i^{r,t} \cdot \frac{1}{H^{r,t}}$ , де  $H^{r,t}$  – індекс пріоритетності вузла  $t$  з класом трафіку  $r$ .

- Алгоритм диференційного зменшення вікна колізії що дозволить скоротити затримку усунення колізії в залежності від класу трафіку та пріоритетності терміналів – чим пріоритетніший вузол та клас його трафіку, тим меншим буде вікно колізії [6]. Кількість фізичних кадрів, яку доведеться пропустити, згідно з алгоритмом, визначатиметься наступним чином:

$$N_{Frame}^{r,t} = \frac{W^{r,t}}{\left( \frac{C_{Frame}^{IR(or BR),H^{r,t}}}{H_{Highest}^{r,t}} \right)}, \text{ де } W^{r,t} \text{ – розмір вікна колізії для вузла } t \text{ з}$$

класом трафіку  $r$ ,  $C_{Frame}^{IR(or BR),H^{r,t}}$  – кількість канальних елементів в кадрі;  $H_{Highest}^{r,t}$  – найвищий індекс пріоритетності.

На базі запропонованого алгоритму розроблена модель сценарію, де розглянуто два типи безпроводних вузлів: нових та при передачі обслуговування. Співвідношення навантаження трафіку з нових вузлів та при передачі обслуговування складає 2:1. Кожен тип вузла підтримує два класи трафіку: сервіси з режимом опитування в реальному часі та сервіси без режиму опитування в реальному часі. В сценарії, рух МС відбувається випадковим чином, а при реалізації сценарію передачі обслуговування - МС з активними з'єднаннями переміщується навколо двох сусідніх БС. Результати моделювання наведено на рис. 1 і рис. 2.



Адекватність запропонованого алгоритму підтверджена результатами моделювання. Зі збільшенням кількості терміналів, зростають значення ймовірності колізії та часу затримки. Однак результати моделювання підтверджують, що запропонований алгоритм дозволяє досягти зменшення показника ймовірності колізії в середньому на тридцять відсотків у порівнянні з показниками стандартного алгоритму. Затримка повідомлень при використанні запропонованого алгоритму зростає зі збільшенням числа вузлів. Хоча значення затримки при використанні запропонованого алгоритму завжди нижчі у порівнянні з затримками при використанні стандартного алгоритму, чітка перевага помітна при кількості вузлів більше ніж 300.

Зменшення затримки дозволить покращити якість обслуговування, що дасть можливість одночасно користуватися такими сервісами, як онлайн потокове відео до 600 одночасно підключених вузлів чи до 800 одночасних телефонних розмов (наприклад - VoIP).

### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – Київ: Наукова думка, 2017. – 730 с.
2. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std. 802.16, Oct. 2004.
3. Chang B.-J., Chou C.-M. Cross-layer based delay-constraint adaptive polling for high density subscribers in IEEE 802.16 WiMAX networks // Wireless Pers. Commun. - 2008. - vol. 46, no. 3. - pp. 285–304.
4. IEEE 802.16J relay-based wireless access networks: An overview / V. Genc, S. Murphy, Y. Yu, and J. Murphy // Wireless Commun. - 2008. - vol. 15, no. 5. - pp. 56–63.
5. Performance improvement using dynamic contention window adjustment for initial ranging in IEEE 802.16 P2MP networks / L. Lin, W. Jia, B. O. Han, and L. Zhang // Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf., Mar. 2007, pp. 1877–1882.
6. Oh S.-M., Kim J.-H. The optimization of the collision resolution algorithm for broadband wireless access network // Proc. 8th Int. Conf. Adv. Commun. Technol., Feb. 2006, vol. 3, pp. 1944–1948.

## АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ

Сова О.Я., Марилів О.О., Сальник С.В., Сальник В.В.

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна*

*E-mail: butterfly21@i.ua*

### **Analysis of unmanned aerial vehicles as relays tactical mobile radio networks**

The classification of unmanned aerial vehicles and a list of tasks performed by unmanned aerial vehicles in civil and military spheres. The advantages and disadvantages of using unmanned aerial vehicles in the mobile radio networks.

Останнім часом спостерігається динамічний розвиток та поширення мобільних радіомереж (МР) класу MANET (Mobile Ad-hoc Networks), які стають більш вживаними у повсякденному житті та у військовій сфері. Основними особливостями побудови та застосування МР є: мобільність усіх вузлів; динамічна топологія; децентралізоване управління МР; спільний доступ вузлів до середовища передачі даних; масштабованість; необхідність збору значної кількості інформації про стан мережі на різних рівнях мережевої моделі OSI. Зазначені особливості МР обумовлюють розширення можливостей щодо передачі інформації, що в свою чергу може досягатися шляхом використання мобільних вузлів на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Безпілотні літальні апарати являють собою літальні апарати, які не передбачають наявності пілота на борту та застосовуються для створення безпроводових самоорганізованих мереж Flying Ad-hoc networks (FANET) [1]. В свою чергу мережі класу FANET можуть бути розглянуті як особливий різновид мереж класу MANET та Vehicle Ad-hoc networks (VANET) [2]. БПЛА на сьогодні виконують задачі у багатьох галузях як цивільної так і військової сфер та виконують в даних сферах діяльності певні задачі (рис. 1) [3]. Головною особливістю БПЛА є те, що апарати можуть виконувати свої задачі в автоматичному режимі, або за мінімальної участі людини в процесі управління.

У загальному МР на кожному з рівнів функціонування характеризуються наступними особливостями:

- динамічна топологія;
- обмежені потужність і час передачі абонентів, оснащених радіотерміналами з акумуляторними батареями;
- значна розмірність мереж;
- неоднорідність елементів мережі: за мобільністю, за рівнем продуктивності.

Основною перевагою застосування БПЛА є виконання завдань, що пов'язані з ризиком для людини. В цьому сенсі застосування групи БПЛА є ще більш доцільним для ретрансляції зв'язку у тих місцях – де неможливо встановити антени покриття через складний рельєф.



Рис.1. Задачі, які виконують БпЛА в цивільній та військовій сферах діяльності.

До основних переваг застосування мережі БпЛА можливо віднести [8]:

1. Забезпечення зв'язності між географічно розділеними об'єктами [9].

2. Підвищення надійності зв'язку між мобільними базовими станціями (МБС) у межах однієї зони за рахунок появи альтернативних незалежних маршрутів передачі.

3. Підвищення продуктивності мережі за рахунок: використання радіоканалів між БпЛА з більшою пропускнуою здатністю в порівнянні з радіоканалом МБС-МБС, ефективність керування мобільними вузлами радіомережі (зменшується обсяг переданої службової інформації й зменшується час її збору [10]), скорочення в кілька разів довжин маршрутів передачі інформації та ін.

4. Забезпечення заданої якості обслуговування абонентів (QoS) за рахунок застосування детермінованих протоколів множинного доступу.

5. Забезпечення дистанційного збору розвідувальної інформації або її знімання з датчиків сенсорних мереж.

До недоліків застосування мережі БпЛА відносяться:

1) Вплив ефекту Доплера на якість каналів зв'язку в самоорганізованих мережах БпЛА. Це пов'язано з тим, що вузли такої мережі можуть мати високу швидкість руху як відносно землі, так і відносно один одного.

2) Діючі вузли можуть відключатися, а нові вузли – приєднуються до

мережі під час виконання місії.

3) Топологія мережі схильна до швидких і частих змін, і, як наслідок, таким же змінам схильні маршрути доставки відеоданих і зображень від джерела до одержувача. Це призводить до того, що застосування відомих протоколів маршрутизації (AODV, OLSR) в більшості випадків не тільки не забезпечує прийнятну якість передачі даних в самоорганізованих мережах БпЛА, а й може призвести до неможливості функціонування МР. Крім того, висока швидкість руху і зміна орієнтації вузлів в просторі вузлів мережі є додатковим негативним фактором, який впливає на якість обслуговування.

Аналіз технічних характеристик БпЛА, вказує на множину проблем на шляху створення повітряної мережі на основі БпЛА для зв'язку між географічно рознесеними абонентами: забезпечення радіовидимості між БпЛА і наземними мобільними станціями мережі зв'язку; компенсація великого загасання сигналу на трасі; застосування оптимальної топології мобільної радіомережі; забезпечення QoS для різних типів трафіку, управління потоками даних та маршрутизацією на різних рівнях функціонування МР.

Враховуючи зазначене вище, можливо виділити наступні технічні вимоги для функціонування мобільних радіомереж FANET: інтеграція всіх видів трафіка (мова, дані, відео); повна мобільність всіх абонентів і елементів мережі; забезпечення заданої якості обслуговування користувачів (QoS) на значних географічних територіях в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї; мінімальна участь людини в питаннях планування й ведення зв'язку[1].

Таким чином, в даній роботі було проведено аналіз використання безпілотних літальних апаратів в мобільних радіомережах, розглянуто переваги та недоліки їх застосування.

### Література

1. Романюк В.А. Мобільні радіомережі (MANET) – основа побудови тактичних мереж зв'язку // IV Науково-практичний семінар ВІТІ “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2007. – С. 5 – 18.
2. Ankur O. MANET: History, Challenges and Applications / Ankur O. Bang, Prabhakar L. Ramteke // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 2013. Vol. 2. Iss. 9. pp. 249– 251.
3. Матійчик М.П. Тенденції застосування безпілотних повітряних суден в цивільній авіації / Матійчик М.П., Качало І.А // Матеріали XI міжнародної наук.-техн. конфер. “АВІА 2013”, 2013. – 97с.
4. Миночкин А.И. Управление топологией мобильной радиосети / Миночкин А.И., Романюк В.А. // Зв'язок, 2003. – № 2. – С. 28 – 33.
5. Міночкін А.І. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мереж зв'язку військового призначення / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2005. – С. 83 – 90.
6. Харченко В.П. Аналіз застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері / Харченко В.П., Прусов Д.Е. // Вісник Національного Авіаційного Університету, 2012. – №4. – С. 118-130.



## **МЕТОДИ ВИБОРУ ЦІЛЬОВОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОЦЕДУРИ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖАХ 4-ГО ПОКОЛІННЯ**

**Довгань Б.М, Кравчук С.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: dovhanbohdan@gmail.com*

### **Handover target selection methods for the vertical handover decision processes in fourth generation wireless networks**

The new method for handover target selection process for fourth generation wireless networks was considered.

Сьогодні безпроводові комунікаційні технології стали невід'ємною частиною повсякденного життя і продовжують інтегруватись в усі сфери людської діяльності, що зумовлено споживчим попитом користувачів та постійним розвитком телекомунікаційних технологій.

У середовищі мереж 4G, мобільний користувач має можливість вільно переміщуватись не припиняючи використання мобільного терміналу. Процес переміщення від зони покриття однієї точки доступу до іншої без втрати з'єднання називається передачею обслуговування (ПОБ) [3].

При прийнятті рішення про передачу обслуговування у середовищі 4G, є ймовірно кілька мереж кандидатів. Таким чином, важливо використовувати алгоритми, які здатні вибрати найбільш ефективну мережу серед всіх в якості цільової для передачі обслуговування. Це необхідно для того, щоб користувачі мали можливість доступу в режимі «завжди найкраще підключення» [1, 2].

В даній роботі були запропоновані деякі рішення алгоритмів вибору цільової мережі для передачі обслуговування. Пріоритетним залишається спосіб вибору цільової мережі, що спирається на функцію, яка обчислює «вартість» можливих кандидатів.

Така вартість являє собою суму кожного параметра QoS (Quality of service), в тому числі смуги пропускання, заряду акумулятора і затримки. Мережі з мінімальними витратами обираються в якості основних для передачі обслуговування. Цей метод підвищує відсоток вдалих запитів від користувачів і знижує ймовірність блокування виклику. Важливим є також фактор присвоєння пріоритетності параметрів QoS залежно від уподобань користувача та технічних можливостей мобільного терміналу.

Запропонований метод розроблений для максимального рівня задоволеності користувачів шляхом вибору найкращої мережі для передачі обслуговування між декількома мережами кандидатами. Метод включає в

себе два алгоритми: розподіл пріоритетності і обчислення коефіцієнта витрат.

Алгоритм розподілу пріоритетності використовує уподобання користувача та рівень потужності мобільного терміналу в якості вхідних даних на основі чого генерує вагові коефіцієнти для параметрів при рішенні про передачу обслуговування.

Призначені для користувача налаштування можуть бути задані відповідно до уподобань. Ці параметри: доступна смуга пропускання, фінансова вартість та безпека. Запропоновано 4 рівні пріоритетності: високий, середній, низький і нульовий. Крім уподобань користувача, в якості вхідних даних також використовується рівень зряду батареї мобільного терміналу. Алгоритм розподілу пріоритетності обчислює вагові коефіцієнти для доступної смуги пропускання, фінансової вартості, безпеки та споживання енергії.

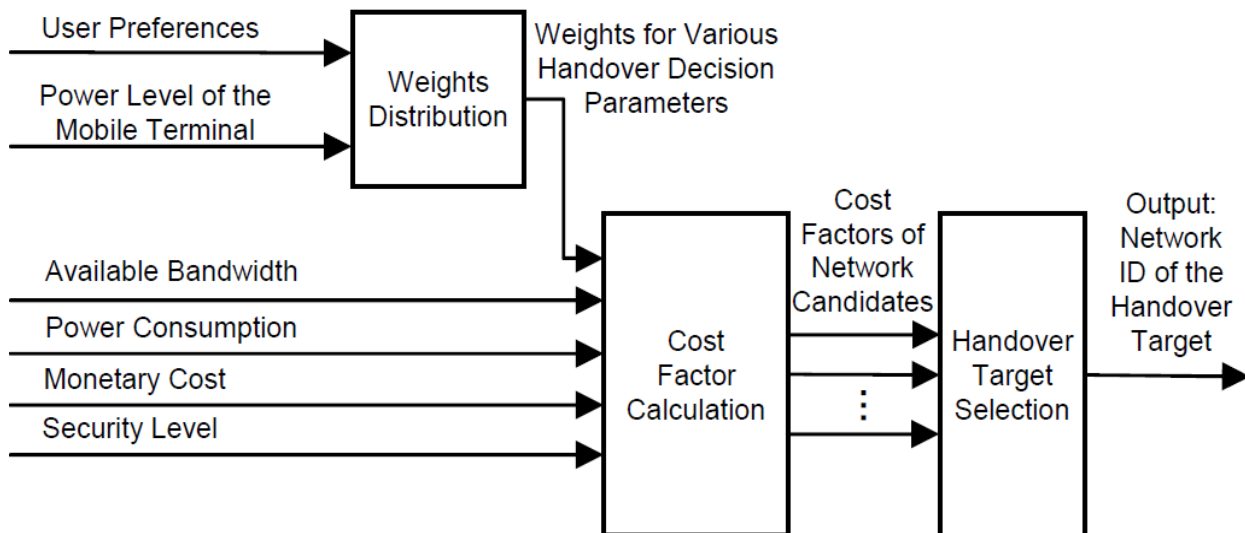


Рис. 1. Блок-схема вибору мережі для передачі обслуговування.

Алгоритм розрахунок фактора витрат оцінює вартість передачі обслуговування до будь-якої мережі кандидата з використанням функції витрат. Він приймає різні мережеві параметри і їх вагові коефіцієнти в якості вхідних даних і генерує показники вартості для всіх мереж-кандидатів. Мережа з найменшим показником витрат обирається в якості основної для передачі обслуговування. Фактор витрат  $C_i$ , який забезпечує вимірювання вартості передачі обслуговування до певної мережі  $i$ , обчислюється за допомогою наступної функції:

$C_i = C(w_B B_i ; w_M M_i ; w_S S_i ; w_P P_i)$  де  $C$  являє собою функцію вартості,  $B_i$ ,  $M_i$ ,  $S_i$ ,  $P_i$  пропускна здатність (в Мбіт), грошова вартість, рівень безпеки (за шкалою від 1 до 10, від дуже низького до дуже високого) і рівень потужності споживання (за шкалою від 1 до 10, від дуже низького до дуже високого) відповідно, та  $w_B$ ,  $w_M$ ,  $w_S$  і  $w_P$  - вагові коефіцієнти розраховані в алгоритмі

розподілу пріоритетності.

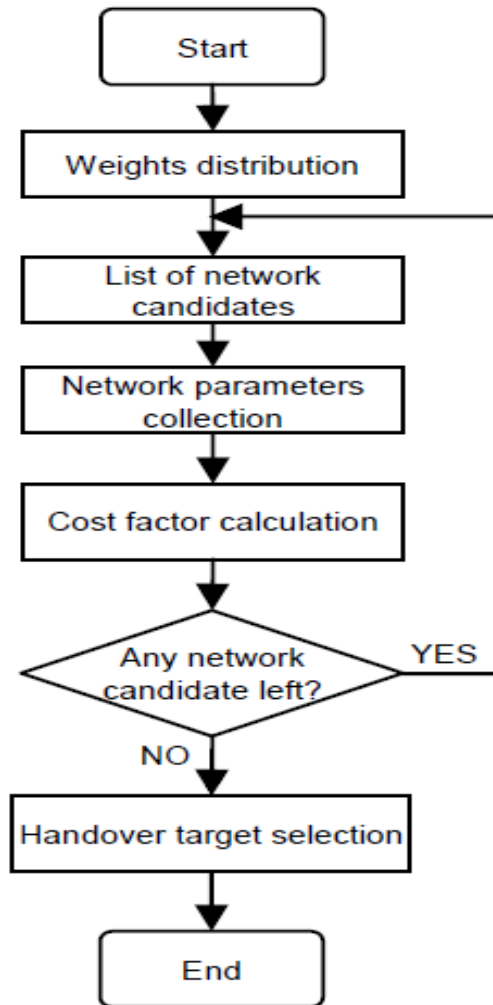


Рис. 2. Блок-схема запропонованого методу вибору цільової мережі для передачі обслуговування.

Таким чином, новий метод заснований на двох частинах: розподіл вагових коефіцієнтів і розрахунок фактору вартості. Вагові коефіцієнти різних параметрів мережі формуються на основі уподобань користувача, рівня потужності мобільного терміналу, вартісні коефіцієнти мереж-кандидатів розраховуються з використанням функції витрат. Мережа з найменшим показником витрат обирається в якості цільової для передачі обслуговування.

Цей метод має на меті максимально задовольнити уподобання і є дієвішим ніж методи, які послідовно обирають мережі доступу.

#### Література

1. Evolution and emerging issues in mobile wireless networks / S. Dekleva, J. P. Shim, U. Varshney, and G. Knoerzer. // Communications of the ACM. – 2007. - 50(6). – P. 38–43.
2. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу. – К.: Наукова думка, 2009. – 288-312 с.
3. Nasser N., Hasswa A., Hassanein H. Handoffs in fourth generation heterogeneous networks // IEEE Communications Magazine. – 2006. – 44. – P. 96–103.

## БЕЗПРОВОДОВІ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ З ДИНАМІЧНИМ ВИБОРОМ СПЕКТРУ

**Журавель А.С., Кравчук С.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: anseezhur@gmail.com*

### **Wireless networks with dynamic spectrum access**

Different models and methods of dynamic spectrum access and the cognitive radio technology for optimization work of wireless networks with dynamic spectrum access were considered.

На даний час з метою вирішення проблем сучасних мереж широкопasmового доступу, пов'язаних із обмеженнями радіоспектру та ефективності його використання, розробляються телекомунікаційні мережі безпроводового доступу (ТМБД) наступного покоління. ТМБД повинні забезпечити високу пропускну здатність для користувачів шляхом створення гетерогенної безпроводової архітектури із задіянням технології динамічного доступу до спектру, що базується на принципі когнітивності вибору найкращого доступного радіоканалу (дозволяє використовувати спектр в динамічний спосіб) – так званого когнітивного радіо. Також когнітивні техніки можуть використовуватися для відкритого доступу до спектру [1].

До основних функцій технології когнітивного радіо відносяться: зондування спектру; управління використанням спектру; мобільність спектру; спільне використання спектру. Спектр спільного використання дозволяє користувачам когнітивного радіо ділитися смугами спектру ліцензійних користувачів на вторинній основі.

Найбільш відомим застосуванням технології когнітивного радіо є метод динамічного доступу до спектру DSA (Dynamic spectrum access), за допомогою якого радіосистема динамічно адаптується до наявних дірок (вільних частотних смуг) у спектрі з обмеженим використанням у відповідь на зміну оточуючих обставин та умов. Головним завданням DSA є подолання двох видів завад, що викликані несправностями пристроїв або діями користувачів. DSA широко використовується в когнітивній мережі та має різні підходи до реалізації та застосування. Важливість DSA породжує появу різноманітних методів та алгоритмів його реалізації [2].

Метою даної роботи є проведення аналітичного огляду наявних різноманітних моделей та методів технології динамічного доступу до спектру. При цьому головна увага приділяється підходу, що використовує теорію ігор GTA (Game Theoretic Approach), та так званій моделі, заснованій на вимірюваннях MBM (Measurement-based Model).

GTA може бути пояснений як математична структура, що включає в себе моделі та методи, які використовуються для аналізу поведінки рішень індивіда, з огляду на його інтерес до власної вигоди. В загальному ж, це

математичний інструмент, що аналізує та планує взаємодію між декількома особами, що приймають рішення.

Основними компонентами даного підходу є: особи, що приймають рішення; простір дій; комплект утиліт (чи функцій виграшу).

Відповідно до MBM використовується напівмарковська модель (Semi-Markov model), котра добре описує поведінку безпроводової мережі WLAN і може використовуватись для отримання оптимальних стратегій управління та заснована на фактичних вимірюваннях в діапазоні 2,4 ГГц [3].

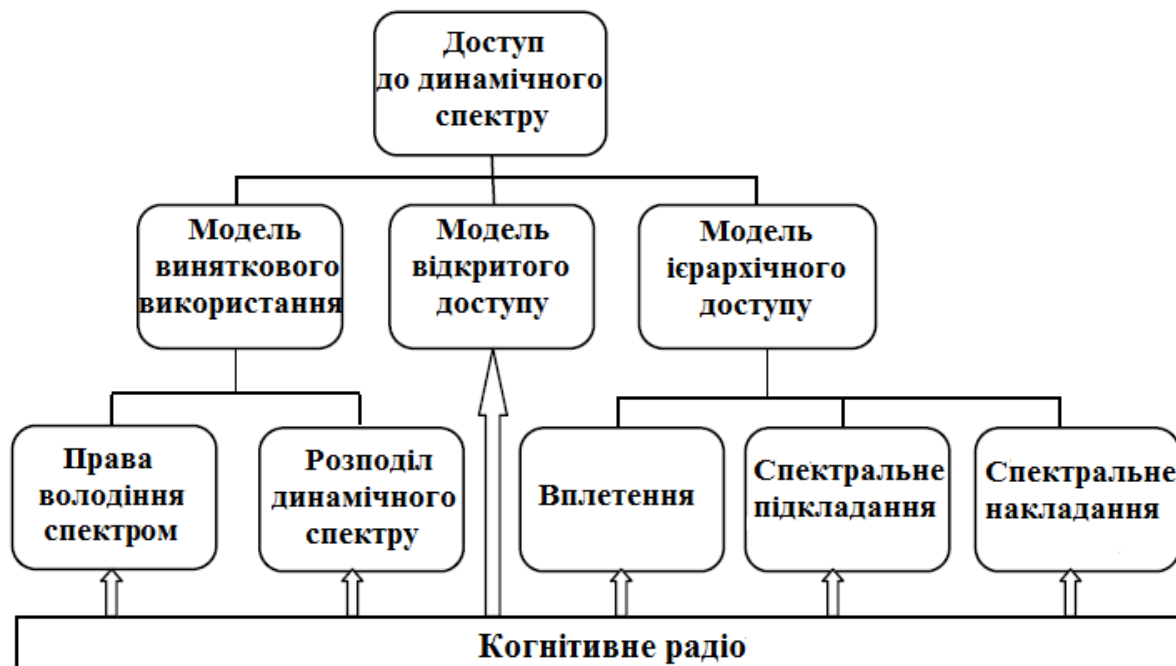


Рис.1. Основні технології динамічного доступу до спектру.

Що стосується основних моделей DSA (рис.1), то до них відносяться:

Модель динамічного виняткового використання DEU (Dynamic Exclusive Use model). Основна концепція полягає в поліпшенні ефективності використання спектру шляхом введення гнучкості. Включає в себе два основних підходи: права володіння спектром і динамічний розподіл спектру. Перший підхід дозволяє ліцензії на продаж і торгівлю спектром, а також вільний вибір технологій. Другий підхід прагне підвищення ефективності спектру через динамічне призначення спектру з використанням статистики просторового і часового трафіку різних послуг .

Модель відкритого доступу OSM (Open Sharing Model): модель відкритого доступу також називають моделлю спільного спектру. Дана модель може бути умовно поділена на три типи:

а) некерований спільний спектр, при використанні даної моделі жодному користувачеві не надається виняткова ліцензія на діапазон спектру;

б) керований спільний спектр, дана модель являє собою спробу уникнути трагедії при використанні спільного спектру, за рахунок встановлення лімітованої форми структури доступу до спектру. Це ресурс, який контролюється групою користувачів , і який характеризується

обмеженням на те, коли і як цей ресурс використовується;

в) приватний спільний спектр, ця концепція за допомогою використання передових технологій дозволяє відразу декільком користувачам отримати доступ до спектру.

Ієрархічна модель доступу HAS (Hierarchical Access Model), дана модель доступу включає в себе три підходи:

а) вплетення (Inter-Weave): даний підхід базується на ідеї про повторне використання спектру в просторовій області, тобто первинний спектр використовується когнітивним радіо в географічних областях, де первинна діяльність була відсутня.

б) спектральне підкладання UWB (Spectrum Underlay): технології UWB працюють в використовуваному спектрі на дуже низькій потужності для іншого ліцензійного чи неліцензійного використання, але без обмеження користувачів. Використання UWB не ліцензоване.

в) спектральне накладання OSA (Spectrum Overlay): даний підхід передбачає роботу на вищій потужності, що може спричинити вплив на вже існуючих користувачів, проте дана можливість виключається тим, що трансмісії дозволяються тільки в періодах чи областях, де спектр на даний момент не використовується [4].

В даній роботі було проаналізовано існуючі методи та моделі реалізації технології когнітивного радіо, зокрема DSA. Найбільш перспективним напрямком роботи став розгляд можливостей до отримання будь-якої моделі DSA з використанням підходу, який використовує теорію ігор та МВМ. Це надало нам можливість отримувати більш точні та реалістичні результати.

Подальші дослідження в даному напрямку допоможуть відчутно покращити та оптимізувати функціонування безпроводових мереж доступу з динамічним вибором спектру та забезпечать ефективну комунікацію такого спектру на новому, вищому рівні.

## Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу. – К.: Наукова думка, 2009. – 312 с.
2. Berlemann L., Mangold S., Walke B.H. Policy-based reasoning for spectrum sharing in cognitive radio networks // Proc. IEEE DySPAN 2005, November 2005.
3. Elnourani M.G.A. Cognitive Radio and Game Theory: Overview and Simulation // Thesis is presented as part of Degree of Master of Science in Electrical Engineering, Blekinge Institute of Technology, December 2008. – 32 p.
4. Pinki Yadav, Subhajit Chatterjee and Partha Pratim Bhattacharya: A survey on Dynamic Spectrum Access Technique in Cognitive radio //International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.4, No.4, December 2012.

## СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ КРОС-РІВНЕВОЇ МОДЕЛІ В БЕЗПРОВОДОВІЙ МЕРЕЖІ

**Афанасьєва Л. О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com*

### **Methods of implementation of Cross-Layer design in wireless network**

Classification of Cross-Layer design in wireless network are presented. The advantages and disadvantages of using such architecture are described.

В моделі TCP/IP зі з'єднанням «точка-точка» обмін даними та обслуговування викликів відбувається лише послідовно між сусідніми рівнями, що підтримують обмежений інтерфейс. Хоча таке розмежування рівнів дозволяє легко розгорнути мережу, інкапсуляція рівнів приховує основні причини розриву з'єднання. Наприклад, якщо безпроводовий канал зашумлений, інкапсуляція TCP/IP приводить до збільшення кількості переривання з'єднань. Навіть якщо з'єднання відсутнє протягом короткого проміжку часу, необхідно відновити зв'язки в усіх п'яти рівнях моделі через всі вузли на маршруті лінії зв'язку.

Конструкція крос-рівневої моделі направлена на вирішення щонайменше однієї з трьох основних цілей:

- підвищення надійності - управління мережевою безпекою на базі крос-рівневої конструкції дозволяє захистити систему шляхом збору системної інформації з рівнів, а потім використати її для отримання оптимальних параметрів безпеки;

- якості обслуговування - для поліпшення якості обслуговування забезпечують зв'язок між верхніми рівнями (рівнем додатків і транспортним рівнем) і нижніми рівнями (фізичним рівнем і канальним рівнем). Деякі крос-рівневі конструкції спрямовані на зниження помилок при передачі даних, які в основному викликані поганою продуктивністю MAC-рівня і фізичного рівня в безпроводовій мережі при використанні протоколу TCP в якості протоколу транспортного рівня;

- мобільності системи - так як рух вузла викликає перемикання каналів, зміну маршруту, а також інші проблеми, що є загальним в безпроводових мережах, існує необхідність забезпечення безперебійного зв'язку (наприклад, використовуючи CDMA/HDR).

Тобто, має забезпечуватись обмін та передача інформації між будь-якими двома рівнями та/або з іншими вузлами у мережах, що дасть можливість зкоординувати дії із врахуванням інформації з інших рівнів для досягнення певної мети, наприклад, виявити недоліки в маршруті зв'язку перед тим, як виникне розрив з'єднання.

Архітектуру крос-рівневої моделі можна умовно поділити по способу поширення інформації. В одному вузлі між всіма рівнями поширення

інформації може забезпечуватись некеруючим (non-manager metod) або керуючим (manager metod) методами, а між всіма вузлами в мережі-централізованим (centralized metod) та розподіленим (distributed metod) методами.

Некеруючий метод (рис. 1а) реалізує пряме з'єднання між будь-якою парою рівнів в стеку протоколів ТСП/ІР. Цей метод змінює функцію протоколів у визначених двох рівнях, дозволяючи пряме з'єднання. Сама ж структура ТСП/ІР моделі залишається незмінною.

Керуючий метод (рис. 1б) вводить вертикальну площину, як місце збереження всієї інформації між рівнями. Тобто, на вертикальній площині забезпечується керування обміном даних з одним або всіма рівнями в стеку протоколів ТСП/ІР [3]. Даний метод також не змінює структуру ТСП/ІР моделі, змінюючи лише функцію протоколів на рівнях, за рахунок чого і дозволяє поширювати дані з вертикальною площиною. В роботі [4] представлено модель крос-рівневої архітектури ECLAIR, що функціонує як вертикальна площина. Складається ECLAIR з рівнів налаштування, що реалізують інтерфейс для протоколів структури даних та підсистем оптимізації на кожному рівні, що представляють собою алгоритми та структури даних для крос-рівневої оптимізації.

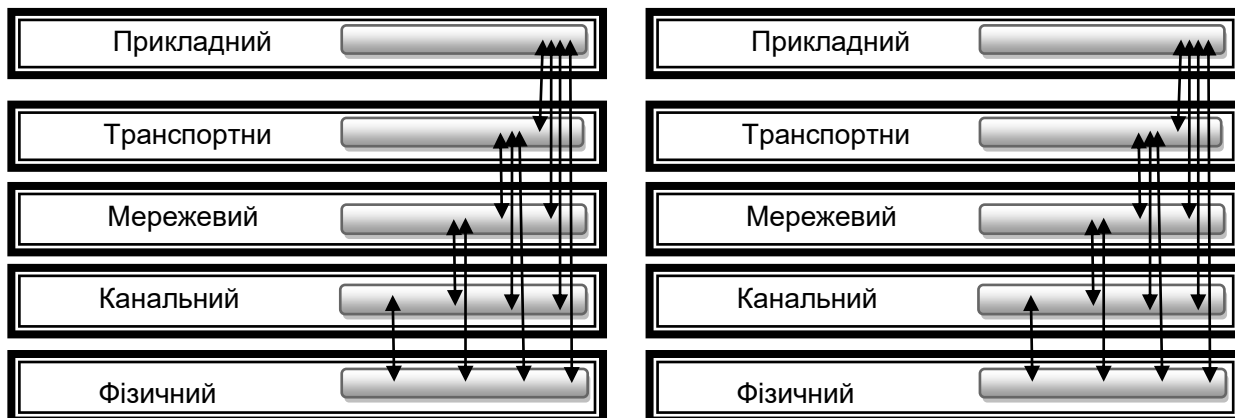


Рис.1. Способи поширення інформації в одному вузлі:  
*а* - некеруючим методом; *б* – керуючим методом

У централізованому методі (centralized metod) опорний (центральний) вузол (наприклад, базова станція у стільниковій мережі) або інші вузли ієрархії мережі (рис 2а) керує поширенням інформації з п'яти рівнів ТСП/ІР між двома вузлами. Даний метод реалізується у мобільній платформі для автономного управління M@ANGEL [5], що забезпечує безшовний когнітивний зв'язок та доступне за ціною високошвидкісне рішення для безпроводного доступу. Архітектура M@ANGEL складається з двох рівнів, що мають ієрархічну структуру. Кожен об'єкт нижнього рівня керує певним реконфігурованим елементом, а на верхньому рівні виконується управління



сегментами мережі.

В розподіленому методі не використовується опорний вузол, а за рахунок поширення інформації від одного вузла до іншого реалізується багатопротітний маршрут ( рис. 2б).

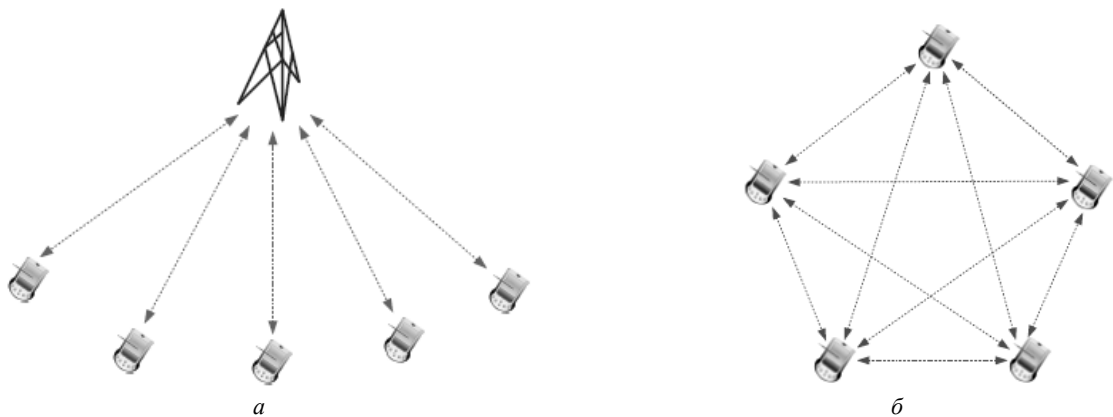


Рис. 2 - Способи поширення інформації між вузлами:  
а - централізований метод; б – розподілений метод

Централізований метод поширення інформації зазвичай використовується для підвищення надійності та якості обслуговування в мобільних мережах, в той час як розподілений метод найчастіше використовується в ad-hoc мережах.

До недоліків крос-безрівневих моделей відноситься відсутність універсальної конструкції, що автоматично адаптується до різних прикладних задач. Кожна крос-рівнева конструкція має свій специфічний спосіб взаємодії між рівнями (оригінальні протоколи та/або алгоритми для підтримки функціональності системи та вирішення конкретної проблеми в безпроводовій мережі) і, таким чином, співіснування і взаємозв'язок - це дві проблеми, з якими доводиться стикатися при проектуванні таких моделей архітектури. Як результат, це неминуче призведе до додаткових накладних витрат при обміні інформацією між рівнями. А також, через відсутність інкапсуляції рівнів виникають труднощі при модифікації будь-якого рівня без врахування особливостей інших.

### Література

1. F. Foukalas, V. Gazis, and N. Alonistioti, Cross-Layer Design Proposals for Wireless Mobile Networks: A Survey and Taxonomy//IEEE Commun. Surveys & Tutorials. –2008. – pp. 70-85.
2. G. Carneiro, J. Ruela, M. Ricardo Cross-Layer Design in 4G Wireless Terminals// IEEE Wireless Commun. . –2004. – Vol. 11, No. 2. – pp. 7- 13.
3. V. Srivastava, Cross-Layer Design: A Survey and the Road Ahead// IEEE Communications.–2005. – Vol. 43, No. 12. – pp. 112- 119.
4. V.T. Raisinghani, S. Iyer Cross-Layer Feedback Architecture for Mobile Device Protocol Stacks// IEEE Communications Magazine.–2006. –Vol. 44, No. 1. – pp. 85- 92.
5. M@ANGEL: Autonomic Management Platform for Seamless Cognitive Connectivity to the Mobile Internet // P. Demestichas, V. Stavroulaki P. Demestichas, V. Stavroulaki // IEEE Communications Magazine.–2006. –Vol. 44, No. 6. – pp. 118-127.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ФУНКЦІЙ (NVF) ТА «НАРІЗКИ МЕРЕЖІ» (NETWORK SLICING) В ТЕХНОЛОГІЇ 5G**

**Лящук А.А.**

*Інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: aliashchuk@outlook.com*

### **Using Network Functions Virtualization (NVF) and Network slicing in 5G technology**

In this paper Network Functions Virtualization is examined according to the vision of the future 5G wireless networks, in which the network is no longer limited by hardware or software. Advantages of realization NVF and Network slicing for supporting 5G technology are defined. Architecture NVF in the prototype 5G networks is reviewed.

На даний час мобільні технології надійно зайняли місце найбільш необхідних послуг сучасного суспільства. Мережі мобільного зв'язку – це мережі операторів, що забезпечують голосовий зв'язок та вихід в інтернет з одного боку, а з іншого – різноманітний спектр пристроїв: від смарт-трекерів сьогодні до розумних міст в недалекому майбутньому. Передбачається, що саме технологія 5G стане останнім і узагальненим стандартом для бездротових технологій.

На сьогоднішній день офіційні стандарти 5G не сформовані. Телекомунікаційні компанії світового ринку, серед яких Qualcomm, Huawei, Ericsson, Verizon, AT&T, Nokia і інші, пропонують свої концепції майбутніх мереж, тестуючи їх прототипи.

Основною ознакою кожного нового покоління являється швидкість передачі даних. Тому очікується, що майбутня 5G платформа дозволить зростання багатьох галузей промисловості, починаючи від традиційних бездротових мереж і закінчуючи машинами, індустрією розваг, виробництвом, охороною здоров'я, сільським господарством і промисловістю. Як наслідок, п'яте покоління буде обслуговувати безліч пристроїв, технологій і платформ, різних за способом обробки даних, енергоємності та необхідним швидкостям, а також пропускати величезні обсяги даних. Поряд із швидким розвитком апаратних засобів обчислювальних блоків, БС в бездротові мережі, як очікується, будуть розгорнуті за допомогою потужних обчислювальних блоків або центрів обробки даних, що підтримуватимуть програмно-конфігуровані мережі (SDN) і будуть пристосовані до вимог різних послуг.

Крім того, важлива умова цифровізації процесів - це підвищена безпека віртуальних сервісів. У зв'язку з цим, необхідний унікальний стандарт побудови ядер великих мереж, здатний організувати роботу різнофункціональних обладнання, забезпечити узгоджене співіснування рішень і відповідати вимогам галузі.

У цьому світлі віртуалізація мережевих функцій NVF (Network Functions Virtualization) передбачається як один потужний інструмент для вирішення

вищезгаданих проблем в бездротових мережах. В результаті віртуалізації бездротової мережі (WNV), мережеві інфраструктури та функціональні можливості відокремлені від послуг, які вони забезпечують, щоб максимізувати їх використання, де диференційовані послуги можуть співіснувати на тій же інфраструктурі [1] [2].

Найбільш важливі переваги, що забезпечуються NFV:

- Гнучкість - використання віртуалізації мережевих функцій дозволяє швидко і легко розгорнути мережу і почати її експлуатацію. При цьому забезпечується можливість моментально запускати нові послуги.

- Вартість - гнучкість розгортання NFV веде до зниження витрат на управління послугами, які надаються та скорочує витрати, пов'язані з управлінням усією мережею.

- Масштабованість - послуги, організовані на базі програмного забезпечення, а не на фізичному рівні, дозволяють протягом дня збільшувати або зменшувати обсяг використовуваних ресурсів одного і того ж апаратного забезпечення в залежності від навантаження, а також підвищувати навантаження на устаткування при виникненні надзвичайних ситуацій. Таким чином можна домогтися більш високої ефективності повернення інвестицій в обладнання та комп'ютерні потужності.

- Безпека - оператори хочуть захистити дані користувачів, а віртуалізація мережевих функцій забезпечує безпеку і збереження даних за рахунок поділу та ізоляції сегментів мережі.

- Швидке розгортання послуг в іншій мережі - оператори хочуть мати можливість розгорнути власні сервіси в будь-якій точці світу, йдучи назустріч потребам своїх абонентів. Віртуалізація спрощує цю задачу.

Цілями NVF є віртуалізація як мобільної опорної мережі так і мобільної мережі радіодоступу RAN(Radio Access Network). Проте, оператори мережі та постачальники послуг зосереджені на віртуалізації RAN[3], так як вона споживає 70% - 80% від загальних потреб енергії [4].

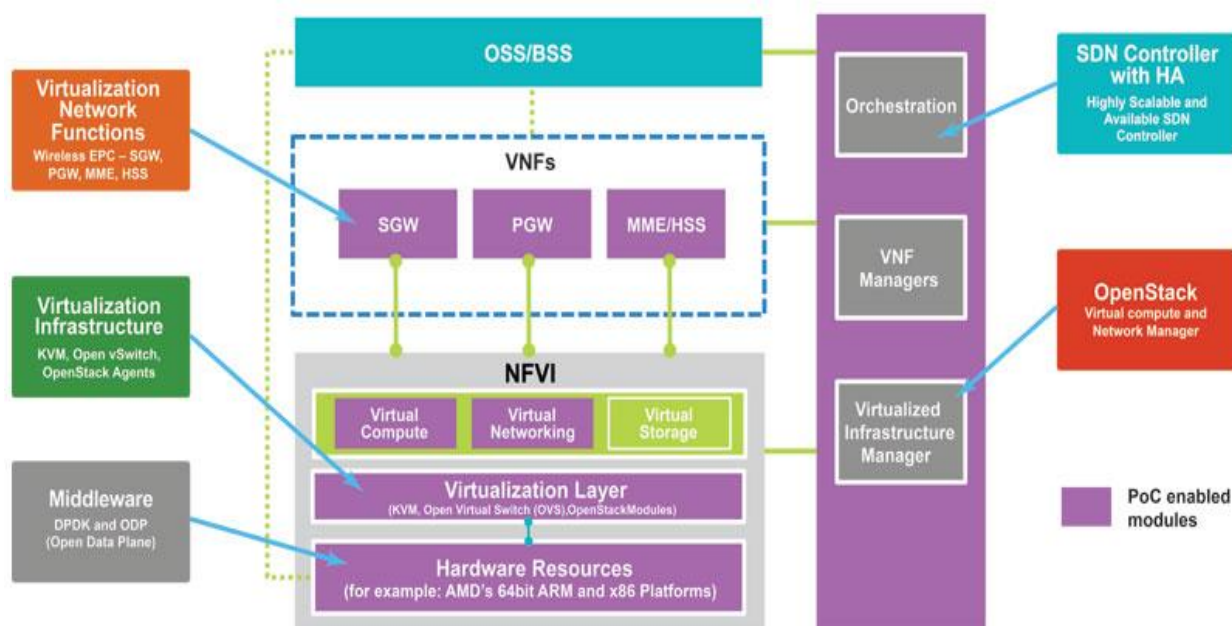


Рис. 1. Архітектура NVF в прототипі мереж 5G.

Таким чином, за рахунок консолідації настільки багато функцій RAN, як це можливо в стандартних апаратних засобах, використовуючи платформу NFV, споживання електроенергії в мережі доступу може бути знижена.

Реалізована архітектура технології віртуалізації мережевих функцій в прототипі мереж 5G представлена на рис.1. Тут разом із «пласкою розподіленою хмарою» віртуалізоване управління ядром стандарту п'ятого покоління.

NFV, як основа для створення ядра мережі 5G, дозволить зробити важливу «нарізку мережі» (Network slicing). Інтелектуальні механізми «нарізки» мережі на логічно незалежні сегменти, які надають різноманітні мережеві сервіси паралельно, здатні обробляти ситуації з недовикористовуваною пропускною здатністю мережі на базі параметрів трафіку і використовувати ту ж саму інфраструктуру для пропозиції набору різних сервісів за моделлю «мережа за запитом».

Кожен зріз являє собою логічну самодостатню мережу, де служба працює на своєму власному зрізі мережі; наприклад, один зріз може бути для відео, один для IoT, інший для критичної комунікації, і так далі. Також можливе групування аналогічних послуг на одному мережевому зрізі.

Кожен зріз оптимізований для певного типу послуги, і кожен E2E(end-to-end), в тому числі RAN і ядро. На відміну від LTE, повітряні інтерфейси 5G можуть бути нарізані динамічно або частково динамічно. Кілька одночасних мережевих зрізів можуть бути розгорнуті на загальній фізичній інфраструктурі.

Таким чином, процес створення ядра мережі буде не тільки недорогий, але і з одноразовою інвестицією. При необхідності оператору досить провести тонке налаштування RAN. Крім того, технологія NFV істотно прискорить впровадження телекомунікаційних послуг. Запуск нових сервісів не вимагатиме додаткового обладнання, яке необхідно обслуговувати і налаштовувати, а згодом оновлювати ПО і замінювати. Таким чином, це дозволить скоротити витрати операторів, як капітальні (CAPEX), так і операційні (OPEX).

### Література

1. C. Liang and F. R. Yu, "Wireless virtualization for next generation mobile cellular networks," IEEE Wireless Communications, vol. 22, no. 1, pp. 61-69, Feb. 2015.
2. P. Rost, I. Berberana, A. Dekorsy, G. Fettweis, A. Maeder, H. Paul, V. Suryaprakash, M. Valenti, and D. Wubben, "Benefits and challenges of virtualization in 5G radio access networks," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 12, pp. 75-82, December 2015.
3. H. Hawilo, A. Shami, M. Mirahmadi, and R. Asal: NFV: State of the art, challenges, and implementation in next generation mobile networks (vEPC), IEEE Network, vol. 28, pp. 18-26, 2014.
4. P. Agyapong, M. Iwamura, D. Staehle, W. Kiess, and A. Benjebbour: Design considerations for a 5G network architecture, IEEE Communications Magazine, vol. 52, pp. 65-75, 2014.

## ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧУВАНИХ РАДІОСИСТЕМ

**Кайденко М.М.**

*Науково-дослідний інститут телекомунікацій*

*КПІ імені Ігоря Сікорського, Україна, Київ*

*E-mail: kkk610@ukr.net*

### **Using Model-Based Design for Software-Defined Radio**

This article presents the advances in platforms and tools that allow developers to quickly simulate and prototype wireless systems while establishing and maintaining a deployable path to production.

Програмно-визначувана радіосистема (SDR - Software-Defined Radio) це система, яка використовує набір апаратних і програмних технологій, при цьому деякі, чи усі функції роботи радіосистеми на фізичному рівні реалізуються за допомогою програмного забезпечення. Програмне забезпечення може модифікуватись, або може бути вбудованим, яке працює на програмованих пристроях обробки сигналів. Ці пристрої можуть включати в себе програмовані користувачем логічні матриці (FPGA), цифрові сигнальні процесори (DSP), процесори загального призначення (GPP), програмовані системи на кристалі (SoC – FPGA+HPS) та інші спеціалізовані програмовані процесори. Використання цих технологій при побудові SDR дозволяє додавати нові безпроводові функції та можливості в існуючі радіосистеми без зміни апаратної платформи.

Задачі прототипування бездротових систем обговорюються протягом багатьох десятиліть, але тільки в останні роки з'явилася можливість повного циклу розробки на ПЕОМ - від створення моделі до завершення реалізації, що пов'язано з розвитком засобів програмно-орієнтовного моделювання Matlab/Simulink.

З появою технологій системи на кристалі (*SoC - System-on-chip*), відкрилися нові можливості для розробки SDR шляхом модельно-орієнтованого проектування з використанням високорівневих програмних засобів проектування. Використання SoC, які поєднують в собі універсальність ARM процесора і потужність обробки FPGA, дозволяє компромісно розподіляти ресурси для реалізації високошвидкісних і низькошвидкісних процесів цифрової обробки сигналів, алгоритмів прийняття рішення і алгоритмів керування між процесорними ядрами і FPGA. Високошвидкісні задачі цифрової обробки, які потребують виконання у реальному часі, такі як модуляція, завадостійке кодування, синхронізація, оцінки стану каналу та інші виконуються на FPGA. Для задач декодування даних, візуалізації, моніторингу і діагностики, підтримки зовнішніх апаратних та програмних інтерфейсів використовуються процесорні ядра.

Процес створення радіосистеми з використання модельно-орієнтованого проектування показано на рис. 1.

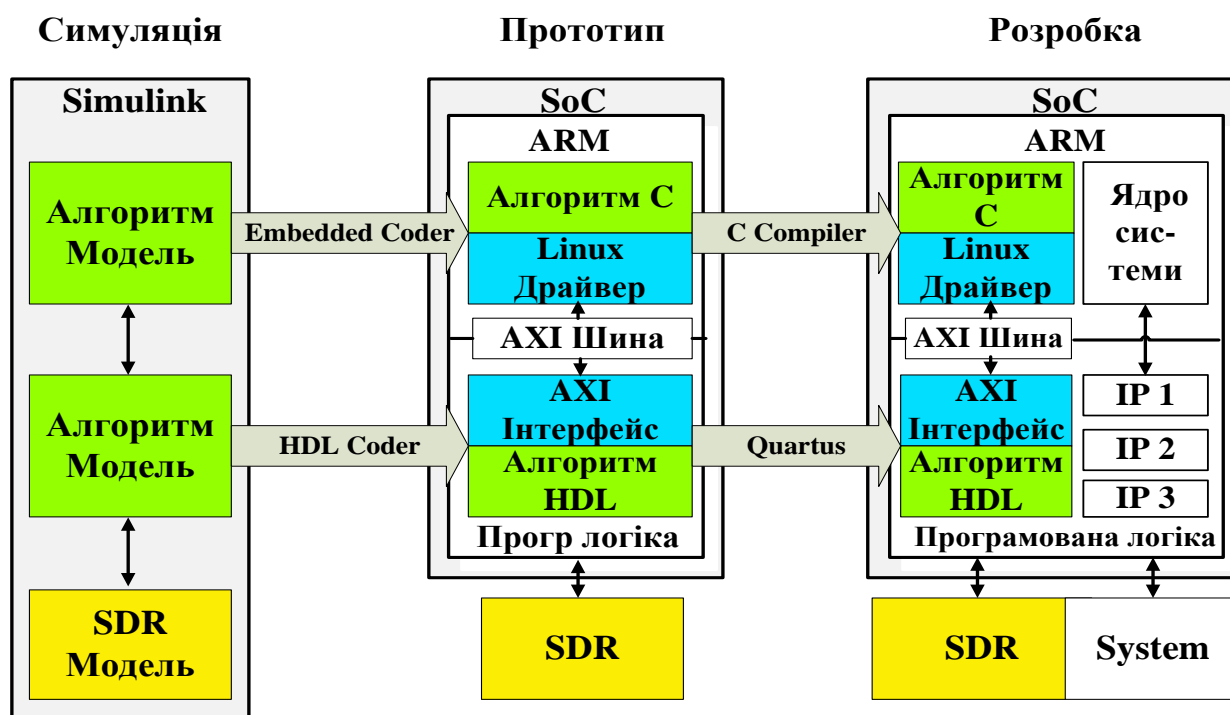


Рис. 1. Структура процесу створення програмно-визначуваної радіосистеми з використанням модельно-орієнтованого проектування.

Першим етапом є створення моделі радіосистеми в середовищі Matlab/Simulink, при цьому в моделі повинні бути присутні модулі, які відповідають за взаємодію з апаратною платформою (SDR модель) [1,2]. При створенні моделі враховується яка частина моделі (алгоритми) будуть реалізуватись на FPGA, а яка на ARM процесорах.

На другому етапі, після того, як модель відпрацьована, генерується HDL код на мові VHDL (Verilog) за допомогою HDL Coder та C код за допомогою Embedded Coder, які входять до пакету Matlab/Simulink. На цьому етапі здійснюється відладка з використанням апаратної платформи для прототипування SDR, яка складається з модуля SDR радіотрансивера та SoC модуля. Перевіряється ефективність розроблених алгоритмів та моделей, здійснюються всі необхідні налаштування, система вже є працюючою як під управлінням з боку Matlab/Simulink, так і автономно.

Останнім етапом є автоматична компіляція C коду з використанням gcc linux компілятора та компілятора VHDL (Verilog), який входить до складу пакету Quartus (для SoC Altera).

Процес створення радіосистеми з використанням модельно-орієнтованого проектування гарантує, що після того, як алгоритм системи SDR буде імплементований в кінцевий продукт, він буде повністю перевірений і випробуваний і забезпечить впевненість в надійності системи.

Процес створення радіосистеми був протестований та апробований з використанням модуля SDR трансивера HSMC ARRradio на базі AD9361 фірми Analog Devices [3], структура якого показана на рис. 2, та модуля SoCKit - the Development Kit for New SoC Device [4], в якому використовується SoC CycloneV фірми Altera, структура якого показана на рис.4.

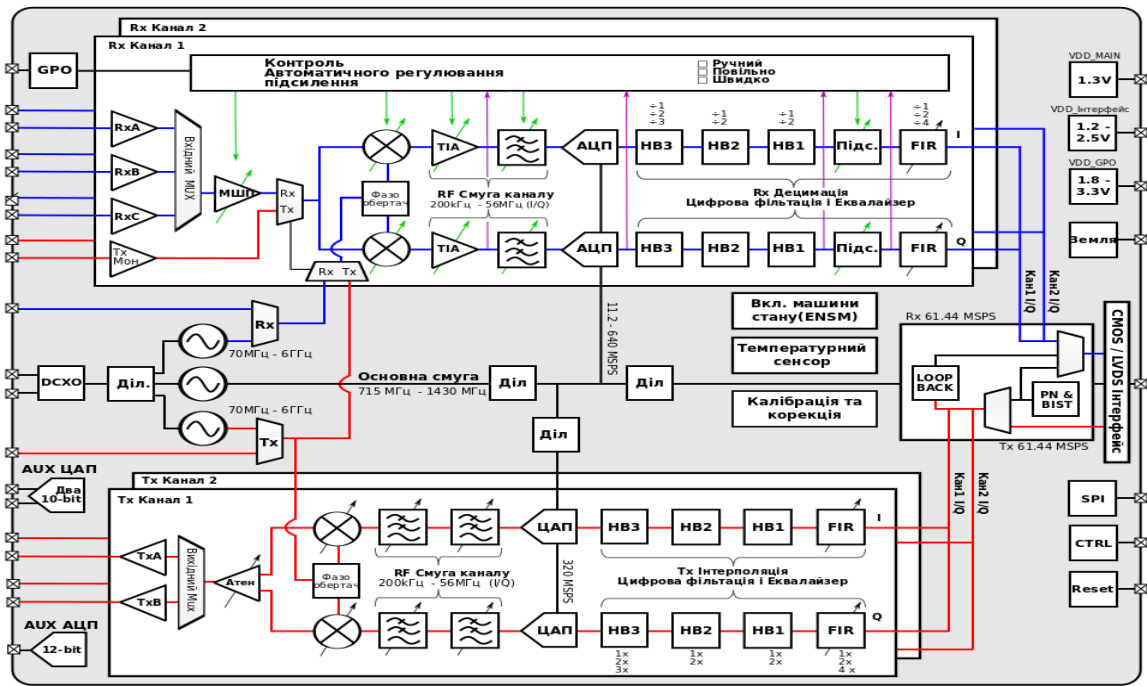


Рис. 2. Структура SDR трансивера AD9361.

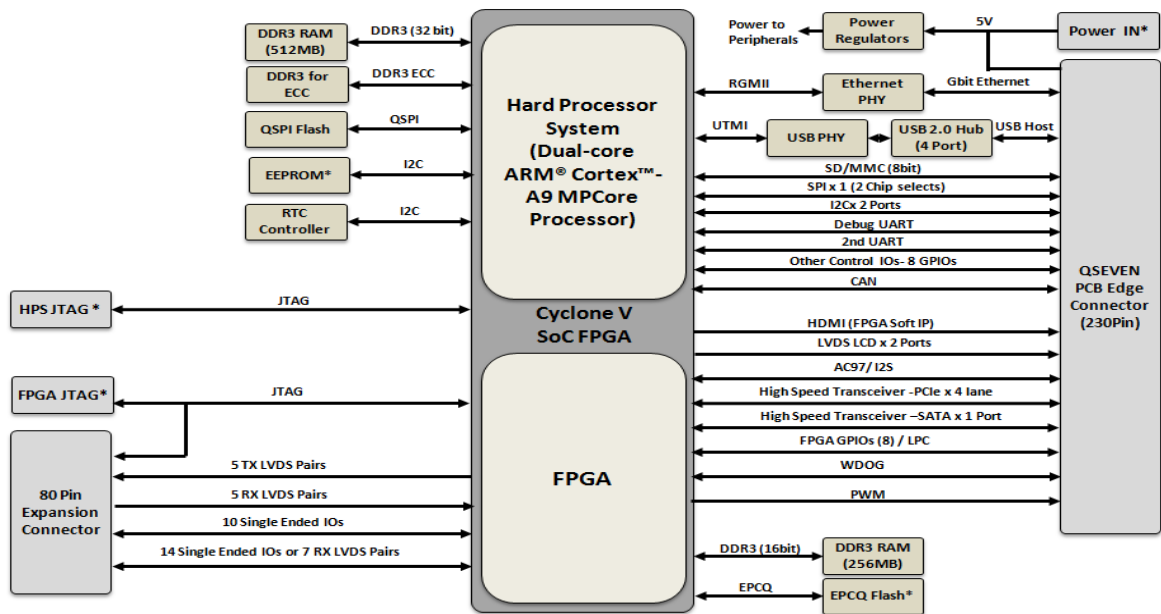


Рис. 3. Структура системи на кристалі SoC CycloneV.

## Література

1. IO System Object. Analog Devices Wiki. - Режим доступу: [https://wiki.analog.com/resources/tools-software/linux-software/libiio/clients/matlab\\_simulink?s%5b%5d=libiio](https://wiki.analog.com/resources/tools-software/linux-software/libiio/clients/matlab_simulink?s%5b%5d=libiio).
2. Кайденко Н.Н., Кайденко В.Н. «Программно-аппаратное моделирование телекоммуникационных процессов и систем в MATLAB с использованием SDR и SOC технологий» // X Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2016: Збірник матеріалів конференції. К.: НТУУ "КПІ", 2016. - с. 250-253.
3. AD9361 RF Agile Transceiver - Режим доступу: <http://www.analog.com/en/products/rf-microwave/integrated-transceivers-transmitters-receivers/wideband-transceivers-ic/ad9361.html#product-overview>.
4. <http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=167&No=816&PartNo=2>.

## ІСТОРИЧНА РЕТРОСПЕКТИВА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ В АНТАРКТИЦІ

**Афанасьєва Л. О., Кравчук С.О., Міночкін Д.А.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com*

### **Historical retrospective of telecommunications in Antarctica**

An overview of the formation the radio communication in Antarctica is presented. The potential of existing satellite system on the Earth's southernmost continent are described.

На даний час антарктичний континент, що має найбільше віддалення від світових урбанізованих центрів, стає все привабливішим в плані проведення наукових досліджень, особливо метеорологічних, океанографічних і геологічних. Однак Антарктида представляє собою найвище, вітряне і сухе місце на планеті Земля. Ці фактори роблять будь-яку людську діяльність в Антарктиці екстремальною, особливо у відношенні становлення сучасної інфраструктури зв'язку.

Перший радіоканал до Антарктиди реалізувала Австралійська антарктична експедиція ААЕ (Australasian Antarctic expedition) Дугласа Моусона (Douglas Mawson) ще в 1911-1914 рр. Для забезпечення зв'язку використали безпроводовий телеграф діапазону VLF (Very low frequency) німецького виробництва Telefunken (передавач з іскровим генератором потужністю 1,5 кВт на частоті близько 100 кГц). Для того, щоб подолати відстань від Землі Аделі до Австралії, Моусону довелося встановити ретрансляційну станцію на острові Маккуорі (Macquarie).

Після Другої Світової війни на кожній антарктичній станції почали користуватись зв'язком у короткохвильовому діапазоні HF (High frequency), який досі використовується для віддалених польових експедицій, а також для повітряних суден поза ультракороткохвильового діапазону VHF (Very high frequency).

В 1984 році на острові Маккуорі була встановлена Міжнародна система морського супутникового зв'язку Inmarsat, яка дозволила передавати дані та здійснювати телефонні дзвінки. Вартість послуг становила близько \$10 за хвилину. Це стало початком використання геостационарних супутникових телекомунікаційних технологій. На даний час система Inmarsat забезпечує якісну телефонію і передачу даних (на один канал) на швидкості до 144 кбіт/с та залишається в якості резервного засобу зв'язку для антарктичних станцій [1].

На початку 90-х поява мережі Anaresat (Australian National Antarctic Research Expeditions Satellite) [1] стала революцією зв'язку на антарктичних станціях. Ця мережа використовує ретранслятори на двох супутниках системи Intelsat - один над Тихим океаном, а інший над Індійським океаном. В 1992 році зі створенням цифрової служби даних обсяг даних був збільшений до 64 кбіт/с. Канал включає дві телефонні міжкомутаційні лінії, схеми даних і глобальну



мережу (WAN) між кожною станцією і містом Кінгстон у Тасманії (Австралія). На сьогоднішній день доступна смуга пропускання між головним офісом у м. Кінгстон та кожною станцією становить: 256 кбіт/с для Маккуорі, 384 кбіт/с для Девіса, 384 кбіт/с для Моусон, 384 кбіт/с для Кейсі.

Супутникова система Iridium була введена в експлуатацію в 1998 році. Iridium використовує міжсупутниковий зв'язок і здатна працювати з максимальним нахилом орбіти 86,4 градусів, що дає повне охоплення антарктичного регіону. Дана система супутникового зв'язку базується на роботі 72 супутників (66 працюючих і 6 резервних) і 13 наземних станцій. Супутники, рівномірно розподілені на шести приполярних орбітах, по 11 на кожному.

Супутникова система Globalstar дуже схожа на Iridium. Незважаючи на те, що ціни на абонентське обладнання і власне тарифні плани компанії Globalstar нижче, ніж у Iridium, послуги недоступні тим, хто знаходиться на північ від Нової Землі і південніше кордону Антарктиди. Крім того, виникнуть проблеми зі зв'язком і у тих, хто перебуває посеред океанів. Це пов'язано з тим, що супутникова система Globalstar має жорстку прив'язку до станцій, що обмежує зону охоплення системи.

Міжнародна морська космічна організація Inmarsat була заснована 16 липня 1979 року і надає космічний сегмент для морського зв'язку. Inmarsat є телекомунікаційною системою, до складу якої входить 9 супутників зв'язку, виведених на геостаціонарну орбіту. Робота Inmarsat дуже схожа на роботу інших супутникових систем. Кожен супутник системи покриває приблизно третю частину Землі і стратегічно розташований над одним з чотирьох океанів для забезпечення "глобальної всесвітньої павутини в небі". Для здійснення дзвінка супутниковий телефон системи Inmarsat налаштовується на один із супутників. Наземні станції з гігантськими антенами приймають сигнал із супутника і маршрутизують його до кінцевого абонента в будь-якій країні світу. Якщо ж хто-небудь дзвонить на супутниковий телефон вам, то все відбувається точно так само, але в зворотній послідовності [2].

В ході п'ятої експедиції в Антарктиду на індійській станції «Дакшін Ганготрі» на базі системи Inmarsat встановлено термінал супутникового зв'язку DEBEG 3211. DEBEG 3211 являє собою твердотільну систему супутникового зв'язку, що складається з двох основних блоків. Блок над палубою складається з параболічної антени, стабілізованої антени п'єдесталу, контролера антени, виконавчий електродвигун для наведення і стабілізації антени. Блок під палубою складається з електронного блоку, операційного блоку інтерфейсу і телетайпа. Перший термінал HIND SATCOM (1640105) був встановлений в базовому таборі в січні 1984 року. Випробування були успішно завершені для телекс і телефон, ТВ зображення з повільною розгорткою було передано SATCOM 1640102 MVTT в Гоа. Другий SATCOM 1640106 INDI X був встановлений в радіокімнаті індійської дослідницької антарктичної станції в лютому 1984, і введений в експлуатацію через берегову наземну станцію Гунхіллі (код 02) [3].

В 2016 році організація Inmarsat забезпечувала зв'язком багатопрофільну

експедицію Heard Island Project на віддалений острів в Південному океані - Антарктиду, яку проводила некомерційна дослідницька організація США Cordell Expeditions. Inmarsat надав послуги супутникового зв'язку, що використовувалися для проведення аналізу поширення радіохвиль, телевізійного радіомовлення, відеозв'язку і ведення блогу. Діяльність експедиції постійно висвітлювалась по всьому світу за допомогою надійної і простої у використанні широкопasmової технології BGAN, що підтримує Inmarsat. BGAN пропонує послуги пакетної передачі даних, працює у середньому та високочастотному діапазоні поширення радіохвиль та забезпечує зв'язком навіть в незвичайних сонячних геомагнітних умовах [4].

На даний час усі континенти крім Антарктиди з'єднанні підводними кабелями зв'язку. Прокладання, супровід і утримування волоконно-оптичних кабелів на антарктичному континенті та прокладка підводних кабелів є дуже витратними технологіями через великі відстані (мінімальна відстань складає не менше 1000 км) та суворі морські умови, а також айсберги, що в прибережних районах можуть розірвати будь-які відкриті кабелі. Однак, згадуючи ті складнощі, що були вирішені при прокладанні першого кабелю зв'язку через Атлантику, і розвиток теперішніх технологій, можна з певністю передбачати успішність такого проекту при умові виділення відповідних коштів.

Перспективність прокладання оптоволоконних кабелів буде зростати по мірі звільнення берегової лінії Антарктиди від льоду, збільшення кількості населення на континенті та збільшення зацікавленості в освоєнні континенту. Тоді буде добра можливість встановлення прибережної телекомунікаційної станції, підключеної через підводний кабель із материковою частиною Південної Америки, Австралії або Нової Зеландії.

На даний час, не дивлячись на широке проникнення телекомунікацій в усі напрямки діяльності суспільства, Антарктика все ще залишається відокремленою територією, яка потребує нагального розширення своєї телекомунікаційної інфраструктури як для зв'язку із зовнішнім світом (перш за все – мережею Інтернет), так і для місцевої міжстанційної взаємодії. Особливо це актуально для розвитку обмежених телекомунікаційних можливостей української станції «академік Вернадський».

## Література

1. Introduction of satellite communications [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.antarctica.gov.au/about-antarctica/history/communications/introduction-of-satellite-communications>.
2. Спутниковая связь: Начало или конец истории? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=42376>.
3. T. Sudhakar Communication System at Dakshin Gangotri, Antarctica// Department of Ocean Development, technical Publication. – 1988. – №5. – P. 467–472.
4. Inmarsat Government Connects Antarctic Heard Island Expedition [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.inmarsat.com/press-release/inmarsat-government-connects-antarctic-heard-island-expedition/>.

## ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ БЛОК ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЇ ТРОПОСФЕРНОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ

Ільченко М.Ю.<sup>1</sup>, Кравчук С.О.,

<sup>1</sup>Хитровський В.А.<sup>2</sup>, Бугай В.М.<sup>2</sup>, Іванов В.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: sakravchuk@ukr.net*

<sup>2</sup>*Науково-виробниче підприємство "Сінко", Україна*

*E-mail: synco@ri-orion.kiev.ua*

### Transceiver block for a compact troposcatter radiorelay station

The results of the development of a new transceiver block for troposcatter radiorelay system in range 4 ... 5 GHz band are. Features of the transceiver block: maximum output power of the transmitter to the antenna flanges, W - 110; automatic gain control depth of the receiver, dB - 35; receiving channel noise ratio relative to the antenna flange, dB - 3.2; available built-in control function without radiation broadcast of the "loop" mode Autocontrol; Maximum power consumption, W - 550; Overall dimensions, mm – 360x260x125; weight, kg - 11.5.

Розробка і модернізація малогабаритних тропосферних радіорелейних станцій (ТРРС) потребує створення вискоєфективного приймально-передавального обладнання (ППБ) [1-3]. Метою даної роботи є представлення результатів розробки ППБ для портативної ТРРС діапазону 4,4...5,0 ГГц.

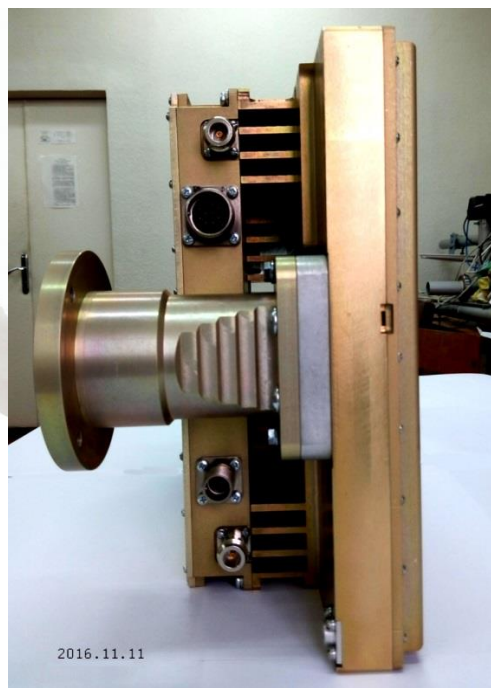
Потреба у створенні компактного ППБ, який водночас повинен бути досить потужним (мати високі рівні потужності на випромінювання), привела до максимальної інтеграції всіх функціональних вузлів ППБ в єдину технологічну конструкцію з використанням найсучаснішої елементної бази і новітніх матеріалів. Така конструкція ППБ складається з двох функціонально пов'язаних між собою модулів: базового модуля активного дуплексора (ДПА) та змінного модуля підвищувальних і понижувальних конверторів (ППК) із системою керування ППБ.

Основні характеристики ППБ наступні: максимальна вихідна потужність передавача на антенному фланці, Вт – 110; рівень вихідного сигналу ПЧ L–діапазону на прийом, мВт – 0,2...0,5; глибина автоматичного регулювання підсилення приймача, дБ – 35; відносний рівень побічних складових немодульованих спектрів вхідного сигналу на передачу та вихідного сигналу на прийом, дБн – мінус 67; коефіцієнт шуму приймального тракту відносно антенного фланцю, дБ – 3,2; наявна вбудована система функціонального контролю без випромінювання в ефір типу «шлейф» в режимі автоконтролю; максимальна потужність споживання, Вт – 550; габаритні розміри, мм - 360x260x125, маса, кг – 11,5.

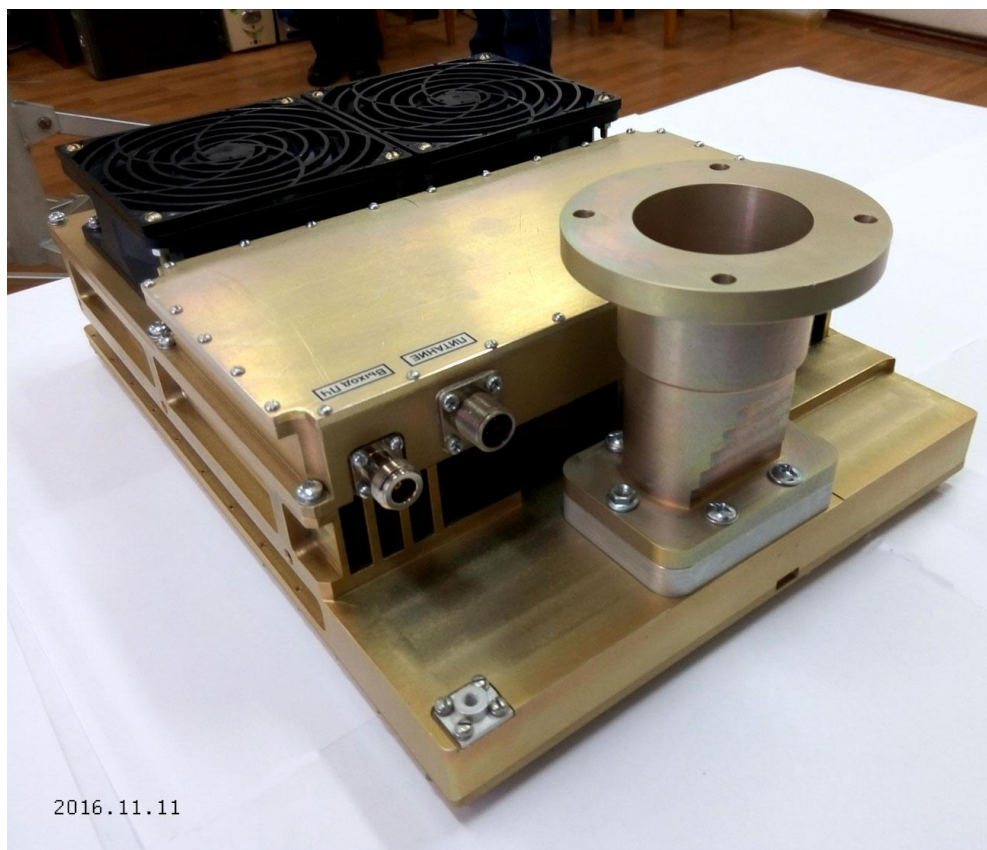
Зовнішній вигляд ППБ наведено на рис. 1.



*a*



*б*



*в*

Рис. 1. Зовнішній вигляд ППБ:  
*a* – збоку зі сторони кулерів; *б* - збоку зі сторони переходу на хвилевод  
круглого перерізу; *в* – вигляд зверху

**Модуль ДПА** є конструктивною основою всього ППБ і призначений для:

- формування силової напруги вторинного електроживлення +28 В з первинної напруги 40...70 В;
- частотного поділу сигналів приймача і передавача при їх одночасній роботі на одну антену (попереднього для приймача і кінцевого для передавача);
- попереднього малошумливого підсилення прийнятих сигналів;
- кінцевого підсилення по потужності сигналів передавача;
- фільтрації гармонік сигналу, що випромінюється;
- контролю величини потужності, що випромінюється, і КСХН навантаження;
- формування сигналу автоконтролю ППБ в цілому;
- керування повітряним охолодженням всього ППБ в цілому.

Конструкція модуля складається із двох інтегрованих з його корпусом хвилеводних шестишланкових смуго-пропускаючих фільтрів; підсилювача потужності з попереднім фільтром гармонік на мідній основі; плати малошумливого підсилювача (МШП); плати об'єднання каналів прийому і передачі із направленими відгалужувачами контролю потужності та КСХН; кінцевим фільтром гармонік з смужково-хвилеводним переходом; плати контролю потужності, що проходить чи відбивається, з формувачем сигналу автоконтролю, а також потужного силового перетворювача DC-DC з друкованою платою формування вторинного живлення і функціями контролю і управління підсилювачем потужності. Все це розташовано в своїх радіогерметичних об'ємах в єдиному герметичному металевому корпусі з ребристим радіатором і металеву кришкою, що знімається. Загальна герметизація модуля ДПА здійснюється за допомогою притискаємої силіконової прокладки між його корпусом і цією кришкою. Для стикування ППБ з антенною, в його конструкції передбачений перехід з прямокутного на круглий хвилевід.

Дане конструктивне рішення дозволило максимально мінімізувати габарити найбільш енергоємкої частини ППБ і при цьому звести до мінімуму втрати цієї енергії, особливо дорогоцінної енергії НВЧ-коливаль.

**Модуль ППК** може мати відмінності в залежності від типу модему, що використовується, і призначений для:

- лінійного перенесення спектру інформаційного сигналу із діапазону робочих частот модему до робочого діапазону передавача з можливістю регулювання його вихідного рівня для адаптації до різних відстаней до цього модему;
- лінійного перенесення спектру інформаційного сигналу із робочого діапазону приймача до діапазону робочих частот модему зі стабілізацією його вихідного рівня;
- додаткового частотного поділу сигналів передавача і приймача при їх спільній роботі в дуплексному режимі;
- управління ППБ в цілому через необхідний інтерфейс згідно протоколу інформаційно-технічного узгодження (ІТУ).

У даному випадку модем працює в *L*-діапазоні, формуючи і приймаючи інформаційні спектри в робочих смугах частот передавального і приймального трактів. Виходячи з цього підвищувальний і понижувальний конвертори

виконані за схемою з однократним перетворенням частоти і з фіксованими гетеродинами.

Конструктивно модуль складається із двох розв'язаних НВЧ друкованих плат (плата передавача (ПРД) і плата приймача (ПРМ)) під своїми об'ємними кришками кожна і однієї низькочастотної друкованої плати управління, які усі розміщені в одному герметичному корпусі.

Сигнал передавального тракту формується платою ПРД, яка функціонує в наступний спосіб. Вхідний інформаційний сигнал з модему через роз'єм «Вхід ПЧ» вводиться в модуль ПРД і надходить на вхід 5-розрядного атенюатора, що нормує вхідний сигнал модему в залежності від довжини кабелю з'єднання між модемним обладнанням і ППБ. Далі нормований за рівнем вхідний сигнал підсилюється, фільтрується в смузі частот передавального тракту і надходить в підвищувальний подвійний балансний змішувач, на другий вхід якого надходить синтезований і відфільтрований сигнал фіксованого гетеродину з частотою 5760 МГц. Цей сигнал формується петлею ФАПЧ (фазового автопідстроювання частоти), розміщеної на тій же платі і реалізованої на однокристальному синтезаторі частот НМС703LP4Е, який одноразово програмується за допомогою мікроконтролера. При цьому опорний сигнал на нього надходить від високостабільного малoshумливого кварцового генератора частотою 80 МГц, розташованому на платі ПРМ.

Сформований змішувачем вихідний сигнал передавача фільтрується смуговим фільтром із смугою пропускання 4435...4555 МГц, підсилюється і надходить на 6-розрядний атенюатор регулювання рівня випромінюваного сигналу ППБ. Далі сигнал підсилюється, остаточно фільтрується, забезпечуючи тим самим попереднє формування АЧХ передавального тракту, та надходить на кінцевий балансний підсилювач потужності, який забезпечує рівень вихідного сигналу порядку +26 дБм.

Плата ПРМ здійснює фінішну фільтрацію та зворотне перетворення в *L*-діапазон прийнятих від МШП сигналів, достатнє їх підсилення, та стабілізацію з подальшою видачею в модем для кінцевої обробки.

Плата управління і контролю реалізована на контролері АТmega8535-24АІ і призначена для управління ППБ в цілому, а також для обробки контрольної інформації з нього і видачі її користувачеві згідно з узгодженим протоколом ІТУ. Обмін інформацією проводиться згідно протоколу RS485, що дозволяє вести обмін даними на відстані до 100 м.

### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Кравчук С.О. Принципи створення портативних тропосферних радіорелейних станцій // Матер. 9-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 21–25 квітня, 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 254–256.
3. Ільченко М.Ю., Кайдено М.М., Кравчук С.О. Модемне обладнання на основі SDR-технології для тропосферних станцій нового покоління // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2016. – № 5. – С. 7–16.

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ

**Кравчук І. М., Кравчук С. О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: sakravchuk@ukr.net*

### **Approaches and innovations in teaching discipline of the telecommunication direction**

We can say that with proper organization of educational process blended learning can improve the quality of education, especially in terms of reduction of hours "classroom training" due to the transfer of the educational process in the online environment, releasing the same classroom time for practical skills and abilities, as well as highlight more time on scientific work, including students.

Непередбачувана глибинна сутність й невизначеність інформаційного простору професій, до яких готує студентів сьогодні вища освіта призводить до змінення парадигми навчання. Так, викладач повинен бути партнером у процесі навчання, студент повинен вчитися на практиці та критично мислити, а система освіти використовувати відкриті освітні ресурси. Одним з таких нових підходів є так зване «змішане навчання» (blended learning) – це концепція трансформації структури та змісту навчання, що змінює традиційні ролі викладача та студента та навчального середовища. Особливостями підходу є те, що він поєднує самостійне вивчення матеріалу (онлайн) і очне (з викладачем). Основними елементами моделі змішаного навчання є лекційні заняття, семінари, практичні завдання, навчальні матеріали, онлайн спілкування (чат, форум, e-mail) тощо [1].

Цей підхід у навчанні дає можливість: розширити освітні можливості студентів за рахунок доступності та гнучкості, врахування їх індивідуальних освітніх потреб, а також темпу й ритму навчального матеріалу, зосередити основні зусилля викладача на обговоренні більше важких моментів курсу, відповідям на питання студентів, мотивації студентів, отримання знань через динамічну взаємодію, проведення тестування великої кількості студентів, отримання негайного зворотнього зв'язку, збільшення навчального часу та кількості матеріалів, економії матеріальних ресурсів. При цьому, модель не передбачає радикальної відмови від класичної моделі, оскільки очна освіта дає важливі соціокультурні навички і має емоційну складову.

Науковці з Клейтонського Крістенсенського інституту інновацій, які вже багато років займаються вивченням методів змішаного навчання, відзначають, що змішане навчання представляє собою формальну освітню програму, в якій студент навчається: частково через онлайн-навчання, з деяким елементом власного контролю над часом, місцем, шляхом і темпом навчання; частково в аудиторії підчас заняття, контрольованого викладачем; за умови, що усі етапи впродовж шляху навчання кожного студента в межах

курсу або предмета підключені для того, щоб забезпечити досвід комбінованого навчання.

Змішане навчання складається з трьох основних етапів: дистанційного вивчення теоретичного матеріалу, освоєння практичних аспектів у формі денного навчання, завершальний етап – здача іспиту (заліку).

Сьогодні є безліч підходів до навчання на вибір, у тому числі синхронні й асинхронні формати в мережі. Ідея застосування елементів асинхронного й синхронного дистанційного навчання при змішаному навчанні полягає в тому, що певну частину дисципліни студенти освоюють у традиційних формах навчання (стаціонарній або заочній тощо), а іншу частину - за технологіями мережевого навчання. Співвідношення частин визначається готовністю освітньої установи в цілому до подібної побудови навчального процесу, а також бажанням і технічними можливостями студентів.

При створенні структури онлайн-курсу необхідно дотримуватися основних вимог: матеріал має бути цікавим і змістовним, не перевантажений відеоматеріалами, обов'язковість інтерактивних завдань, що будуть закріплювати знання.

В КПІ ім. І. Сікорського вже на протязі останніх років успішно використовується он-лайн викладання з технічних та гуманітарних дисциплін з використанням громадського проекту масових відкритих онлайн-курсів «Prometheus» на базі світових масових онлайн курсів, що включає в себе відеоматеріал, інтерактивні завдання для перевірки знань та форумів для спілкування з даної тематики.

В рамках викладання дисципліни «Інноваційна діяльність в телекомунікаціях» (Інститут телекомунікаційних систем НТУУ КПІ ім. І. Сікорського) в 2016-2017 навчального року використовуються методи змішаного навчання. На початковому етапі студенти готуються до спілкування з викладачем, щоб мати можливість обговорювати освоєний матеріал, а також задавати усі необхідні запитання. Кожного тижня студенти опрацьовують 2,5 години відео у зручний для себе час. На заняттях проводяться тестові завдання, дискусії та обговорення.

Виходячи з вищесказаного, можна констатувати, що при правильній організації освітнього процесу змішане навчання здатне підвищити якість освіти, зокрема в умовах скорочення годин «аудиторних занять» за рахунок переведення частини навчального процесу в онлайн середовище, вивільнивши тим самим аудиторний час для відпрацювання практичних навичок й умінь, а також виділити більше часу на наукову роботу, в тому числі зі студентами.

### **Література**

1. Спеціальність телекомунікації та радіотехніка: нові спеціалізації / М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук, Д.А. Міночкін, В.С. Явіся // Матер. 10-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 19–22 квітня, 2016 р. – К.: Хімджест, 2016. – С. 31–33.



## РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ SDR НА ПЛАТФОРМЕ SoC

**Кайденко Н.Н., Кайденко В.Н., Роскошный Д.В., Крилач О.Ф.**

*Научно-исследовательский институт телекоммуникаций*

*КПИ имени Игоря Сикорского, Украина, Киев*

*E-mail: kkb10@ukrl.net*

### **Implementation of the SDR concept on the SoC platform**

The general properties of the SoC platforms from the Altera and the design of the systems on their basis using the mezzanine board ARRADIO

В настоящее время разработка и применение систем-на-кристалле (SoC) является одним из наиболее перспективных направлений в разработке электронной техники.

В общем случае SoC являются дальнейшим развитием технологии FPGA и представляют собой интегрированные в одном кристалле процессорное ядро (ядра), блок программируемой логической матрицы FPGA, а также аппаратно или программно реализованные модули управления периферийными устройствами.

Внутренняя шина данных с высокой пропускной способностью (скорость обмена данными более 10 Гбит/с), соединяющая между собой процессорное ядро и логическую матрицу FPGA, позволяет управлять периферийными модулями и в некоторых случаях ускорить выполнение алгоритмов, повышая тем самым общую производительность системы. Такой уровень интеграции не только увеличивает производительность, но и снижает мощность потребления, размеры и стоимость конечного решения [1,2].

На сегодняшний день основными производителями аппаратно-программных средств для разработки SoC являются компании Xilinx и Altera, с недавнего времени являющаяся подразделением компании Intel.

Принципиальная особенность SoC - это наличие программируемых блоков (процессоров). Поэтому SoC – не просто интегральная схема, а комплекс, в состав которого входят как аппаратная часть (собственно кристалл), так и программная – встраиваемое программное обеспечение. Поэтому, при проектировании SoC необходимо выполнить операции по совместной верификации и отладке взаимодействия программной и аппаратной частей.

Следует отметить возможность создания SoC с использованием различных типов процессоров, реализованных на кристалле. Так, в продукции Altera используются аппаратные процессорные блоки ARM CORTEX A9 и программно реализуемый (soft-processor) NIOSII

Упрощенная структурная схема SoC представлена на рис 1.

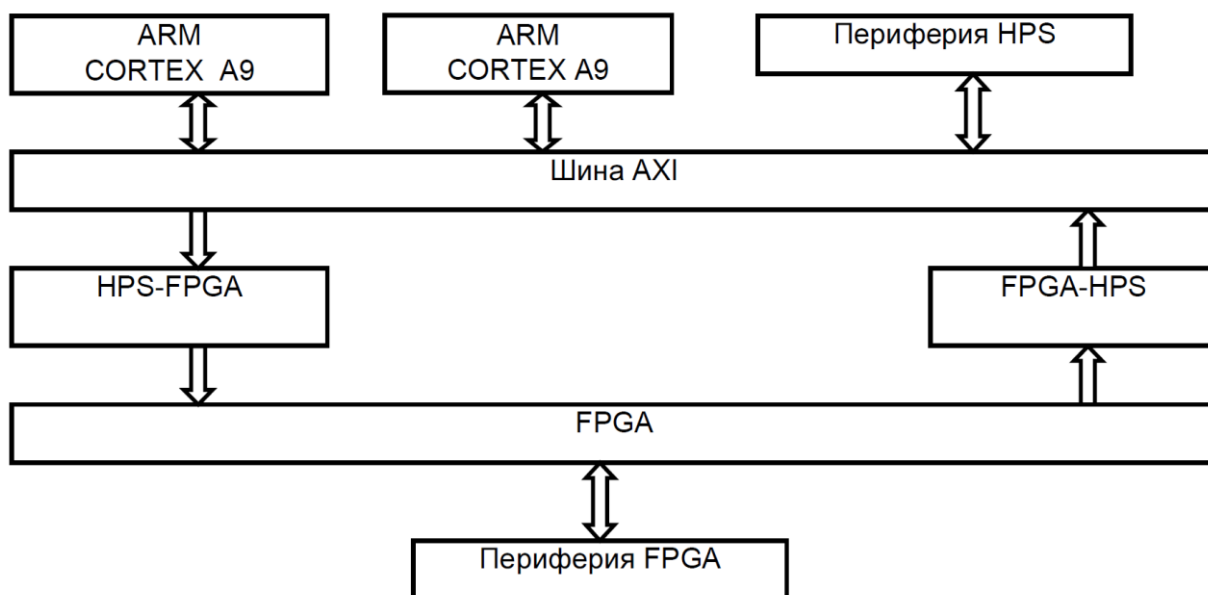


Рис. 1. Упрощенная структурная схема SoC.

Концепция программно-определяемых радиосистем (SDR) предполагает, что в аналоговой части радиосистемы присутствуют только АЦП и ЦАП, а вся обработка сигналов, включающая в себя модуляцию, помехоустойчивое кодирование, реализацию адаптивных алгоритмов и т.д., производится программным способом.

Компания Analog Devices представила решение для программно-определяемых радиосистем. Разработанная для применения в различных областях, таких как военная электроника, измерительное оборудование и коммуникационная инфраструктура, новая микросхема приемопередатчика AD9361 сочетает в себе высокую степень интеграции, широкий диапазон рабочих частот и гибкость.

Поддержка AD9361 осуществляется обширным набором вспомогательных ресурсов, включая программный комплекс управления и мезонинный модуль ARRADIO, позволяет создавать программное обеспечение радиосистем с минимальными затратами времени [3].

Работающая в диапазоне частот от 70 МГц до 6 ГГц микросхема AD9361 объединяет множество различных функций на одном кристалле, и полностью программируется на уровне каждого функционального узла.

Системное проектирование на ПЛИС Altera проводится в приложении QSYS [4,5]. Это приложение упрощает сложное системное проектирование благодаря поднятию уровня абстракции при создании проекта.

Вместо того, чтобы проектировать на уровне сигналов, QSYS позволяет проектировать на уровне системного компонента и обеспечивает стандартную платформу для объединения IP-ядер и создания собственной логики.

Это делает возможным повторное использование проекта, позволяя создавать собственные IP ядра, которые могут быть снова использованы в других проектах.

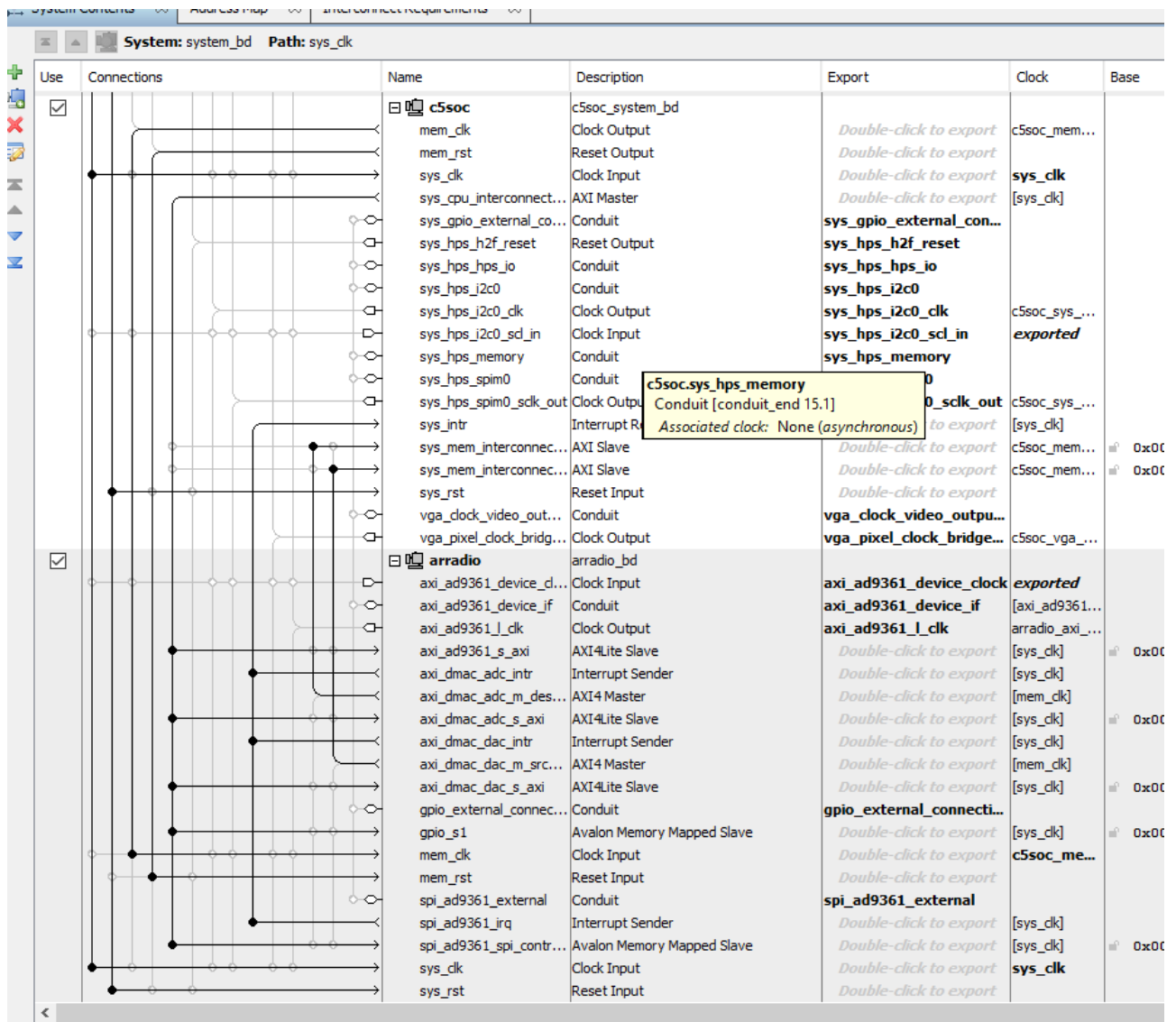


Рис. 2. Фрагмент приложения QSYS.

Оболочка QSYS масштабируема, поэтому можно применять иерархический подход к системному проектированию. Как следствие из вышеперечисленного - сокращение времени выхода продукта на рынок благодаря уменьшению времени разработки, сокращению количества ошибок, упрощению процесса проверки при объединении системы.

### Литература

1. <http://www.altera.com/literature/lit-cyclone-v.jsp>.
2. Кайденко В.Н., Кайденко Н.Н., Крылач О.Ф., Роскошный Д.В. Организация взаимодействия между HPS и FPGA на базе SoC технологий при создании телекоммуникационных устройств. Проблемы телекоммуникаций : 10-а Міжнар. наук.-техн. конф., 19-22 квіт. 2016р. : матеріали конф. – К., 2016. – С. 254–256.
3. [www.rocketboards.org](http://www.rocketboards.org).
4. Altera Cyclone V Device Handbook, Volume 3: Hard Processor System Technical Reference Manual.
5. Altera SoC Embedded Design Suite User Guide.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНОЇ MESH-МЕРЕЖІ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ ЗАТРИМКИ МІЖ ВУЗЛАМИ

**Кузьміч М.Ю., Кравчук С.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: kuzmichm.its@gmail.com*

### **Research mobile drones mesh-network taking into account delay between nodes**

This paper studies the coverage aspects of a low altitude platform (LAP) system that can form a temporary communication network. The system consists of multiple autonomous drones equipped with dual-band Wi-Fi access points (APs) with ad hoc capabilities to form a mesh network.

На даний час Mesh-мережі все більше використовуються для надання доступу до глобальної мережі Інтернет там, де немає можливості вирішити цю проблему з допомогою традиційних методів.

Метою даної роботи є представлення можливості створення тимчасової мережі передачі даних на основі низько розташованих платформ LAP (low altitude platform). Така система складається із дронів, оснащених дводіапазотною точкою доступу WI-FI з функцією ad hoc для формування повноцінної mesh-мережі. Стільникова мережа передачі даних повинна зберігати працездатність в екстремальних умовах, навіть якщо одна з ключових частин інфраструктури мережі є пошкодженою або повністю зруйнованою.

На сьогодні існує багато досліджень із напрямку забезпечення покриття в екстремальних умовах за допомогою HAP (high altitude platform) систем, таких як "Loon" - проект компанії Google [1]. На противагу Google, Facebook також інвестували багато ресурсів у свій власний проект з HAP системами[2].

Головна ідея розглянутої мережі полягає у можливості, при необхідності, простого та швидкого створення надійної інфраструктури передачі даних з відносно низькою вартістю та простотою технологією обслуговування та її імплементації. Тобто, для розгортання мережі доступу буде необхідно тільки ввімкнути дронів в потрібному місці і вони автоматично займуть необхідну висоту в залежності від рельєфу, формуючи mesh-мережу один з одним.

**Огляд існуючих рішень:** Ситуація із розгортання мереж такого типу широко була описана під різними кутами в літературі. Наприклад, в [3] презентовано ідею використання LAP для покриття певної місцевості. Ідея базується на використанні надувних кульок як LAP, як і більшість авторів, які працювали над цим питанням, та технологію Wi-Fi для передачі даних. В [4] розширили цю ідею, використовуючи дрони з Wi-Fi для формування гнучкої мережевої інфраструктури над ізольованою місцевістю. Проте вони використовували для цих цілей рухомі дрони на низькій висоті, які повинні бути близько до клієнтів, для того щоб приймати данні від них.

В даній роботі висота розташування дронів, які утворюють між собою mesh-мережу, досягає декількох сотень метрів.

**Результати досліджень:** Проведено моделювання роботи mesh-мережі на основі LAR. Зазвичай для таких цілей використовується базове моделювання із урахуванням втрат у вільному просторі, де представляється з'єднання прямої видимості LOS (line-of-sight). Проте для досягнення більш реалістичних результатів нами було використано детерміновану модель розповсюдження під назвою модель домінантного шляху DPM [5]. DPM проводить розрахунок можливих втрат на базі найбільш ймовірних шляхів розповсюдження радіохвиль. Зазвичай є тільки 1 або 2 основних шляхи, через які проходить 90% енергії нашого сигналу, яка попадає та оброблюється приймальним пристроєм. Внаслідок чого модель домінантного шляху визначає основний шлях між передавачем та приймачем через оцінку прийнятої енергії сигналу.

Визначення завмирання сигналу в DBM базується на наступному рівняння:

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right) + 10n \log_{10}(d) + \sum_{i=0}^k f(\varphi, i) + \Omega + g_t \quad (1)$$

де  $d$  - відстань між передавачем та приймачем;  $n$  - експонента завмирання сигналу;  $\lambda$  - довжина хвилі. Функція сума втрат індивідуальної взаємодії,

$$\sum_{i=0}^k f(\varphi, i)$$

через дифракцію для кожної взаємодії  $i$  до  $k$  з  $\varphi$ , де  $\varphi$  - кут між минулою та новою траєкторією поширення;  $G$  -направленість антени

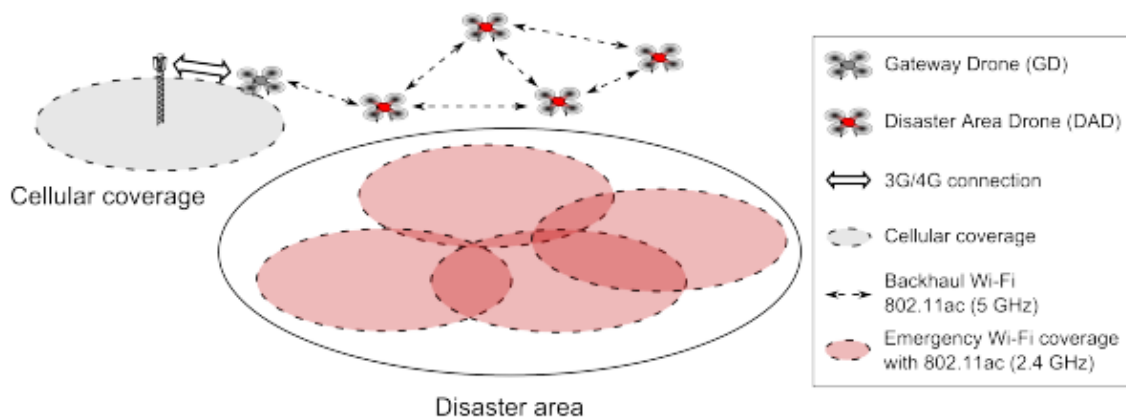


Рис.1. Приклад тимчасової мережі на базі LAR.

Рекомендоване значення коефіцієнта завмирання  $n$  залежить від поширення електромагнітних хвиль в просторі і висоти передавача. В [6] проведено польові тести для Wi-Fi 2,4 GHz і отримані значення для  $n$  в межах від 2,54 до 2.76 для з'єднання прямої видимості. В даній роботі було вибрано значення 2.6 для прямої видимості та 3.5 в протилежному

випадку.

Основна LAR-концепія, що була розглянута в даній роботі показана на рис. 1. Вона побудована на основі дронів, що оснащені двоканальним Wi-Fi, які формують між собою edhoc мережу IEEE 802.11 суміжно з WLAN з використанням 5 ГГц частотного діапазону з 40 МГц смугою пропускання для транспорту інформацією між дронами. А сама зона покриття формується із точок доступу(AP- access point), на частоті 2.4 ГГц і полозою пропускання 20 МГц. З метою з'єднання нашої мережі із глобальною мережею, деякі дрони оснащені третього(3G) або четвертого покоління(4G) модемами стільникових мереж. Ці дрони, називаються шлюзовими, повинні розташовуватись між зоною ураження та працюючою стільниковою мережею.

В даній роботі дослідження мобільної mesh-мережі проводилось на базі симуляції для рівнинної місцевості 6 км × 6 км.

Максимальна відстань між дронами (IDD), при якій обмін даними між ними ще можливий, була обчислена для вільного простору і становить 960 м.

**Висновки.** Виявлено, що зона покриття залежить від висоти зависання дронів. Найменша зона покриття була в дрона на висоті 50 м в 0,14 км (20 дБ) і 3км<sup>2</sup> (35 дБ). Найбільша ж зона 0,56 км<sup>2</sup> (20дБ) та 7.4 км<sup>2</sup> (35 дБ) була досягнута при висоті 500 м. Також було змодельовано, що при збільшенні кількості дронів, звичайно ж збільшується і покриття, проте, більший параметр IDD з меншою кількістю дронів в спромозі надати таку ж якість покриття ато і кращу, як і більша кількість, але з меншим IDD. Також, проблему із малим часом роботи, внаслідок обмеженої ємності батареї були вирішено викристанням нових типів дронів[7], що заряджаються від акумулятора, що знаходиться на землі і завдяки чому, можуть перебувати в повітрі до декількох тижнів та досягати висоти до 150 м при необхідності.

#### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Internet.org by Facebook // Connecting the World from the Sky, 2014.
3. Hariyanto H., Santoso H., Widiawan A. Emergency broadband access network using low altitude platform // Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICIBME), 2009 International Conference on, Nov 2009, pp. 1–6.
4. Evaluation of Wireless Network Communication by Autonomous Flight Wireless Nodes for Resilient Networks / N. Uchida, M. Kimura, T. Ishida, Y. Shibata, and N. Shiratori // Network-Based Information Systems (NBiS), 2014 17th International Conference on, Sept 2014, pp. 180–185.
5. ProMan User's Manual // <http://awe-communications.com/>, AWE Communications, [Online; accessed 6-July-2015].
6. L. Liechty, E. Reifsnider, and G. Durgin, "Developing the Best 2.4 GHz Propagation Model from Active Network Measurements," in Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th, Sept 2007, pp. 894–896.
7. "The Persistent Aerial Reconnaissance and Communications (PARC) vehicle system," <http://cyphyworks.com/robots/parc/>, CyPhy Works Inc.,

## ОПТИМІЗОВАНА СХЕМА ШВИДКОЇ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ У МЕРЕЖАХ MOBILE IPV6 ДЛЯ ПІДТРИМКИ МОБІЛЬНИХ КОРИСТУВАЧІВ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

**Камінський Р.В., Кравчук С.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: roma\_kaminskiy@ukr.net*

### **Optimized fast handover scheme in MIPv6 networks to support mobile users for cloud computing**

In mobile networks for cloud computing, it is important to support seamless mobility management to mobile users who request real-time services such as VoIP, streaming, and interactive game playing. To support seamless mobility management for various wireless technologies in cloud computing, fast handovers for MIPv6 (FMIPv6) have been proposed.

Загалом користувачі хмарних обчислень (cloud computing) активно використовують мобільні пристрої. В мобільних мережах для використання хмарних обчислень користувачам, які використовують послуги в режимі реального часу (VoIP, потокові послуги та інтерактивні ігри), важливо підтримувати безперервне управління мобільністю. Для вирішення цього питання було запропоновано протокол FMIPv6 (fast handover for mobile IPv6), який може забезпечити безперервну передачу обслуговування (ПОБ) шляхом мінімізації затримки останньої, і запобігає втраті пакетів завдяки буферизації та тунелюванню. Декілька робіт [1-3] було виконано для оцінки продуктивності FMIPv6 в різних мережевих середовищах. Тим не менш, попередні роботи не розглядали ймовірність відмови режиму передбачення (RRMF), що виділяє два режими роботи. Тим не менш, для точного аналізу загальної продуктивності FMIPv6, два режими роботи повинні бути проаналізовані в цілому. У цій статті FMIPv6 об'єднує два режими роботи та проводиться аналіз з урахуванням RRMF, що залежить від радіуса стільника, швидкості мобільних вузлів, і часу спрацювання 2-го рівня. Метою даної роботи є розробка аналітичної моделі системи та проаналізувати ефект її параметрів, таких як RRMF, час, необхідний для обробки додаткової сигналізації 3 рівня і часу спрацювання 2-го рівня, по відношенню до вартості сигналізації та вартості доставки пакетів для того, щоб запевнитись в доцільності її використання в сучасних мережах.

У хмарних обчисленнях існує ряд безпроводних технологій, таких як 3G, 4G, long term evolution (LTE), WiMAX та WiFi. Для плавної підтримки сервісів реального часу мобільними технологіями, Mobile IPv6 (MIPv6)

представлений як протокол контролю переміщення [3]. FMIPv6 [3] було запропоновано для зменшення затримки ПОб і втрат пакетів під час ПОб. Якщо плавна швидка ПОб не підтримується, багато сучасних мобільних додатків хмарних обчислень (cloud computing) не можуть бути реалізовані. Наприклад, соціальні веб-сервіси реального часу, такі як "Google Buzz" і "buzzed on Virgin Mobile" стають передовими соціальними мережевими сервісами. Ці послуги базуються на інформації про місцезнаходження користувача і потребують мобільних мереж для хмарних обчислень для забезпечення безперервного обслуговування в режимі реального часу. Оскільки в мережах мобільного зв'язку для хмарних обчислень сервіси реального часу вимагатимуть передових додатків, то особливості FMIPv6 є дуже ефективними, завдяки здатності звести до мінімуму затримки ПОб. Тому, FMIPv6 буде великою перевагою для сервісів реального часу, оскільки це запобігає затримці повторної передачі через втрати пакетів.

У MIPv6 MN має дві адреси: домашню адресу (HoA) та тимчасову адресу (CoA). HoA – це адреса, присвоєна MN, використовується в якості постійної адреси MN. CoA – адреса, присвоєна MN при перебуванні його у «чужій» підмережі. MIPv6 дозволяє MN переходити з однієї підмережі в іншу без зміни його HoA. MN налаштовує CoA при переміщенні у нову підмережу. Тоді MN інформує домашній агент (HA) про CoA за допомогою процесу оновлення прив'язки [4]. Пакети можуть бути направлені до CoA MN використовуючи його HoA незалежно від його поточної точки прив'язки до Інтернету. MN також може продовжувати обмін інформацією із CN після переходу в нову під мережу [5]. У MIPv6 виявлення переміщення, конфігурація нових CoA та оновлення прив'язки виконується після завершення ПОб 2-го рівня. FMIPv6 забезпечує плавну ПОб з використанням передбачення, на основі інформації спрацювання 2-го рівня, щоб зменшити затримку ПОб і втрати пакетів. FMIPv6 складається з двох робочих режимів, таких як режим передбачення та реактивний режим. Якщо обробка додаткової сигналізації 3-го рівня для FMIPv6 здійсниться до завершення ПОб 2-го рівня, FMIPv6 працюватиме в режимі передбачення. Якщо час обробки додаткової сигналізації 3-го рівня більше, ніж час між спрацювання 2-го рівня та втратою з'єднання, FMIPv6 переключиться на реактивний режим. Випадок невдалого увімкнення режиму передбачення ми назвемо як predictive mode failure. А ймовірність невдалого увімкнення режиму передбачення – PPMF (probability of predictive mode failure). Оцінки ефективності різних протоколів мобільності на основі IPv6 виконано у [6]. Удосконалена схема FMIPv6, де затримка реєстрації може бути зменшена шляхом виконання процесу попередньої реєстрації була запропонована в



роботі [7]. Проте, для аналізу ефективності було проаналізовано лише режим передбачення. Різні протоколи мобільності на основі IPv6 були аналітично оцінені і зіставлені з точки зору затримки передачі обслуговування в [8]. Проте, вартість доставки пакета FMIPv6 розраховується з використанням фіксованого значення для ймовірності передбачення, яке має протилежне значення до RRMF. Для отримання більш точної оцінки продуктивності, ймовірність передбачення повинна бути отримана як функція від параметрів мережі, таких як радіус стільника, час, необхідний для обробки додаткової сигналізації рівня 3, та час спрацьовування тригера 2-го рівня. Жодні інші попередні роботи не розглядали RRMF, також не використовували ряд мережевих параметрів. Крім того, в найбільш попередніх роботах, два робочих режими FMIPv6 оцінювалися окремо. Вкрай важливо проаналізувати загальну продуктивність протоколу, розглядаючи два режими роботи в цілому.

Таким чином, було оптимізовано FMIPv6 за допомогою мережевих параметрів та з врахуванням ряду перерахованих вище особливостей, також розроблено аналітичну модель. В результаті виявлено, що дослідна система має переваги над відповідними їй аналогами. Отримана оптимізована FMIPv6 може використовуватися в сучасних мережах мобільного зв'язку, оскільки вона в змозі задовольнити ряд потреб та вимог останніх.

### Література

1. Pack S, Choi Y (2003) Performance analysis of fast handover in Mobile IPv6 networks. In: Proc LNCS, vol 2775, pp 679–691.
2. Wei G, Vailakos A-V, Zheng Y, Xiong N (2009) A game-theoretic method of fair resource allocation for cloud computing services. J Supercomput.
3. Li R, Li J, Wu K, Xiao Y, Xie J (2008) An enhanced fast handover with low latency for Mobile IPv6. IEEE Trans Wirel Commun 7(1):334–342.
4. Кравчук С.О., Міночкін Д.А. Застосування розподілених обчислень в телекомунікаційних системах // Зб. наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2015. - № 50. – С. 41-44.
5. Кравчук С.О., Міночкін Д.А. Класифікація методів вертикальної передачі обслуговування // Зб. наук. праць «Системи обробки інформації» (Харків). – 2015. – Вип. 12 (137). – С. 123–126.
6. Gwon Y, Kempf J, Yegin A Scalability and robustness analysis of Mobile IPv6, fast Mobile IPv6, hierarchical Mobile IPv6, and hybrid IPv6 mobility protocols using a large-scale simulation. In: Proc IEEE int conf on commun (ICC'04), vol 7, pp 4087–4091.
7. Li R, Li J, Wu K, Xiao Y, Xie J (2008) An enhanced fast handover with low latency for Mobile IPv6. IEEE Trans Wirel Commun 7(1):334–342.
8. Fathi H, Chakraborty S, Prasad R (2007) Optimization of Mobile IPv6-based handovers to support VoIP services in wireless heterogeneous networks. IEEE Trans Veh Technol 56(1):260–270.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ И СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**<sup>1</sup>Ленков С.В., <sup>1</sup>Жиров Г.Б., <sup>2</sup>Ленков Е.С.**

<sup>1</sup>*Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко*

<sup>2</sup>*Военный институт телекоммуникаций и информатизации*

*E-mail: lenkov\_s@ukr.net; genna-g@gukr.net; torwer007@gmail.com*

### **Modeling of rejections of reconstructive telecommunication systems with forecasting reliability and operating costs**

The article considers the features of the simulation of failures of the restored technical objects of wireless telecommunication systems, conditioned by the hierarchy of their constructive structure. Simulation is carried out by the method of simulation statistical modeling in order to predict the reliability and cost of operation of the telecommunication object being created.

Большинство жизненно важных процессов, связанных с обеспечением безопасности государства в целом и человека в отдельности зависит от исправной работы сложных телекоммуникационных систем, в том числе и беспроводных. Данные системы, с точки зрения надежности, являются, восстанавливаемыми объектами. Также, такие системы характеризуются большой стоимостью, как в разработке, так и при эксплуатации. Для данных объектов эффективность их применения по назначению существенно зависит от показателей их надежности (ПН) и стоимости эксплуатации (СЭ), поэтому достоверное прогнозирование этих показателей весьма важно на всех стадиях их жизненного цикла. Кроме того, эти объекты в течение различных периодов их жизненного цикла, как при разработке, так и при эксплуатации, постоянно подвергаются модернизациям и, следовательно, требуют постоянных уточнений прогноза ПН и СЭ.

Ввиду большой сложности беспроводных телекоммуникационных систем, прежде всего в смысле большого количества (десятки и сотни тысяч) и разнообразия типов комплектующих элементов, для оценки и прогнозирования их ПН и СЭ с учетом конструктивной структуры чаще всего применяется метод имитационного статистического моделирования [1].

В статье в качестве ПН и СЭ рассматриваются следующие показатели:  $T_0$  - средняя наработка на отказ (показатель безотказности);  $T_g$  - среднее время восстановления (показатель ремонтпригодности);  $c_3$  - удельная стоимость эксплуатации объекта (показатель СЭ).

Стоимость эксплуатации учитывается только стоимость заменяемых элементов и стоимость ремонтных работ и используемых при этом расходных материалов.

В [2] разработана имитационная статистическая модель (ИСМ), с помощью которой получают прогнозные оценки для этих ПН и СЭ. Исходными данными для ИСМ являются параметры объекта, которые в обобщенном виде можно представить следующим образом:

$$P_{об} = \{G, B, V, C\},$$

где  $P_{об}$  – обобщенный параметр, представляющий характеристики объекта;  $G$  – граф, описывающий конструктивную структуру объекта;  $B$ ,  $V$  и  $C$  – обобщенные параметры, характеризующие свойства безотказности, восстанавливаемости (ремонтпригодности) и стоимости объекта.

В статье рассматривается формализованное описание конструктивной структуры технического объекта, на основе которого вводятся понятия множеств отказывающихся  $E_0$  и восстанавливаемых  $E_B$  элементов.

Элементы, в составе которых имеются другие элементы, являются составными. Если состав элемента не детализируется, то такой элемент является простым. Простой элемент в действительности может представлять собой сколь угодно сложное техническое изделие, однако в данном конкретном случае нас не интересует его внутреннее устройство.

Для объектов, имеющих иерархическую конструктивную структуру, при моделировании отказов в ИСМ возникает вопрос, отказы каких конструктивных элементов должны в ИСМ имитироваться непосредственно, отказы элементов нижнего конструктивного уровня или составных элементов некоторого промежуточного уровня. Моделировать отказы всех простых элементов не реально, так как, с одной стороны, их количество слишком велико, а, с другой стороны, нецелесообразно, так как для любого составного элемента при известной конструктивной структуре всегда можно рассчитать необходимые для моделирования показатели безотказности и затем использовать их в качестве исходных данных для ИСМ. Поэтому при применении ИСМ решается задача определения исходного множества конструктивных элементов, для которых должно осуществляться моделирование отказов.

Для формирования оптимальных множеств  $E_0$  и  $E_B$  предлагается следующая методика, включающая три этапа: предварительное формирование множеств  $E_0$  и  $W$ ; устранение возможной избыточности множества  $E_0$ ; окончательное формирование множества (отношения)  $W$ .

Каждый, из предложенных этапов, является алгоритмом, и совместно реализуют методику формирования оптимальных множеств  $E_0$  и  $E_B$ , множество  $E_B$  в данном случае существует неявно через множество (отношение)  $W$ . Отношение  $W$  представляет собой множество пар  $\langle e_i^u, e_j^r \rangle$ , в которых  $e_i^u \in E_0$  – отказывающийся элемент, а  $e_j^r \in E_B$  – элемент, который будет заменяться в случае отказа элемента  $e_i^u$ . Отношение  $W$  определяет функциональное отображение следующего вида  $W: E_0 \rightarrow E_B$  [3].

Отображением  $W$  каждому элементу  $e_i^u \in E_0$  ставится в соответствие единственный восстанавливаемый элемент  $e_i^r \in E_B$ . На рис. 1 изображена схема, определяющая последовательность исполнения алгоритмов, реализующих данную методику.

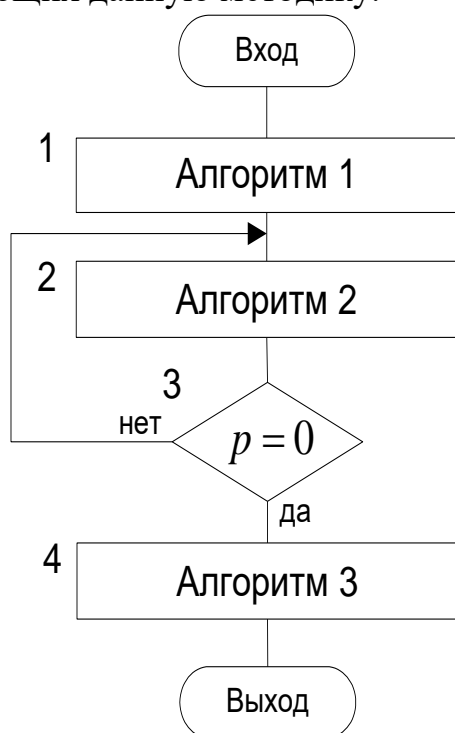


Рис. 1. Схема расчетов при формировании множеств  $E_0$  и  $W$ .

Получаемые множества  $E_0$  и  $E_B$  являются оптимальными в том смысле, что использование их при моделировании процесса отказов-восстановлений в наибольшей мере соответствует реальным свойствам ремонтпригодности объекта. Использование полученных множеств  $E_0$  и  $E_B$  в ИСМ обеспечивает наилучшее приближение моделируемого процесса реальному процессу, осуществляемому обслуживающим персоналом.

Кроме того, полученные по данной методике множества  $E_0$  и  $E_B$  являются оптимальными с точки зрения минимизации затрат машинного времени на моделирование, так как  $E_0$  содержит наименьшее число элементов и при этом является полным.

На основе разработанных алгоритмов созданы имитационно-статистические модели и реализованы программе ISMPN, краткое описание которой имеется в [4].

#### Литература

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство или наука: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
2. Прогнозирование надежности сложных объектов радиоэлектронной техники и оптимизация параметров их технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей. Монография / С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, Г.В.Банзак, В.О. Браун [и др.] : под ред. С.В.Ленкова. – Одесса : Изд-во «ВМВ», 2014. – 256 с.
3. Р. Фор, А. Кофман, М. Дени-Папен. Современная математика. М.: Изд. «Мир», 1966. 272 с.
4. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.

## АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРИ КЕШУВАННЯ ДАНИХ ДЛЯ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

**Міночкін Д.А., Рибак О.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: alex96.rybak@gmail.com*

### **The analysis of the architecture data caching for networks: moving from clouds to the base station**

In order to cope with the relentless data tsunami in wireless networks, current approaches such as acquiring new spectrum, deploying more base stations (Bss). In this regard, context-aware networks with edge/cloud computing and exploitation of big data analytics can yield significant gains to mobile operators. In this article, proactive content caching in wireless networks is investigated in which a big data-enabled architecture is proposed.

В наш час, стрімко зростає об'єм мобільного трафіку у зв'язку з тотальним поширенням мобільних пристроїв. Основний об'єм трафіку при цьому припадає на мобільне відео в інтернеті, соціальні медіа та популярні програми. Тому, телекомунікаційні компанії розглядають можливість переходу на децентралізовану і гнучку мережеву архітектуру, в якій проактивне управління ресурсами відіграє вирішальну роль, з використанням останніх досягнень в області збереження інформації та в хмарних обчисленнях.[1-4].

На сьогодні, аналіз великих даних може надати нову інформацію, яку можливо використати під час мережевого планування задля кращого розуміння поведінки користувачів та характеристик мережі (наприклад, місце розташування, швидкість користувачів, соціальні гео-дані тощо).

Тому, необхідно провести дослідження можливості використання великих даних і інструментів машинного навчання для оцінки популярності контенту в мобільних мережах 5G з метою проактивного кешування даних, що передаються через мережі мобільних операторів, оскільки поведінка людини є передбачуваною.

Перспективна архітектура мобільної мережі дозволить розділити відповідальність за обчислення та виконання прогнозування контенту на ядро мережі та кешування на базові станції (BSS - Base Station System).

Це дозволить задовольнити потреби користувачів як у продуктивності, так і у високій якості. На Рис. 1 показана комбінована мережева архітектура, де платформа великих даних розгорнута в ядрі мережі і знаходиться у режимі відстеження та прогнозування запитів споживачів, з увімкненим механізмом кешування на BSS [3].

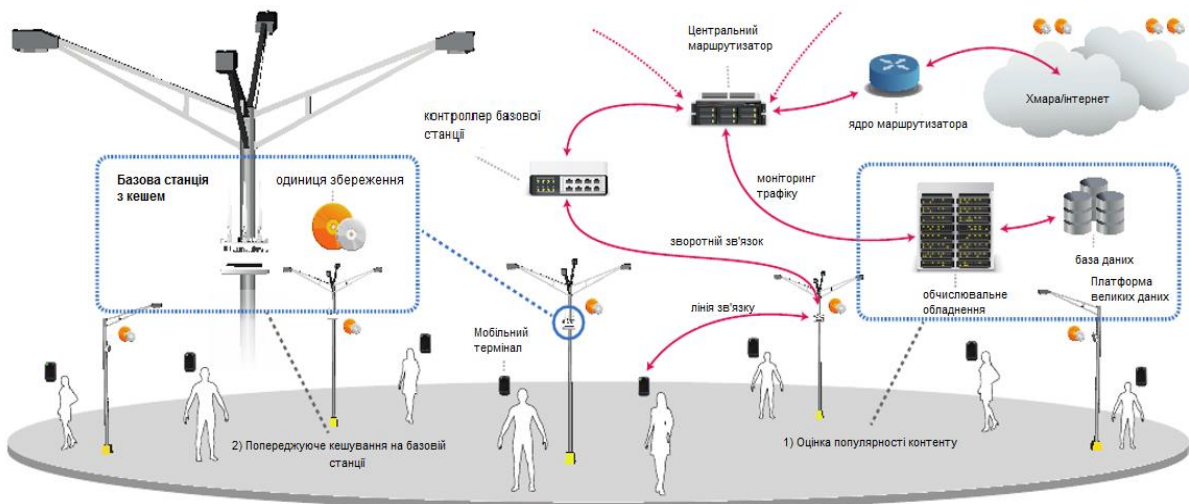


Рис. 1. Інформація переміщуються від хмари на BSS шляхом визначення стратегічного вмісту на платформі даних усередині ядра мережі, потім активно зберігає їх в кеші з підтримкою BSS.

Контент-орієнтована бездротова мережа (CCWNs) виступає в якості розвитку поточної мережевої архітектури. Кешування популярного контенту бездротового зв'язку, включаючи базові станції (BS) і термінали користувача, яка забезпечує ефективний підхід для полегшення зворотного зв'язку, а також для зниження затримок і витрат на розгортання.

Кешування популярного контенту буде ефективним методом для зниження затримок і зменшення перевантаження мережі [5], оскільки мобільні користувачі можуть завантажити необхідні файли від BSS. Важливою особливістю контент-орієнтованої бездротової мережі (CCWNs) є мобільність користувача та ширококомовний характер поширення радіохвиль, що може значно вплинути на процедуру кешування і доставки найбільш популярних файлів. Хоча мобільність накладає додаткові труднощі на проектування кешування в CCWNs, але також приносить нові можливості.

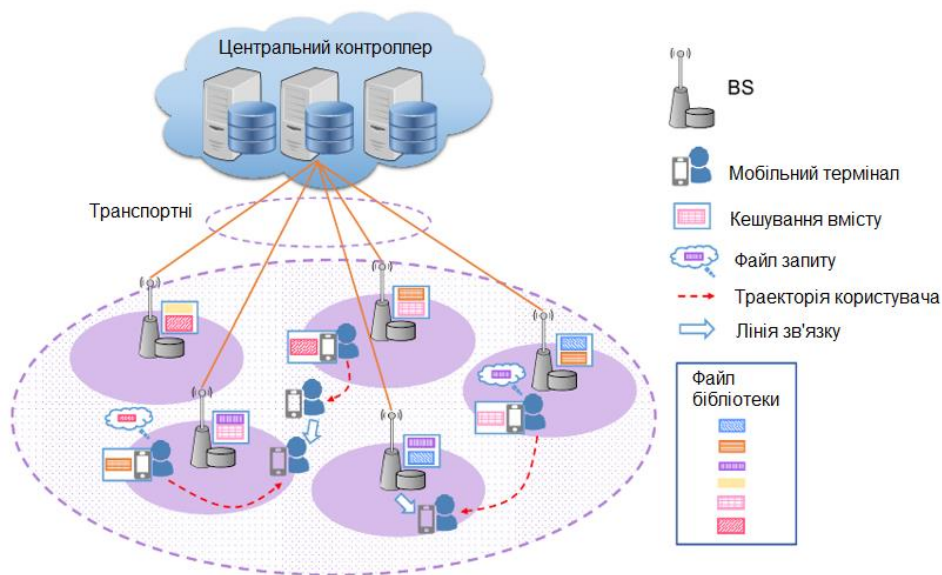


Рис. 2. Архітектура з включеним кешем CCWN. Мобільний користувач може завантажити необхідний файл із BSS.

Так, мобільний користувач може запросити певний файл, який BSS будуть активно кешувати на основі прогнозованого маршруту користувача, таким чином користувач може завантажити файл по частинам рухаючись вздовж BSS. Такий метод збільшить продуктивність, тому що завчасне кешування значно підвищить якість і зменшить затримку завантаження. Викладені вище пропозиції не повні і надалі будуть досліджуватись. Тим не менш, вони чітко вказують на великий потенціал і важливість мобільності в кешуванні в CCWNs.

Проаналізувавши певну літературу можемо відмітити результати Турецьких дослідників, які показали, що у Туреччині з 10 регіональних напрямків основного мобільного оператора зв'язку у годину пік спостерігається швидкість передачі даних в 200 Мбіт/с, а загальний середній трафік по всіх регіонах складає понад 20 мільярдів пакетів щодня, а у вихідні дні 15 мільярдів пакетів [4].

На основі наявної інформації, чисельні дослідження показують, успіх транспортного розвантаження без суттєвих втрат показника QoS. Наприклад, у випадку 16 BSS у розмірі 30% від оцінки вмісту 13 Гбайт, розмір зберігання буде становити 78% від загального розміру бібліотеки, і попереджуваче кешування дає 100% задоволеність користувачів і розвантажує 98% від транзиту.

### Література

1. G. Paschos, E. Basētug̃, I. Land, G. Caire, and M. Debbah, “Wireless caching: Technical misconceptions and business barriers,” arXiv preprint arXiv:1602.00173, 2016.
2. X. Wang, M. Chen, T. Taleb, A. Ksentini, and V. Leung, “Cache in the Air: Exploiting content caching and delivery techniques for 5G systems,” IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 131–139, February 2014.
3. M. Tao, E. Chen, H. Zhou, and W. Yu, “Content-centric sparse multicast beamforming for cache-enabled cloud RAN,” [Online] arXiv: 1512.06938, 2015.
4. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, “Fog computing and its role in the internet of things,” in Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, Helsinki, Finland, August 2012.
5. X. Peng, J.-C. Shen, J. Zhang, and K. B. Letaief, “Backhaul-aware caching placement for wireless networks,” in Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM), San Diego, CA, Dec. 2015.

## КЕШУВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ В БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖАХ 5G

Малецький Д.В., Міночкін Д.А.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: dmytro.maletskiy@gmail.com*

### **Big Data caching in wireless 5G networks**

To cope with the data traffic growth new approaches to the networking should be implemented. The proactive caching architecture for 5G wireless networks is considered as a possible solution for improvements in user's quality-of-experience and the backhaul offloading problem.

Сучасні підходи такі, як розширення спектру, розгортання більшої кількості базових станцій (БС) та збільшення кількості вузлів в базовій мережі передачі даних вже не будуть актуальними з точки зору масштабованості, вартості та гнучкості для того, щоб впоратися з постійно зростаючими об'ємами даних в безпроводових мережах 5-го покоління. Такий безпрецедентний ріст інформаційного трафіку, що більшою мірою спричинений мобільним відео, соціальними медіа та різноманітними застосунками змушує мобільних операторів шукати інноваційні способи управління мережами, що постійно ускладнюються, та обмеженими ресурсами транспортних мереж. Необхідно розглянути перехід від нинішньої архітектури мобільних мереж до нової парадигми, що базуватиметься на збиранні та зберіганні інформації в дата центрах для її подальшого аналізу та прийняття рішень.

Рішенням, що може принести значні здобутки для мобільних операторів, є контекстно-усвідомлені мережі з хмарними або edge обчисленнями та використання аналізу великих даних.

На сьогоднішній день в [1] досліджено можливість використання великих даних в мобільних стільникових мережах з точки зору проактивного кешування. Враховуючи високу передбачуваність людської поведінки та великі кількості даних, що проходять через мережі операторів зв'язку, запропоновано архітектуру проактивного кешування даних. Ця архітектура оптимізує безпроводові мережі 5G, де велика кількість доступної інформації опрацьовується шляхом використання аналізу великих даних та засобів машинного навчання для оцінки популярності контенту. Нова архітектура може бути використана для edge кешування (на базовій станції), що призведе до підвищення рівня задоволення користувача та розвантаження транспортної мережі шляхом переносу контенту «ближче» до користувачів.

В прагненні забезпечити кращу масштабованість та гнучкість мереж, щодо обробки великих даних, вимоги до побудови мереж стають все більш залежними від програмного забезпечення. Майбутні великі мережі ставатимуть, ще складнішими, саме тому дата центрам та мережевій інфраструктурі мобільних операторів буде необхідно відслідковувати шаблони трафіку десятків мільйонів користувачів використовуючи різноманітні засоби збору статистичних даних користувачів (місцезнаходження, шаблони запиту на трафік



і т.п.) для більш детального аналізу.

Актуальним питанням постає управління мережами, керованими великими даними, в хмарному середовищі, так як зростання кількості даних досі залишається головним викликом для сучасної мобільної інфраструктури. В цьому світлі виникає технологія мобільних edge обчислень, у якій edge пристрої забезпечують «хмарні обчислення як можливість» в середині мережі радіо доступу, для виконання функцій зв'язку, зберігання та контролю. [2] Однак, для мереж 5G необхідно відмітити, що розгортання розподіленої хмарної інфраструктури біля кожної БС може призвести до зростання вартості в порівнянні з централізованим рішенням, враховуючи наявність сотень сайтів в мережі мобільного оператора. Більше того, для моделювання та передбачення просторово-часової поведінки користувача в мережах 5G, що орієнтовані на користувача, централізоване отримання мережевого трафіку має бути горизонтально масштабованим між серверами, що можливо лише в середині головного сайту для детального аналізу.

Очевидно, що єдиний шлях впоратися зі зростаючим мережевим трафіком даних, лежить через покращення управління даними та переносу даних з хмари на «край». За останні роки, вільна програмна платформа Hadoop успішно продемонструвала себе, як програмне рішення управління великими даними, що пропонує значне заощадження коштів в порівнянні з однорівневими інфраструктурами баз даних, можливість обробки різних форматів даних та паралельну обробку на кількох вузлах. Використання процесора обробки розподілених даних для аналізу користувацької поведінки та проактивного кешування контенту на «краю» може послабити трафік транспортної мережі та покращити якість користувацького досвіду зменшенням затримки.

Запропонована архітектура [1] збирає контекстуальну інформацію (наприклад, історію переглядів, інформацію про місцезнаходження) та передбачає просторо-часові вимоги для проактивного кешування продумано відбраного контенту на «краю» мережі. Представлена архітектура паралелізує обчислення та виконання алгоритму передбачення контенту на центральному сайті та розміщення кешу на БС. Таким чином, користувацькі потреби задовольняються значною мірою, за рахунок зменшення затримки та підвищення якості досвіду.

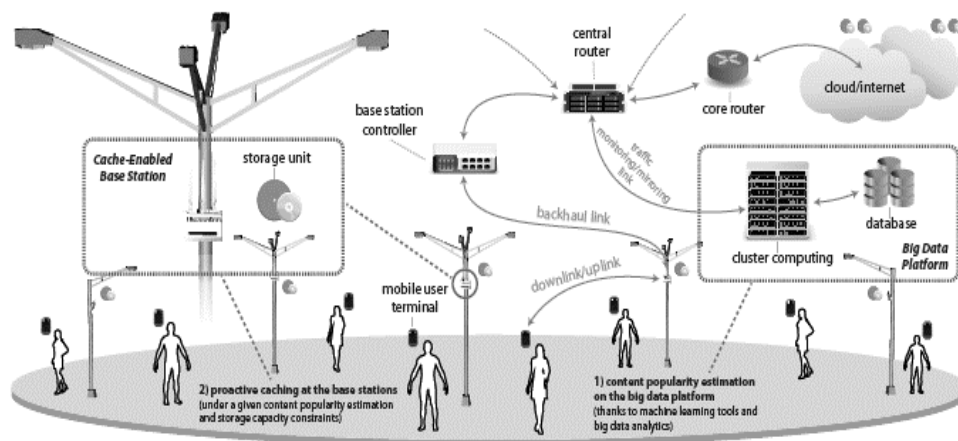


Рис. 1. Архітектура мережі.

На рис. 1 зображено архітектуру мережі, де платформа великих даних розгорнута на центральному сайті, для відслідковування/передбачення користувацьких запитів, в той час, як БС з можливістю кешування зберігають «стратегічний» контент передбачений платформою великих даних.

Зменшення навантаження транспортної мережі через edge кешування є значним викликом. В цьому сенсі, при розгляді розмірів контенту, вимог до швидкості передачі, транспортної мережі, тощо, необхідна об'єднана оптимізація матриці популярності контенту та розташування кешу контенту в певних малих стільниках. Крім того, під час прийняття рішення про кешування необхідно враховувати обмежену ємність сховищ маленьких базових станцій, безпроводових та транспортних з'єднань, великі розміри бібліотек та значну кількість користувачів з невідомими параметрами (наприклад, емпіричними значеннями популярності контенту). Виходячи з того, що розташування кешу може бути визначене у жорсткий чи наближений способи [3], маленькі базові станції навчаються та оцінюють незначну популярність контенту.

Основне призначення платформи великих даних, зберігати користувацький трафік даних та отримувати з нього корисну інформацію для прийняття рішень проактивного кешування.

З метою прийняття рішень платформа обробки даних в середині інфраструктури базової мережі має бути спроможна зчитувати і поєднувати дані з різних джерел та виносити зважені рішення швидко та надійно. Для цього, після відтворення інтерфейсу трансляції даних через засоби аналізування мережі, зібраний ряд даних експортується до платформи зберігання великих даних такої як Hadoop Distributed File System (HDFS) за допомогою методів для детального аналізу.

Після очищення даних, проводиться їх аналіз за допомогою високо рівневих мов запитів таких, як Hive Query language (HiveQL) та Pig Latin. Ціль даного етапу знайти взаємозв'язок між управляючими та інформаційними пакетами, наприклад місцезнаходження чи MSISDN користувача та запитуваний контент.

По закінченню машинного аналізу, щоб передбачити просторово-часову поведінку користувача для рішення проактивного кешування, результати аналізу зберігаються і використовуються повторно.

Розглянуто архітектуру проактивного кешування для безпроводових мереж 5G, що виконує обробку великої кількості даних на платформі великих даних використовуючи програмну платформу Hadoop та машинне навчання для оцінки популярності контенту, як одне з рішень подолання проблеми управління базової мережі та обмеженості транспортної мережі.

#### Література

1. Engin Zeydan, Ejder Bastug, Mehdi Bennis, Manhal Abdel Kader, Big Data Caching for Networking: Moving from Cloud to Edge, June 2016.
2. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the internet of things," in Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, Helsinki, Finland, August 2012.
3. M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "Wireless device-to-device caching networks: Basic principles and system performance," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 34, no. 1, pp. 176–189, Jan 2016.

## АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧА ОБСЛУГОВУВАННЯ В WiMAX/LTE НА БАЗІ IMS-АРХІТЕКТУРИ

Семендяк Є.С., Міночкін Д.А.

*Інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: semendyak@gmail.com*

### **Handover process algorithms analyze for WiMAX/LTE in IMS-based integration architecture**

To give users possibility to migrate between integrated WiMAX and LTE was decided to use IMS architecture as core, and now the priority tasks are effective planning of common radio resource management and ensuring transparent migrate subscriber includes mechanisms such as support for mobility, handoff to ensure QoS, security and billing. The common question that has to be solved when such different networks are integrating is vertical handover algorithms and principles.

Одна з проблем, пов'язаних з інтеграцією мобільних мереж WiMAX і 3GPP виникає з їх відмінності з точки зору автентифікації, авторизації та обліку (AAA процедур), контролю якості обслуговування (QoS механізми) та мобільності протоколів, що особливо помітно при процесі вертикальної передачі обслуговування. Одним з методів вирішення проблеми інтеграції цих мереж є спосіб побудови мережі оператора, при якому мережі з різними технологіями доступу розділяються на окремі підмережі, при цьому інтеграція цих мереж відбувається через незалежну мережу, яка грає роль ядра.

При інтеграції WiMAX і LTE, для надання можливості користувачам вільно мігрувати між ними, вирішено використовувати IMS в якості базової, при цьому пріоритетною задачею стає ефективне планування і управління спільними радіо ресурсами і забезпечення прозорого пересування абонента, що включає у себе такі механізми як підтримку мобільності, передачу обслуговування (хендовер), забезпечення QoS, систему безпеки та тарифікацію.

Особливу увагу при розгляді питання інтеграції WiMAX-LTE потрібно звернути на процес вертикальної передачі обслуговування з точки зору забезпечення безшовної і прозорої мобільності для користувачів у роумінгу між різними мережами доступу. IMS-рішення вирішує проблему безшовної вертикальної передачі обслуговування і підтримки QoS з використанням комбінації протоколів MIP і SIP. MIP використовується в якості протоколу управління мобільністю для забезпечення прозорої мобільності вище протоколу мережевого рівня і ініціювання сеансу SIP, який використовується для узгодження сеансу зв'язку під час VHO для забезпечення мобільних користувачів можливістю безшовної передачі обслуговування.

Для демонстрації процесу передачі обслуговування, наведено структуру мережі, в якій вона буде відбуватися (рис.1)[1].

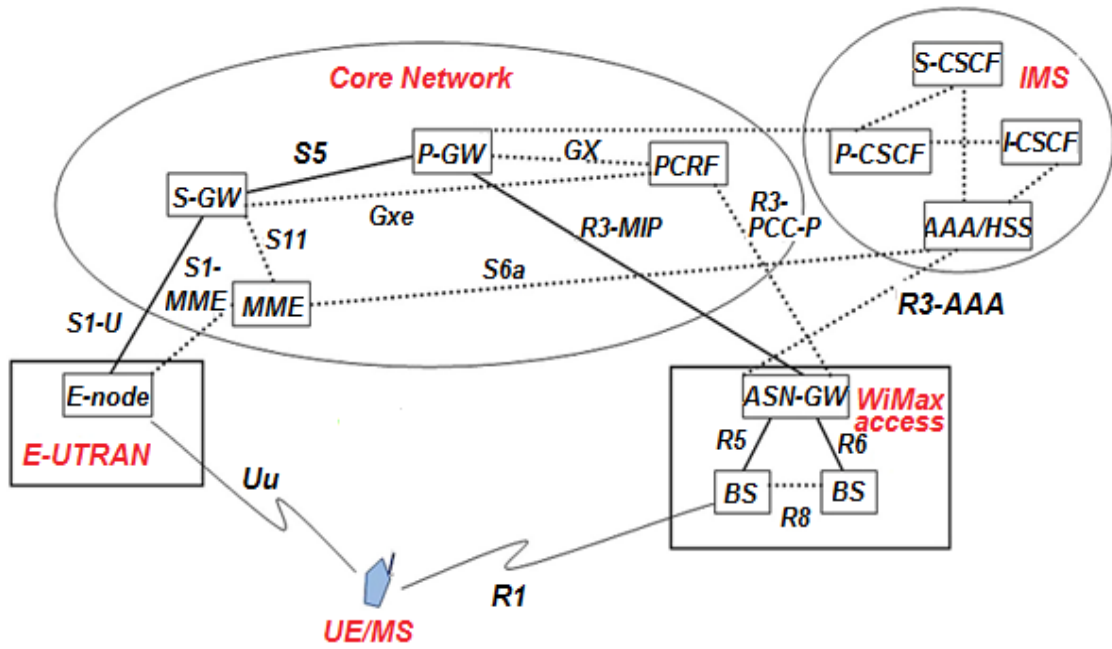


Рис. 1. Архітектура мережі WiMAX – LTE на базі IMS.

У відповідності до представленої архітектури, представлена сигналізація крос-шарової передачі обслуговування в запропонованій мережі, у випадку, якщо мобільна станція ініціювала передачу обслуговування (рис.2).

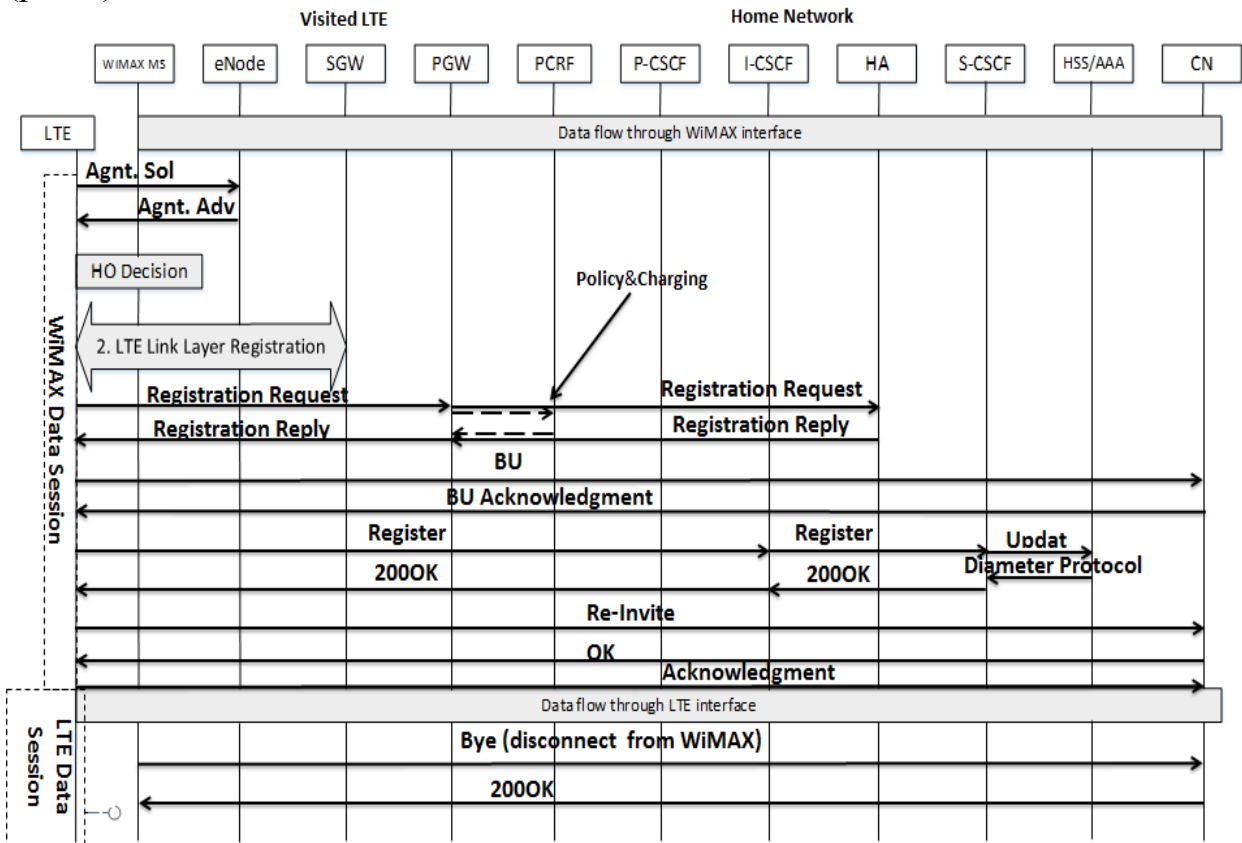


Рис. 2. Сигналізація крос-шарової передачі обслуговування.

Процес починається з спеціального каналного рівня реєстрації, де відбувається автентифікація МС і отримання доступу до цільової мережі.

Потім мобільна станція виконує МІР і ІМS-реєстрації, протягом цього процесу МС повинна обмінюватися повідомленнями з НА і S-CSCF для поновлення своєї care-of-адреси (CoA) і відповідно обслуговування P-CSCF. Крім того, МС обмінюється повідомленнями ініціалізації з CN, для уникнення проблеми трикутної маршрутизації (дейтаграми, адресовані мобільній станції повинні спочатку переслатись домашньому агенту, а вже потім в гостьову мережу мобільній станції, навіть якщо існує більш ефективний маршрут між кореспондентом і мобільною станцією). Нарешті, мобільна станція оновлює параметри сеансу і закінчує передачу трафіку через старий інтерфейс з CN за допомогою SIP повідомлення “Bye”(рис. 2).

Аналізуючи наведену сигналізацію процесу вертикальної передачі обслуговування WiMAX до LTE у випадку крос-шарової роботи VHO, яка відображає послідовність пересилань службових повідомлень в мережі в процесі передачі обслуговування, і порівнюючи процес передачі обслуговування з не крос-шаровим режимом роботи VHO з [2], можна зробити висновок, що в крос-шаровій схемі роботи VHO вартість сигналізації в середньому на 10 Кілобайт менша, ніж при роботі не крос-шарової схеми. Тому окрім того, що при передачі обслуговування, користувач не помітить цього, це зменшить навантаження на мережу оператора службовим трафіком при більшій кількості передач обслуговування. Тому вже при 1000 процесах передачі обслуговування, кількість надлишкової інформації, при використанні крос-шарової схеми, менша близько на 2,5 Мб.

## Література

1. Є.С. Семендяк, С.О. Кравчук, “Передача обслуговування в WiMAX/LTE на базі ІМS-архітектури”, Перспективи розвитку сучасної науки: Тези науково-технічної конференції; м. Київ, 19-22 квітня 2016р., Національний технічний університет України «КПІ», ІТС, НДІТ.
2. Tara A. Yahya, Nakima Chaouchi, On the integration of LTE and mobile WiMAX networks, in: IEEE 19th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN, 2010.
3. Хэндовер (Handover). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: <http://celnet.ru/НО.php>.
4. Кравчук С. О. Класифікація методів вертикальної передачі обслуговування / С. О. Кравчук, Д. А. Міночкін // Системи обробки інформації. — 2015. — № 12. — С. 123-126.
5. А.Л. Гельгор Е.А. Попов - Технология Lte Мобильной Передачи Данных [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <http://www.cee.spbstu.ru/Polozhintsev/popov3.pdf>.

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ ЦІЛЮВИХ ФУНКЦІЙ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ КЛАСУ MANET**

**Лукіна К.В., Шаповал О.М.**

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна*

*E-mail: sjabero@mail.ru*

### **Using the optimization methods for objective functions coordination in MANET mobile radionetworks**

The problem of objective functions coordination decentralizes the management of proposition to solve the optimization methods. The using of fuzzy sets theory is for decentralized systems with dynamic topology.

Невідповідність між складністю системи та здатністю органу управління вчасно отримувати та якісно обробляти інформацію про поточний стан системи управління, динамічність зміни зовнішнього середовища та підсистем системи управління, нестабільність зв'язків між ними, призводять до необхідності використання децентралізованих систем управління (СУ). Їх властивістю є можливість розподілу функцій управління за рівнями системи, прийняття рішень стосовно різних завдань у підрозділах різного рівня. Це дає змогу зосередити розв'язання стратегічних завдань на вищих рівнях управління, де їх розв'язання найбільш ефективно, в той час як завдання, залежно від їх складності та необхідних ресурсів, можуть розв'язуватися на нижчих рівнях, що забезпечує оперативність прийняття рішень і вищу точність.

В децентралізованій системі управління наявні спільні цілі (цільові функції (ЦФ)) [1] для всієї системи і окремі цілі (ЦФ) для підсистем. В залежності від умов функціонування, ці цілі не завжди збігаються, а іноді навіть суперечать одна одній або конкурують між собою. Отже, існує можливість того, що деяка підсистема, намагаючись досягти поставленої перед нею цільової функції, може діяти всупереч загальносистемній ЦФ. Тому з'явилася специфічна задача узгодження та координації ЦФ підсистем та систем управління в цілому.

Впровадження децентралізованої СУ є особливо актуальним в мобільних радіомережах (МР) класу MANET (Mobile Ad-Hoc Networks)[2] – системах без фіксованої інфраструктури, зі значною кількістю підсистем, які мають обмеження в ресурсах для автономної роботи за умови досягнення цілей керування системою протягом тривалого часу. Застосування радіомереж класу MANET охоплює сфери спеціального та цивільного призначення[3].

Критерієм оптимальності управління радіомережею, що відображає ступінь досягнення поставленої мети, є цільова функція (ЦФ) управління.

Особливості ЦФ управління мережами радіозв'язку класу MANET та їх класифікація наведені в [4]. До особливостей зазначених ЦФ відноситься те, що

більшість з них залежать одна від одної та можуть заперечувати одна-одній. Наприклад, мінімізація витрат енергії батареї абонентів призведе до росту кількості ретрансляцій або довжини маршруту передачі і збільшення часу передачі повідомлень.

Оскільки МР характеризуються частою та непередбачуваною зміною мережевої топології та постійною обмеженістю ресурсів вузлів (більшість з яких живиться від батареї), доцільним є динамічна зміна їх цільових функцій в залежності від пріоритетності поставлених завдань, типу трафіка, етапів і функцій управління тощо.

Таким чином, актуальною є задача розробки методів координації цільових функцій вузлових СУ в моменти динамічної зміни ЦФ мобільної радіомережі. Вибір методу координації залежатиме від стратегії управління, від параметрів вузлів та умов функціонування МР, від структури системи управління МР[5].

Питанням координації в науковій літературі приділяється недостатня увага і трактується координація по різному[6].

Класичною роботою з питань координації вважається робота М. Месаровича, Д. Мако, І. Такахара [7], а інші роботи продовжують та розвивають підходи М. Месаровича до вирішення задач координації. При цьому на сьогодні виділяють два види методів координації: ітеративні та безітеративні [8].

В ітеративних процедурах оптимальне рішення визначається в процесі ітеративного обміну інформацією між центром і елементами. На кожному кроці ітеративного процесу розв'язуються локально оптимальні задачі елементів і координуюча задача центру. Недоліком ітеративних методів координації, при застосуванні в MANET, є значні затрати мережевих та вузлових ресурсів для збору інформації про стан підсистем СУ та узгодження управляючих рішень, які приймаються ними.

У безітеративних алгоритмах прийняття рішення здійснюється в результаті однократного обміну інформацією між підсистемами. Перевагами безітеративних методів у разі застосування в СУ вузлами радіомережі MANET є мінімальні затрати мережевих і вузлових ресурсів та можливість прийняття рішень в умовах невизначеності. Недоліком усіх безітеративних методів є необхідність визначення і передачі на вищестоящий рівень керування всієї ефективної множини параметрів підсистем[9].

Визначено основні вимоги до методів координації мобільних радіомереж:

- здатність приймати рішення з координації за умов децентралізованого управління;
- мінімальна завантаженість мережі службовою інформацією;
- мінімальне використання енергоресурсів вузлів, які живляться від батареї;
- здійснення координації цільових функцій, як вузлів радіомережі, так і системи управління мобільної радіомережі в цілому.

Застосування класичних методів координації не забезпечує виконання вимог, що висуваються до методів координації МР, у зв'язку з невизначеністю (нечіткістю) вихідних параметрів вузлів радіомережі та динамічною природою

їх функціонування. Тому на сьогоднішній день розроблені різні модифікації методів координації управляючих впливів та узгодження локальних рішень, що приймаються на різних рівнях управління [10, 11, 12, 13]. Їх аналіз показав, що використання методів оптимізації для децентралізованих СУ дозволяє ефективно поліпшувати певні необхідні параметри ЦФ, а для МР з великою кількістю нечітких параметрів та постійною зміною стану доцільно використовувати методи багатокритеріальної оптимізації та теорії нечітких множин.

Таким чином, використання методів як багатокритеріальної оптимізації так і методів теорії нечітких множин є перспективним напрямком для розробки методів координації для децентралізованих систем управління МР класу MANET.

### Література

1. Ходаков В.Е. О развитии основ координации сложных систем [Текст]/ В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова, Д.Л. Кирийчук // Проблемы информационных технологий. – 2014. – №2(016). – С.25-30.
2. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / В.А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63 – 65.
3. Романюк В.А. Еволюція тактичних радіомереж: Тези доповідей та виступів учасників VI науково-практичного семінару [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”] / В.А. Романюк // – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2011. – С. 45 – 52.
4. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – К., 2012. –№ 1. – С. 109 – 117.
5. Миночкин А.И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
6. Катренко А.В. Механізми координації у складних ієрархічних системах / А.В. Катренко, І.В. Савка // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Інформаційні системи та мережі. – Львів : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”. – 2008. – С. 156 – 166.
7. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / Месарович М., Мако Д., Такахага И. ; пер. с англ. И.Ф. Шахнова. – М. : Мир, 1973. – 344 с. : ил.
8. Алиев Р.А. М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Алиев Р.А., Либерзон М.И. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.
9. Романюк В.А. Координація цільових функцій інтелектуальних систем управління тактичними радіомережами класу MANET / В.А. Романюк, Я.А. Стемпковська, О.А. Симоненко, О.Я. Сова // Збірник наукових праць ХУПС. – 2014. – № 3(40). – С. 85 – 92.
10. Сова О.Я. Метод координації цільових функцій інтелектуальних систем управління вузлами тактичних мобільних радіомереж / О. Я. Сова, В. А. Романюк, П. В. Жук, В. М. Ошурко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2014. - № 3. - С. 50-58
11. Бойченко О.В. Координація нечітких рішень в багаторівневій системі/ О.В. Бойченко // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2016. - №2(37) С.57-61
12. Кондрашов С.И. Концепция «линейной» координации сложной иерархической системы в условиях неопределенности / С.И. Кондрашов, Т.В. Дроздова // Системы обработки информации. – 2015. – № 2(127). – С. 143-145.
13. Фридман А. Я. Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами / А. Я. Фридман, О. В. Фридман // Информационно-управляющие системы. № 6. 2010. С. 13–20.



## ТЕНДЕНЦІЇ СТАНОВЛЕННЯ UWB ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПОБУДОВІ МАЙБУТНІХ ГЕТЕРОГЕННИХ БЕЗДРотовИХ МЕРЕЖ

**Бунін С.Г., Залозний О.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: aleksandrzalozniy@gmail.com*

### TENDENCIES OF BECOMING UWB FOR DEVELOPING FUTURE HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

UWB is a promising radio technology which is able to considerably improve current and future states of wireless networks. Combining the advantages of UWB with FCC restrictions significantly restrict its application field. However, this article reveals new facets of UWB concept for construction of future systems beyond 3G.

Використання надширокосмугових (UWB — Ultra-WideBand) сигналів швидкими обертами починає знаходити своє місце в сучасному телекомунікаційному світі. Впродовж останніх 20 років, UWB технологія вдало застосовується в радіолокації, зондуванні та військовому зв'язку.

Суттєві зміни відбулася у лютому 2002 року, коли Федеральна комісія зв'язку (FCC — Federal Communications Commission) видала постанову, яка дозволила використання UWB не тільки для радіолокації, але і для передачі даних. Смуга частот виділена для зв'язку становить 7.5 ГГц. На сьогодні — це найбільша смуга пропускання, яка офіційно надана у розпорядження для будь-якої комерційної наземної системи зв'язку. Дане рішення було здійснено незадовго після запеклих переговорів та багатомільйонних аукціонів стосовно розподілу спектра для 3G в 2000 році, які поповнили скарбницю європейського уряду більш ніж на \$100 млрд. Постановою FCC в питанні UWB була виділена смуга, яка складає 1500 розподілів ліцензійного спектра UMTS, та, саме цікаве, вищезгаданий частотний діапазон доступний для вільного використання.

Останній факт став головним упущенням FCC. Тому не дивно, що зусилля стосовно законодавчого врегулювання UWB у сфері радіозв'язку були зустріті з неприязню. Звісно ж, величезна пропускна здатність систем на основі UWB потенційно може запропонувати швидкості передачі даних на рівні Гбіт/с. Проте, виділена смуга частот для UWB виявилася занадто широкою, що беззаперечно призвело б до інтерференції з існуючими службами, які функціонують у межах первинного розподілу. Таким чином, FCC отримала майже 1000 супротивних звернень проти нововведеної постанови [1].

На щастя, FCC не відступила в просуванні нової ідеї запропонувавши деякі уточнення. Поступка полягала в обмеженні рівня випромінюваної потужності. Якщо оптимально використовувати весь діапазон 7.5 ГГц, то максимальна потужність передавача повинна складати приблизно 0.5 мВт. Це мала частина того, що доступно користувачам промислових, наукових і медичних діапазонів на частоті 2.45 ГГц (стандарти 802.11a/b/g). Дане обмеження фактично звужує сфери застосування UWB в межах приміщень, при невеликій дальності та високих швидкостях передачі даних (HDR — High Data Rates), або дальнього радіозв'язку, при малих швидкостях передачі (LDR — Low Data Rates). Застосування UWB в PAN може запропонувати швидкості від сотень Мбіт/с до декількох Гбіт/с на

відстань 1-4 м. При відстанях більше 20 м, досяжні швидкості передачі дуже низькі в порівнянні з існуючими WLAN.

Навіть при істотних обмеженнях випромінюваної потужності, UWB має величезний потенціал для побудови ad-hoc та однорангових (P2P — Peer-to-Peer) мереж. Однією із потенціальних можливостей UWB є здатність до гнучкого застосування для HDR, короткі радіолінії, та LDR, радіолінії дальнього зв'язку. Компроміс досягається за рахунок фізичної структури сигналу. Низька потужність передачі означає, що множинна низькоенергетичних UWB імпульсів повинна бути об'єднана для передачі 1 біта інформації. Фактично, варіації у швидкостях передачі даних на певну відстань можуть бути настільки ж простими, як збільшення числа імпульсів для перенесення 1 біта. Чим більше імпульсів на один інформаційний біт, тим нижче швидкість передачі даних, і тим більшу дальність можливо досягти. Таким чином, без значної модифікації радіоінтерфейсу швидкість передачі даних може бути змінена на декілька порядків в залежності від вимог системи. Це означає, що HDR і LDR пристрої повинні бути взаємодоповнюючими. Коротка тривалість імпульсу UWB надає можливість для високоточного позиціонування. Проте, кожен пристрій в мережі має бути "почутим" іншими пристроями з метою визначення власної позиції при оцінці затримки або кутів приходу сигналів від сусідніх джерел. Вищеперераховані особливості в поєднанні з тим фактом, що UWB імпульси з низькою випромінюваною потужністю важко виявити, в сукупності є причиною деяких суттєвих складнощів при проектуванні систем множинного доступу.

На рис. 1 показана область застосування UWB в існуючих та майбутніх мережах [2]. Зростаючий попит користувачів на поєднання мобільних та ad-hoc технологій (наприклад, WLAN та 2G) є очевидним індикатором для включення високошвидкісного бездротового зв'язку малої дальності, як фундаментального рішення для побудови майбутніх гетерогенних бездротових мереж.

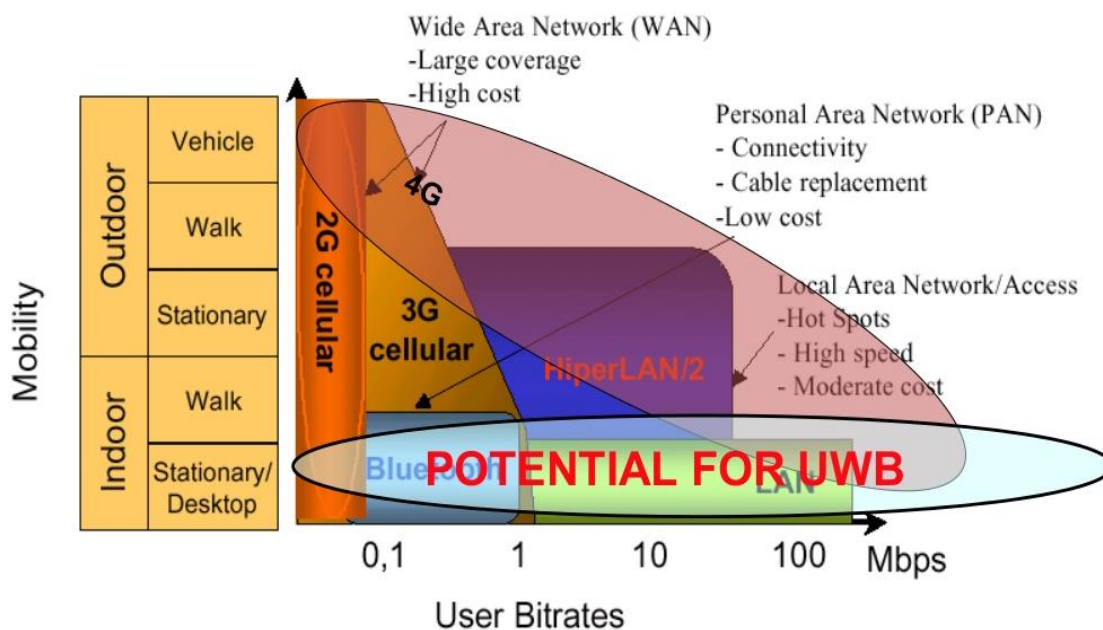


Рис.1. Взаємозв'язок між UWB та технологіями 2/3/4G

UWB системи спроможні прийти на заміну або виступати в ролі

доповнюючих технологій, які орієнтовані на HDR при коротких відстанях передачі (USB), а також LDR в системах дальнього радіозв'язку (сенсори, RFID). Очікується, що класи LDR пристроїв будуть конструкторськи простими та низької вартості. Очікуване поширення недорогих пристроїв UWB означає, що технічні рішення повинні бути сумісними з пристроями інших технологій або, бажано, взаємодіючими з UWB пристроями різними за функціональним призначенням. Обмеження на складність LDR пристроїв може означати, що перевага буде надаватися простим рішенням. HDR пристрої, очікується, будуть мати вищу ступінь складності, що вимагатиме більш складних технічних рішень для забезпечення бажаних показників.

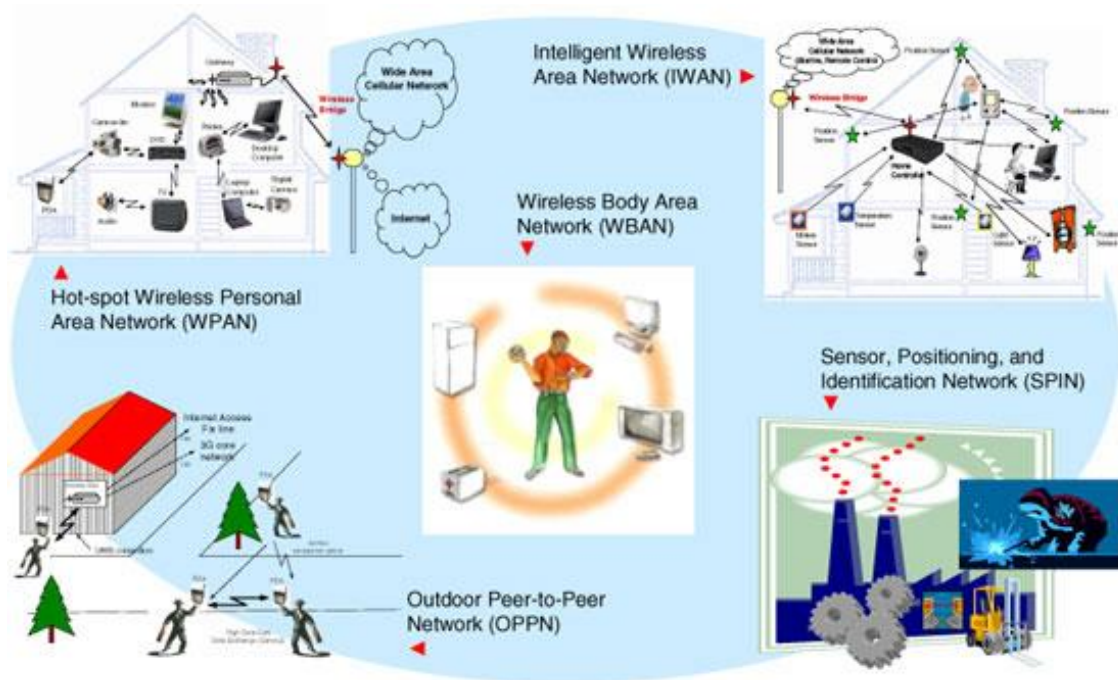


Рис.2. Застосування UWB [3]

На рис. 2 показано застосування UWB технології з точки зору членів проекту Європейського Союзу PULSERS. Запропонований сценарій охоплює WLAN, WPAN, сенсорні мережі, а також P2P мережі ближнього радіусу дії.

Таким чином, використання UWB дозволяє здійснити гнучкий перехід між HDR та LDR в залежності від дальності зв'язку без необхідності внесення істотних змін в приймально-передавальний пристрій. UWB відіграє важливу роль в якості розширення або доповнення при побудові майбутніх стільникових систем. Однак, для досягнення бажаної мети залишається багато роботи на шляху розширення меж використання UWB не лише в межах фізичного рівня, але і значно вищих.

### Література

1. I. Oppermann, "The Role of UWB in 4G", *Wireless Personal Communications* 29: 121-133, 2004.
2. J. Foerster, E. Green, S. Somayazulu and D. Leeper, "Ultra-Wideband Technology For Short- or Medium-Range Wireless Communications", *Intel Technology Journal* Q2, 11, 2001.
3. PULSERS White paper, in *Proceedings of WWRP 7*, Eindhoven, The Netherlands, December 2002.

## **ВИКОРИСТАННЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ У СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ**

**Бунін С.Г., Залозний О.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: aleksandrzalozniy@gmail.com*

### **USING UWB SIGNALS IN THE SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS**

Satellite communication systems allow to organize global communication. However, the dramatically growing users` demands on the larger telecommunications services and data flows need to be determined the new approaches and technology solutions for radio communication. This article presents an approach for future construction and upgrading modern satellite systems based on UWB. It will extend the boundaries of using UWB beyond the terrestrial systems only.

В даний час супутниковий сегмент в телекомунікаціях займає важливе місце та забезпечує системами зв'язку глобального покриття. Однак розвиток супутникових технологій, в порівнянні з наземними бездротовими технологіями, відбувається повільними темпами. В цей же час, сфера наземних технологій постійно сповнена нових ідей та радикальних змін. Однією з них є застосування надширокосмугових сигналів (UWB — Ultra-WideBand) при побудові систем наземного радіозв'язку. В таких системах передача інформації здійснюється в дуже широкому частотному діапазоні без отримання ліцензії та без створення перешкод іншим вузькосмуговим службам [1].

Найчастіше надширокосмугові сигнали використовуються в високошвидкісних бездротових персональних мережах WPAN з невеликою зоною покриття радіусом менше 10 м. Іншою важливою сферою застосування є розподілені сенсорні мережі або низькошвидкісні WPAN. Однак ключові особливості надширокосмугових систем можуть бути вдало використані в супутниковому зв'язку. Для цього необхідно переглянути обмеження на випромінювану потужність для супутникових UWB систем, оскільки наземні служби мають дещо відмінні підходи та особливості функціонування, або перенести робочі діапазони частот на частоти вище діапазону Ka, смуги частот в цих діапазонах доступні для розподілу при ліцензійному використанні. Таким чином, в супутникових UWB системах стає можливим застосування підходів на обмеження випромінюваної потужності відмінних від тих, що використовують при розгортанні наземних систем [2].

Згідно теоретичних досліджень представлених в [3], продемонстровано можливість використання UWB технології в супутникових системах. В ході роботи була розглянута радіолінія вниз “Космос-Земля” для геостационарного

супутника, який функціонує в Ku діапазоні. На рис.1 представлений концептуальний вигляд супутникової UWB системи.

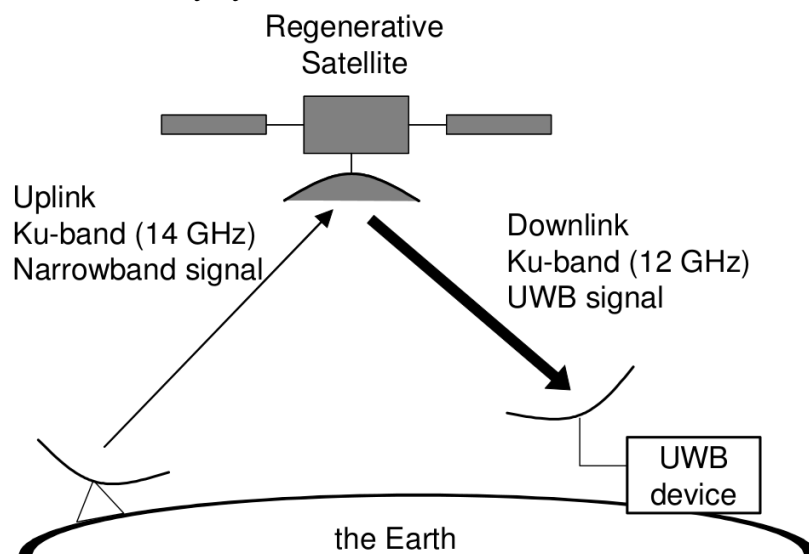


Рис. 1. Концептуальний вигляд супутникової UWB системи.

В супутникових UWB системах зв'язку, якщо випромінювана потужність передавача від супутника до Землі буде на тому ж рівні, як для наземних надширокосмугових пристроїв, то прийнятий рівень сигналу на поверхні Землі буде дуже низький, що не дозволить організувати надійний зв'язок. Однак, якщо спектральна щільність потужності сигналів, яка передається з надширокосмугових супутників на земну поверхню, буде вищою, ніж у наземних надширокосмугових передавачів, то це дозволить забезпечити радіозв'язок та організувати високошвидкісну передачу даних.

Тому, згідно теоретичного викладення в [3], якщо вважати випромінювану потужність, яка використовується в сучасних транспондерах, застосованою в супутниковому UWB зв'язку, теорія може стати реальністю. При забезпеченні випромінюваної потужності супутника рівною 108 Вт (20.3 дБВт) та діаметрі передавальної антени 1.27 м, то при даних характеристиках еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність (ЕІВП) з супутника буде значно більшою у порівнянні з наземними UWB системами малого радіуса дії. Проте, спектральна щільність потужності сигналу виміряного на поверхні Землі буде знаходитись в допустимих межах, як для наземних UWB пристроїв.

В табл.1 [3] представлений бюджет низхідної супутникової радіолінії розрахований для смуги частот 500 МГц в Ku діапазоні. Втрати у вільному просторі для сигналу з центральною частотою 6.85 ГГц на відстані 3 м складають близько 60 дБ, що є типовим значенням для UWB пристроїв при використанні спектра 3.1-10.6 ГГц. Для наземних UWB систем, спектральна щільність потужності на відстані 3 м від передавача становить -101.3 дБм/МГц.

Згідно даних табл.1 видно, що рівень потужності сигналу UWB отриманого від супутника на поверхні Землі (-148.1 дБм/МГц) набагато менший за рівень сигналу на відстані 3 м від наземного UWB терміналу. У

зв'язку з цим, супутникові системи на базі UWB технології не будуть причиною паразитного впливу на інші існуючі служби. Таким чином, супутникові системи на базі UWB технології дозволять забезпечити достатню величину сигналу на приймальній стороні.

Табл. 1. Бюджет низхідної лінії

Центральна частота:	12 ГГц
Смуга:	500 МГц
Потужність передавача:	20.3 дБВт
Діаметр антени:	1.27 м
Підсилення супутникової антени (ефективність = 60%):	41.8 дБі
ЕІВП:	65.1 дБм/МГц
Енергетичний запас лінії зв'язку:	5 дБ
Дощовий запас лінії зв'язку:	3 дБ
Втрати на трасі (частота 12 ГГц):	205.2 дБ
Спектральна щільність сигналу на поверхні Землі:	-148.1 дБм/МГц

Дослідницькі роботи, присвячені UWB можна розділити на три групи: вимірювання та моделювання каналу UWB, оцінка пропускної спроможності каналу, формування діаграми спрямованості антен. Дана технологія відносно молода, ще залишається низка проблемних питань, які необхідно вирішити в межах даних груп, на шляху конкурентного становлення UWB у сфері бездротового, в тому числі супутникового, зв'язку. Різні підходи та технічні рішення дозволять розкрити багатогранні аспекти даної технології, які стануть неоціненними набутками для майбутнього телекомунікацій.

Оскільки, супутниковий зв'язок відіграє важливу роль в житті сьогочасного суспільства, то побудова нових та модернізація сучасних супутникових UWB систем забезпечать споживачів новими послугами та відкриє нові ринки для провайдерів послуг.

Як результат, впровадження технології UWB в системи супутникового зв'язку є перспективним напрямком для подальших досліджень.

#### Література

1. Бунин С.Г., Долженко Д.О., Висоцький М.В., Плотник К.О., Застосування надширокопосмугових імпульсних радіосигналів у супутникових системах і системах дальнього радіозв'язку, Наукові Вісті № 6(74), 2010, с.5-10.
2. Кравчук С.А., Минович Д.А., Сова О.Я., Анализ направлений повышения эффективности функционирования современных систем спутниковой связи, Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків, ХУПС, 2013.-№2(11).-с.140-147.
3. Yoshio Kunisawa, Hiroyasu Ishikawa, Hisato Iwai, Hideyuki Shinonaga, “Satellite Communications using Ultra Wideband (UWB) Signals”, Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies (ISART 2004), March 2-4, 2004.

## ШЛЯХИ ПОБУДОВИ НАДІЙНОГО ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ РАДІОХВИЛЬ ЧЕРЕЗ ПЛАЗМУ

Шефер О.В.

Полтавський національний технічний університет

імені Юрія Кондратюка, Україна

E-mail: avs075@ukr.net

### The ways of radio waves reliable telemetrical communication due to plasma

New approach for the improvement of reliable and continuous telemetry with SC due to pulsed plasma exposure of artificially created radio impermeable outer shell, which is formed around a moving SC is proposed. This interaction of two plasma environments - natural and artificial, around crevice antenna could provide reliable and high quality channel of electromagnetic waves passage

Побудова завадостійких телекомунікацій є актуальною проблемою пов'язаною із утворенням високотемпературної плазми навколо КА під час виведення його на орбіту із швидкістю більше 5 Маха [1, 2].

Розв'язання поставленої проблеми відкриває практично невичерпні можливості супутникових телекомунікацій.

Високотемпературне плазмове середовище створює не проникну зону для електромагнітних коливань радіодіапазону. В результаті, відсутня зворотна інформація від КА та спотворення, або затримка в часі керуючих команд на нього. Це призводить до зниження безпеки руху КА. На рис. 1 наведено режими течії плазми навколо КА під час виведення КА на орбіту. Забезпечення якісного та безперервного зв'язку є актуальною проблемою.

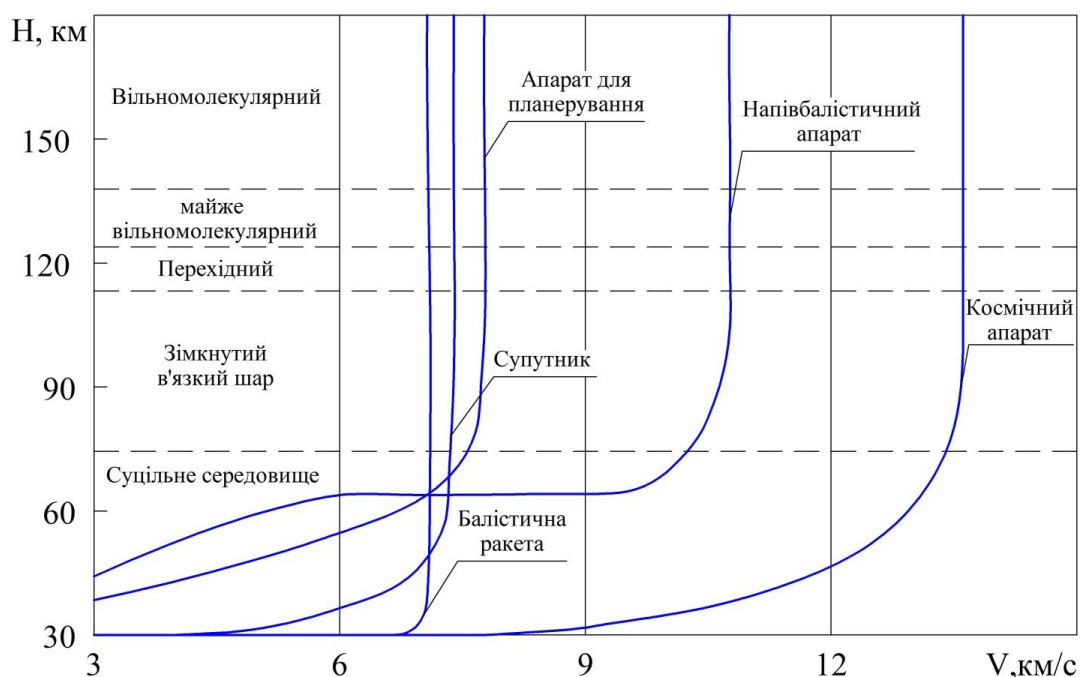


Рис. 1. Режими течії плазми під час виведення КА на орбіту

Спостерігається помітний прогрес у вивченні неврівноважених станів високотемпературного плазмового середовища, що оточує КА [1]. Під впливом позитивних іонів, що потрапляють на КА із великою енергією та швидких нейтральних атомів, котрі створюються в процесі перезаряджання іонів, на поверхні виникає велика вторинна електронна емісія. Ефект розряду плазми пояснюється коливальними рухами електронів, що пронизують плазму [4].

Для зменшення впливу плазми на зв'язок із КА, запропоновано кілька підходів [3]. Антени із тепловим захистом із зниженою чутливістю до взаємодії із високотемпературною плазмою аеродинамічного нагріву. Існує підхід пов'язаний із використанням довгих теплостійких антен, які виносяться за плівку плазмової оболонки.

Запропоновані підходи суттєво погіршують аеродинаміку рухомого об'єкта, хоча вони направлені на покращення завадостійкості проходження радіосигналу. У доступних літературних джерелах не наводяться шляхи направлені на створення завадостійкого середовища без погіршення аеродинаміки.

Створення завадостійкого каналу зв'язку, можливе шляхом підсилення сигналу, котре може бути створене резонансом, або узгодженими електромагнітними коливаннями, між плазмовою оболонкою та штучно створеним узгоджувальним шаром та КА. Як тільки резонанс буде досягнуто, енергія почне стійко циркулювати між плазмою та штучно створеним узгоджувальним шаром, аналогічно до звичайних конденсатора та котушки в електричному колі. Радіосигнал що надходить із пристрою радіолокації може розповсюджуватись через узгоджувальний шар та плазмову оболонку безперешкодно.

Для ефективної роботи цього підходу товщина узгоджувального шару і плазмової оболонки повинна бути меншою, ніж довжина електромагнітних хвиль, котрі використовуються для комунікації із КА.

Цей метод не працює, якщо частотний діапазон антен буде високим. Але саме високий частотний діапазон використовується в даний час. Тому даний підхід має лише теоретичні викладки, без практичного використання.

Підхід, вільний від зазначених недоліків, ґрунтується на створенні завадостійкого зв'язку шляхом впливу на плазмову оболонку із середини КА. Це можливо при взаємодії елементарних частинок високотемпературної плазми із штучно створеним джерелом елементарних процесів низькотемпературної плазми [5].

Плазма штучного походження просто утворюється в зонах позитивного стовпа та від'ємного випромінювання тліючого розряду [6]. Але плазма від'ємного випромінювання за інтенсивністю в 3 - 4 рази вище випромінювання плазми позитивного стовпа, а енерговитрати на її створення



в кількість разів менші, ніж на створення позитивного випромінювання.

При взаємодії позитивних іонів, що потрапляють на катод із великою енергією та швидких нейтральних атомів, котрі створюються в процесі перезаряджання іонів, на поверхні катода виникає велика вторинна електронна емісія. На основі цього в розряді спостерігається значно менша напруга горіння, ніж у аномального катодного падіння потенціалу.

Автором запропоновано генерувати навколо антени КА низькотемпературну плазму від'ємного випромінювання, котра відштовхує іонізований зовнішній потік високотемпературної плазми, тим самим створюється радіопроникне середовище. Даний процес відбувається без втручання у зовнішню конструкцію КА, а залежить лише від геометрії плазмових електродів, тиску та роду газу.

Проблема побудови систем підвищеної завадостійкості радіосигналів є далеко незавершеною, але проходженні частотно-селективного середовища завмирання гіпершвидкісним КА, із застосуванням штучно створеної плазми, забезпечить підвищення безпеки радіозв'язку без погіршення аеродинамічних властивостей та додаткових витрат на перетворення сигналів телеметрії.

Запропоновано новітній підхід для забезпечення надійної та безперервної телеметрії із КА, шляхом імпульсного впливу штучно створеною плазмою на радіонепроникну зовнішню оболонку, котра утворюється навколо рухомого КА. Така взаємодія двох плазмових середовищ – природного та штучного, навколо цільової антени, забезпечить надійний та якісний канал проходження електромагнітних хвиль.

## Література

1. Wolverton M. Piercing the Plasma: Ideas to Beat the Communications Blackout of Reentry. Scientific American. New York: Scientific American. 2009. no. 12. pp. 28–29.
2. Абламейко С. В. Спутниковые системы связи: пособие для студентов факультетов радиопизики и компьют. технологий / С. В. Абламейко, В. А. Саечников, А. А. Спиридонов. – Минск : БГУ, 2012. – 147 с.
3. Macheret S., Ionikh Y., Martinelli. and et. al. External Control of Plasmas for High -Speed Aerodynamics. Paper AIAA 99- 4853. 3rd WIG Workshop. Norfolk. VA. Nov. 1999, P. 16.
4. Smirnov Boris M. Theory of Gas Discharge Plasma. Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – P 423.
5. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. – Москва :Интеллект, 2009. – 736 с.
6. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В. Л. Грановский. – Москва: Наука, 1971.– 543 с.

## ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЧАСТОТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯМ

**Примаченко В.І.**

*Державний університет телекомунікацій, Україна*

*E-mail: vladuserzvir@ukr.net*

### Software implementation method of orthogonal frequency division multiplexing

In the work shows the software implementation of the method of orthogonal frequency multiplexing. It was determined that the high-speed transmission of data bandwidth signals associated with problems for the recipient, through the formation of additional channels caused by intersymbol interferences (intersymbol interference). To effectively eliminate intersymbol interference and reduce complexity equalizer technology is OFDM. The algorithm operations OFDM-modulation.

Нові покоління технологій радіодоступу впроваджуються з інтервалом приблизно десять років, щоб впоратися з ростом мобільного Інтернет-трафіка. Це дозволяє в повній мірі скористатися еволюцією технологічні компоненти без яких-небудь застарілого тягаря.

В 2010 р. завершено розробку специфікацій технології Long Term Evolution - Advanced (LTE-A), яка відноситься до 4-го покоління (4G) технологій мобільного зв'язку. Технології радіодоступу 5-го покоління (5G), як очікується, стануть доступні для комерційного запуску близько 2020 р. [1]. Їх розвиток триватиме до 2030 р., після чого ми зможемо отримати потенційний досвід користування технологіями 6-го покоління (6G).

Варто відзначити, що базовою технологією модуляції так і залишається технологія OFDM. Після перетворення паралельного коду в послідовний часовий інтервал OFDM-сигналу має форму

Символ OFDM може бути описаний як результат багатьох добутків модульованих субканалів в певному частотному діапазоні помножених на прямокутне вікно певної довжини. Для повного розуміння внутрішніх OFDM-процесів треба дослідити часову і частотну області.

Вираження в часовій області для OFDM-символа є добутком прямокутної віконної функції  $\omega(t)$  і субканалів задається формулою [2]

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [AS_c(t, f_c)] \omega(t) \quad (1)$$

де  $A$  - амплітуда несучої частоти субканалу;  $S_c$  - сигнал модульованого субканалу;  $f_c$  - несуча частота субканалу.

Спектр OFDM-символа в частотній області є результатом перетворення Фур'є:

$$S_c(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S_c(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

При поданні OFDM-символа в частотній області позиції піднесучих частот, і прямокутна віконна функція є ключовими змінними, від яких залежить ортогональність сигналу. Перетворення Фур'є в часовій області перетворить OFDM-символ модульовані піднесучі, тоді як прямокутна віконна функція перетворюється на sinc-функцію.

Множення модульованих піднесучих з прямокутним вікном в часовій області призводить до згортки імпульсів з sinc-функцією в частотній області. Кінцевим результатом згортки є sinc-функції, поміщені в усі позиції імпульсів.

Амплітудний спектр OFDM-символа обчислюється як

$$|S_c(f)| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} [A S_c(f + f_c)] A_{\omega} t_{\omega} \text{sinc}(f t_{\omega}) \right| \quad (3)$$

де  $A_{\omega}$  - амплітуда віконної функції;  $t_{\omega}$  - час віконної функції.

Подання формули амплітудного спектру OFDM-символа може бути спрощене

$$|S_c(f)| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} A A_{\omega} t_{\omega} \text{sinc}(t_{\omega}(f + f_c)) \right| \quad (4)$$

Рівняння (4) може бути описане як підсумовування sinc-форм сигналу в первинних імпульсних позиціях.

Детальний аналіз sinc-функції показує [2], що вона містить періодичні нулі, які є функцією довжини вікна і можуть бути визначені як

$$\text{sinc}(f_s t_{\omega}) = \begin{cases} 0; & \text{де } f_s = \frac{n}{t_{\omega}}; m \in [1, 2, \dots, \infty] \\ 1; & \text{де } f_s = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Оскільки усі модульовані субканальні імпульси є результатом використання прямокутної віконної функції, то і sinc-форма сигналу для кожного субканалу відповідатиме їй. При виборі частоти субканальних імпульсів необхідно дотримуватися відповідності періодичних нулів sinc-функції субканальним імпульсам, що гарантує незмінність інформації про субканали. OFDM-субканали тому і являються ортогональними один одному для кожного субканалу.

Виходячи з вищесказаного на рис. 1 представлено алгоритм виконання

операцій OFDM-модуляції. Перший блок в алгоритмі відповідає за введення вхідних даних та визначення характеристик операндів які будуть використовуватись в подальших розрахунках.

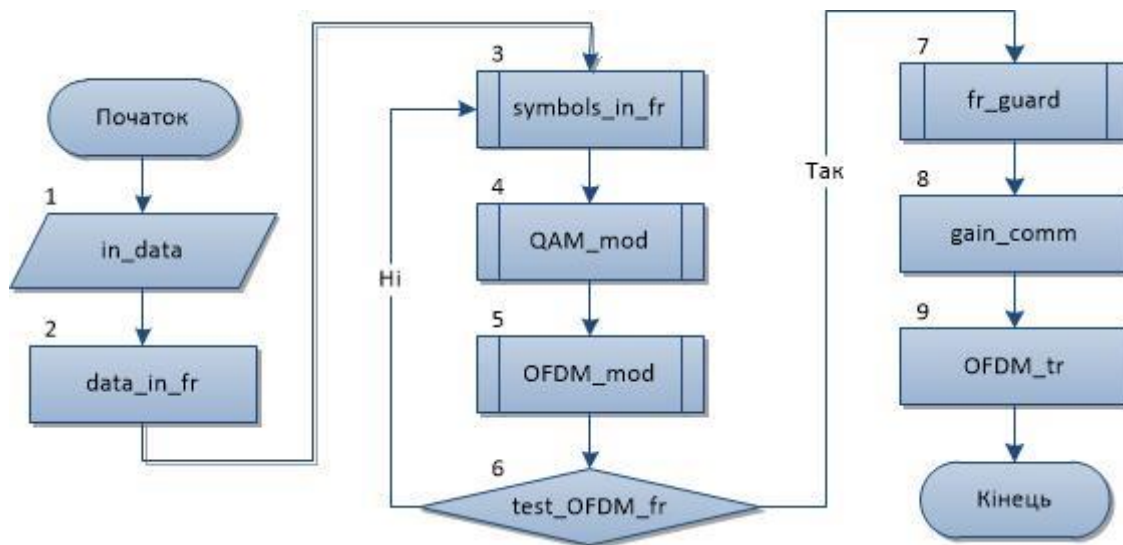


Рис. 1. Алгоритм виконання операцій OFDM-модуляції.

В наступному блоці виконуються операції формування потоку даних в кадри. Блок номер 3 визначає кількість символів на кадр. В блоках 4 та 5 виконуються операції QAM-модуляції (або іншого виду модуляції в залежності з потребою) та OFDM-модуляція за допомогою ОШПФ. Перевірка сформованості OFDM-кадру виконується в 6 циклічному блоці. Наступний блок призначений для визначення, формування та додавання до OFDM-кадру захисного інтервалу. Операція підсилення амплітудного значення кадру відповідно до рівня каналу зв'язку виконується в 8 блоці. Останній блок виконує функцію попередньої підготовки до формування вихідного сигналу, можливість виведення даних і підключення ЦАП.

В статті виконано опис роботи розробленого алгоритму виконання операцій OFDM-модуляції. Перевагою даного алгоритму є можливість його реалізації в програмно-конфігурованому радіо.

### Література

1. Mogensen Preben, Pajukoski Kari, Tirola E. 5G small cell optimized radio design [Електронний ресурс] Preben Mogensen, Kari Pajukoski, E. Tirola // – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/269304509\\_5G\\_small\\_cell\\_optimized\\_radio\\_design](https://www.researchgate.net/publication/269304509_5G_small_cell_optimized_radio_design)
2. John G. Proakis, Masoud Salehi “Communications Systems Engineering / John G. Proakis. - London: Pearson Education, 2002. - 801 p.
3. Munier Florent, Eriksson Thomas, Svensson Arne Receiver algorithms for OFDM systems in phase noise and AWGN [Електронний ресурс] Florent Munier, Thomas Eriksson, Arne Svensson // – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/2906843\\_Receiver\\_algorithms\\_for\\_OFDM\\_systems\\_in\\_phase\\_noise\\_and\\_AWGN](https://www.researchgate.net/publication/2906843_Receiver_algorithms_for_OFDM_systems_in_phase_noise_and_AWGN)

## **СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ РАДІОСИГНАЛУ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ СТАНДАРТУ DVB-S НА БАЗІ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ «КОМПЛЕКС МГ»**

**Волошин В.О., Авдєєнко Г.Л.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: voloshinvasily@gmail.com*

### **Radio transmission system of DVB-S digital television standard based on "Complex MG" radio-relay station**

Practical study of the possibility of digital television broadcasting's radio transmission of DVB-S standard which use combined modulation method through radio group analog radio relay line using transceiver equipment of the radio relay stations.

Формування мережі вітчизняних радіорелейних ліній (РРЛ) прямої видимості почалося близько шістдесяти років тому [1, 2]. При цьому вирішальний внесок у створення вітчизняної радіорелейної техніки трьох поколінь і в її освоєння заводами-виробниками вніс Науково-дослідний інститут радіо (НДІР) колишнього СРСР. Приблизно за три десятиліття активного розвитку радіорелейної мережі СРСР її загальна протяжність перевищила 150 тис. км. Мережа забезпечувала роботу 100% наземних каналів передачі ТВ-програм і приблизно чверті всіх каналів тональної частоти. Все вітчизняне радіорелейне обладнання було побудовано на функціональних елементах, що серійно випускалися електронною промисловістю СРСР, включаючи й такі промислові підприємства УРСР, як НПП «Сатурн» (м. Київ), «Оріон» (м. Київ), ЧеЗаРа (Чернігівський завод радіоприладів, м. Чернігів) та інші. Частка цифрових РРЛ (ЦРРЛ) до початку перебудови була порівняно невелика, і практично всі вони були імпортними.

В сучасній Україні необхідність повного витіснення аналогових РРЛ вітчизняними цифровими РРЛ давно вже не предмет дискусій, і лише брак коштів затримує повсюдне завершення цього процесу. На жаль, усвідомлення важливості активного розвитку мережі ЦРРЛ сталося в нашій країні з явним запізненням. Одна з причин - недалекоглядне падіння інтересу до РРЛ, що обумовлене швидким розвитком систем передачі сигналів по волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ) та супутниковим лініям зв'язку. Світова практика спростувала погляд на РРЛ як на відмираючий вид зв'язку. Звичайно, РРЛ не може конкурувати з фіксованою і радіомовною супутниковою службою в ефективності доставки мовних програм на далекі відстані з покриттям великих зон прийому (хоча в відносній надійності зв'язку перевага залишається за РРЛ). За пропускнуою спроможністю і дальністю передачі без переприйомів РРЛ ніколи не зможуть зрівнятися з ВОЛЗ. У той же час вимоги до засобів зв'язку настільки залежать від конкретних умов їх застосування, що часто ті чи інші видатні можливості однієї системи передачі виявляються надлишковими, а певні якості іншої

знаходять вирішальне значення.

Проте РРЛ мають значний ряд переваг перед іншими видами зв'язку : дешевизна, швидкість розгортання, простота обслуговування при малих витратах, легкість побудови мереж зв'язку з будь-якою топологією, висока надійність, здатність долати будь-які природні перешкоди і застосовуватися до будь-яких особливостей рельєфу і властивостей ґрунту, захищеність від впливу природних стихій і проявів вандалізму, екологічна безпека і т.д. Все це виявилось затребуваним з появою технологій цифрового зв'язку і дозволило РРЛ повернути втрачені позиції. Неспроста закордонні колеги не тільки не виводять з експлуатації РРЛ, а продовжують їх модернізацію в плані нарощування їх пропускної здатності, хоча питома вага цих ліній в ряді країн істотно (у рази) більше, ніж в Україні.

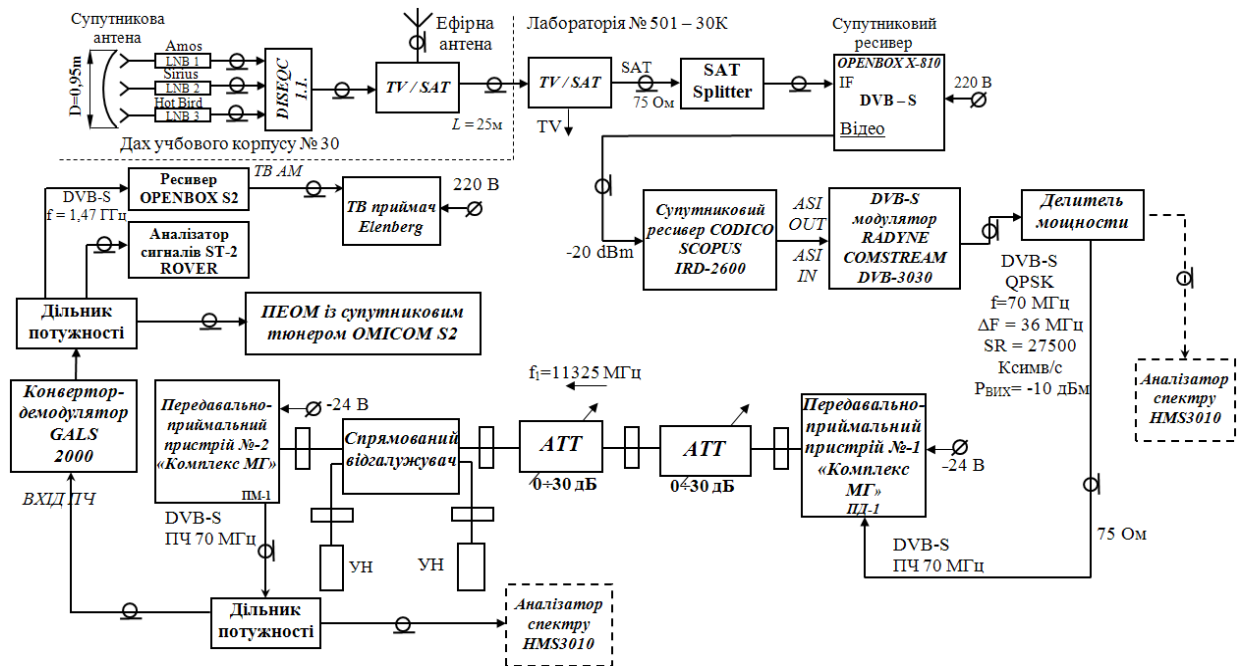


Рис. 1. Структурна схема для організації передачі радіосигналу цифрового телебачення стандарту DVB-S через ствол РРЛ на базі РРС «Комплекс МГ».

Перехід на цифрові методи обробки сигналів безмірно розширив технічні можливості систем передачі, що сприяло різкому поліпшенню якості зв'язку, що дозволив робити зв'язку апаратуру більш надійною, компактною і технологічною, вирішив на недосяжному до цього рівні завдання моніторингу мереж зв'язку і маршрутизації переданих по них інформаційних потоків. Він же викликав до життя і зробив широко доступними такі блага цивілізації, як Інтернет, мобільний зв'язок, інтерактивне телебачення, різні мультимедійні послуги. Тому пошук способів використання або адаптації вже існуючої інфраструктури РРЛ [3], призначених для передачі аналогових сигналів, для передачі цифрових сигналів при її мінімальній модернізації є для України актуальною задачею.

Радіорелейні станції «Комплекс МГ» дозволяють провести «оцифровку» ствола РРЛ за рахунок комплексних мір направлених на адаптацію

передавального та приймального трактів під сигнал стандарту DVB-S шляхом використання спеціалізованого обладнання (модемів, конверторів тощо), що відображено на рис.1.

На рис.2-3 зображено схему організації регіональної мережі ТВ мовлення в стандарті DVB-T на базі аналогової РРЛ, що передає ТВ транспортний потік до ТВ ретранслятору в форматі DVB-S.

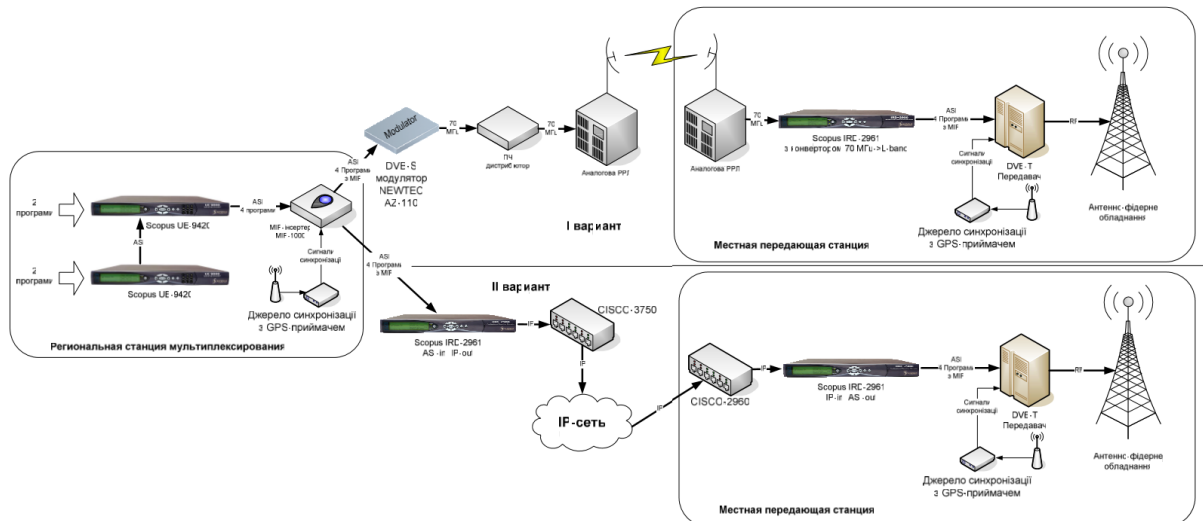


Рис. 2. Схема організації регіональної DVB-S мережі з допомогою ефірного ретранслятора.

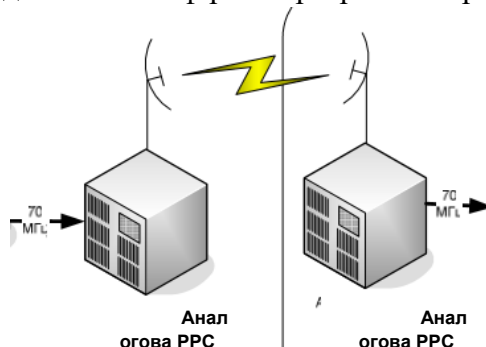


Рис. 3. Ділянка з використанням аналогової РРЛ для передачі цифрового сигналу.

В роботі досліджено можливості передачі цифрового телевізійного мовлення по радіо стандарту DVB-S та проаналізовано параметри сигналу DVB-S на вході та виході аналогової РРЛ і відображено основні спотворення, які відбуваються зі спектром сигналу та його сигнальним сузір'ям.

### Література

1. Каменский, Н.Н. Разработки в области радиорелейной связи прямой видимости.// Прил. к журналу “Электросвязь”. ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ: история и современность. – 2005. – No 4.
2. Поборчий, Е.Д. Итоги и перспективы развития техники для внутризонавой и сельской радиорелейной связи// “Электросвязь”. – 2002. – No 12.
3. Бутенко В.В., Цифровизация сети РРЛ прямой видимости, Вестник святы - No 8.

## СПОСІБ ПРОСТОРОВОЇ СЕЛЕКЦІЇ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В ДОВІЛЬНІЙ ХВИЛЬОВІЙ ЗОНІ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО АЛГОРИТМУ КЕЙПОНА

**Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є.А.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: django2006@ukr.net*

### Method of spatial selection of radio sources in any wave zone based on modified Capon's algorithm

Limitations of the use of modern direction finding algorithms are shown. A method for spatial selection of radio signals based on the use of the modified Capon's direction finding algorithm is proposed. The thesis will be useful for specialists involved in adaptive interference suppression in antenna arrays.

У патенті [1] авторами запропонований спосіб визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання (ДРВ) в ближній зоні (БЗ). Основою способу є алгоритм пеленгації ДРВ високої роздільної здатності для плоского фазового фронту електромагнітної хвилі (ЕМХ) відомий як алгоритм Кейпона, який був модифікований [2] для роботи зі сферичним фазовим фронтом у БЗ. Це дозволяє визначати не тільки пеленги на кілька ДРВ, але й дальності до них, коли ДРВ знаходиться в БЗ.

Однак практичне застосування даного способу дозволяє створювати тільки радіопеленгатори, оскільки алгоритм Кейпона не виявляє інформаційну складову сигналів, що обмежує його використання, наприклад, у системах радіомоніторингу. Тому удосконалимо спосіб визначення місцезнаходження ДРВ шляхом введення просторової селекції сигналів і подальшого здійснення послідовно або по пріоритетності розпізнавання їх інформаційної структури (демодуляції).

Для цього в розглянутому способі [1] визначення місцезнаходження ДРВ у хвильовій зоні, що включає прийом від ДРВ радіосигналів кожним з  $M$  ідентичних антенних каналів (рис. 1) еквідистантної лінійної антенної решітки (АР), розташованих один відносно другого на відстані половини середньої довжини хвилі  $\lambda_0$  частотного діапазону, підсилення їх в кожному приймальному каналі, вимір несної частоти  $f$  прийнятих сигналів, визначення кутових напрямків приходу сигналів (пеленгів) і оцінювання дальності до ДРВ за допомогою модифікованого алгоритму Кейпона, здійснимо розпізнавання інформаційної структури сигналів за допомогою наступного алгоритму:

1) розрахунок адаптивним процесором оцінки прямої  $\mathbf{R}_{xx}$  та оберненої  $\mathbf{R}_{xx}^{-1}$  кореляційних матриць і обчислення керуючого вектора-стовпця  $\mathbf{S}_a$  АР за допомогою модифікованого алгоритму Кейпона;

2) розрахунок вектору вагових коефіцієнтів (ВВК) АР;

3) зважування сигналів АР;

4) демодуляції просторово відселектованих сигналів.



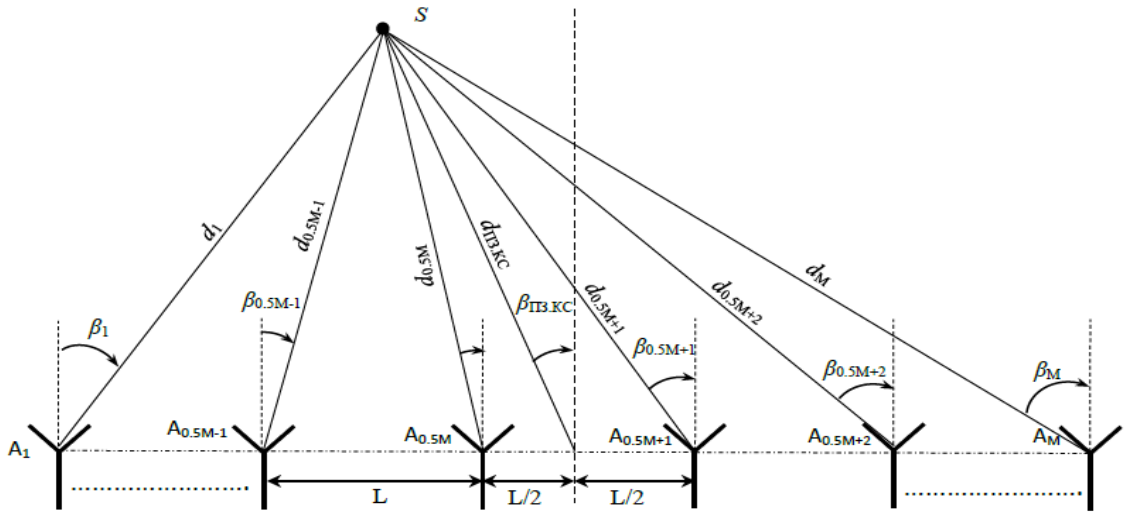


Рис. 1. Еквідистантна лінійна М-елементна АР.

Модифікований алгоритм Кейпона [2] для визначення кількості джерел передбачає обчислення функції вихідних сигналів лінійної АР (рис. 1), яка залежить як від кута приходу, так і від дальності і представляється у виді

$$V(\beta_0, d_0) = \frac{1}{F^2(\beta) \cdot \mathbf{S}_a^H(\beta_0, d_0) \cdot \mathbf{R}_{xx}^{-1}(\beta) \cdot \mathbf{S}_a(\beta_0, d_0)}, \quad (1)$$

де  $F(\beta)$  – діаграма спрямованості (ДС) окремого елемента АР (вважатимемо всі елементи АР ідентичними);  $\mathbf{R}_{xx}$  – оцінка кореляційної матриці вхідних сигналів АР;  $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_N(t)]^H$  – вектор-стовпець вхідних сигналів АР;  $\mathbf{S}_a(\beta_0, d_0)$  – керуючий вектор-стовпець АР, рівний

$$\mathbf{S}_a(\beta_0, d_0) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(-jkd_1(\beta_0, d_0)) \\ \vdots \\ \exp(-jkd_N(\beta_0, d_0)) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Тому перший етап алгоритму починається з визначення за допомогою процесора оцінки прямої  $\mathbf{R}_{xx}$  та оберненої  $\mathbf{R}_{xx}^{-1}$  кореляційних матриць вхідних сигналів

$$\mathbf{R}_{xx} = \frac{1}{2K} \sum_{i=1}^K \mathbf{x}(t_i) \cdot \mathbf{x}^H(t_i) = \frac{1}{2K} [\mathbf{x}(t_1) \cdot \mathbf{x}^H(t_1) + \mathbf{x}(t_2) \cdot \mathbf{x}^H(t_2) + \dots + \mathbf{x}(t_K) \cdot \mathbf{x}^H(t_K)], \quad (3)$$

де  $K$  – кількість часових відліків.

Аналогічно з процесора для обраного ДРВ запитується значення керуючого вектора-стовпця (2) при його знаходженні у БЗ і (2.а) – в в дальній зоні (ДЗ).

$$\mathbf{S}_a(\beta) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(-j(2\pi L \sin \beta)/\lambda) \\ \vdots \\ \exp(-j((N-1)\pi L \sin \beta)/\lambda) \end{bmatrix}. \quad (2.a)$$

Другий етап алгоритму пов'язаний з розрахунком оптимального ВВК АР

виду (рис. 2)

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \dot{w}_1 & \dot{w}_2 & \dots & \dot{w}_M \end{bmatrix}^T, \quad (4)$$

знаходження якого, наприклад, по критерію СКВ зводиться до відомого [3] рівняння Вінера-Хопфа

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{R}_{xd}. \quad (5)$$

В вирази (5) матриця  $\mathbf{R}_{xd}$  є взаємна кореляційна матриця вектора-стовпця вхідного сигналу АР і опорного сигналу. Вибір останнього це окрема задача.

Наприклад, у даному випадку, при розташуванні ДРВ в БЗ  $\mathbf{R}_{xd} = \mathbf{S}_\alpha(\beta_0, d_0)$ , а при розташуванні ДРВ в ДЗ  $\mathbf{R}_{xd} = \mathbf{S}_\alpha(\beta)$ .

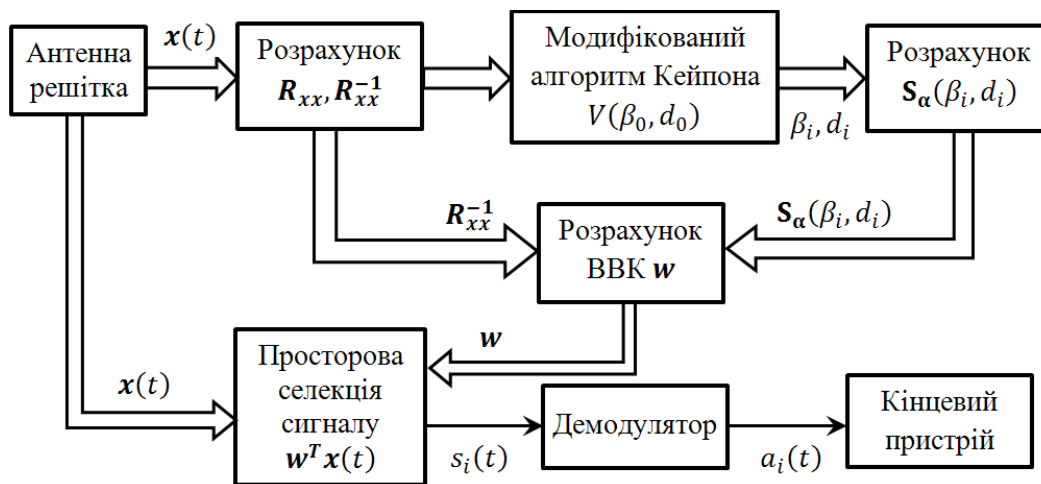


Рис. 2. Структурна схема способу просторової селекції сигналу від  $i$ -го ДРВ на базі модифікованого алгоритма Кейпона.

Для зважування сигналів АР отриманим ВВК необхідно перемноження процесором адитивної суміші сигналів в кожному каналі АР (рис. 2) на відповідний ваговий коефіцієнт і складання цих перемножених сигналів для формування ДС, яка просторово селектує досліджуваний сигнал від інших завадових. Для виділення кожного з сигналів необхідно сформувані різні вагові коефіцієнти і відповідно різні ДС.

Отриманий після селекції сигнал  $i$ -го ДРВ  $s_i(t)$  (рис.2) надходить на демодулятор, на виході якого з'являється інформаційний сигнал  $a_i(t)$ , що поступає на кінцевий пристрій.

#### Література

1. Деклараційний патент на корисну модель № 113916 (Україна). Спосіб визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання в ближній зоні, кл. G01S5/08 // Авдєєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Якорнов Є. А. та інш. - Промисл. власність, 2017, № 4.
2. Авдєєнко Г.Л., Корсак В.В., Якорнов Є.А. Модифікація алгоритму Кейпона для визначення пеленгу на джерела радіовипромінювання при сферичних фронтах їх електромагнітних хвиль у місці прийому. Матеріали Десятої МНТК «Проблеми телекомунікацій» (ПТ-16) К.: НТУУ «КПІ», 2016, с. 529-531.
3. Б. Уидроу, С. Стирнз. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.

## **ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧИЙ В ФОРМАХ ФАЗОВЫХ ФРОНТОВ ИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

**Авдеенко Г.Л., Якорнов Е.А.**

Институт телекоммуникационных систем

НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»

*E-mail: djangoo2006@ukr.net*

### **Problems of practical implementation of radio relay links based on the usage of differences in the forms of phase fronts of their electromagnetic waves**

The problems of practical implementation of method for capacity improving of radio relay line with time division duplex are presented. Its based on the usage of differences in the forms of phase fronts of their electromagnetic waves from two sources of radiation. This thesis can be useful for microwave equipment vendors.

В патентах [1,2] авторами показана принципиальная возможность использования различий в формах фазовых фронтов (ФФФ) электромагнитных волн (ЭМВ) для повышения производительности радиорелейной линии связи (РРЛС) прямой видимости. Эта возможность позволяет за счет некоторого усложнения антенно-фидерных систем (АФС) корреспондирующих радиорелейных станций (РРС) одновременно задействовать один и тот же пролет и полосы радиочастот на передачу/приём двум операторам (провайдерам) услуг связи, тем самым в 2 раза уменьшая количество потребляемого радиочастотного ресурса в сравнении с обычной двухствольной РРЛС.

Суть предложенного в [1] способа повышения производительности РРЛС заключается в следующем. При отсутствии различий в ФФФ каждый из двух каналов передачи и приема РРС может работать автономно в своём диапазоне рабочих частот  $f_1$  и  $f_2$  (или как два независимых ствола РРС), выполняя прописанные в способе [1] операции, а именно: каждая РРС излучает в направлении соседней РРС и принимает от нее СВЧ сигнал-переносчик информации на одной и той же несущей частоте с разделением во времени излучения и приема на данной РРС сигнала с временным уплотнением каналов. То есть, при отсутствии различий в ФФФ ЭМВ, оператор №1 использует временной дуплекс для организации двухсторонней передачи информации по РРЛС от РРС №1 к РРС №2 и обратно в диапазоне частот  $f_1$ , а оператор №2 использует ту же РРЛС, но временной дуплекс в ней организован в диапазоне частот  $f_2$ , причем выбор  $f_1$  и  $f_2$  регламентируется соответствующими рекомендациями МСЭ-Р.

При наличии различий в ФФФ ЭМВ, то есть при работе РРС в зоне Френеля АФС другой РРС и наоборот [2], в АФС обеих РРС вводится пространственная обработка сигналов, что может увеличить производительность РРЛС как минимум вдвое. Это позволит одновременно обеспечить двухстороннюю передачу информации от операторов №1 и №2 с использованием в РРЛС временного дуплекса в одной и той же полосе частот, то есть  $f = f_1 = f_2$ . Указанный положительный эффект достигается или за счет использования уже имеющихся различий в ФФФ их ЭМВ или путем искусственного создания нужной конфигурации фронта ЭМВ в канале передачи АФС РРС №1, например, такой, чтобы в приемном канале АФС РРС №2 в диапазоне частот  $f$  формировался плоский фронт волны от оператора №1 и неплоский от оператора №2. Решение о введении режима пространственной обработки принимается оператором(ми) исходя из условий использования РРЛС по данным моделирования зависимости отношения сигнал/(шум+сумма помех) (ОСПШ) в приемном канале РРС от размера базы  $x$  АФС РРС для разных дальностей  $d$  пролета РРЛС [2].

Однако для практической реализации предложенной в [1,2] концепции пространственной обработки сигналов по различию их ФФФ ЭМВ необходимо решить ряд традиционных и нетрадиционных задач, первоочередными из которых являются:

1) всестороннее обоснование необходимости повышения скорости передачи информации по РРЛС, во-первых, без увеличения количества частотных каналов РРЛС (то есть, чтобы несколько радиостволов, принадлежащих одному или разным операторам РРЛС, работали на одном и том же частотном канале), во вторых, без перехода в новые диапазоны частот (в миллиметровый, терагерцовый) и, в-третьих, без расширения полосы частот ствола;

2) более глубокое теоретическое обоснование возможности применения пространственной селекции по ФФФ для решения задачи повышения скорости передачи на РРЛС (то есть, для возможности организации на РРЛС нескольких одновременно параллельно работающих в одной и той же полосе радиочастот стволов);

3) теоретический анализ возможности синтеза той или иной ФФФ ЭМВ путем пространственной интерференции сферических фазовых фронтов, излучаемых АФС РРС;

4) рассмотрение вопроса выбора (синтеза, создания) оптимальных ФФФ при заданных конфигурациях АФС корреспондирующих РРС, при которых в каждом радиостволе приемной РРС возможно обеспечить наилучшее разделение сигналов друг от друга по критерию максимума ОСПШ;

5) синтез алгоритмов пространственной обработки для передающего

тракта АФС РРС, забезпечуючих формування в просторі між кореспондуючими РРС фазових фронтів ЕМВ от різних стволів (роботаючих на одній і тій же частоті (полосі радіочастот)) с оптимальними ФФФ;

б) синтез алгоритмів оптимальної просторової селекції для прийомного тракту АФС РРС, забезпечуючих розділення по ФФФ ЕМВ різних стволів (роботаючих на одній частоті) с найкращим якістю виходячи з заданого критерія оптимальності (наприклад, максимуму ОСПШ);

7) розрахунок показників ефективності просторової селекції по ФФФ ЕМВ, вивід обмежень на використання просторової обробки сигналів по ФФФ ЕМВ, визначення максимальної кількості одночасно роботаючих стволів, які можуть використовувати один і той же частотний ресурс, не мешаючи один одному за рахунок різної ФФФ ЕМВ;

8) оцінка помехостійкості прийому сигналів при використанні просторової обробки по ФФФ ЕМВ, яка повинна бути не гірше того рівня помехостійкості, що є в сучасних РРЛС. Це є необхідним вимогою до якості методу просторової селекції по ФФФ ЕМВ, який буде накладувати обмеження на область застосування даної селекції: по дальності, по широкوپолосності, по складності побудови АФС і т.д. Тут передбачається здійснити оцінку ступеня взаємного проникнення сигналів в різні канали, то є визначення так званого залишку шуму, проникаючого в канал прийому при селекції корисного для даного каналу сигналу і подавленні інших;

9) експериментальна перевірка реалізованості просторової селекції по ФФФ ЕМВ, наприклад, двох радіосигналів цифрового ТВ стандарту DVB-S з допомогою лабораторного макета симплексної РРЛС;

10) розробка рекомендацій по застосуванню просторової селекції для удосконалення діючого і створення майбутнього парку РРЛС в тому числі на основі системи, запропонованої в [2].

### Література

1. Деклараційний патент на корисну модель № 104241 (Україна). Спосіб забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями, кл. Н04В7/14 //Авдєєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Якорнов Є. А. та інші. - Промисл. власність, 2016, № 2.
2. Деклараційний патент на корисну модель № 104240 (Україна). Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями, кл. Н04В7/14 //Авдєєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Якорнов Є. А. та інші. - Промисл. власність, 2016, № 2.

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ В ТРАНСПОРТНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ НАСТУПНИХ ПОКОЛІНЬ**

**Наритник Т.М., Авдєєнко Г. Л., Єрмаков А.В.,Лутчак О.В.**

*НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського  
e-mail:director@mitris.com*

### **Analysis of terahertz range telecommunication systems usage for the next generation of transport distribution networks**

This paper studies the main trends and prospects of transport distribution networks development (Mobile backhaul) and the possibilities of using fixed wireless communication systems in the terahertz range to build 4G and 5G mobile networks. Designed and experimentally investigated radio communication system of terahertz range (130-134 GHz) with application to build high-speed (over 1 Gbit/s) transport distribution networks is described.

На даний момент часу в світі йде процес освоєння терагерцового діапазону частот. І однією із перспективних сфер застосування терагерцових технологій є системи телекомунікацій [1-4]. Зокрема, провідними науково-технічними школами світу створюються принципово нові за габаритами, заводостійкістю та енергоефективністю пристрої суб- та терагерцового діапазону для транспортних мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління (4G/LTE та 5G), для високошвидкісної передачі відеосигналів високої та надвисокої чіткості, для радіорелейних систем прямої видимості та радарів для високоточного виявлення і розпізнавання малорозмірних швидкісних цілей і сенсорів для отримання більш точної та детальної оперативної інформації про стан контрольованого об'єкта або місцевості.

Відомо, що для технологій стільникового зв'язку LTE і 5G потрібна величезна смуга частот, а тому поширення цих технологій стримується дефіцитом вільного радіоспектру. Одним з рішень для побудови мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) є використання телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону та перехід на малі стільники (мікростільники, піко- і фемтостільники), які являють собою базові станції з обмеженим діапазоном дії і які встановлюються для розширення зони покриття базових станцій макрорівня. Маючи невелику дальність передачі, ці малі стільники дозволять задіяти технології багаторазового використання частот для більш ефективного витрачання доступного спектру.

Системи малих стільників також називаються гетерогенними мережами або HetNets з часом можуть стати основою стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G). Малі стільники можуть працювати в терагерцовому діапазоні, що дозволить отримати радіоспектр, необхідний для розширення зони покриття. Метою даної роботи є аналіз основних тенденцій та перспектив розвитку транспортних розподільчих мереж (Mobile backhaul) та

можливостей використання телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону в рамках побудови мереж мобільного зв'язку 4G та 5G.

Класична транспортна мережа оператора мобільного зв'язку складається з двох основних сегментів [4]:

- розподільної мережі (backhaul), що зв'язує базові станції (BTS) з контроллерами (BSC) і центрами комутації мобільного зв'язку (MSC);
- магістральної мережі (backbone), що забезпечує високошвидкісний транспорт між центрами комутації MSC.

У ієрархії телекомунікаційних мереж (рис.1) мережі backhaul займають позицію проміжної ланки ("середньої милі") між базовою мережею (Core Network) і мережею доступу. Швидке зростання трафіку мобільних мереж при переході до нових високошвидкісних мереж 4G і 5G є одним з головних спонукальних мотивів для операторів для збільшення інвестицій в розвиток мережі backhaul.

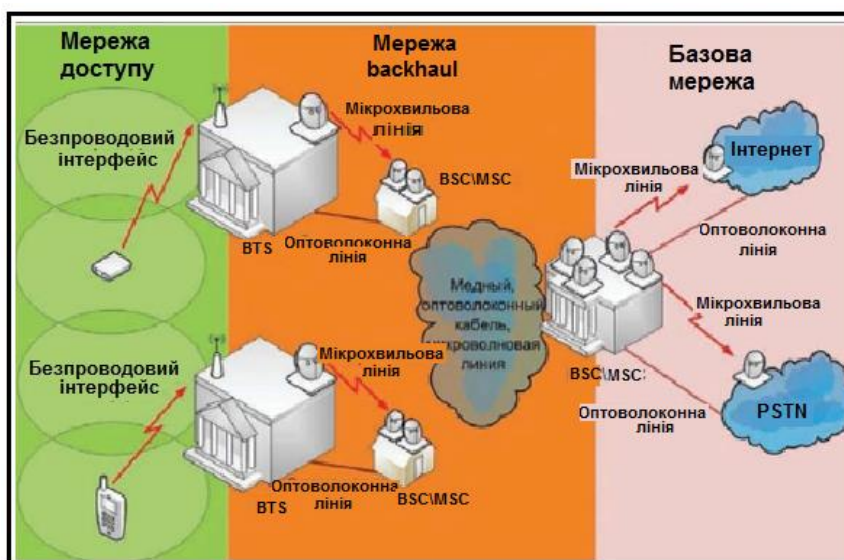


Рис. 1. Ієрархія мереж: мережа доступу, мережа backhaul і базова мережа.

В умовах швидкого зростання трафіку мобільної передачі даних і розвитку мереж 4G/LTE та 5G, оператори активно продовжують модернізувати свої розподільні транспортні мережі. Зокрема, наявна тенденція заміни радіорелейних ліній (РРЛ) на волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) в тих місцях, де це можливо, а там де немає такої можливості, на зміну застарілим радіорелейним лініям приходять сучасні високошвидкісні РРЛ [5]. Крім того, разом з модернізацією устаткування змінюється і сама технологія підключення каналів зв'язку до базових станцій – відбувається перехід від традиційних TDM-каналів до виділених Ethernet каналів, що дозволяє ефективніше використати смугу пропускання транспортної мережі і забезпечує можливість подальшого розвитку мережі. Стратегія розвитку мереж стільникового зв'язку припускає переважний розвиток мереж backhaul на основі РРЛ, устаткування яких підтримують високошвидкісні IP- технології.

Актуальність мереж 5G у порівнянні з мережами 4G базується на

вирішенні сучасних проблем підвищеної потреби в радіолініях з високою пропускною здатністю за рахунок використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку (рис.2), які працюють переважно на малих відстанях (1-2 км).

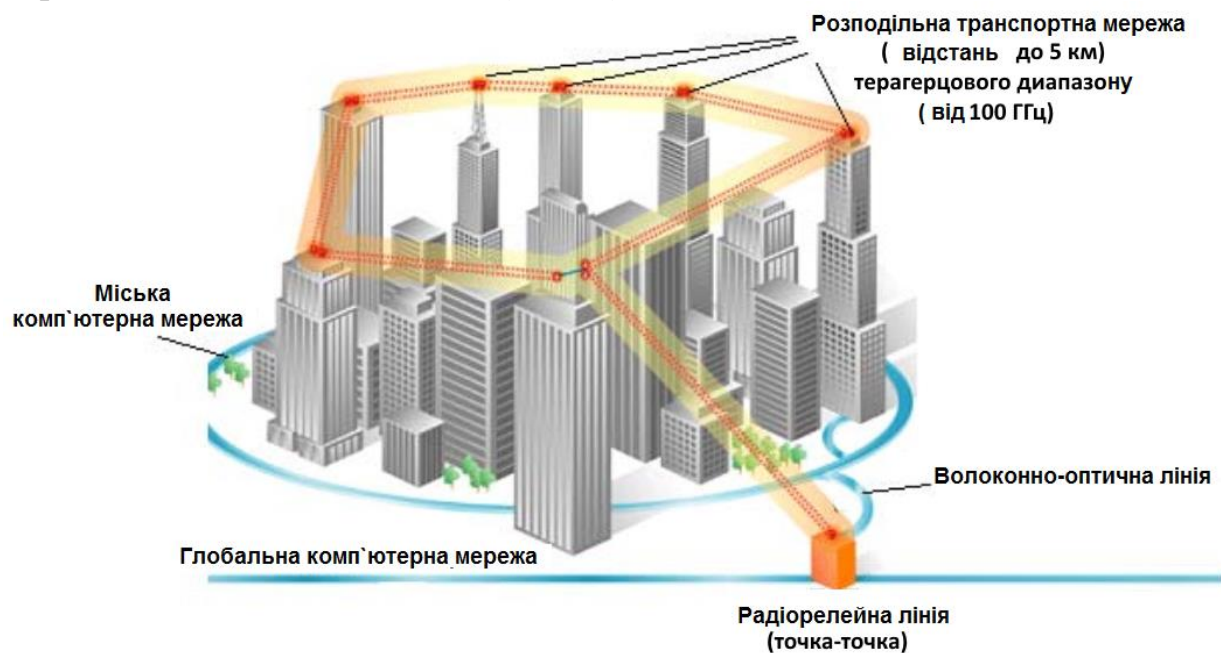


Рис.2. Приклад використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку.

В даний час в Україні для роботи систем фіксованого бездротового зв'язку фіксованої служби виділені і використовуються окремі смуги частот в діапазоні від 60 МГц до 95 ГГц з урахуванням умов їх використання. Постановою Кабінету Міністрів України №838 від 05.09.2012р. до Плану використання радіочастотного ресурсу України (розділ II - перспективні технології) внесена радіотехнологія радіорелейного зв'язку в діапазонах частот

94,1-100	ГГц;
102-105	ГГц;
106,5-109,5	ГГц;
111,8-113	ГГц;
130-134	ГГц;
141-148,5	ГГц;

тобто і в терагерцовому діапазоні. Тому, сьогодні перед розробниками телекомунікаційних систем стоїть завдання створення ефективних і доступних за вартістю апаратних засобів, які працюють на частотах терагерцового діапазону. Один з варіантів досягнення терагерцових частот полягає в множенні робочих частот міліметрового діапазону. Але цей метод обмежує вихідну потужність приладів і відношення сигнал-шум, що отримується. Крім того, пристрої займають відносно велику площу і мають велику масу. Ці недоліки та обмеження в певній мірі перешкоджають широкому освоєнню суб- і терагерцового діапазонів довжин хвиль.

В Україні приймальний та передавальний тракти такої радіорелейної системи терагерцового діапазону були побудовані на базі спеціально розроблених функціональних вузлів, модульне виконання яких з максимальним використанням сучасних мікросхем забезпечило



компактність конструкції цих трактів [6-9]. При проведенні досліджень було отримано наступні результати: пропускна здатність до 1200 Мбіт/с при значенні ймовірних бітових помилок BER не більше ніж  $10^{-6}$ , дальність зв'язку в нормальних умовах в межах 1 км, коефіцієнт підсилення системи на рівні 50 дБ.

Таким чином, вперше в практичному плані в Україні виготовлено та проведено експериментальні дослідження лабораторного зразка цифрової симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону у складі: приймальний та передавальний радіотракти в діапазоні частот 130-134 ГГц, цифрові модеми з пропускною каналною здатністю до 1200 Мбіт/с для можливого її подальшого використання в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку.

Незважаючи на зростання популярності ВОЛЗ, мікрохвильове устаткування продовжить домінувати в розподільних транспортних мережах. Завдяки активному розгортанню мереж 4G та 5G швидко ростиме і ринок устаткування терагерцових хвиль як в сегменті макростільників, так і малих стільників.

#### Література

1. «РТИ» ведет принципиально новые разработки в области обработки информации [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://vpk.name/news/118789\\_rti\\_vedet\\_principalno\\_novyie\\_razrabotki\\_v\\_oblasti\\_obrabotki\\_informacii.html](http://vpk.name/news/118789_rti_vedet_principalno_novyie_razrabotki_v_oblasti_obrabotki_informacii.html).
2. M.Ye Ilchenko, T.N. Narytnik, A.I. Fisun, & O.I. Belous. Terahertz range telecommunication systems// Telecommunications and Radio Engineering, 70(16):1477-1487 (2011).
3. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Шелковников Б.Н., Христенко В.И. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона// Электроника и связь.-2011.-№3.-с.205-210.
4. Нарытник Т.Н., Домрачева Е.А., Казмиренко В.Я. Анализ эффективности использования миллиметрового диапазона электромагнитных волн для передачи данных // Матеріали Восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій.-К.:НТУУ «КПІ», 2014,с. 134-136.
5. PPC Alcoma AL80GE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://watson-telecom.ru/radiodostup/ppc/alcoma-al80ge.html>
6. T.M. Narytnyk, O.V. Lutchak, S.O. Osypchuk, L.O. Uryvskiy Criteria and Algorithms for Shaping of the Signal-Code Sequences on the Basis of Wi-Fi Technology at Deployment of the Terahertz Band Telecommunication System Telecommunications and Radio Engineering Vol. , 2015, Number 74 (2) PP.1823-1839.
7. Нарытник Т.М., Осипчук С.О. Урывський Л.О. Реалізація концепції створення програмно-визначених радіосистем терагерцового діапазону на основі технології Wi-Fi//Цифрові технології . №18- 2015.-С.7-20.
8. Нарытник Т.М., Авдєєнко Г. Л., Набока Б.Ю., Дослідження багатоканальних сигналів цифрового телебачення DVB - С при їх передаванні по приймально-передавальному тракту терагерцового діапазону Цифрові технології. - 2016. - № 19.
9. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В. Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона //Электросвязь.-№2.-2016.-С.42-49.

## **ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ТЕРАГЕРЦОВИХ ХВИЛЬ В АТМОСФЕРІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ**

**Авдєєнко Г. Л., Бунін С.Г., Наритник Т.Н.**  
*НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського*  
*E-mail: director@mitris.com*

### **Terahertz waves propagation in the atmosphere for designing telecommunication systems of terahertz range**

The necessity of terahertz frequency range usage for the future ultrahigh capacity radio relay lines deployment is shown. The main factors that give rise to signal fading in the radio-relay links are submitted. It was shown that hydrometeors have greatest impact on the terahertz frequency band radio relay lines power budget. Terahertz frequency bandwidths that are most likely suitable for use in radio relay lines are presented.

Для ефективного проектування безпроводових телекомунікаційних систем терагерцового діапазону знання механізмів поширення терагерцових хвиль в атмосфері є надзвичайно важливим, оскільки вони дозволяють розробнику оцінити надійність та ступінь реалізованості радіосистеми. Тому надзвичайно важливо провести аналіз інформації [1-9], результати якого можна було б використати для розробки будь-якої безпроводової терагерцової телекомунікаційної системи.

На сьогодні вичерпаність частотного ресурсу нижче 30 ГГц при розгортанні цифрових радіорелейних ліній (ЦРРЛ) у великих мегаполісах та зростання об'єму інформації, що повинна передаватися (при швидкості до десятків Гбіт в секунду), вимагає освоєння смуг радіочастот вище за 30 ГГц, наприклад 71-76 ГГц та 81-86 ГГц, радіорелейне обладнання для яких вже з'явилося на телекомунікаційному ринку [10]. Вказане відноситься також й до більш високого діапазону – терагерцового діапазону електромагнітних хвиль, розробка засобів та технологій ефективного використання якого є запорукою створення майбутніх надвисокошвидкісних транспортних систем передачі даних, які будуть основою для побудови мереж стільникового зв'язку 5G [11].

Відмітимо також, що існуючі діапазони частот нижче 30 ГГц вже майже повністю використовуються, що спричиняє великі проблеми при необхідності створення нових безпроводових ліній високошвидкісного зв'язку. Терагерцовий діапазон (100–3000 ТГц), який сьогодні в більшій його частині поки що не ліцензується, дозволяє в значній мірі вирішити вказану проблему. При цьому необхідним і доцільним є дослідження особливостей поширення терагерцових хвиль в атмосфері в широкому діапазоні частот для подальшого використання отриманих результатів при проектуванні ефективних надширококутних телекомунікаційних систем [3].

Проведений авторами аналіз показав, що в діапазоні частот 30-300 ГГц з відомих типів завмирань найбільш вагомими, які слід враховувати при проектуванні, є наступні [11-18]: завмирання внаслідок послаблення сигналу гідрометеорами; завмирання внаслідок поглинання радіосигналу в газах (в першу чергу парах води та молекулярному кисні); завмирання внаслідок впливу діаграм спрямованості антен.

Робота радіорелейних ліній в терагерцовому діапазоні через високу спрямованість антен кореспондуючих станцій та незначний радіус першої зони Френеля дозволяє практично не враховувати інтерференцію електромагнітних хвиль, відбитих від перешкод в зоні поширення сигналу

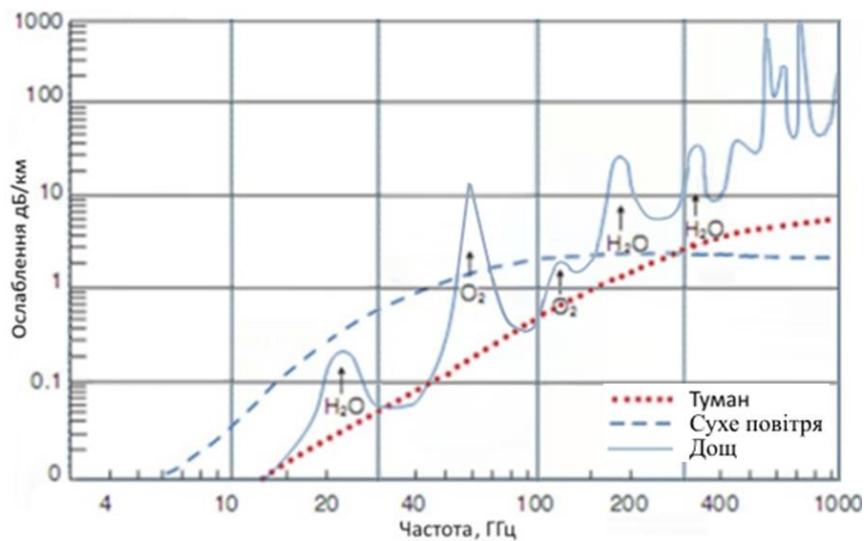


Рис. 1. Залежність величини затухання від частоти з врахуванням впливу дощу, що розрахована ІТУ в 1996 році (Rec.676).

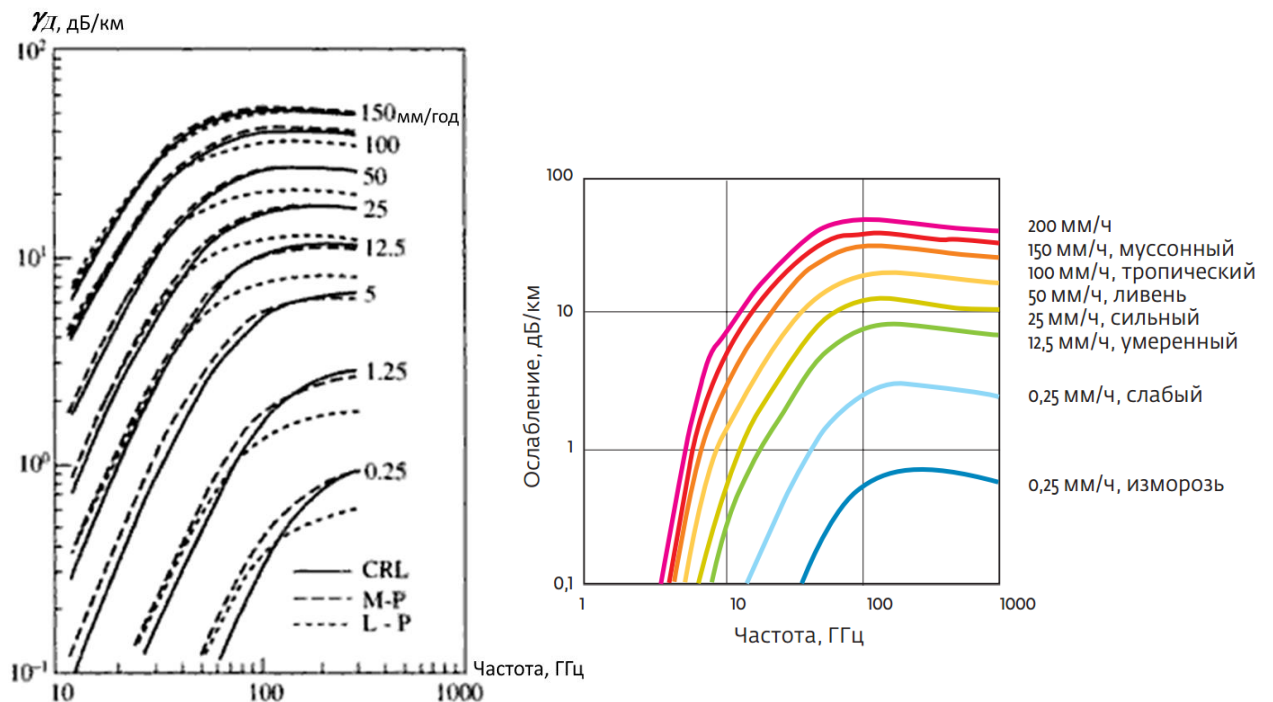


Рис. 2. Частотні характеристики затухання в залежності від закону розподілу крапель води в дощі: CRL – CRL модель, M-P – модель Маршала-Палмера, L-P – модель Ло – Парсона.

Затухання в атмосфері терагерцових хвиль виникає здебільшого в основному через вплив дощу та внаслідок присутності в повітрі парів кисню та води. Інші гази вносять незначний внесок в величину затухання терагерцових хвиль (рис. 1). Обираючи частоти, що знаходяться у радіовікні, можна суттєво зменшити вплив параметрів атмосфери на радіолінію.

На рис. 2 зображено частотні характеристики затухання для дощу з різними інтенсивностями дощу та з різними законами розподілу крапель води. Представлені моделі докладно розглянуто в рекомендації P.838 ITU-R [15,16].

Результати обчислень коефіцієнтів ослаблення у дощах різної інтенсивності, які зроблені на основі функції розподілу [19], що враховує наявність дрібних дощових крапель, і експериментальні дані з джерел [20, 21,22] представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Коефіцієнт послаблення  $\gamma$  (дБ/км) для різних параметрів атмосфери

Вид атмосфери	Частота радіосигналу, ГГц							
	30	60	90	120	140	165	250	300
1. Дощ слабкий ( $1 \div 5$ мм/год)	0,9	2,1	3,4	4,7	5,4	7,1	9,8	14,3
2. Дощ сильний ( $20 \div 40$ мм/год)	7,0	14,0	15,2	16,3	17,0	20,2	30,5	42,3
3. Мокрий сніг (10 мм/год)	1,7	4,9	7,7	10,7	12,4	15,3	22,8	28,7
4. Хмари потужні купчасті	3,5	8,0	9,5	12,9	15,1	18,9	27,5	33,2
5. Газ (кисень)	-	15,0	0,05	1,8	0,5	0,02	0,02	0,03
6. Газ (водяна пара)	0,07	0,1	0,2	0,5	0,8	2	2,5	5,5

Виходячи із результатів проведених досліджень, можна вважати найбільш придатними і перспективними при проектуванні високошвидкісних надширококутних безпроводових телекомунікаційних систем частотні діапазони 110-150ГГц і 220-270ГГц, де можна використовувати великі смуги частот шириною 40-50ГГц для суттєвого збільшення інформаційної ємності, підвищення скритності та захисту від виявлення і несанкціонованого доступу інформації, що передається.

### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О., Наритник Т.М. Безпроводові системи зв'язку субтерагерцового та терагерцового діапазонів//Цифрові технології. 2014. Вип. 16, С.40-59.
2. M.Ye Pchenko, T.N. Narytnik, A.I. Fisun, & O.I. Belous. Terahertz range telecommunication systems// Telecommunications and Radio Engineering, 70(16):1477-1487 (2011).
3. С.Г.Бунін. Застосування над ширококутних імпульсних радіосигналів у супутникових системах і системах дальнього радіозв'язку.// С.Г.Бунін,Д.О.Долженко ,Висоцький М.В., Плотник К.О./Наукові Вісті № 6(74), 2010, с.5 – 10.
4. Кравчук С.О. Наритник Т.Н. Телекомунікаційні системи і терагерцового діапазону Монографія.-Житомир.- :ФОП «Євенок О.О.».-2015.- 394с.

5. Огляд досягнень в терагерцових комунікаційних системах / І. М. Майборода, І. П. Стороженко, В. П. Бабенко, М. В. Кайдаш. // ISSN 2409-7470. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – 2016. – № 1 (27).
6. М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, Б.Н. Шелковников, В.И. Христенко. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона. Электроника и связь 3. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии», 2011.
7. 300 GHz transmission system / C. Jastrow, K. Munter, R. Piesiewicz, T. Kurner, M. Kochand, T. Kline-Ostmann // Electronics Letters. – 2008. – vol.44, No.3.- p.75-77.
8. Peter H. Siegel. Terahertz technology // IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques.-2002.-vol.50, No.3–p.910-928.
9. М.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, S.V. Denbnovetskii, O.V. May, O.V. Lutchak, & A.I. Fisun, O.I. Belous. Modelling of functional units of the terahertz band transmitting and receiving radio paths// Telecommucation and Radio engineering – 2016. – Vol.7, №1– p.20-22.
10. PPC Alcoma AL80GE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://watson-telecom.ru/radiodostup/ppc/alcoma-al80ge.html>
11. Радиокommunikации догоняют по быстродействию оптоволокно [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу [http://ko.com.ua/radiokommunikacii\\_dogonyayut\\_po\\_bystrodejstviyu\\_optovolokno\\_118895?BPCTRY=1](http://ko.com.ua/radiokommunikacii_dogonyayut_po_bystrodejstviyu_optovolokno_118895?BPCTRY=1).
12. Recommendation ITU-R P. 838-3. Specific attenuation model for rain for use in prediction methods / Intern. Telecommunication Union. – Geneva, 2005.
13. Данные о распространении радиоволн, требующиеся для разработки систем связи Земля-Космос, работающих в диапазоне 20 ТГц-375 ТГц. Рекомендация МСЭ-R P1621-1.
14. Recommendation ITU-R F.2107-1 «Characteristics and applications of fixed wireless systems operating in frequency ranges between 57 GHz and 134 GHz» / Intern.Telecommunication Union. – Geneva 2011.
15. Recomendation ITU-R P.676-5 «Attenuation by atmospheric gases»/Intern. Telecommunication Union. – Geneva, 2001.
16. Recomendation ITU-R P.837-4 «Characteristics of precipitation for propagation modeling» / Intern. Telecommunication Union. – Geneva, 2003.
17. Sekine M. Rain attenuation of centimeter, millimeter and submillimeter waves / M. Sekine, G. Lind // 12th European Microwave Conf.: proc. – Helsinki, 1982.– p.584–589.
- 18.Сухонин Е. В. К проблеме распространения миллиметро-вых волн в осадках / Е. В. Сухонин // Успехи радиоэлектроники – 2002. – № 9. – с.72–79.
19. Ugai S. Fine structure of rainfall / S. Ugai, K. Kato // Annales des Telecommunications. – 1977. – 32, №11–12.–p.422–429.
20. Малышенко Ю.И. Частотный ход коэффициента ослабления радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в дождях при учете мелкокапельной фракции в функции распределения дождевых капель по размерам/ Ю. И. Малышенко, А. Н. Роечко //ИРЭ НАН Украины, ISSN 1028–821X.-Радиофизика и электроника.-2012. -Т. 3(17), № 1.–с.36–40.
21. Бабкин Ю. С. Измерение ослабления в дождях / Ю. С. Бабкин, А. В. Соколов, Е. В. Сухонин // Радиотехника и электроника. – 1970.–15, № 12.–с.2451–2453.
22. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне:новые горизонты скорости//Электроника и связь – 2011. – №1. – с.90-97.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОКАНАЛА ДЛЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G

**Волков С.Э.**

*ГП “Укркосмос”, Украина*

*E-mail: s.volkov@ukrkosmos.kiev.ua*

### **Radio channel modelling for 5G networks**

The tasks facing the researchers during characterization and modelling of radio channels for next-generation mobile communication networks are considered. A radio channel model for an interactive heterogeneous telecommunication network is proposed.

В процессе разработки технологий физического уровня, применимых в сетях мобильной связи пятого поколения (5G), возникает ряд задач, связанных с моделированием радиочастотного тракта, антенны, радиоканала.

Существует множество различных ситуаций и факторов, оказывающих влияние на линию связи между базовой станцией (BTS) и мобильным терминалом (UE). Поэтому создание единой модели радиоканала, которая могла бы учесть все возможные ситуации, является сложной задачей.

Более простой подход состоит в определении нескольких типичных ситуаций и создании моделей для каждой из этих ситуаций [1]. BTS может реализовать определенный алгоритм работы в зависимости от конкретной ситуации.

Так, в работе [2] представлена модель радиоканала в диапазоне миллиметровых волн для условий линии связи прямой видимости. В модели найдена отражение новая конструкция BTS, в которой генерирование сигнала происходит по технологии Радио-по-волокну (Radio over fiber). BTS работают в составе специализированной интерактивной гетерогенной телекоммуникационной сети (ИГТС) с асимметричным трафиком, развёрнутой вдоль автомобильной трассы.

На практике описание поведения канала осуществляется после его зондирования (channel sounding) и сбора данных об импульсном отклике (channel impulse response). При измерении изменяющихся во времени каналов с многолучевым распространением необходимо понять сложный импульсный отклик с информацией о времени и фазе. Кроме того, одной из ключевых задач является необходимость дублирования или проверки результатов измерений с использованием различных измерительных систем в аналогичных условиях.

Ключевыми техническими проблемами являются:

- Генерация и анализ сигналов на частотах миллиметрового диапазона с полосой пропускания более 500 МГц и с поддержкой многоканальности;
- Сбор и хранение данных (со скоростью несколько Гбит/с);
- Оценка параметров канала (используя специальные алгоритмы);
- Калибровка и синхронизация приёмника и передатчика.

### **Литература**

1. QuickReference - 5G. <http://www.sharetechnote.com>.
2. Сундучков К.С., Голик А.Л., Волков С.Э., Яшук А.С., Сундучков И.К. Метод расчета параметров радиоканала беспроводного доступа к мобильным терминалам в миллиметровом диапазоне // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2014. – №8. – том 57. – С.44÷53.

## СПОСІБ БЕЗПРОВОДОВОЇ ПІДЗАРЯДКИ ГАДЖЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ WI-FI МЕРЕЖІ

**Ольховик Д.М., Наритник Т.М., Єрмаков А.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: dmytro.olhovik@gmail.com*

### **Way of wireless charging gadgets with Wi-Fi technology**

Nowadays chargers are becoming more and more popular and are rapidly occupying certain niche. However an idea of charging devices through Wi-Fi network is on the heels. Potential of transferring energy via the wireless connection is considered.

На сьогоднішній день пристрої для зарядки стрімко набирають популярність і починають активно займати свою нішу на ринку. Але ідея, як зарядити пристрій через Wi-Fi мережу вже активно наступає на п'яти. Розглянуто можливості передачі енергії за допомогою технології безпроводного підключення.

**Хронологія розвитку.** Ідея передачі енергії на відстань без використання супутніх провідників намітилися ще на початку ХХ століття. Винахід, здійснив і описав відомий сербський вчений Нікола Тесла.

Другим кроком була еволюція мікропроцесорної техніки, тобто досить пристойною допомогою для здійснення перетворення електромагнітних хвиль в спрямований потік електричної енергії [1]. Не варто сумніватися, що десь на закритих об'єктах вже давно розроблена і доведена до досконалості подібна технологія. Але в промислових цілях ці пристрої навряд чи будуть використовуватися. А тому пропоную розглянути ті варіанти, які були спочатку орієнтовані на вихід на цивільний ринок.

**Сучасний рівень розвитку.** Перший раз ми почули про те, що зарядка гаджету через Wi-Fi мережу стала можливою, близько п'яти років тому. Цей пристрій був представлений на CES 2012 під назвою RCA Airnergy Charger.

За описами принципу роботи воно було схоже на запропонований пристрій Тесли.

**Airnergy.** Пристрій представляв собою невеликий блок цілком прийнятних габаритів для того, щоб постійно носити його в кишені; з блоку виходив кабель для підключення до телефону. Всередині була невелика схема з приймачем Wi-Fi сигналу і акумулятор невеликої ємності [2]. Конкретні технічні дані не були опубліковані, але подібна модель роботи пристрою була викладена.

Приймач перехоплював радіохвилі, за якими транспортувалася інформація, реєструвала їх коливання, частоту і амплітуду. Після чого схема вибудовувала їх в такому порядку, що вони нічим не відрізняються від коливань електроенергії. Завершивши трансформацію, новостворена електрика починала заповнювати ємність акумулятора. Залишалось тільки підключити пристрій і спостерігати, як відбувається зарядка.

ККД був жахливо низьким, незважаючи на те, що на презентації було заявлено про зарядку BlackBerry-пристрої з 30% до повного заряду всього за 90 хвилин. Але на ділі технологія була сирою, а заявлений на літо того ж року вихід пристрою так і не відбувся.

**Продукт від Energous.** В даний час компанія Energous вже продає такий пристрій. Технологічні тонкощі не розкриваються з міркування захисту інтелектуальної власності, так як ця технологія вже досконаліша, ніж описана раніше. Тут вже не потрібно підключення до гаджету для зарядки. Пристрій сам перетворює хвилі таким чином, що вони орієнтовані не на передачу даних, а на поповнення рівня заряду. Єдиний істотний мінус - робота лише в одному режимі: пристосування або заряджає мобільний пристрій, або надає доступ до мережі. Мабуть, якби не настільки специфічний принцип роботи і необхідність купувати новий смартфон, то апарат знайшов би свою аудиторію.

**Power over Wi-Fi.** Нарешті ми дійшли до концепції подібної ідеї. Під кінець першої половини нинішнього року стало відомо, що Вашингтонський дослідницький університет знаходиться на стадії активного тестування нової технології power over Wi-Fi, яка вже тоді дозволяла заряджати не тільки



акумулятори мобільних пристроїв [3]. Задовільні результати були отримані також при поповненні рівня заряду батарей в годиннику. У порівнянні з двома попередніми методами зарядки, у даного способу є кілька відмінних рис.

По-перше, не потрібно купувати окремі спеціальні пристрої або новий смартфон. Все, що потрібно, - перепрошити домашній роутер. Це жодним чином не вплине на його працездатність, як ретранслятора інформації. Тобто зовсім не потрібно робити апаратні зміни.

По-друге, на відміну від Energous-пристроїв, принцип роботи даної методики дозволяє одночасно і заряджати батареї, і користуватися доступом до мережі. Причому заряджається не тільки один пристрій, а відразу всі підключені апарати. І останнє: на даний момент максимальна відстань для

зарядки становить 8,4 метра. Але розробники відзначили, що даний параметр можна збільшити і він буде змінений в кілька разів. Як тільки сам технологічний процес буде доведений до розуму, вчені займуться питанням збільшення дальності роботи.

**Висновок.** Основна відмінність технології power over Wi-Fi від перерахованих вище пристроїв полягає в тому, що користувачеві не знадобиться купувати новий гаджет, досить перепрошити свій роутер, що ніяк не повинно відчуватись на його основній роботі. Крім того, дана розробка здатна одночасно заряджати, наприклад, мобільний телефон і забезпечувати його і інші пристрої доступом до мережі Wi-Fi, - передача даних і енергії в даному випадку не заважає один одному.

### Література

1. SOME THOUGHTS ON RF ENERGY HARVESTING/ Sergey Bunin, Roman Zhogov// "Information and Telecommunication sciences" ("Телекомунікаційні науки"), 4 ст.
2. Valenta, C.R.; Durgin, G.D. Harvesting Wireless Power: Survey of Energy-Harvester Conversion Efficiency in Far-Field, Wireless Power.
3. Transfer Systems // IEEE Microwave Magazine, Vol. 15, Issue: 4, 2014.

## УМОВА СТАЦІОНАРНОСТІ ПРОТОКОЛУ q-МДКН ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ КОНФЛІКТІВ НА ФІЗИЧНОМУ РІВНІ

**Єрохін В.Ф., Полякова А.С.**

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: polnastasya@gmail.com, stddssss@gmail.com*

### Stationary condition protocol q-CSMA for solving conflicts on the physical layer

It's considered one of the protocols of the synchronous multiple access with control and additional assumption of conflict resolution procedures in the physical layer. Received condition for the stationary operation of the protocol.

У системах зв'язку з множинним доступом широке застосування знайшов протокол доступу до каналу q-МДКН (МДКН - множинний доступ з контролем несівної) [1,2]. Проте питання умови стаціонарності цього протоколу, яке в повному обсязі не вирішене. Дослідженню цього питання присвячена дана робота.

Побудуємо математичну модель протоколу q-МДКН відповідно його класичного опису [3]. Вимоги найпростішого потоку з параметром  $\lambda$  надходять в систему з нескінченною кількістю обслуговуючих приладів. Якщо всі прилади вільні, то вимога або деяка кількість вимог починають обслуговуватись (успішно або неуспішно). Час обслуговування кожної вимоги розподілений експоненціально з параметром  $\mu$ , процеси обслуговування незалежні. Якщо хоча б один обслуговуючий прилад зайнятий, то нові вимоги стають у чергу для очікування звільнення усіх приладів. В момент звільнення починається інтервал виявлення відсутності передачі, що має теж експоненціальний розподіл з параметром  $\chi$ . По закінченню цього інтервалу, якщо із вхідного потоку не поступила вимога, то із  $i \in \{0.1, 2, \dots\}$  джерел повторних викликів (ДПВ) з розподіленою по Бернуллі ймовірністю  $q(v/i)$  вибираються  $v \in (0.1, 2, \dots)$  вимог для обслуговування:

$$q(v/i) = C_i^v q^v (1-q)^{(i-v)}; \quad q \in [0, 1)$$

Припустимо також, що вимоги з ДПВ можуть безповоротно втрачатись з ймовірністю  $(1-h)$ .  $h \in [0, 1]$ . Якщо  $v = \overline{1, n}$  (де  $n \in (1.2.3, \dots)$  кратність конфліктів, що можуть бути успішно розв'язані на фізичному рівні), то по закінченню обслуговування кожна з  $v$  успішно обслугованих вимог залишає систему обслуговування. Якщо ж  $v > n$ , то всі  $v$  неуспішно обслугованих вимог стають в ДПВ. збільшуючи їх кількість на  $v$ . Якщо  $v = 0$ , то має місце черговий інтервал виявлення відсутності передачі.

Використовуюючи відомий асимптотичний підхід з теорії масового обслуговування [4] та його поширення на випадки, коли можливе розв'язання конфліктів на фізичному рівні [5] у додатковому припущенні про ненульові безповоротні втрати вимог із ДПВ одержимо систему рівнянь у вигляді (тут  $n = 2$ ):

$$\begin{cases} Q'(i, t) = -(1\lambda + \chi)Q(i, t) + \mu h G(i - 1, t) + \mu H(i, t) + \mu(1 - h)G(i, t) + Q(i, t)\chi q(0/i); \\ H'(i, t) = 1\lambda Q(i, t) + \chi q(1/i + 1)Q(i + 1, t) + 1\lambda H(i - 1, t) - (1\lambda + \mu)H(i, t) + 2\mu K(i, t); \\ K'(i, t) = \chi q(2/i + 2)Q(i + 2, t) + 1\lambda K(i - 1, t) - (1\lambda + 2\mu)K(i, t); \\ G'(i, t) = 1\lambda G(i - 1, t) - (1\lambda + \mu)G(i, t) + 2\mu h M(i - 1, t) + 2(1 - h)\mu M(i, t); \\ M'(i, t) = 1\lambda M(i - 1, t) - (1\lambda + 2\mu)M(i, t) + 3\mu h P_{-3}(i - 1, t) + 3(1 - h)\mu P_{-3}(i, t); \\ \vdots \\ P'_v(i, t) = \chi q(v/i + v)Q(i + v, t) + 1\lambda P_v(i - 1, t) + h(v + 1)\mu P_{(v+1)}(i - 1, t) + \\ + (1 - h)(v + 1)\mu P_{(v+1)}(i, t) - (1\lambda + v\mu)P_v(i, t); \end{cases}$$

$i = 0, 1, 2, \dots; v = 3, 4, 5, \dots$

Для стаціонарного режиму і довільної наперед заданої кратності  $i = 2, 3, 4 \dots n$  конфліктів, що розв'язуються на фізичному рівні, здійснюючи аналогічно [3] асимптотичний перехід  $q \rightarrow 0; i \rightarrow \infty$  так, що  $x \cong qi < \infty$ , одержуємо рівняння для щільності  $\pi(x)$  у вигляді:

$$1\rho\pi(x) - (1\rho + \alpha x)Q(x) + h[F(x) - H(x) - 2K(x) - \sum_{v=3}^n vP_v^+(x)] = C, \quad (1)$$

де:

$h \in [0, 1]$  - ймовірність невтрати вимоги з ДПВ;

$l \in [0, 1]$  - ймовірність невтрати вимоги із вхідного потоку, якщо вона прийшла на етапі обслуговування;

$$\alpha \triangleq \frac{\chi}{\mu}; \rho \triangleq \lambda/\mu;$$

$C$  - довільна дійсна константа;

$$\pi(x) \triangleq Q(x) + H(x) + G(x) + K(x) + M(x) + \sum_{v=3}^{\infty} P_v(x);$$

$$F(x) \triangleq H(x) + G(x) + 2[K(x) + M(x)] + \sum_{v=3}^{\infty} vP_v(x);$$

$$Q(x) = \pi(x) \frac{1}{1 + \rho + \alpha\varphi(x)} - \text{імовірність відсутності вимог на обслуговування};$$

$$H(x) = \pi(x) \frac{\rho + \alpha[q_1(x) + q_2(x)]}{1 + \rho + \alpha\varphi(x)} - \text{імовірність однієї успішно обслуговуваної вимоги};$$

$$G(x) = \pi(x) \frac{\alpha \sum_{v=3}^{\infty} q_v(x)}{1 + \rho + \alpha \varphi(x)} - \text{імовірність однієї неуспішно обслуговуваної вимоги};$$

$$K(x) = \pi(x) \frac{\frac{\alpha}{2} q_2(x)}{1 + \rho + \alpha \varphi(x)} - \text{імовірність двох успішно обслуговуваної вимоги};$$

$$M(x) = \pi(x) \frac{\frac{\alpha}{2} \sum_{v=3}^{\infty} q_v(x)}{1 + \rho + \alpha \varphi(x)} - \text{імовірність двох неуспішно обслуговуваної вимоги};$$

$$P_v^+(x) = \pi(x) \frac{\frac{\alpha}{v} \sum_{i=v}^n q_i(x)}{1 + \rho + \alpha \varphi(x)} - \text{імовірність } v \leq n \text{ успішно обслуговуваної вимоги};$$

$$P_v^-(x) = \pi(x) \frac{\frac{\alpha}{v} \sum_{i=v+1}^{\infty} q_i(x)}{1 + \rho + \alpha \varphi(x)} - \text{імовірність } v \leq n \text{ неуспішно обслуговуваної вимоги};$$

$$P_v(x) = \pi(x) \frac{\frac{\alpha}{v} \sum_{i=v}^{\infty} q_i(x)}{1 + \rho + \alpha \varphi(x)} - \text{імовірність } v > n \text{ неуспішно обслуговуваної вимоги}.$$

В свою чергу,  $\varphi(x) \triangleq \int_0^x \frac{1 - e^{-l}}{l} dl$ ;  $q_v(x) \triangleq \frac{x^v}{v!} e^{-x}$ .

Після підстановок одержуємо рівняння (1) у явному вигляді:

$$\pi(x) = \frac{1 + \rho + \alpha \varphi(x)}{l\rho^2 + l\alpha\rho\varphi(x) - x\alpha(1-h) - \alpha h \sum_{v=1}^n \frac{x^v}{(v-1)!} e^{-x}} \quad (2)$$

**Теорема.** Для існування стаціонарного режиму протоколу q-МДКН необхідно і достатньо наявності втрат повторних вимог.

**Доведення:**

1. **Необхідність.** Якщо  $h < 1$ , то існує таке  $C$ , що

$$\int_0^{\infty} \pi(x) = 1 \quad (3)$$

Доведемо, що при  $h < 1$ .  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \pi(x) = 0$

Відомо [6], що для  $x \gg 1$   $\int_0^x \frac{1-x^{-l}}{l} dl \cong \ln x$ ,  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x}{e^x} = 0$ ,

$$\text{Тоді } \lim_{x \rightarrow +\infty} \pi(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{C\alpha \ln x}{l\alpha\rho \ln x - \alpha(1-h)x} = 0.$$

Таким чином, (3) доведено.

2. Достатність. Якщо  $\int_0^{\infty} \pi(x) = 1$ , то  $h < 1$ .

Для того, щоб виконувалась нерівність  $h < 1$ , треба щоб при відсутності обмежень на нормуючу константу  $C$  в (2) у відповідності з правилом Лопіталя

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \pi(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} (\pi(x))'_x = 0 \quad (4)$$

Покажемо, що для цього треба. У відповідності з теоремою Барроу [6] щодо  $\varphi(x)$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (\pi(x))'_x = \frac{C}{l\rho + x(h-1) + he^{-x} \sum_{v=1}^n \frac{(x-v)x^v}{(v-1)!}} = \frac{C}{l\rho + x(h-1)} = 0$$

Очевидно, що (4) виконується лише при  $h < 1$ .

Теорему доведено.

Таким чином, умовою стаціонарності протоколу q-МДКН є наявність втрат повторних вимог.

### Література

1. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями : [пер. с англ. Б. С. Цыбаков] / Л. Клейнрок. – М. : Мир, 1979. – 600 с.
2. Сотовые радиосети с коммутацией пакетов / М. Е. Ильченко, С. Г. Бунин, А. П. Войтер. – К. : Наукова думка, 2003. – 266 с.
3. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер; пер. с англ.— М.: Мир, 1989. — 544 с.
4. Назаров А. А. Асимптотический анализ марковизируемых систем / А. А. Назаров. – Томск : ТГУ, 1991. – 158 с.
5. Єрохін В.Ф. Випадковий множинний доступ при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні: Навч. посібник / В. Ф. Єрохін. — К. : ІСЗІ НТУУ “КПІ”, 2014. — 294 с.
6. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 720 с.

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗРОБОК РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ

**Наритник Т.М., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С., Єрмаков А.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: director@mitris.com, bondserg8@ukr.net, yermak\_antonio@ukr.net*

### Analytical review of the development of electronic devices for telecommunication systems of terahertz range

Analised the main developers of the terahertz range electronic devices and reviewed their list of products. Showed parameters of this devices and considered the main prospects of its usage in real terahertz range telecommunication systems.

Розглянемо структурну схему радіотракту радіорелейної лінії зв'язку, що працює у терагерцовому діапазоні (рис.1). До складу даної лінії входять: генератор імпульсного надширокополосного радіосигналу (IR-UWB), приймально-передавальна частина ТГц діапазону, радіоканал та приймач IR-UWB сигналу [1]. Одним із базових елементів передавача і приймача терагерцового діапазону є підсилювач потужності.

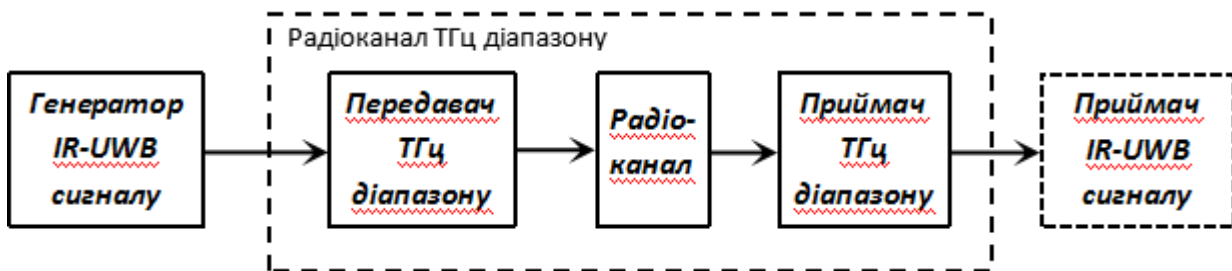


Рис.1. Структурна схема радіотракту радіорелейної лінії зв'язку ТГц діапазону.

Розглянемо приклади наявних підсилювачів потужності, що працюють в терагерцовому діапазоні (рис.2).

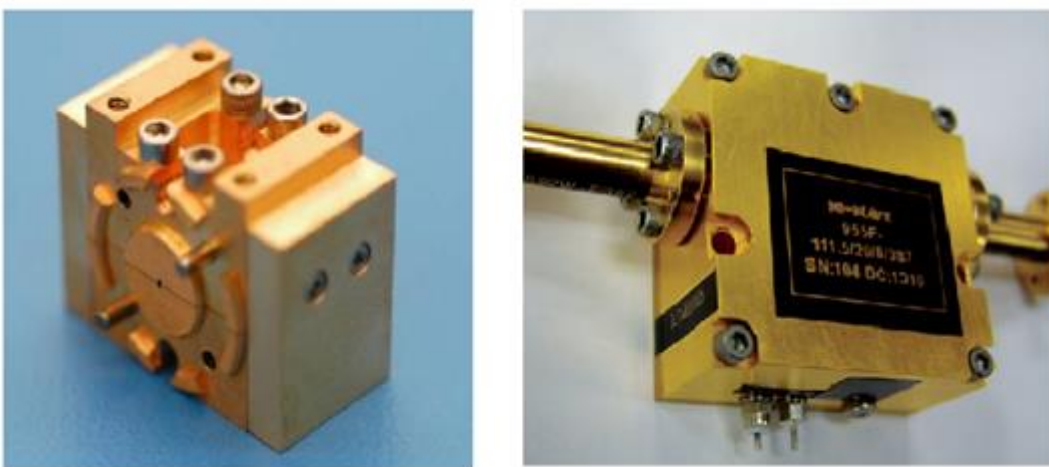


Рис 2. Фото підсилювачів потужності ТГц діапазону.

Підсилювачі потужності MGA2101 від організації NorthropGrumman та високопродуктивний підсилювач 955 серії від MillimeterWaveProducts забезпечують підсилення близько 20 дБ в діапазоні 300-340 ГГц та 15 дБ в діапазоні 90-140 ГГц відповідно [2,3].

Розглянемо малошумні підсилювачі (рис.3). Малошумний підсилювач від NorthropGrumman MLA1101 забезпечує підсилення 16 дБ в діапазоні 130-140 ГГц [1]. Організацією Millitech виготовлено цілу серію малошумних підсилювачів, які орієнтовані на роботу в діапазонах від 19 до 130ГГц [4]. Також дана організація займається виготовленням різноманітних фільтрів, змішувачів, детекторів, генераторів, антен для роботи з міліметровими хвилями.

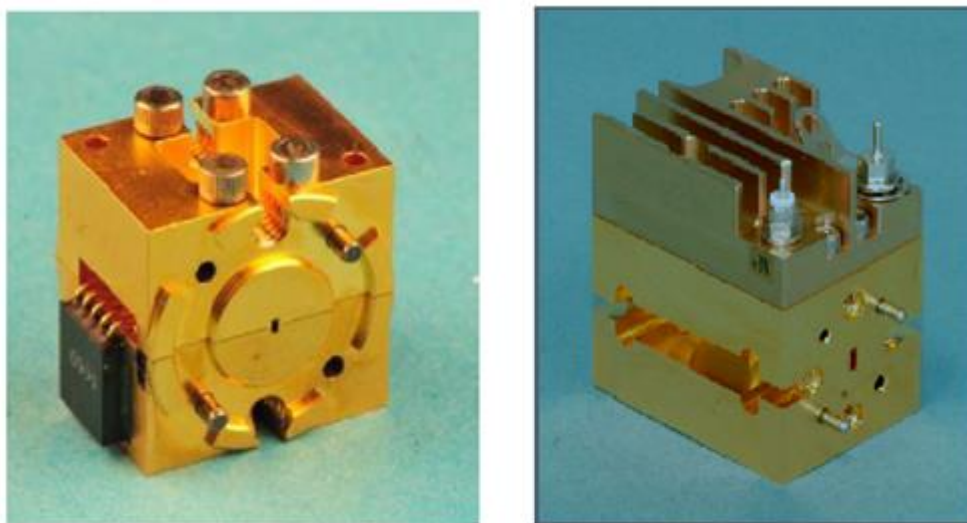


Рис 3. Фото малошумних підсилювачів ТГц діапазону.

Отже, уже зараз ведеться інтенсивна робота зі створення різноманітних радіоелектронних пристроїв телекомунікаційних систем терагерцового діапазону і, можливо, зовсім скоро терагерцова технологія стане основою для більшості транспортних розподільчих телекомунікаційних мереж.

### Література

1. Ильченко М.Е. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, Б.Н. Шелковников, В.И. Христенко // Электроника и связь. – 2011. – №3.
2. Northrop Grumman Microelectronics Products&Services [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/Microelectronics/Pages/default.aspx>.
3. Millimeter Wave Products Amplifiers [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.miww.com/millimeter-wave-products/amplifiers/>.
4. Series LNA by Millitech [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.millitech.com/MMW-Amplifier-LNA.htm>.

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРАГЕРЦОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ РОЗРОБОК

**Наритник Т.М., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С., Єрмаков А.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: director@mitris.com, bondserg8@ukr.net, yermak\_antonio@ukr.net*

### **Analytical review of terahertz technologies using to create innovation**

Considered existing systems already operating in the terahertz frequency range, showed their advantages and opportunities that the terahertz technology brings for telecommunication systems. Reviewed the experimental results of Ukrainian scientists in this field.

Терагерцовий діапазон частот завдяки своїм особливостям, може використовуватись в різних областях: фізики, хімії, біології, медицини, безпеки.

Сфери використання терагерцових хвиль:

1) системи телекомунікацій та зв'язку:

- в транспортних мережах мобільного зв'язку наступних поколінь;
- в телерадіомовленні;
- в міжсупутниковому зв'язку;
- в радарях та в радіолокації ближньої дії;
- в радіорелейних системах прямої видимості;
- в комунікації однієї будівлі, зокрема, в безпроводовій версії USB

3.0;

- в сканерах аеропортів.

2) системи виявлення та розпізнавання об'єктів

3) системи контролю якості харчових продуктів

4) системи діагностики в медицині

5) системи для знаходження протипіхотних мін

6) системи як інструмент для наукових досліджень (радіоастрономічні спостереження з супутників холодних космічних об'єктів, високоточний хімічний аналіз атмосфери, вивчення надпровідності, створення нових напівпровідникових матеріалів, біомолекулярні дослідження)

Як відомо, вчені приступили до розробки 5G. Про плюси впровадження мереж п'ятого покоління ще рано говорити, але можна виділити такі вимоги та цілі при впровадженні даних мереж зв'язку:

- стабільний зв'язок, з великою зоною покриття;
- підтримка попередніх поколінь;
- зменшення енергоспоживання;
- пропускна здатність мережі понад 10 Гбіт/сек;
- підтримка одночасного підключення до 100 млн. пристроїв/км<sup>2</sup>;



- затримка передачі даних на радіоінтерфейсі не більше 1 мс.

Одним із ймовірних рішень для дотримання сформульованих вище вимог, насамперед збільшення пропускну здатності, може бути застосування терагерцового діапазону. Дане рішення дозволить також вирішити проблему дефіциту частотного спектру [1].

Іншим прикладом доцільного використання терагерцової технології може бути її використання у стратосферних системах зв'язку. Дана концепція використання стратосферних систем зв'язку останнім часом привертає все більше й більше уваги. Принцип роботи стратосферних систем зв'язку полягає в тому, щоб розмістити приймально-передавальне обладнання (по суті – базові станції) на без пілотних стратосферних платформах. В якості таких платформ можуть використовуватися повітряні кулі, дрони, дирижаблі і т.ін., які повинні летіти на висоті 18-25 км, що не заважає цивільній авіації [2]. На таких висотах швидкість вітру є досить низькою, а густина повітря є в рази нижчою, ніж в приземному шарі. Використання стратосферних систем зв'язку дає свої значні переваги, основною з яких є підвищений кут огляду, що забезпечується стратосферною платформою порівняно із наземним відповідником.

Для забезпечення зв'язку із стратосферною станцією доцільно використовувати системи терагерцового діапазону, оскільки це дає ряд значних переваг, а саме:

- слабка завантаженість даного діапазону;
- можливість виділення широких смуг частот (до 5 ГГц і більше);
- спрощена процедура виділення частот у багатьох країнах світу;
- істотне зниження габаритів антенних систем, які забезпечують при цьому формування вузької діаграми напрямленості.

Широке впровадження стратосферних телекомунікаційних систем зв'язку дає дуже великі можливості у застосуванні: для забезпечення зв'язку в мережах загального користування, для оперативного зв'язку у військових цілях, для забезпечення зв'язку у зонах, що постраждали від стихійного лиха.

Для ефективної роботи систем зв'язку в терагерцовому діапазоні необхідні прилади орієнтовані на роботу в терагерцовому діапазоні.

В Україні застосування терагерцової технології в телекомунікаційних системах привертає з кожним роком більше й більше уваги. Уже зараз проводяться дослідження та створення реальних прототипів робочих телекомунікаційних систем терагерцового діапазону. Особливий пріоритет має питання використання терагерцового діапазону у системах передачі даних та доступу до інформаційних ресурсів, зокрема, доступу до Інтернету в мобільних мережах зв'язку. Державним університетом телекомунікацій та Інститутом електроніки та зв'язку Української академії наук проводяться

найбільш активні дослідження зі створення різноманітних пристроїв та повноцінних систем орієнтованих на роботу в терагерцовому діапазоні. Також проведено дослідження лабораторного зразка цифровий симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону і цифрового модему з пропускнуою каналною здатністю до 1200 Мбіт/с на дальність зв'язку в нормальних умовах в межах 1 км при ймовірних бітових помилки BER не більше  $10^{-6}$  [3]. Українськими науковими дослідниками представлено аналітичний огляд теоретичних і експериментальних досліджень і розробок телекомунікаційних систем в суб- і терагерцовому діапазонах з використанням елементів, пристроїв, ідей, технологій та технологій оптики (фотоніки) і мікрохвильових технологій (електроніки), а також перспективних досліджень в цьому напрямку телекомунікацій, зокрема, розвиток транспортних розподільних систем і створення бездротових ліній зв'язку з шумовим носієм в субтерагерцовому діапазоні частот [4-6]. Реалізовано концепцію створення програмно-визначених радіосистем на основі технології Wi-Fi продемонстрована на створеній гігабітній системі передачі в терагерцовому діапазоні 130-134 ГГц, яку протестовано в лабораторних умовах з досягненням швидкості до 1.2 Гбіт/с [7]. Це лише перші кроки у напрямку розвитку телекомунікаційних систем ТГЧ-діапазону, проте згодом саме ця основа дозволить розроблювати та використовувати пристрої та системи для широкого застосування.

#### Література

1. Ильченко М.Е. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, Б.Н. Шелковников, В.И. Христенко // Электроника и связь. – 2011. – №3.
2. Можливості розширення зони обслуговування та радіочастотного ресурсу в стратосферних системах зв'язку / Дружинін В.А., Кременецька Я.А., Жукова О.Р. // Телекомунікаційні та інформаційні технології. -2016. -№2.
3. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В. Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона// Электросвязь.-№2.-2016.-С.42-49.
4. Ильченко М.Ю., Кравчук С.О., Нарытник Т.М. Беспроводові системи зв'язку субтерагерцового та терагерцового діапазонів//Цифрові технології.- 2014.- Вип. 16. С.40-59.
5. В.М. Исаев, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов. Современные радиоэлектронные системы // Доклады ТУСУРа, № 4 (34), декабрь 2014
6. Огляд досягнень в терагерцових комунікаційних системах / І. М. Майборода, І. П. Стороженко, В. П. Бабенко, М. В. Кайдаш. // ISSN 2409-7470. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. -2016. -№ 1 (27)
7. Нарытник Т.М., Лутчак О.В., Осипчук С.О. Уривський Л.О. Особливості формування сигнально-кодових конструкцій на основі технології Wi-Fi для побудови телекомунікаційних систем терагерцового діапазону//Цифрові технології. - 2016. - №20.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОПРОМІНЮВАЧА ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ

**Ганзенко С. С., Мазор С.Ю.**

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: ser.ganzenko@yandex.ru*

### RESEARCH PARABOLIC ANTENNA RADIATOR

The proposed antenna array waveguide as a parabolic antenna radiator to the new station of government communication.

Фахівцями ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського та НДІ Держспецзв'язку ведеться робота по створенню нової тропосферно-радіорелейної станції урядового зв'язку. В якості антенної системи на другому етапі НДР використано параболічну антену з багатоелементними опромінювачами, що, загалом, теж дає можливість забезпечити виконання вимог ТТЗ НДР «Міраж» щодо формування необхідної ЕІВП (ефективної ізотропно-випромінюваної потужності).

В теперішній час в нашій службі використовуються радіорелейні і тропосферні станції. Радіорелейні станції мають ряд недоліків: необхідність возити і розгортувати громіздке антено-щоглове і фідерне обладнання, довжина інтервалу близько 30-35 км. Тропосферні станції також мають два суттєві недоліки: необхідність використовувати енерго-живлячу машину і великі (в теперішній час 2,6 м) антени. В науково-дослідницькій роботі «Міраж» запропоновано об'єднати задачі, які вирішуються окремо тропосферними і радіорелейними станціями.

Для проведення експериментальних досліджень передавача використано параболічне дзеркало від антени радіорелейної станції Р-414 та розроблено і виготовлено багатоелементний опромінювач. Ця антенна система являє собою решітку із чотирьох або двох параболічних антен. В якості елемента решітки вибрана параболічна антена (дзеркало діаметром 1.5 м із комплекту станції Р-414) з новим опромінювачем. Використовуючи їхні комбінації і піднімаючи на необхідну висоту, можливо формувати антенні пристрої для відповідного типу зв'язку. На першому етапі було отримано модифіковану двохдзеркальну антену Касегрена, яка складається з параболічного основного дзеркала (рефлектора) і гіперболічного додаткового дзеркала, що розміщене між фокусом і вершиною основного дзеркала. Один фокус гіперболічного дзеркала співпадає з фокусом основного дзеркала. В класичній антені Касегрена опромінювач розміщується у фокусі основного дзеркала та

опромінює гіперболічне дзеркало (рис. 1).

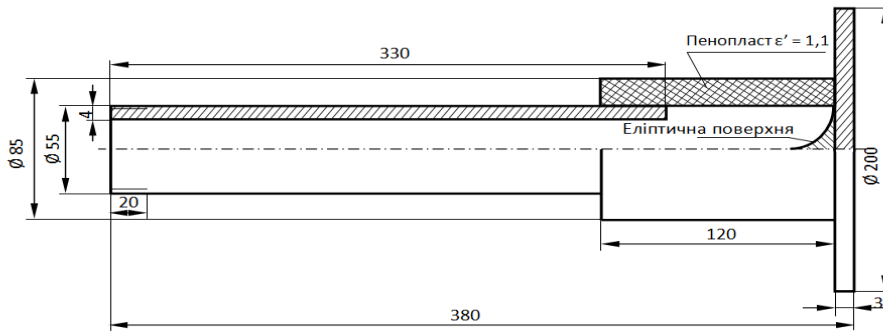


Рис. 1. Класична антена Касегрена.

Після виготовлення антени і дослідження її в безеховій камері ПАТ «Радар» були проведені натурні випробування з використанням підсилювача потужності тропосферної станції Р-423 та її штатної антени на приймальній стороні використовувалася модифікована антена радіорелейної станції Р-414 та аналізатор спектру. Був отриманий сигнал на відстані 100 км.

На другому етапі, розроблена антена в якій використано опромінювач у вигляді решітки з 8 рупорів, розміщених на поверхні 8-пелюсткового гіперболічного дзеркала, які забезпечують сферичне опромінення рефлектора, при цьому сферичні хвилі трансформуються у плоскі. Збудження НВЧ забезпечується вмонтованими зондами. Розв'язка між рупорами забезпечується додатковими кільцями, розміщеними на їх закраїнах. (рис. 2)

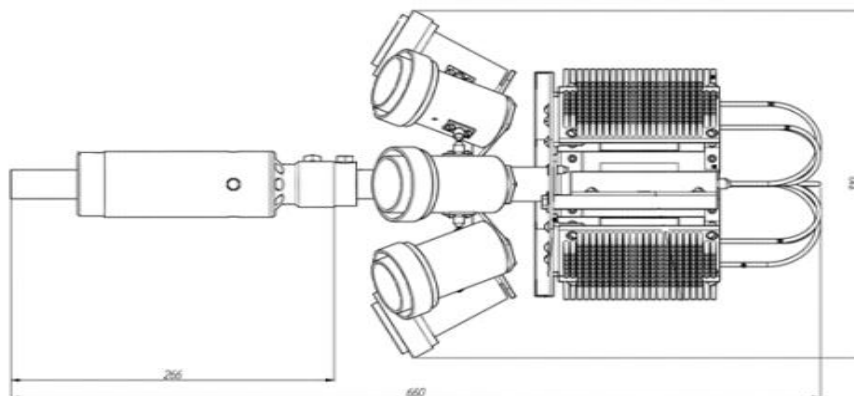


Рис. 2.

На першому етапі НДР було виготовлено та досліджено такий багатоелементний опромінювач, що являє собою решітку із двох груп лінійних симетричних вібраторів-опромінювачів (СВО). Експериментальні дослідження такого СВО виявили ряд недоліків. Один із основних –

незадовільна розв'язка між вібраторами СВО.

У процесі налагодження антени ефективно розподілення НВЧ-енергії по поверхні головного дзеркала забезпечувалося переміщенням вібраторів по пелюстках гіперболічного дзеркала. Для зменшення “переливу” енергії НВЧ-поля за край параболічної антени(що може мати наслідком зменшення коефіцієнту підсилення антени) з'єднання гіперболічного дзеркала з основним дзеркалом виконано через конічний фланець, а підсилювачі потужності (10 Вт кожний) розміщені на додатковому екрані за пелюстками гіперболічного дзеркала (рис. 3).



Рис. 3.

При такій дальності виключається можливість зв'язку за рахунок дифракційних явищ, що і підтверджує працездатність тропосферної радіолінії, утвореної під час проведення експериментів.

Обидві параболічні антени були використані, одна як передавальна, друга як приймальна в експериментах по тропосферному зондуванню.

В результаті було отримано зв'язок на відстань до 155 км. Коефіцієнти підсилення антен приймальної і передавальної 36 і 38 дБ відповідно.

### Література

1. Каменев В.В., Виноградов Б.А., Левчук П.Ф.,” Антенны и распространение радиоволн”
2. Ю.К. Муравьев, Расчет антенных устройств. П,ВАС. 1971р.
3. Серов В.В. Особенности распространения радиоволн в загоризонтных системах радиосвязи. Электросвязь, 2009, №1.
4. Мазор С.Ю., Белас О.М. “Опромінювач лінійної поляризації для параболічної антени”.– К.: ВІКНУ. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім.. Тараса Шевченка.– Вип. 46. 2014р. – с. 6-12.
5. В.З. Захаров “Распространение радиоволн и антенны” (Часть 1, Выпуск 1983).

## **МОДЕЛЬ МІГРАЦІЇ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ МІЖ ТЕХНОЛОГІЯМИ РАДІО ДОСТУПУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ SDR ТА ХМАРНОГО КОНТРОЛЕРУ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ**

**Тимченко І.О., Скулиш М.А.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: iratim4enko@gmail.com*

### **Model of migration of base stations between radio access technologies using SDR and cloud controller of base stations**

The technologies of the SDR and SDN with the cloud controller were showed. The process of handover in C-RAN and architecture of SDN transport network with small cells was considered. A simplified algorithm for changing the base station technology with continuous subscriber maintenance was proposed.

Мобільні мережі використовують всі верстви населення, а передача даних в таких мережах потребує все більших швидкостей передачі. У найближчому майбутньому очікується поява технологій мобільного зв'язку 5G, що забезпечать швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с.

Мережі 5G будуватимуться на основі хмарних технологій програмно-визначеного радіо SDR і програмно-визначеної інфраструктури SDN. Планується спільне та повторне використання частотного спектра.

Використання SDR дозволить динамічно розрізняти перешкоди і накладання [1]. Віртуальна мережа радіодоступу C-RAN розширює гнучкість RAN завдяки віртуалізації середовища виконання. Таке віртуалізоване програмно визначене радіо може надаватись в якості сервісу (RANaaS) і керуватись за допомогою централізованого хмарного контролера.

Головна перевага використання технології SDR полягає у тому, що абонент може використовувати один пристрій для прийому різних типів сигналів. При цьому перемикання між різними технологіями відбувається автоматично без участі користувача. При підключенні до відповідної базової станції (БС) вбудований у пристрій чіп самостійно розпізнає, який тип сигналу і на якій частоті він повинен прийняти.

Використання технології SDR для хмарної мережі радіодоступу дозволить програмувати віртуальні БС таким чином, щоб вони могли автоматично виконувати перехід від однієї технології до іншої. Необхідним є врахування даних моніторингу про завантаженість певної ділянки мережі. Такий автоматичний перехід дозволить оптимізувати використання обчислювальних ресурсів віртуальних БС та збільшити ефективність обробки потоку.

В мережі C-RAN процедура хендоверу забезпечується завдяки постійному обміну аутентифікаційною інформацією між сусідніми сотами [2]. Це проілюстровано на рис. 1.

Для ефективного використання частотного ресурсу оптимальним є повторне використання просторового ресурсу, що призводить до зменшення сот та їх ущільнення. Такі соти називають малими сотами (SC). Проте масивне розгортання SC вимагає безпроводових транзитних рішень (ВН - wireless backhaul) інфраструктури з високою пропускною здатністю, тому що неможливо економічно зв'язати тисячі малих сот [3].

На рис. 2 представлена архітектура моделі SOCRA (Software Defined Small Cell RAN – програмно визначена мережа радіодоступу з малими сотами).

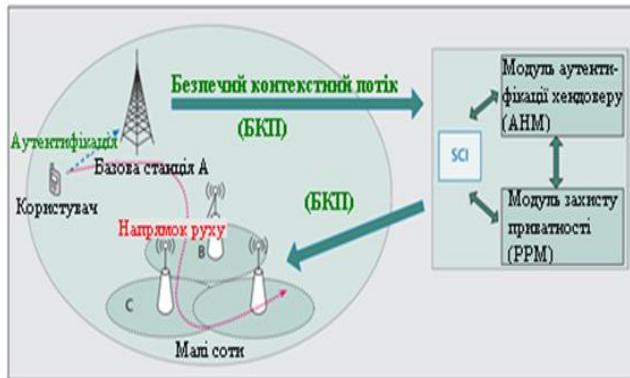


Рис. 1. Процес хендверу в мережі C-RAN.

Основним компонентом архітектури є контролер SDN, який управляє мережею через конфігурацію вузлів соти, що включає правила потоків, безпроводові лінії зв'язку та конфігурацію керування живленням. Він взаємодіє з транзитним оркестратором (Backhaul Orchestrator), відповідальним за оптимізацію транзитних операцій

Пропонується ввести поняття моделі міграції базових станцій між технологіями. Коли абонент рухається і перемикається між сусідніми базовими станціями можлива ситуація, коли діючий БС необхідно змінити стандарт мовлення. В такому випадку, щоб не “загубити” абонента, базова станція №1 (БС1) має “передати” абонента базовій станції №2 (БС2), після цього змінити відповідні параметри і перейти на інший стандарт, а потім знову продовжити обслуговування абонента вже за допомогою нової технології, саме цей процес і названо міграцією БС між технологіями. Для прикладу візьмемо дві технології: 2G та 3G. Всі БС та МТ працюють за 2G, а потім обслуговуюча БС повинна перейти на 3G.

Мобільний термінал (МТ) постійно вимірює рівень і якість сигналу від сусідніх БС 2G/3G і відправляє вимірювання на хмарний контролер (ХК). Припустимо, що БС1 отримала команду від ХК про зміну технології з 2G на 3G. Тоді БС1 передає повідомлення МТ про необхідність переключитися на іншу БС. МТ у свою чергу відсилає запит ХК про можливість переключитися

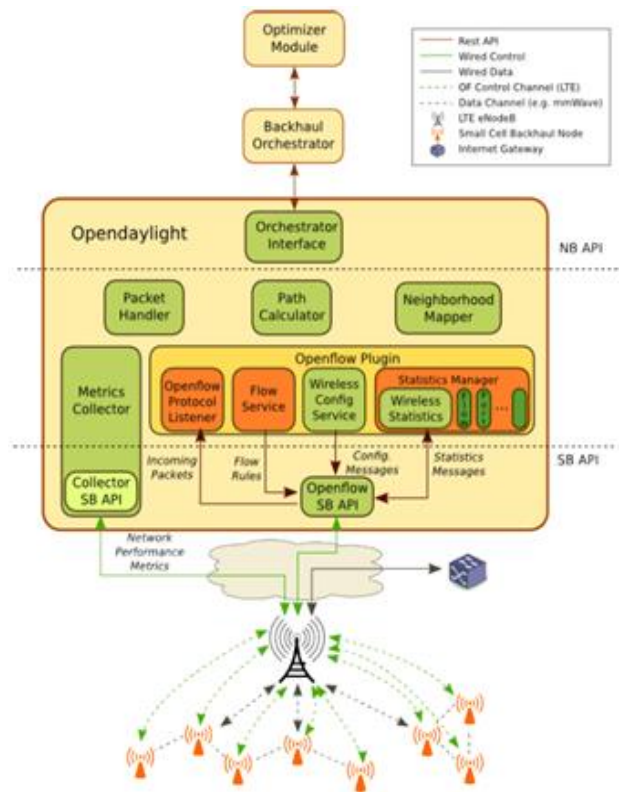


Рис. 2. Архітектура транспортної мережі SDN з малими сотами

на іншу БС у технології 2G. ХК ініціює зміну обслуговуючої частоти для МТ на основі даних моніторингу. МТ переключається з БС1 на БС2 без переривання зв'язку і відправляє на контролер підтвердження переходу. Далі ХК відсилає дозвіл БС1 перейти на 3G. БС1 змінює технологію і посилає повідомлення-підтвердження на ХК. Після цього МТ отримує повідомлення від ХК про завершення переходу на іншу технологію БС1 і необхідні параметри. МТ переключається знову з БС2 на БС1 (вже в стандарті 3G) і відправляє підтвердження на ХК. Зобразимо описаний алгоритм на рис. 3.

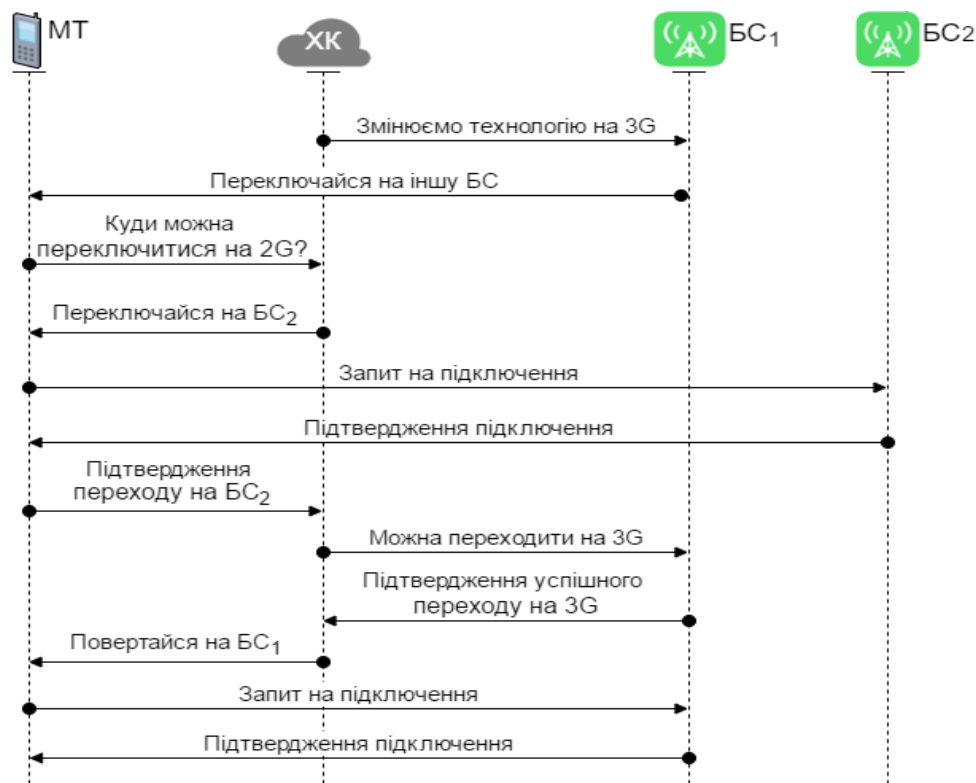


Рис. 3. Алгоритм міграції БС між технологіями.

В роботі була запропонована модель міграції базових станцій між технологіями радіо доступу при використанні SDR та хмарного контролеру БС. Необхідність міграції між технологіями обґрунтовується існуванням таких факторів погіршення якості сервісу, як інтерференції сигналів абонентів, погані погодні умови, екстрені ситуації, або ж перевантаження мережі. Перехід на інші технології дозволяє вирішити ці проблеми, завдяки, наприклад, зміні довжини хвилі.

#### Література

1. Скулиш М.А. Задача розподілу абонентського навантаження між базовими станціями з підтримкою SDR / М.А. Скулиш, А.А. Заставенко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – № 4. – С. 99-105. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt\\_2016\\_4\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt_2016_4_17).
2. Open Air Interface Cloud RAN. 5G software alliance for democratising wireless innovation [Електронний ресурс] // – Режим доступу: [http://www.openairinterface.org/?page\\_id=466](http://www.openairinterface.org/?page_id=466).
3. Santos Ricardo. A SDN controller architecture for Small Cell Wireless Backhaul using a LTE Control Channel / Ricardo Santos, Andreas Kessler // World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2016 IEEE 17th International Symposium on A. – 28 July 2016.



## **ВИКОРИСТАННЯ WI-FI ТЕХНОЛОГІЙ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ**

**Павленко В.В., Наритник Т.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: pavlenkov1996@gmail.com*

### **Wi-Fi technologies usage in terahertz range telecommunication systems**

Considered organization levels of wireless Wi-Fi network and methods of security problems solving. Also covered basic concepts of creating radio-based Wi-Fi technology for terahertz range telecommunication systems usage.

В роботі розглянуто рівні організації безпроводової мережі Wi-Fi, методи рішення проблем безпеки та основні концепції створення радіо на основі технології Wi-Fi для використання телекомунікаційних систем терагерцового діапазону.

На сьогоднішній день технологія безпроводових мереж Wi-Fi є найбільш зручною. Вона забезпечує можливість користувача бути мобільним. Перевага технології безпроводових мереж Wi-Fi полягає у простоті установки та використання.

Стандарт IEEE 802.11 працює на двох нижніх рівнях моделі ISO/OSI: фізичному і каналному. Він передбачає передачу сигналу одним з двох методів - прямої послідовності(DSSS) і частотних стрибків(FHSS). Дані методи розрізняються способом модуляції, проте використовують одну і ту ж технологію розширення спектру.

Метод FHSS передбачає зміну несучої частоти сигналу при передачі інформації. Для підвищення завадостійкості збільшують спектр переданого сигналу. Саме для цього несуча частота змінюється по псевдоймовірному закону, і кожен пакет даних передається на своїй частоті. При використанні FHSS конструкція приймача виходить досить простою, проте цей метод можна застосовувати, тільки якщо пропускна здатність не перевищує 2 Мбіт/с. Тому більш ймовірним є використання методу DSSS.

Основою методу DSSS є принцип фазової маніпуляції (тобто передачі інформації стрибкоподібною зміною початкової фази сигналу). Для розширення спектру сигналу застосовується перетворення переданої інформації в код Баркера, який є псевдовипадковою послідовністю. Одиначні біти передаються прямим кодом Баркера, а нульові - інверсним.

Для безпроводових мереж Wi-Fi каналний рівень включає в себе підрівні управління логічним з'єднанням (Logical Link Control (LLC)) та управління доступом до середовища передачі (Media Access Control (MAC)). У Ethernet та 802.11 один і той же LLC, що значно спрощує об'єднання проводових та безпроводових мереж. MAC у обох стандартів має багато спільних рис з незначними відмінностями.

Локальна мережа Wi-Fi - є джерелом підвищеного ризику несанкціонованого доступу. Проникнути в безпроводову мережу значно простіше, ніж в звичайну, - не потрібно підключатися до проводів, досить опинитися в зоні прийому сигналу. Різниця в безпеці тих чи інших мереж зводиться до різниці в безпеці фізичного та

MAC-рівнів.

Наразі безпроводову мережу вважають захищеною, якщо в ній функціонують три основних складових системи безпеки: *аутентифікація користувача, конфіденційність та цілісність передачі даних*. Щоб отримати належний рівень безпеки необхідно скористатися рядом правил при організації і налаштуванні приватної Wi-Fi-мережі. Ось декілька з них:

- шифрувати дані шляхом використання різних систем. Максимальний рівень безпеки забезпечить застосування VPN;
- використовувати протокол 802.1X;
- заборонити доступ до налаштувань точки доступу за допомогою безпроводового підключення;
- управляти доступом клієнтів по MAC-адресам;
- заборонити трансляцію в ефір ідентифікатора SSID;
- використовувати максимально довгі ключі;
- змінювати статичні ключі і паролі;
- користуватися складним паролем для доступу до налаштувань точки доступу;
- не дозволяти гостьовий доступ до ресурсів загального доступу, використовувати довгі складні паролі;
- не використовувати в безпроводовій мережі DHCP. Механічно розподілити статичні IP-адреси між абонентами та інші[1].

На сучасному етапі важливо застосовувати оптимальні критерії та алгоритми створення радіосистем терагерцового діапазону на основі технології Wi-Fi. Одним з таких критеріїв є сигнально-кодові конструкції(СКК). Правильно підібрані СКК дозволить забезпечити необхідну достовірність передачі при досягненні максимальної швидкості. Для цього необхідно підібрати метод модуляції на передавальній стороні каналу зв'язку за критерієм максимальної пропускної здатності. Іншим важливим моментом є застосування завадостійкого кодування, а саме на основі кодів із низькою щільністю перевірок на парність. Це забезпечить підвищення необхідної достовірності передачі інформації завдяки високій швидкості кодування та декодування[2].

Вибір оптимальної СКК є вкрай важливим моментом при створенні радіосистем терагерцового діапазону на основі технології Wi-Fi. Адже саме вона визначає вимоги щодо достовірності передачі інформації та забезпечення необхідної інформаційної швидкості[3].

### Література

1. Радіомережі: протокол IEEE 802.11 [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://ukrefs.com.ua/print:page,1,171831-Radioseti-protokol-IEEE-802-11.html>.
2. Т.М. Наритник, С.О. Осипчук, Л.О. Уривський // Проблеми телекомунікацій. – 2015. – № 2 (17). – С. 37-54.
3. Кравчук С.О., Наритник Т.М. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону. Монографія. – Житомир : ФОП «Євнюк О.О.», 2015. – 208 с.

УДК 004.89

**АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАЗ НЕЧІТКИХ ЗНАНЬ**

**Терновой М. Ю., Штогріна О. С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: tenovoy@its.kpi.ua; L\_shtogrina@mail.ru*

**ARCHITECTURE OF INFORMATION TECHNOLOGY  
FOR FUZZY KNOWLEDGE BASE DEVELOPMENT AND USE**

The paper considers information technology of fuzzy knowledge base development and use. Methods and algorithms on which technology is based are described. Web-architecture of information technology and its modules are proposed.

На сьогоднішній день бази знань, як складова частина інтелектуальних систем виходять на новий рівень розвитку та свого застосування за рахунок доступності обладнання, яке здатне забезпечити використання інтелектуальних систем в багатьох сферах людської діяльності. Так все більше уваги зосереджується на використанні баз нечітких знань (БНЗ) [1, 2, 3], за допомогою яких можна враховувати як кількісну, так і якісну інформацію. Так БНЗ використовуються в багатьох сферах людської діяльності, таких як медицина [4], захист інформації [5], економіка [6] та ін.

Відсутність інформаційної технології, яка б включала в себе всі етапи від створення БНЗ експертами до використання її, як основи підтримки прийняття рішень в інформаційних системах підприємств та організацій свідчить про те, що розроблення вищезазначеної технології є актуальною науково-практичною задачею.

Інформаційна технологія має забезпечувати процеси отримання, накопичення, перевірки, оновлення, пошуку та оброблення даних та інформації, а також процес взаємодії з користувачем. Оброблення даних та інформації проводиться на основі удосконаленої нечіткої моделі, запропонованої в роботі [7], яка передбачає подання БНЗ метаграфом. Процес перевірки БНЗ полягає у проведенні статичної верифікації, метод для якої описаний в роботі [8]. Метод візуалізації метаграфів, запропонований у роботі [9], дозволяє забезпечити наочне подання сукупності наявної у базах інформації у вигляді деякої зв'язаної структури без дублювання інформації. Використання методу візуалізації надає можливість розробити графічні інтерфейси взаємодії з користувачем, які спрощують розуміння та підвищують наочність поданої інформації за рахунок чого полегшуються етапи наповнення знаннями, їх верифікації та аналізу отриманих результатів.

У запропонованій інформаційній технології описані процеси представлені наступними модулями: модуль створення та редагування БНЗ на основі метаграфа, модуль візуалізації метаграфа, модуль підготовки

метаграфа, який реалізує впорядкування вузлів та виділення необхідної частини метаграфа, модуль статичної верифікації БНЗ та модуль нечіткого-логічного виведення на основі метаграфа, модуль роботи з базами даних. Ці модулі реалізовані як застосування підтримки функціонування БНЗ та показане місце їх розташування в архітектурі інформаційної системи (рис. 1). Окрім цього інформаційна система включає застосування оцінки складних об'єктів конкретних предметних областей. В рамках даної роботи такі застосування були розроблені для оцінки психофізіологічного стану людини та оцінки стану продукції. Використання цих застосувань на практиці дозволило підтвердити ефективність запропонованої інформаційної технології.

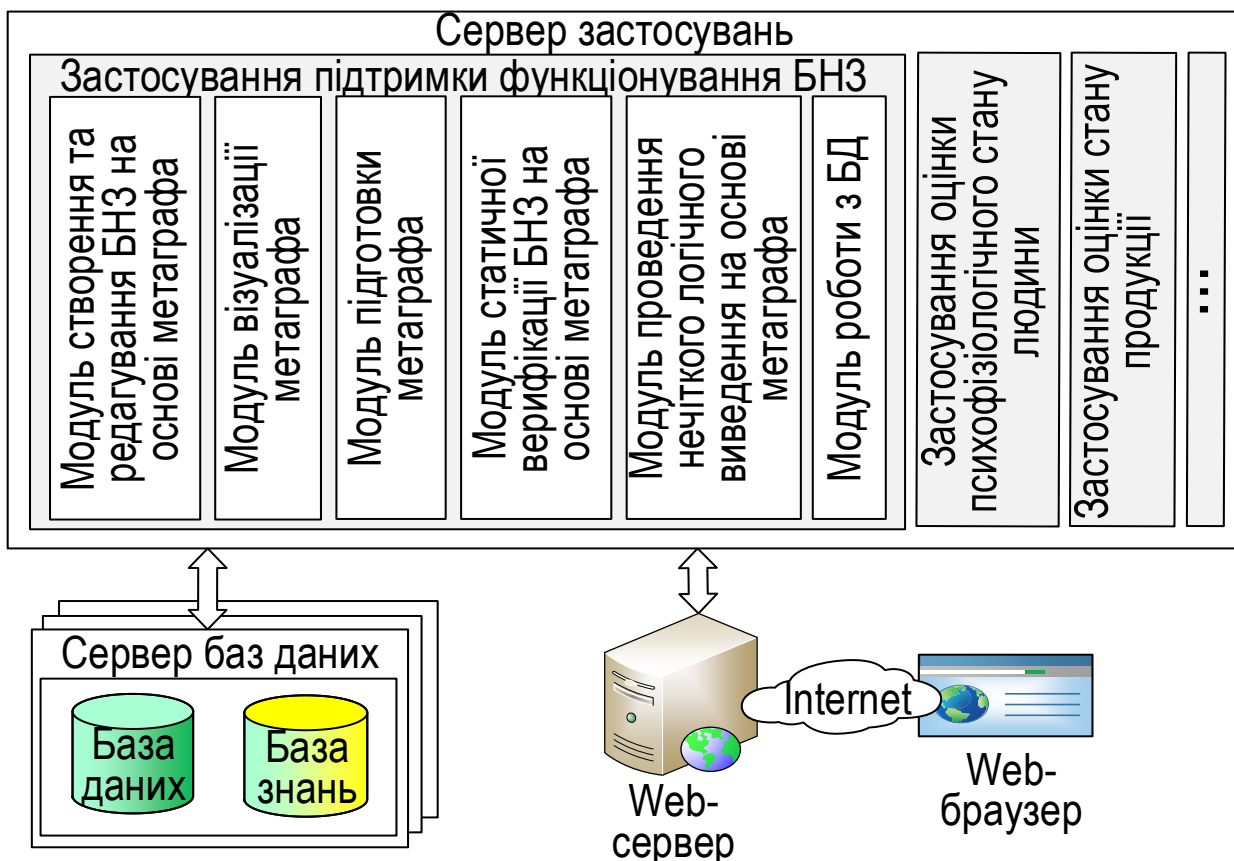


Рис. 1. Архітектура інформаційної технології створення та використання БНЗ.

Розглянемо архітектуру інформаційної технології створення та використання БНЗ. Вона має бути розподіленою, надавати можливість працювати при відсутності мережі між складовими частинами, вимагати якомога меншу кількість пристроїв та їх ресурсів. На сьогоднішній день рішенням, яке може задовольнити ці вимоги може бути використання web-орієнтованої архітектури. Така архітектура зазвичай включає сервер баз даних, сервер застосувань, web-сервер та програму переглядач (браузер), яка надає доступ кінцевому користувачу до необхідних застосувань. Наведемо переваги використання такої архітектури. По-перше це те, що пристрій кінцевого користувача не має бути ресурсомістким, єдиною вимогою для нього є наявність браузера та підключення до мережі. По-друге спрощується адміністрування, бо всі розгортання та налаштування програмного

забезпечення здійснюються на серверах, та на них не впливають користувацькі налаштування.

Таке рішення забезпечує можливість розподіленого оброблення інформації та її швидкість, можливість доступу та оброблення географічно розподілених даних, а також низькі вимоги до пристрою користувача. Взаємодія клієнтів з сервером застосувань та сховищами даних може здійснюватися через мережу Internet, локальну мережу або фізично розташовуватись на одному апаратно програмному комплексі.

Запропонована інформаційна технологія створення та використання БНЗ базується на методах та алгоритмах роботи з метаграфами, надає можливість статичної верифікації БНЗ та можливість роботи з ними в графічному вигляді. Поєднання зазначених методів та алгоритмів дозволяє скорочувати час формування, аналізу та редагування БНЗ, а також підвищувати прозорість подання та оброблення інформації, скорочувати час її оброблення та виконання типових завдань особами, що приймають рішення та дослідниками.

#### Література

1. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн // Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
2. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба // М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
3. Перат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Перат; пер. с англ. 2-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.: ил.
4. Серебровский В. В. Информационная система детектирования ишемических кардиоциклов с использованием нечеткой логики / В. В. Серебровский, С. А. Филист, О. В. Шаталова, А. А. Черепанов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, выпуск № 8 – 1 (179), том 30, 2014. С. 71 – 75.
5. Дубчак Л. О. Нечітка система захисту інформації в телемедицині / Л. О. Дубчак // Системи обробки інформації, випуск 8 (133), 2015. – С. 97 – 101.
6. Семенов М. Г. Оценка эффективности инвестиционных проектов на основе формализма нечеткой логики / М. Г. Семенов, Т. В. Лесина // Финансовая аналитика: проблемы и решения, выпуск № 29, 2011. – С. 63 – 68.
7. Терновой М. Ю. Представлення баз нечітких знань за допомогою метаграфа та проведення нечіткого логічного виведення на його основі / М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Вісник Харківського національного університету, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», № 1105, 2014. – С. 156 – 165.
8. Терновой М. Ю. Формальная спецификация аномалий в базах нечетких знаний Мамдани на основе метаграфа / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогріна // Вісник Харківського національного університету, Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 27, 2015. – С. 157 – 171.
9. Globa L. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization / L. Globa, M. Ternovoy, O. Shtogrina, O. Kryvenko // Soft Computing in Computer and Information Science The series "Advances in Intelligent and Soft Computing" (ACS), Springer, Vol. 342, 2015. – pp. 359 – 369.

## МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ВУЗЛА У МЕРЕЖАХ NFV

Суліма С.В.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: lilthirteen@gmail.com

## Node recovery method in NFV networks

The basic trends of network nodes based on virtualization technology are summarized. The problem of recovering networks affected by a substrate node failure is addressed. The method of node recovery in the cases of failure or overload is presented.

Оператори зв'язку все більше цікавляться віртуалізацією мережі. Деякими потенційними випадками використання в секторі телекомунікацій є простота розгортання вузлів таких як ММЕ, S/P-GW, масштабування за вимогою таких вузлів на основі миттєвого навантаження, а не на основі надмірного виділення ресурсів для пікового навантаження, динамічна реконфігурація топології для уникнення відмов і відновлення і т.д. Це дозволяє прискорити розгортання мережі, зменшує зайняті ресурси, коли немає у цьому немає необхідності, і, таким чином, покращує ефективність використання ресурсів для збільшення доходу [1]. Проблема, що розглядається у даному дослідження, полягає в тому, як перемістити розміщені на фізичному вузлі з відмовою або перевантаженням віртуальні вузли з метою мінімізації витрат відновлення вузла і періоду переривання сервісу. У той час як адаптація шляхів для віртуальних мереж була розглянута у ряді підходів (наприклад, у [2]), проблема відмови вузла в віртуальних мережах була розглянута раніше лише у [3], проте не враховувалася вартість ресурсів на вузлі і кінцева якість обслуговування, а також не розглянуто випадок відмови вузла через надмірне навантаження, що надходить на нього.

Розглянемо постановку задачі. Фізична мережа задана у вигляді графа  $SN=(N,L)$ , де  $N$  є множиною фізичних вузлів і  $L$  – множиною каналів. Кожен канал  $(n_1,n_2)\in L$ ,  $n_1,n_2\in N$  має максимальну пропускну здатність  $cres(n_1,n_2)$  і мережеву затримку  $L(n_1,n_2)$ , а кожен вузол  $n \in N$  пов'язаний з певними ресурсами  $cres_n^i$ ,  $i\in R$ , де  $R$  – множина типів ресурсів. Мережа зв'язку представлена множиною ланцюгів сервісів (або запитів віртуальної мережі)  $T$ , які вбудовуються в фізичну мережу. Запит віртуальної мережі  $t$ ,  $t\in T$ , можна представити як зважений граф  $G_t=(V_t,E_t)$ , де  $V_t$  є множиною віртуальних вузлів, що містить  $h_t$  елементів і позначається як  $V_t=(v_{t,1},v_{t,2},\dots,v_{t,h_t})$ , де  $v_{t,j}$  означає  $j$ -у мережеву функцію у ланцюзі функцій  $t$ .  $E_t$  є множиною віртуальних каналів  $e_t(v_{t,j},v_{t,g})\in E_t$ . Вимоги смуги пропускання каналу між двома функціями,  $j1$  і  $j2$ , що відносяться до ланцюга сервісів  $t\in T$  позначається як  $d_t^{(j1,j2)}$ ,  $d_t^{j,i}$  – кількість ресурсу типу  $i$ , що виділяється для мережевої функції  $j$  ланцюга  $t$ . Булеві змінні  $x_n^{t,j}$  вказують, чи мережева функція  $j$ , пов'язана з ланцюгом  $t \in T$ , розташовується на фізичному вузлі  $n$ ,

змінні  $f_{(n_1, n_2)}^{t, (j_1, j_2)}$  визначають, чи фізичний канал  $(n_1, n_2)$  використовується у шляху між  $j_1$  та  $j_2$  для запиту  $t$ .  $L_t$  – максимальна затримка для запиту  $t \in T$ .  $costN(i, n)$  – вартість зайнятої одиниці ресурсу  $i$  на фізичному вузлі  $n$ , і  $costL(n_1, n_2)$  – вартість зайнятої одиниці пропускної здатності на фізичному каналі  $(n_1, n_2) \in L$ .

У запропонованому підході (рис. 1) припускаємо, що відображення запитів віртуальної мережі вже виконано (наприклад, з використанням підходу, визначеного в [4]). Процес відображення віртуальної мережі відбувається в два етапи: відображення вузлів ( $M_N: V_t \rightarrow N$ ) і відображення каналів ( $M_L: E_t \rightarrow L$ ).

```

 $x_n^{t,j} \leftarrow 0$ 
 $S_1 \leftarrow \{ m : \exists (e_t(j, m)) \}$ 
for all  $\{ m \in S_1 \}$  do
     $f_{(j, m)}^{t, (j, m)} \leftarrow 0$ 
     $w_m \leftarrow M_N(v_{t, m})$ 
end for
 $S_2 \leftarrow \cup_{m \in S_1} w_m$ 
Менеджер направляє запит SPT всім фізичним вузлам у  $S_2$ 
for all  $w \in S_2$  do
    Виконати алгоритм SPT
     $S_{3, w} \leftarrow \{ q : length(q, w) \leq l \}$ 
end for
 $S_4 \leftarrow \emptyset$ 
for all  $q \in \cup_{w \in S_2} S_{3, w}$  do
    for all  $\{ m \in S_1 \}$  do
        if  $\exists (e_t(j, m))$  then
             $f_{(q, w_m)}^{t, (j, m)} \leftarrow 1$ 
        end if
    end for
    if  $(\sum_{(b_1, b_2) \in E_t} \sum_{(a_1, a_2) \in L} f_{(a_1, a_2)}^{t, (b_1, b_2)} \cdot L(a_1, a_2) \leq L_t \ \&\& \ d_t^{j, i} \leq cres_q^i \ \forall i \in R \ \&\& \ d_t^{(j, m)} \leq cres(q, w_m) \ \forall m \in S_1)$  then
         $CostNL_q \leftarrow weight_1 \cdot \sum_{i \in R} d_i^{t, j} \cdot costN(i, q) + weight_2 \cdot \sum_{w \in S_2} costL(q, w_m) \cdot d_t^{(j, m)}$ 
         $S_4 \leftarrow S_4 \cup q$ 
    end if
    for all  $\{ m \in S_1 \}$  do
         $f_{(j, m)}^{t, (j, m)} \leftarrow 0$ 
    end for
end for
if  $S_4 = \emptyset$  then
    Виконати алгоритм Реконфігурації
else
    Обрати  $min CostNL_q, q \in S_4$ 
     $q^* = argmin CostNL$ 
end if
 $x_{q^*}^{t, j} \leftarrow 1$ 
for all  $\{ m \in S_1 \}$  do
    if  $\exists (e_t(j, m))$  then
         $f_{(q^*, w_m)}^{t, (j, m)} \leftarrow 1$ 
    end if
end for
end for

```

Рис.1. Алгоритм відновлення вузла з відмовою.

Процес переміщення вузлів віртуальної мережі, розміщених на вузлі, який відмовив,  $v_{t,j}^{fail}$ , запускається, коли система відправляє запит на відновлення відповідному вузлу-менеджеру. Менеджер направляє запит на відновлення до всіх вузлів фізичної мережі, на яких розміщуються віртуальні вузли, суміжні з ураженими віртуальними вузлами. Кожен з цих вузлів будує дерево найкоротших шляхів (Shortest Path Tree – SPT) до всіх вузлів фізичної мережі на відстані не більше  $l$  кроків від вузла, де коренем SPT виступає сам цей вузол. Менеджер використовує ці шляхи, щоб вибрати вузол з оптимальною відстанню до всіх вузлів фізичної мережі, де розташовані вузли віртуальної мережі прилеглі до несправного вузла. Цей вузол в кінцевому рахунку стає оптимальним кандидатом для розміщення ураженого віртуального вузла. Крім того, ємність кінцевих вузлів шляхів з SPT повинна бути не менше ємності віртуального вузла, розміщеного на несправному вузлі. Обираємо вузол з мінімальною вартістю шляху до всіх кореневих вузлів у деревах SPT та мінімальною вартістю обчислень. Рис. 1 містить опис псевдокоду алгоритму відновлення вузла після відмови і виконується для всіх  $\{v_{t,j} : x_n^{t,j}=1 \ \& \ n = failed\}$ .

У мережі також існує ймовірність відмови вузла через перевантаження. У такому випадку виконується процедура міграції віртуальних вузлів, розміщених на перевантаженому фізичному вузлі. Процес відновлення починається з сортування всіх віртуальних вузлів, розміщених на перевантаженому фізичному вузлі. Критерієм (CRT в алгоритмі на рис. 2), що використовуються для сортування цих вузлів віртуальної мережі, є ємність віртуальних вузлів. Потім виконується процедура відновлення на першому відсортованому вузлі віртуальної мережі, що має ємність рівну перевантаженню, для переміщення на новий вузол фізичної мережі.

*$n$  = перевантажений*

*$S_1$  ← Відсортувати віртуальні вузли, що розміщуються на  $n$  у зростаючому порядку на основі критерію CRT*

*Вибрати з  $S_1$  перший віртуальний вузол  $v_{t,j}$ , де ємність ресурсів не менше перевантаженої ємності  $d_t^{j,i} \geq \Delta cres_n^i \ \forall i \in R$*

*Виконати алгоритм Відновлення Вузла з Відмовою*

Рис.2. Алгоритм відновлення вузла з перевантаженням.

Окреслені перспективні напрямки досліджень NFV. Розроблено підхід до відновлення вузла у віртуалізованих мережах, що робить віртуальні мережі більш надійними, зменшуючи період переривання сервісу у випадку відмови вузла або його перевантаження та мінімізуючи вартість відновлення вузла.

#### Література

1. Khan A. Virtual Network Embedding for telco-grade network protection and service availability / A. Khan, X. An, S. Iwashina // Computer Communications. – 2016. – Vol. 84. – pp. 25-38.
2. Fajjari I. VNR Algorithm: A Greedy Approach For Virtual Networks Reconfigurations / I. Fajjari, N. Aitsaadi, G. Pujolle, H. Zimmermann // IEEE Global Communications Conference, Exhibition and Industry Forum. – Houston, USA, 2011. – pp. 1-6.
3. Abid H. A novel scheme for node failure recovery in virtualized networks / H. Abid; N. Samaan // 2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013). – Ghent, Belgium, 2013. – pp. 1154-1160.
4. Skulysh M. Model for Efficient Allocation of Network Functions in Hybrid Environment / M. Skulysh, L. Globa, S. Sulima // Information and Telecommunication Sciences. – 2016. – № 1. – pp. 39-45.



## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

Герлянд А.М., Гаттуров В. К.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
Україна*

*E-mail: amgerlyand@gmail.com*

### **Quality of experience (QoE) measures total system performance using subjective and objective measures of customer satisfaction**

In this article briefly reviewed the approach for assessing the quality perception and hers methods estimation.

Розвиток сучасних технологій викликав бурхливий розвиток нових мультимедійних послуг, таких як передача голосу по IP, відео за запитом (VoD), BroadcastTV та онлайн-ігри та інше, але дані послуги мають високі вимоги щодо втрат пакетів, затримки і джитера. Тому питання оптимізації якості послуг та сприйняття користувачем займає важливу позицію.

Для оцінювання якості надання послуг використовують показник оцінювання якості сприйняття послуг QoE (Quality of Experience), що визначає, як сприймає кінцевий користувач цю послугу, і прямо пропорційно залежить від показника якості надання сервісу QoS (Quality of Service).

Варто зазначити, що показник QoE – це суб'єктивна оцінка послуги на прикладному рівні користувачем, який користується послугою, а показник QoS – це набір технологій мережевого та каналного рівнів, саме при застосуванні яких дозволяють ефективніше використовувати ресурси мережі, особливо високі потреби є під час передачі потокових видів трафіку для забезпечення необхідного рівня QoE та QoS.

Головні аспекти визначення якості сприйняття (QoE) описано в Рекомендації ІТУ-Т Р.10/G.100. – 2006 як загальний показник якості додатка або сервісу, що сприймає суб'єктивно кінцевий користувач. Тобто, QoE - є складнішим поняттям порівняно з якістю обслуговування QoS (Quality of Service). QoE включає не тільки вплив фізичних параметрів, але і вплив усіх можливих факторів від джерела до кінцевого користувача. Також важливо відмітити, що на QoE впливає яка саме інформація буде передаватись (вміст контенту). Оскільки якість сприйняття визначає «суб'єктивно кінцевий користувач», то відмінності в особистісному сприйнятті й перевазі приведуть до того, що параметри якості сприйняття, отримані від різних людей, можуть відрізнятися. Тому вимірювання QoE, як правило, проводяться з використанням групи користувачів – експертів та за допомогою статистичних підходів визначають рівень QoE.

*Методи оцінювання QoE.* Найпростішим методом оцінки параметра QoE може слугувати оцінка MOS. Ця оцінка є усередненим значенням оцінок кількох спостережень, отриманих на основі використання методики ІТУ-Т з

п'ятибальною системою.

Для оцінки QoE оцінюють такі параметри, як:

- час встановлення з'єднання;
- час реакції на виконання команди;
- завмирання зображення;
- розбиття зображення; синхронізація зображення та голосу;
- чіткість та розбірливість звуку.

Модель MOS не враховує деяких явищ, типових для пакетних мереж, що впливають на якість послуги. В даній моделі неможливо кількісно врахувати вплив факторів на якість мовлення. Крім того, модель MOS надає оцінку якості в односпрямованому з'єднанні, а не в двох напрямках реального з'єднання. Все це вимагало розроблення нових моделей оцінки якості передачі мови, що враховують особливості пакетних мереж.

Об'єктивні методи оцінювання якості дають змогу виключити людину із процедури оцінювання, а отже, і легко автоматизуються. Такі методи поділяються на активні та пасивні.

В активних методах оцінювання якості здійснюють, порівнюючи еталонну послідовність (оригінал) із послідовністю, яка була викривлена під час передавання по мережі.

До активних методів належать:

- рекомендація ITU-T P.862 – PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) – оцінка сприйняття якості передавання мовлення;
- рекомендація ITU-T BS.1387 – PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) – оцінка сприйняття якості передавання аудіо. мовлення 139;
- рекомендація ITU-T J.247 – PEVQ (Perceptual Evaluation of Video Quality) – оцінка сприйняття якості передавання відео.

До пасивних методів належать:

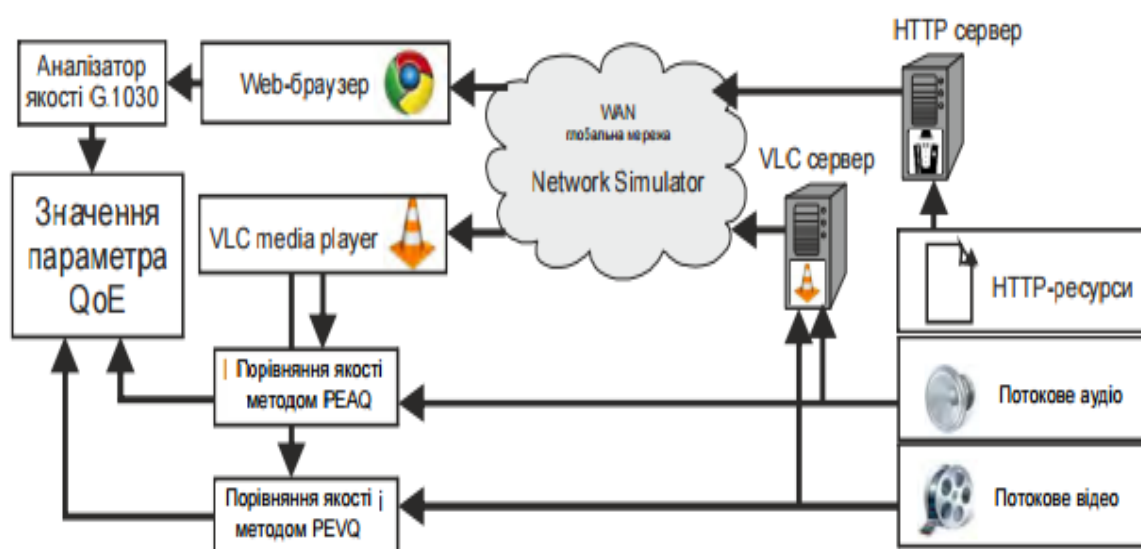
- рекомендація ITU-T P.563 – PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement) алгоритм пасивного моніторингу для оцінки якості мовного зв'язку;
- рекомендація ITU-T G.107 E-model оцінює якість мовного зв'язку за допомогою R-фактора;
- рекомендації ITU-T G.1030 G.1040 оцінювання якості передавання даних. Імітаційна модель глобальної мережі для передавання різнотипних потоків даних.

У роботі розглянуто модель передавання різнотипного пакетного трафіку, характерного для мультисервісних мереж, на основі клієнт-серверної архітектури, тобто кінцевий користувач, що має підключення до глобальної мережі, бажає отримати послуги з найвищою якістю. Послуги, які розглядаються: перегляд Web-сторінок, прослухування та перегляд потокового аудіо та відео в реальному часі. Головним постачальником послуг є слугує сервер, на якому міститься потрібна кінцевому користувачу інформація, а саме: потоковий аудіо та відеоконтент і розміщені Web-сторінки.

Отже, для створення імітаційної моделі використовується єдину робочу

станцію, яка виконує функції серверної і клієнтської станції, а також вноситиме потрібні зміни у параметри потоку даних для імітації реальних характеристик глобальної мережі.

Отже, для створення локального HTTP-сервера використовуємо Apache (з набору дистрибутивів Денвер 3), для трансляції потокового аудіо та відео VLC сервер (від некомерційної організації VideoLAN), для відображення 140 Web-сторінок використовуємо інтернет-браузер Google Chrome 19.0.1, а для відтворення відео – VLC media player.



Об'єктивне визначення показника параметра якості сприйняття послуги QoE здійснювалось згідно з відповідними рекомендаціями ІТУ-Т:

- для оцінки HTTP-трафіку використано рекомендацію G.1030;
- для аудіо – активний метод порівняння PEAQ;
- для відео – активний метод порівняння PEVQ.

*Висновок.* QoS та QoE є основними параметрами, які забезпечують якнайкраще сприйняття користувачем переданої інформації. Тому для її оцінки важливо знайти правильні методи оцінки. Здійснено експериментальне визначення параметра QoE для трьох різнотипних видів трафіку: HTTP-трафік, потокове аудіо та відео в режимі реального часу, що проходив через імітаційну модель WAN-з'єднання зі зміною ймовірності втрати пакета, пропускну здатності та типу розподілу затримки пакета.

#### Література

1. Recommendation ITU-R BS.1387-1. Method for objective measurements of perceived audio quality.
2. Recommendation ITU-R BT.500-11 Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.
3. Recommendation ITU-T J.247 Objective 144 perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference.
4. Савин К.А. Существующие подходы по методам оценки качества услуг – М., 2011. 6. Кобзарь Л. С. Использование параметра качества восприятия в системе IPTV // Наукові записки УНДІЗ. – 2010.
5. Стрюк О.Ю. Імітаційна модель для визначення сприйняття якості обслуговування абонентів ІР-телефонії // О.Ю. Стрюк, Я.В. Янсонс // Математичні машини та системи. – 2010. – № 5. – С. 58 – 66.

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПИРИНГОВОЙ СЕТИ

Москалец Н.В., Поповская Е.О.

Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники, Украина

E-mail: Katerina77Popovskaya@ukr.net

### THE ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF PEER-TO-PEER NETWORK

The relationship of P2P network broadcasting live streaming video quality from components of the network are presented.

Пиринговые сети (Peer-to-Peer) P2P становятся все более популярными среди пользователей Интернет. Эти сети обладают явными преимуществами по сравнению с сетями доставки контента и сетями распределения контента CDN. Пиринговые сети улучшают масштабируемость, требуют минимум затрат на организацию. В отличие от традиционных клиент-серверных архитектур P2P сети выступают как в качестве клиента (лич – скачивающего), так и сервера (сид – раздающего). Примером успешных коммерческих проектов стали системы CoolStreaming, PPLive, PPStream, Gridmedia и др. Особую популярность пиринговые сети обрели при представлении услуги видео по запросу и живого потокового видео. Преимуществом видео по запросу является более высокое качество воспроизведения, которое можно смотреть в любом месте в любое время. Недостаток – необходимость наличия буфера большого размера для хранения всего файла. Живое потоковое видео – это видео реального времени, что во многих случаях является критично важным. Рассмотрим влияние различных факторов, влияющих на динамику воспроизведения P2P-TV.

Динамические характеристики пиринговой сети определяются скоростью скачивания контента  $V_d$  (download) и скоростью его загрузки  $V_u$  (upload). Для конкретного пира  $P_i$  эти характеристики определяются

$$\begin{aligned} V_d &= d\lambda_d(t)/dt, \\ V_u &= d\lambda_u(t)/dt, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\lambda_d$ ,  $\lambda_u$  – соответственно интенсивности потоков скачивания и загрузки.

В соотношениях баланса между скоростями загрузки и скачивания равенство определяет скорость загрузки видеосервера

$$\int_0^{N(t)} V_u(t, v) dv + U = \int_0^{N(t)} V_d(t, v) dv \quad (2)$$

где  $U$  – скорость загрузки видео-сервера.

Каждый из  $i$ -пиров имеет свою стратегию поведения. В частности возможна полностью эгоистическая стратегия, при которой пир только скачивает информацию со скоростью  $V_{ui}$ , по другим – не загружает  $V_{ui} = 0$ . Степень эгоизма пира определяется отношением скоростей:

$$S(t) = V_u(t)/V_d(t).$$

Показатель  $S(t)$  может изменяться в пределах от  $S_i = 0$  до достаточно

больших чисел. При  $S_i \geq 1$  соответствующий пир демонстрирует щедрую альтруистическую стратегию. Очевидно, качество работы пиринговой сети в целом определяется значениями данного показателя, приведенного к текущему числу активных пиров:

$$Q(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i(t) \quad (3)$$

где  $N$  - число активных пиров, переменная величина, от которой зависит качество  $Q(t)$ . При достаточно большом числе пиров можно заменить сумму на интеграл, а  $N$  на  $N(t)$ . В этом случае (3) представляется в виде

$$Q(t) = \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} S_i(t) t_1 v dv. \quad (4)$$

Получим явную зависимость изменения качества  $Q(t)$  от параметров. Для этого найдем производную функции  $Q(t)$ . Дифференцирование сложной функции нескольких переменных под знаком интеграла представляет собой сложную задачу, особенно для случая когда пределы интегрирования зависят от параметров. При нахождении производной предположим, что функция  $N(t)$  - непрерывна на интервале интегрирования и имеет непрерывные производные. С учетом этого общее выражение дифференциала имеет вид [Бронштейн И.И., Семендяев К.Л., 1965 стр.405]:

$$\frac{d}{dy} \int_{\alpha(y)}^{\beta(y)} f(x, y) dx = \int_{\alpha(y)}^{\beta(y)} \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} dx + \beta'(y) f(\beta(y), y) - \alpha'(y) f(\alpha(y), y). \quad (5)$$

В результате дифференцирования (3) получаем:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)} Q(t) + \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} \frac{\partial S(t, v)}{\partial t} dv + \frac{N'(t)}{N(t)} S(t, N(t)). \quad (6)$$

Уравнение (6) может быть упрощено с учетом особенностей пиринговой сети. Примем во внимание тот факт, что вновь включающийся в сеть пир еще не имеет ресурса для скачивания, то есть  $S(t, v) = S(t, N(t)) = 0$  при  $N(t) = 0$ .

В результате производная (6) примет вид:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)} Q(t) + \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} \frac{\partial S(t, v)}{\partial t} dv. \quad (7)$$

В стационарном состоянии пиринговой сети скорость потоковой передачи  $V(t)$  постоянна. Очевидно это допущение с увеличением числа пиров становится все более справедливым за счет усреднения. Поэтому можно осуществить замену:

$$\frac{dQ(t)}{dt} \cong -\frac{N'(t)}{N(t)} Q(t) + \frac{1}{N(t)} \cdot \frac{1}{V_d} \int_0^{N(t)} \frac{\partial V_u(t, v)}{\partial t} dv. \quad (8)$$

где  $V_d \cong V_d(t)$  - предположение о постоянстве скорости скачивания.

В условиях баланса выполняется равенство определяемое реакцию сети

$$\left( \int_0^{N(t)} \frac{\partial V_u(t, v)}{\partial t} dv \right) dt = -V_d N'(t) dt. \quad (9)$$

Отсюда

$$N'(t) = \frac{1}{V_d} \int_0^{N(t)} \frac{\partial V_u(t, v)}{\partial t} dv. \quad (11)$$

Заменяя  $N'(t)$  из (7) получаем

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)} \cdot Q + \frac{N'(t)}{N(t)}. \quad (12)$$

Уравнение выполняется при любых  $t$ . Заменяя  $Q(t)$  и  $N(t)$  на  $Q(t_0)$ ,  $N(t_0)$  получаем

$$Q(t) = 1 - \frac{N(t_0)(1 - Q(t_0))}{N(t)}. \quad (13)$$

Очевидно с увеличением  $N(t)$  показатель качества  $Q(t) \rightarrow 1$ .

С учетом  $V_d(t, v) = V_d$  можно упростить условие баланса (9):

$$\int_0^{N(t)} V_u(t, v) dv + U = N(t) \cdot V_d. \quad (14)$$

С учетом (4) получаем

$$Q(t) = 1 - \frac{U}{V_d \cdot N(t)}. \quad (15)$$

Причиной монотонного возрастания показателя  $Q(t)$  является все возрастающее количество предложений на скачивание. Особенно важно это для вновь включающихся пиров у которых еще отсутствуют видеоматериалы, которыми он мог бы поделиться с другими.

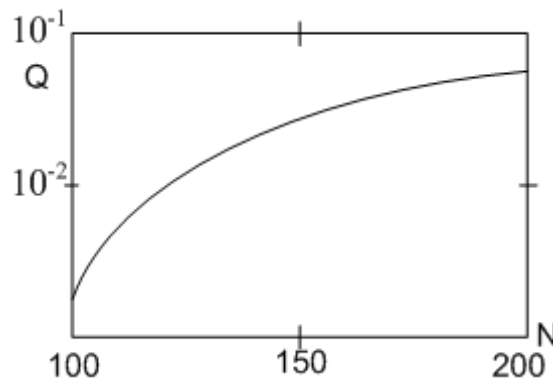


Рис. 1. Качественная характеристика роста скорости загрузки в пиринговой сети с увеличением числа активных пиров.

Вывод: 1. Получена аналитическая зависимость качества пиринговой P2P сети транслирующей живое потоковое видео от составляющих компонент данной сети; 2. Пиринговые P2P интернет сети предоставляют весьма популярную услугу по доставке TV-контента в реальном времени; 3. Пользователи P2P сети с целью повышения качества пользования не должны немедленно уходить из сети, что дает возможность другим пирам скачивать необходимые фрагменты.

#### Література

1. Popovskij V., Barkalov A., Titarenko L. Control and Adaptation in Tel-ecommunication Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.p. 173.
2. <http://www.internet2.edu/network/>.
3. <http://datatracker.ietf.org/wg/alto/charter/>.

## РАЗГРУЗКА СЕТИ LTE С ПОМОЩЬЮ Wi-Fi

**Пишко А.О., Курдеча В.В.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. И.Сикорского, Украина*

*Email: pishkonastia@yandex.ua*

### **LTE network offloading using Wi-Fi**

Recently, there has been an exposure growth in mobile data traffic. Mobile providers are looking for techniques that selectively offload the mobile data traffic to Wi-Fi networks to balance the load and improve network performance. In this paper, we propose Seamless Mobility Interworking (SMI), a modified architecture that provides data offload supporting flow mobility.

С появлением смартфонов, планшетов и других интеллектуальных устройств в мобильных сетях стал преобладать трафик передачи данных. NetNet новое многоуровневое решение для сотовых сетей, где традиционные макро- и микросоты, окружены множеством маломощных и недорогих устройств с неоднородными характеристиками. Эта многоуровневая структура увеличивает пропускную способность, и тем самым предоставляет оптимальное решение использования спектра радиочастот.

В Wi-Fi Offload поддержание пользовательских сеансов и выгрузка выборочных потоков обеспечивает лучший пользовательский опыт в дополнение к балансировке нагрузки в сетях. Для лучшей балансировки нагрузки, необходима возможность перемещения заданных селективных потоков пользователя, то есть обеспечить мобильность потоков. Мобильность потоков позволяет пользователю выбирать наиболее подходящую сеть для текущего использования.

В данной статье предлагается новая архитектура под названием Бесшовная мобильность межсетевого обмена (БММО), которая решает недостатки существующих архитектур, используя концепции PMIPv6 и Software Defined Networking (SDN)[1].

Проанализировав преимущества и недостатки существующих архитектур, была предложена модифицированная архитектура Wi-Fi Offload с бесшовной мобильностью межсетевого потока, которая включает новый блок - контроллер потока (Flow Controller).

На Рис. 1 представлена модифицированная архитектура объединенных сетей LTE и Wi-Fi с функцией бесшовного мобильного потока.

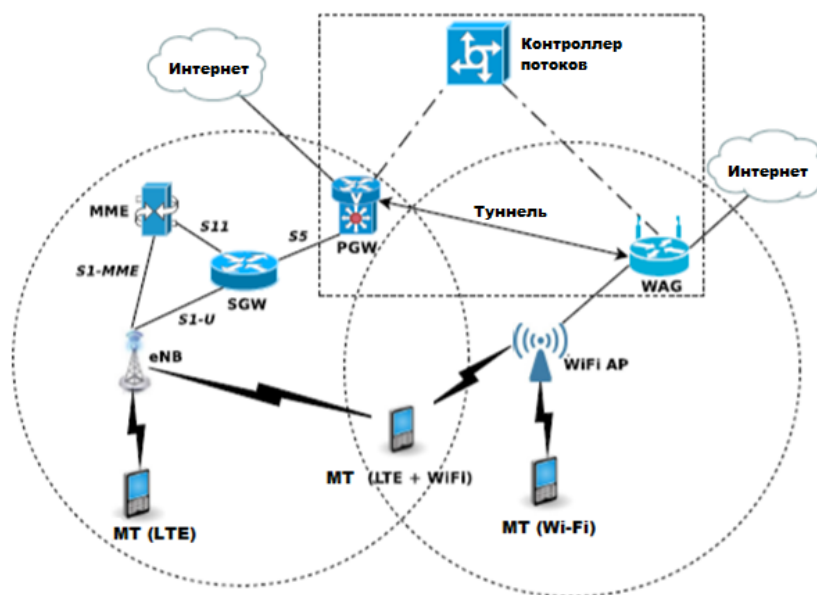


Рис. 1. Модифицированная архитектура Wi-Fi Offload в LTE.

PGW и WAG выступают в качестве мобильных агентов (МА). Они соединяют MT с сетью Интернет, а также обмениваются данными с FC. Рассмотрим более подробно компоненты архитектуры:

1) Контроллер потока отвечает за доставку потоков данных к МА. FC контролирует подвижность потока, и на основании информации полученной от МА, FC устанавливает правила функционирования потока. Когда MT перемещается из одной сети в другую, FC поручает, создание туннеля, через который подключений передаются на MT без каких-либо нарушений.

2) Мобильный агент является маршрутизатором, который обеспечивает Интернет-услуги для MT и отвечает за обнаружение движения MT сетями LTE и Wi-Fi. Всякий раз, когда MT приходит в другую сеть, МА присваивает новый IP-адрес MT и информирует FC о новом IP адресе. МА получает информацию о потоке от FC и пересылает пакеты данных на основе полученной информации.

3) Мобильный терминал посылает запросы для доступа к сервисам. Предложенная архитектура поддерживает мобильность потока, следовательно, MT имеет возможность получать пакеты, предназначенные для нескольких IP-адресов.

За основу для расчета математической модели объема данных, который может будет получен пользователями, был взят метод описан в ист. [2].

Если есть  $A$  схем MCS (Modulation and Coding Scheme),  $i_n$  - количество пользователей в данной схеме MCS с максимальной скоростью передачи данных  $DR_{MCS\_n}$ , средняя мощность сети LTE для каждого пользователя, при условии справедливого распределения, рассчитывается как:

$$C_{AVE\_P} = \frac{1}{\sum_{n=1}^A \frac{i_n}{DR_{MCS\_n}}} \quad (1)$$



Допускается, что все пользователи получают одинаковое значение ширины полосы пропускания. Начальная пропускная способность системы LTE к выгрузке  $C_{LTE}$ , рассчитывается, используя формулу:

$$C_{LTE} = C_{AVE\_P} \times P$$

(2)

Поскольку трафик разгружается в сеть Wi-Fi, увеличивается скорость передачи данных в сети LTE и перераспределяется между оставшимися пользователями сети LTE.

Увеличение пропускной способности сети LTE, после введения дополнительных точек доступа Wi-Fi, рассчитывается как:

$$C_{LTE} = C'_{AVE\_P-OF} \times (P - OF) \quad (4)$$

где  $OF$  - количество пользователей, переведенных в сети Wi-Fi.

Средний прирост пропускной способности каждого пользователя сети LTE для каждой отдельной точки доступа оценивается с помощью формулы:

$$C_{AVE\_PERWIFI} = \frac{1}{\sum_n^B \frac{i_n}{DR_{MCS\_n}}} \quad (5)$$

$C_{AVE\_PERWIFI}$  - средний объем данных при использовании сети Wi-Fi,

$B$  - это максимальное число MCS для 802.11

Средний прирост пропускной способности каждого пользователя сети LTE, в расчете на всю сеть Wi-Fi рассчитывается как:

$$C_{AVE\_allWIFI} = \left( \frac{\sum_{n=1}^{n=m} C_{AVE\_PERWIFI} \times OF_n}{m} \right) / Q \quad (6)$$

$OF_n$  - это количество разгруженных пользователей для каждой Wi-Fi точки;

$m$  - это общее количество точек доступа Wi-Fi, которые используются;

$Q$  - это количество пользователей выгруженных с сети LTE всеми точками Wi-Fi.

Проанализировав полученную формулу можно сделать вывод, что модифицированная архитектура способствует эффективной разгрузке сети LTE за счет перенаправления трафика в сети Wi-Fi. Повышение качества услуг достигается за счет того, что «тяжелый» трафик загружается с помощью Wi-Fi, не перегружая при этом мобильную сеть.

### Литература

1. Nadeau T. SDN: Software Defined Networks An Authoritative Review of Network Programmability Technologies / T. Nadeau, K. Gray // O'Reilly Media. —2013. — P. 384.
2. Thiagarajah S. User data rate enhancement using heterogeneous LTE-802.11n offloading in urban area / S. Thiagarajah, Alvin Ting, David Chieng // IEEE Symposium on Wireless Technology & Applications, –2013. – P. 11 – 16.
3. Algorithms of Mobile Network Development Using Software-Defined Radio Technology/ L.Globa, V. Kurdecha // InTech. – 2012. – P. 3 – 25.

## МОДИФІКОВАНА ПРОЦЕДУРА ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРУ В БЕЗПРОВІДНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

**Вождай П. С., Курдеча В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: vogday@i.ua*

### **Modified vertical handover algorithm in heterogeneous mobile networks**

The analysis of vertical handover procedures and algorithms for its implementation in heterogeneous wireless networks was carried out. The conclusion of urgency modifying the above procedure was done.

На сьогоднішній день технології мобільного бездротового зв'язку розвиваються в напрямку гетерогенних мереж. Мобільні термінали мають забезпечувати плавну передачу з'єднання з однієї мережі в іншу. У той же час, безперервне збільшення споживання потужності терміналу призвело до постійного скорочення терміну служби його батареї. З цією метою, вибір мережі, грає ключову роль в тому, як звести до мінімуму споживання енергії, і тим самим продовжити термін служби терміналу. До сих пір, термінали вибрати мережу, яка забезпечує найвищу потужність сигналу[1]. Проте, було доведено, що це рішення не забезпечує найвищі показники енергоефективності.

Зростаючі потреби користувачів до мереж покриття та якості обслуговування (QoS) вимагають забезпечення доступу до різноманітних послуг у будь-який час в будь-якому місці. Очікується, що гетерогенні мережі, будуть відігравати ключову роль в бездротовому зв'язку. Ці мережі формуються з різних накладених один на одного технологій радіодоступу. Таке рішення дозволяє приймати більшу кількість користувачів, ніж звичайні мережі, забезпечуючи кращу якість обслуговування, в той час як задовольняє потреби користувачів [2]. З іншого боку, збільшення споживаної потужності струму терміналів вимагає енергоефективних рішень, які будуть також брати до уваги мобільність користувача.

Запропонований алгоритм хендверу приймає рішення на основі потужності, споживаної досліджуваним терміналом і пропускної здатності, якої він може досягти при підключенні до конкретної мережі з метою максимізації своєї енергетичної ефективності. Для того щоб оцінити загальну енергоефективність вздовж усього шляху, всі позиції досліджуваного терміналу, мережі обслуговування та каналні умови повинні бути відомі заздалегідь. Очевидно, це вимагає передбачення майбутніх умов, а саме переміщення терміналу, що в цілому спрогнозувати неможливо. Тому, в даному алгоритмі буде прийнято рішення відповідно до інформації, зібраної в минулому. Можна розглянути всю попередню інформацію про передані біти інформації і споживану енергію з відправної точки. Ця точка може бути

початком шляху терміналу, або миттю коли термінал почав своє функціонування. Однак цей варіант має два недоліки. По-перше, потрібно великий об'єм пам'яті, якщо відлік переданих біт і споживана терміналом енергія, визначалися з самого початку. По-друге, рішення буде відкладено через велику кількість інформації, яка буде зібрана.

Далі пропонується вікно розміром  $N$ , що являє собою кількість відліків енергоефективності  $EE_N$  [3]. Також, нові виміри повідомлюються кожен період часу  $T_{meas}$ . Спочатку розраховується  $EE_N$  (1). Для цього необхідна інформація про передані біти і енергію, споживану терміналом протягом останніх  $N$  тимчасових інтервалів, з  $(t - N \cdot T_{meas})$  до  $t$ , де  $t$  поточний час. Крім того, оцінка переданих бітів і енергія, споживана протягом наступного  $T_{meas}$  позначаються  $Bits_{t+1}$  і  $E_{t+1}$  відповідно. Зверніть увагу, що  $EE_{Ni}$  розраховується кожні  $T_{meas}$  для кожного доступної мережі в конкретний момент часу. Якщо розглядається не поточна мережа обслуговування то в загальну формулу слід включити додаткові витрати енергії для виконання хендверу  $\Delta_{HO}$ .

$$EE_N = \frac{Bits_{t-N} + \dots + Bits_t + Bits_{t+1}}{E_{t-N} + \dots + E_t + E_{t+1} + \Delta_{HO}} \quad (1)$$

Після обчислення  $EE_{Ni}$  для кожної доступної мережі  $i$  приймається рішення про хендвер. Якщо є мережа, яка забезпечує кращий показник  $EE_N$ , ніж поточна обслуговуюча мережа виконується процедура вертикального хендверу. Якщо мережа забезпечує такий же  $EE_N$ , який був попередньо, рішення приймається на основі визначених факторів (рис. 1).

Розмір вікна  $N$  вибирається таким, щоб мати змогу подолати зміни в каналі передачі, такі як затінення і затухання. Важливо відзначити, що зміни в каналі передачі, безпосередньо пов'язана з середовищем в якому перебуває мобільний термінал, а також з його швидкістю. Недоліком такого вікна є затримка на прийняття рішень. Проте цю затримку можна використати у випадках, коли потрібно уникнути "пінг-понг" ефекту і зворотнього хендверу. Тим не менш, розмір вікна повинен бути обраний належним чином, оскільки, затримка на прийняття рішення може значно знизити енергоефективність. Крім того, розмір вікна повинен бути налаштований на швидкість терміналу. Якщо термінал переміщається на високій швидкості, необхідне коротше вікно, задля забезпечення швидшої передачі з'єднання. І навпаки, якщо швидкість терміналу дуже низька, розмір вікна слід збільшити, що дозволить мінімізувати зміни каналу і уникнути ефекту пінг-понгу. Варто відзначити, що для досягнення оптимальної продуктивності, параметр  $N$  може бути відрегульований динамічно за допомогою інструментів оптимізації та досліджень попередніх змін в каналі.

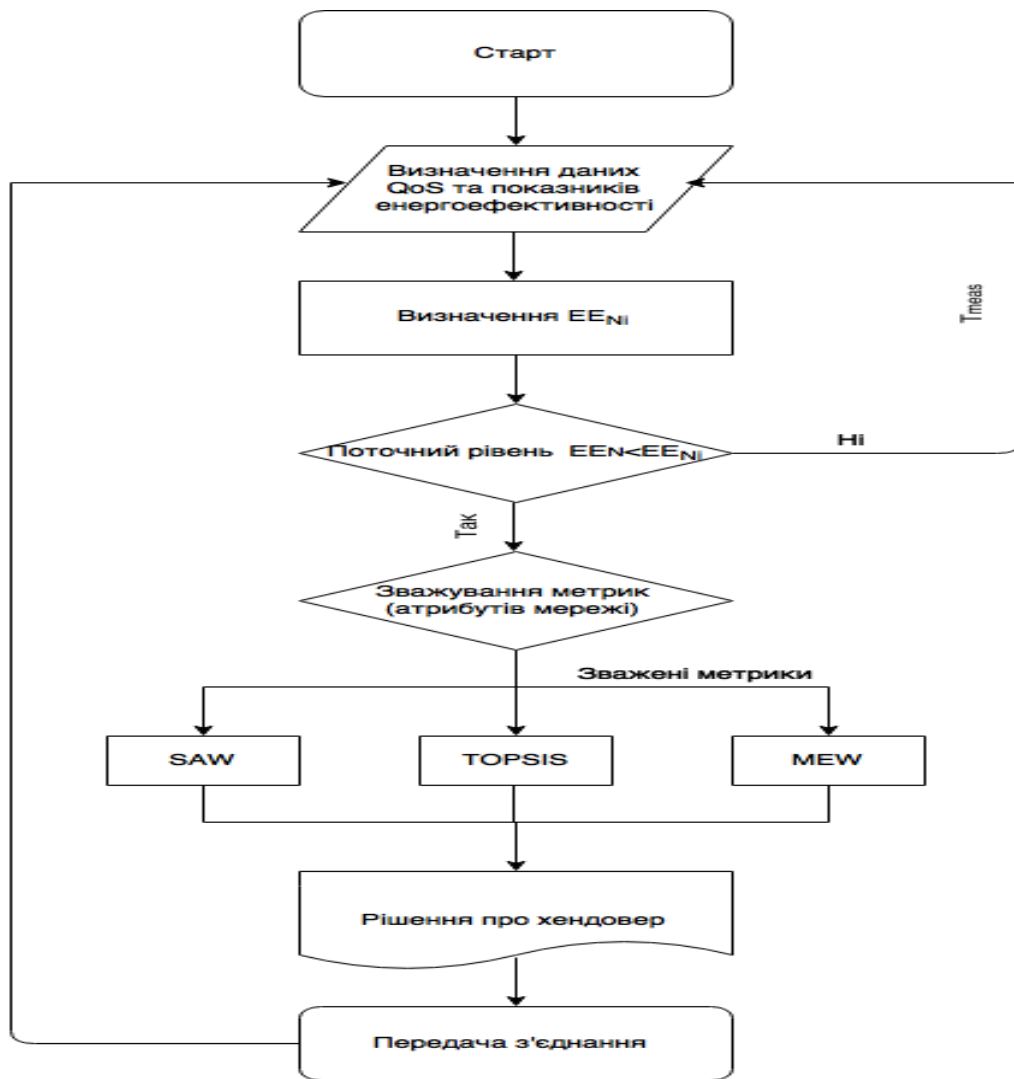


Рис. 1. Модифікована процедура вертикального хендоверу.

В результаті моделювання запропонованої модифікації процедури вертикального хендоверу за рахунок прийняття рішення про хендовер на основі оцінки енергоефективності даного процесу було досягнуто підвищення енергоефективності більш ніж на 8%, та зменшення кількості процедур хендоверу не менш ніж на 15%

#### Література

1. E. Stevens-Navarro, Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks / E. Stevens-Navarro, S. Wong // IEEE 63rd Vehicular Technology Conference, 2006, pp. 947–951.
2. E. Stevens-Navarro, Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks / E. Stevens-Navarro, S. Wong // IEEE 63rd Vehicular Technology Conference, 2006, pp. 947–951.
3. New Radiating Mode in a Cylindrical DRA to Produce Broadside High Gain Radiation/ D. Guha, A. Banerjee, Y. M. Antar // presented at the IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp., Toronto, Canada, 2010, 4 ст.
3. Xavier Pons, An energy efficient vertical handover decision algorithm / Agapi Mesodiakakic, Christophe Gruet, Lirida Naviner, Ferran Adelantado, Luis Alonso, and Christos Verikoukis // Airbus Defence & Space, France, Institut Mines-Tel ecom, Telecom-ParisTech, CNRS, LTCI, France Technical University of Catalonia (UPC).

## ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА ПОКАЗНИКОМ ЙМОВІРНОСТІ СВОЄЧАСНОЇ ДОСТАВКИ ПАКЕТІВ

**Лемешко О.В., Єременко О.С.**

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна  
E-mail: oleksandr.lemeshko@nure.ua, oleksandra.yeremenko@nure.ua*

### Dynamic routing model with ensuring Quality of Service over parameter of packet flows probability of timely delivery

The dynamic model of QoS-routing has been proposed, the novelty of which is providing of required values the probability of timely delivery. The QoS-routing problem has been reduced to solution of the corresponding optimization problem associated with provision of QoS over the probability of timely delivery of packet flows in dependence on the infocommunication network type.

Основним завданням в інфокомунікаційних системах є надання міжкінцевої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) користувачам. При цьому процес маршрутизації є одним з рішень щодо підтримки необхідного рівня QoS за множиною показників [1, 2]. Сучасні протоколи маршрутизації можуть виконувати інтегрований облік QoS-параметрів з використанням композитних маршрутних метрик, але мають обмежені можливості при використанні. Таким чином, пропонується динамічна модель QoS маршрутизації при забезпеченні якості обслуговування за показником ймовірності своєчасної доставки пакетів при багатошляховій маршрутизації в залежності від заданого типу обслуговування.

В рамках моделі багатошляхової маршрутизації структура мережі описується однорозмірною мережею  $S = (U, V)$ , де  $U = \{u_i, i = \overline{1, m}\}$  – множина вузлів мережі (маршрутизаторів), а  $V = \{v_z = (i, j); z = \overline{1, n}; i, j = \overline{1, m}; i \neq j\}$  – множина дуг (каналів зв'язку). При цьому  $z$ -й канал зв'язку, що з'єднує  $i$ -й та  $j$ -й маршрутизатори, моделюється дугою  $v_z = (i, j) \in V$ . Пропускна здатність  $\varphi_{(i, j)}$  відома для кожного каналу  $(i, j)$  і вимірюється в пакетах за секунду (1/c).

Для визначення частки інтенсивності  $k$ -го потоку ( $k \in K$ , де  $K$  – множина потоків в мережі) від  $i$ -го до  $j$ -го вузла через відповідний  $j$ -й інтерфейс в багатопотоковій моделі повинні бути обчислені маршрутні змінні  $x_{(i, j)}^k$ . Крім того, мають бути виконані умови збереження потоку для вузлів мережі (відправника, отримувача та транзитних вузлів) для запобігання перевантаження [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k = 1, \quad k \in K, \quad i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k = 0, \quad k \in K, \quad i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in V} x_{(i,j)}^k - \sum_{j:(j,i) \in V} x_{(j,i)}^k = -1, \quad k \in K, \quad i = d_k, \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $s_k$  – вузол відправник, а  $d_k$  – вузол отримувач для  $k$ -го потоку.

Стратегія багатошляхової маршрутизації в моделі реалізується на основі обмежень  $0 \leq x_{(i,j)}^k \leq 1$ , які накладаються на керуючі (маршрутні) змінні. Також мають місце обмеження на використання пропускну здатності каналів зв'язку:

$$\sum_{k \in K} \lambda_{req}^k x_{(i,j)}^k \leq \Phi_{(i,j)}, \quad (i,j) \in E, \quad (2)$$

де  $\lambda_{req}^k$  – середня інтенсивність  $k$ -го потоку, що надходить до мережі.

В запропонованій моделі використовується стаціонарна потокова точкова апроксимація PSFFA M/G/1 (Point wise Stationary Fluid Flow Approximation) [3], а саме її окремий випадок M/M/1, в якості моделі динаміки змін стану інтерфейсу маршрутизатора мережі. Згідно з цією апроксимацією, динаміка середньої затримки пакетів на інтерфейсі маршрутизатора описується за допомогою наступних диференціальних рівнянь стану [2, 3]:

$$\frac{d\tau_{(i,j)}^p(t)}{dt} = 1 - \Phi_{(i,j)}^p \left( \frac{\tau_{(i,j)}^p(t)}{\lambda_{(i,j)}^p \tau_{(i,j)}^p(t) + 1} \right), \quad (3)$$

де  $\lambda_{(i,j)} = \sum_{k \in K} \lambda_{req}^k \cdot x_{(i,j)}^k$  – сумарна інтенсивність потоків в каналі  $(i,j)$ .

Пропонується ймовірність своєчасної доставки  $k$ -го потоку пакетів  $P_{TD}^k$  визначати як:

$$P_{TD}^k = \frac{T(\tau_{MP}^k \leq \tau_{req}^k)}{T_U}, \quad (4)$$

де  $T_U$  – таймер оновлення маршрутних таблиць;  $\tau_{MP}^k$  – середня міжкінцева багатошляхова затримка, розрахована для  $k$ -го потоку таким чином

$$\tau_{MP}^k = \sum_{i \in I^k} x_{p_i}^k \tau_{p_i}^k, \quad (5)$$

де  $x_{p_i}^k$  – частка інтенсивності  $k$ -го потоку в маршруті  $p_i$  з множини усіх маршрутів  $I^k$ , обчислених для передачі цього потоку;  $\tau_{p_i}^k$  – середня міжкінцева затримка пакетів  $k$ -го потоку в маршруті  $p_i$ . Більше того, наступна умова

повинна бути виконана в разі різних вимог потоків, що передаються, по відношенню до ймовірності своєчасної доставки:

$$P_{TD}^k \geq \delta_{TD}^k \cdot P_{TD}^{k req}, \quad (6)$$

де  $\delta_{TD}^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k \text{ - му потоку необхідно гарантувати своєчасну доставку,} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$

$P_{TD}^{k req}$  – необхідне значення ймовірності своєчасної доставки для  $k$ -го потоку.

Залежно від типу мережі сформульовані такі критерії оптимальності для забезпечення QoS за ймовірністю своєчасної доставки. Наприклад, в мережі оператора зв'язку наступна цільова функція повинна бути зведена до мінімуму з метою знаходження маршрутних змінних:

$$J_1 = \sum_{(i,j) \in E} \sum_{k \in K} h_{(i,j)}^x \cdot \lambda_{req}^k \cdot x_{(i,j)}^k, \quad (7)$$

де  $h_{(i,j)}^x$  – маршрутна метрика каналу зв'язку  $(i, j)$ . У той час як в корпоративних мережах пропонується використовувати інший тип критерію оптимальності, пов'язаний з максимізацією цільової функції:

$$J_2 = \sum_{k \in K} w_k P_{TD}^k, \quad (8)$$

де  $w_k = (IP_{pr}^k + 1)$  – ваговий коефіцієнт, який визначається пріоритетом  $IP_{pr}^k$  пакетів  $k$ -го потоку. В IP мережі в разі використання для пріоритезації 3 біт IP precedence в заголовку IP пакета значення  $IP_{pr}^k$  змінюються від 0 до 7, тоді як для DSCP (Differentiated Services Code Point) пріоритетів  $IP_{pr}^k$  – від 0 до 63.

В запропонованій моделі вдалося звести задачу QoS-маршрутизації до розв'язання оптимізаційної задачі забезпечення QoS за ймовірністю своєчасної доставки потоків пакетів в залежності від типу інфокомунікаційної мережі (операторської або корпоративної). Модель може бути використана як основа для відповідного нового протоколу маршрутизації, що в умовах високої динаміки стану мережі забезпечило б його ефективну роботу.

#### Література

1. Szigeti, T. End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks. 2nd edition [Text] / T. Szigeti, C. Hattingh, R. Barton, K. Briley. – Cisco Press, 2013. – 1040 p.
2. Lemeshko O. Design of QoS-Routing Scheme under the Timely Delivery Constraint [Text] / O. Lemeshko, O. Yeremenko, Ahmad M. Hailan // 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD System in Microelectronic (CADSM), 21-25 February 2017. – Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine. – P. 97-99.
3. Yeremenko, O. S. Investigation of Queue Utilization on Network Routers by the Use of Dynamic Models [Text] / O. S. Yeremenko, T. M. Lebedenko, T. V. Vavenko, M. V. Semenyaka // 2015 Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015. – P. 46–49. doi: 10.1109/infocommst.2015.7357265.

## МОДИФІКОВАНИЙ СПОСІБ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI DATA OFFLOADING

**Лашко А.Ю., Курдеча В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: artemiio@gmail.com*

### **Modified method of authenticating for wi-fi data offloading technology**

To address the high (re-)authentication delays and UE identity disclosure, we propose a fast local re-authentication method. Our method offers mutual authentication mechanism and guarantees data confidentiality by using hybrid cipher cryptosystem.

Мережі третього покоління (3G) можуть забезпечити безпечне рішення з підключення з низькою швидкістю передачі даних. Хоча бездротова мережа забезпечує високу швидкість передачі даних в невеликій географічній області, тому об'єднання 3G і WLAN можуть надати додаткове рішення для мережі [1]. Ця взаємодія потребує забезпечення безпечної та швидкої автентифікації без впливу на безпеку служби в обох мережах. EAP-AKA і EAP-SIM - це механізми автентифікації, прийняті проектом партнерства 3-го покоління (3GPP) для вертикальної передачі обслуговування між мережами 3G і WLAN. Метод EAP-AKA має кілька недоліків, таких як відображення ідентифікатора користувача, висока затримка автентифікації і додаткове споживання смуги пропускання [2].

Модифікований метод повторної автентифікації буде заснований на стандарті EAP-AKA і використовувати гібридний ключовий протокол (Elliptic Curve with symmetric key). Для цього методу достатньо одного повного циклу автентифікації [3] між локальним сервером WAAA (WLAN Authentication Authorization and Accounting server) і 3G-HAAA (Home Authentication Authorization and Accounting server) при повній автентифікації користувача. Він перевіряє справжність UE (User Equipment) локально, на WAAA в процесі повторної автентифікації. Це також спрощує схему автентифікації, зменшує затримку автентифікації і кількість ключів автентифікації, забезпечує взаємну автентифікацію і захищає ідентифікаційні дані користувача.

Для того, щоб усунути високі (повторні) затримки автентифікації і позбутися проблеми розкриття особистості UE можна використовувати цей модифікований метод. Даний метод не потребує будь-яких модифікацій існуючих 3G-WLAN-інфраструктур або використання операцій відкритого ключа. Пропонується механізм взаємної автентифікації, який гарантує конфіденційність даних з використанням гібридної криптосистеми шифрування. У цьому процесі автентифікації необхідно п'ять вузлів:

- UE,
- точка доступу (AP),
- бездротової автентифікаційний сервер (WAAA),
- сервер автентифікації 3G (HAAA)
- база даних користувачів 3G (HLR / HSS).



Припустимо, що:

- Безпечний канал між AP, WAAA, HAAA і HSS.
- WAAA відповідає за кілька точок доступу.
- UE може ідентифікувати ідентифікатор сервера AAA і AP (Access Point).
- Кожен сервер автентифікації HAAA має відомий відкритий ключ шифрування.
- Кожне UE має пару попередньо розділених секретних ключів з сервером HLR.

Цей метод повної автентифікації повинен змінити існуючу повну автентифікацію EAP-АКА, щоб прибрати проблему розкриття особистості UE і запустити нову ключову інфраструктуру.

Пропонується змінити існуючу схему EAP-АКА повної автентифікації, для того щоб обійти проблему розкриття ідентифікаційних даних користувача. Рисунок 1 показує запропонований спосіб.

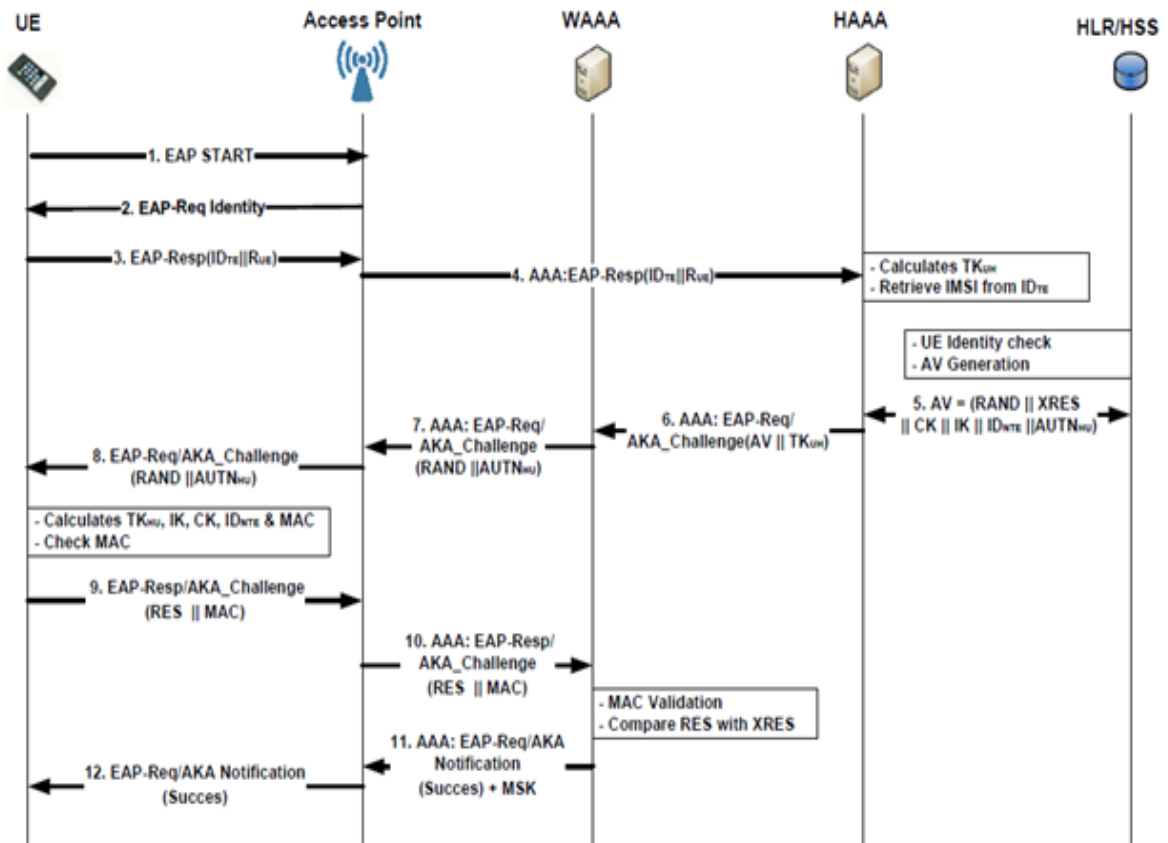


Рис.1. Повний цикл проходження автентифікації.

Цей метод може бути використаний і в разі повторної автентифікації з однією і тією ж точкою доступу або автентифікації з новою точкою доступу в одній і тій же бездротової локальній мережі.

У цьому випадку, модифікований метод за допомогою WAAA локально повторно перевіряє справжність UE від імені HAAA з використанням попереднього прийнятого ключа під час повної автентифікації. На рисунку 2 описано пропонування методу повторної автентифікації.

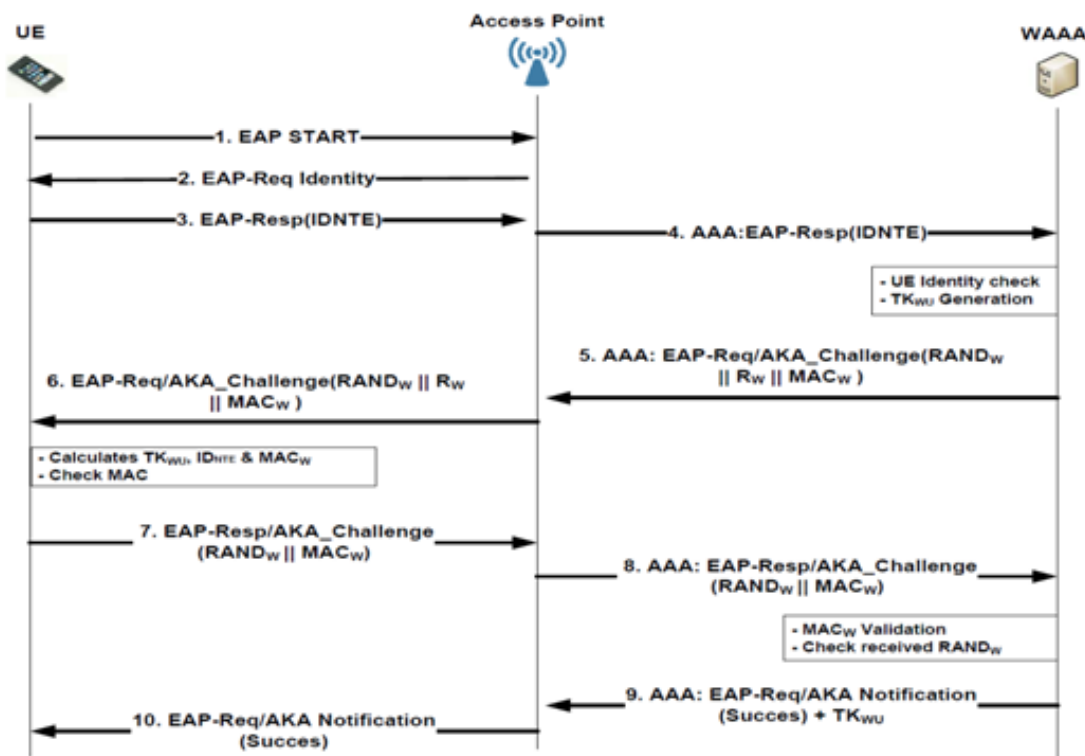


Рис.2. Повторний цикл проходження автентифікації.

Щоб уникнути розкриття ідентифікатора користувача, використовується шифрування для захисту цієї інформації. При повторній автентифікації замість постійного ідентифікатора використовується локальний ідентифікатор, який залишається після повної автентифікації. Передача локального ідентифікатора захищена одним ключем шифрування [4]. Таким чином, запропонований метод забезпечує надійний захист призначених для користувача ідентифікаторів від атак, пов'язаних з ідентифікацією.

Витрата пропускної здатності: при швидкій повторній автентифікації EAP-AKA користувач автентифікується через NAAA, а в автентифікації через модифікований метод користувач отримує доступ до мережі через WLAN-сервер автентифікації. Це може скоротити споживання смуги пропускання між NAAA і WAAA в порівнянні з повною автентифікацією EAP-AKA.

### Література

1. Дундяк Р.Р., Глоба Л.С., Курдеча В.В. Перерозподіл трафіку мобільної мережі за допомогою технологій WI-FI Offloading та LTE / Молодий вчений, 6-7 травня 2016 р. – 55с.
2. C. Lim, D.-Y. Kim, O.Song, and C.-H. Choi, "SHARE: seamless handover architecture for 3G-WLAN roaming environment," Journal of Wireless Networks, vol. 15, no. 3, pp. 353–363, 2009.
3. Prasith Sangaree P, Krishnamurthy P. A new authentication mechanism for loosely coupled 3G-WLAN integrated networks. IEEE 59th Vehicular Technology Conference, Vol. 5. Spring, pp. 2998–3003, 2004
4. A. Dutta, T. Zhang, S. Madhani, K. Taniuchi, K. Fujimoto, Y. Katsube, Y. Ohba, and H. Schulzrinne, "Secure universal mobility for wireless Internet," in Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots, pp. 71-80, Oct. 2014.

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРА

**Кирюшкин Р.А., Курдеча В.В.**

*Институт телекоммуникационных КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: kirukysh@gmail.com, vasyk\_kurdecha@mail.ru*

### **The modified method of vertical handover**

In this paper analysis of a methods of vertical handover and is proposed modified method of vertical handover algorithm by changing decisions

Современные информационные технологии предоставляют широкий спектр высокоскоростных мультимедийных услуг и удовлетворяют потребности мобильных пользователей в этих услугах в любое время.

Вертикальный хендовер позволяет реализовать быстрое, плавное переключение между различными сетями, однако разработка и внедрение механизмов бесшовного хендовера является огромной проблемой и активной областью для исследований. Наиболее сложной задачей в вертикальном хендовере является минимизация потери данных и времени прерывания, в то время как мобильный терминал находится в прозрачном состоянии во время процессов переключения. Традиционные схемы принятия решений на основе одного критерия являются неэффективными из-за влияния неоднородности параметров сети и ее уникальных характеристик.

На сегодняшний день с появлением гетерогенных сетей с одновременно запущенными разными типами трафика (групповые вызовы с голосовым, видео трафиком и трафиком загрузки файлов) с мобильных узлов, которые движутся с высокой скоростью (например, автострада, железная дорога) повышаются требования к качеству сервиса вертикального хендовера.

Также большинство исследований вертикального хендовера касаются только единичных вызовов, в то время как проблема групповых вызовов является нерешенной. Поэтому разработка модифицированного метода вертикального хендовера актуальна для повышения эффективности и качества связи.

**Алгоритмы и методы вертикального хендовера.** Все алгоритмы могут быть распределены по нескольким категориям на основе используемых критериев принятия решений и методов обработки этих критериев:

- 1) Алгоритмы на основе RSS
- 2) Алгоритмы на основе пропускной способности
- 3) Алгоритмы, основанные на затратах
- 4) Комбинация алгоритмов:

На сегодняшний день существует множество различных алгоритмов обработки классификаторов:

- Деревья решений;
- Метод на основе байесовых сетей;

- Искусственная нейронная сеть;
- Нечеткая логика;
- Объединение нескольких классификаторов.

**Модификация мультикритериальных метода вертикального хендовера.** На сегодняшний день, одним из лучших методов являются мультикритериальные методы принятия решений. Они предоставляют более чем одну целевую сеть в качестве альтернативных решений, а также обеспечивают гибкость в выборе критериев для решения о переходе в лучшую сеть.

Для модификации метода вертикального хендовера было предложено использовать именно два мультикритериальных метода принятия решений:

**Первый** – TOPSIS для одиночных вызовов, так как он имеет концептуальную простоту и хорошую эффективность вычислений, а также возможность измерять относительную производительность для каждой альтернативы, а также обеспечивает высокую пропускную способность и уменьшает потерю пакетов.

**Второй** – MULTIMOORA для групповых вызовов, так как этот метод обладает мощной техникой ранжирования сетей путем объединения трех подходов ранжирования: системы отношений, системы точек отчета и мультипликативную форму с помощью теории доминирования, а также высокую точность принятия правильного решения о вертикальном хендовере при высоких скоростях передвижения мобильных узлов через гетерогенную сеть [1-2].

Архитектура этого способа показана на рисунке 1:

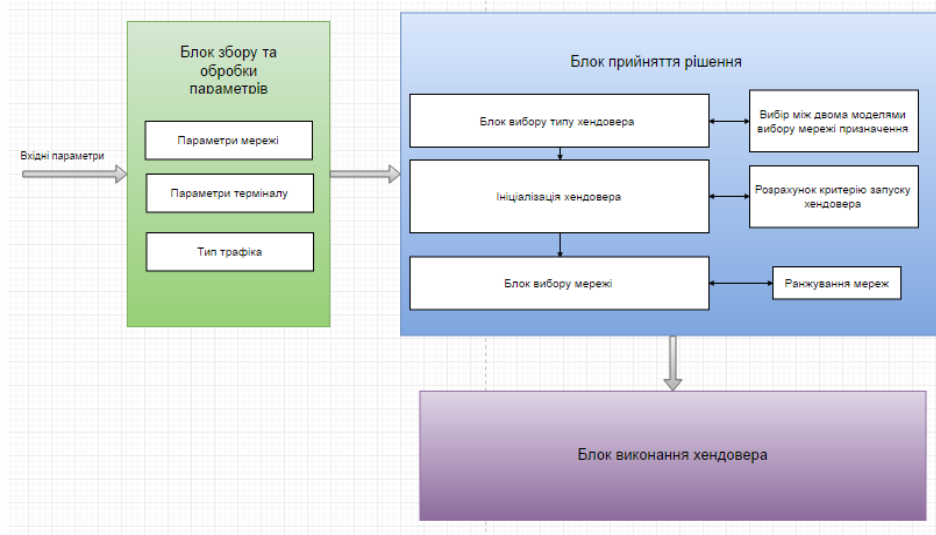


Рис. 1. Графическое представление модифицированной архитектуры хендовера.

Проведем более подробное описание архитектуры:

1) Блок сбора и обработки данных отвечает за первый этап вертикального хендовера и с помощью периодического сканирования радиочастотного диапазона и общения с сетями доступа сохраняет статические и динамические параметры, необходимые для инициации

хендовера и выбора сети назначения.

2) Блок принятия решения отвечает за вторую фазу хендовера - а именно определения, когда и в какой сети будет осуществлена процедура переключения. Блок принятия решения состоит из блоков инициации хендовера, блока выбора алгоритма принятия решения и из блока выбора сети [3].

3) Блок инициации хендовера постоянно запрашивает параметры из предыдущего блока сбора данных, анализирует их и решает, вообще необходимый процесс хендовера. Когда одна или более условия запуска хендовера удовлетворяются, то запускается процесс сканирования спектра.

4) Блок выбора типа хендовера на основе того, происходит одиночный вызов или сразу несколько вызовов различных классов трафика принимает решение о выборе одного из двух мультикритериальных алгоритмов принятия решений.

**Заключение.** На сегодняшний день существует большое количество алгоритмов вертикального хендовера.

Однако существующие решения не в полной мере удовлетворяют критерии качественного хендовера в беспроводных гетерогенных сетях с мультиклассовыми групповыми вызовами мобильных узлов.

Предлагаемая модификация метода вертикального хендовера за счет изменения алгоритма принятия решений, а именно использование методов TOPSIS и MULTIMOORA для разных типов вызовов, позволит повысить эффективность связи в гетерогенных беспроводных сетях.

## Литература

1. Nasser M. Alotaibi, Sami S. Alwakeel, " A Multi-Classifiers-Based Approach for Vertical Handoff Process in Wireless Heterogeneous Networks: Retrospective and Prospective", Computer Engineering Department, College of Computer and Information Sciences.
2. Метод вибору мережі доступу в мобільній системі SDR при вертикальному хендовері / Л. С. Глоба, С. В. Суліма, В. В. Курдеча // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. - 2014. - № 796. - С. 69-74. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPPT\\_2014\\_796\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPPT_2014_796_13).
3. Vertical handover interaction model of mobile Software Defined Radio system elements / L. S. Globa, V. V. Kurdecha, S. V. Sulima // Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference.
4. Gita Mahardhika, Mahamod Ismail and Rosdiadee Nordin, "Vertical Handover Decision Algorithm using Multi-Criteria Metrics in Heterogeneous Wireless Network", Journal of Computer Networks and Communications, 2015, pp 1-9.

## ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДІБНОГО МУЛЬТИСЕРВІСНОГО ТРАФІКУ

**В.В. Воротніков, О.С. Бойченко, І.В. Гуменюк**

*Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Україна*

*E-mail: ig\_gum@ukr.net*

### **Performance evaluation self-similar multi traffic**

This paper presents an improved method of finding the basic characteristics of the multiservice network and the study of multiservice traffic self-similarity. Shown the ability to carry out forecasting of the main characteristics of multi-service traffic based on the self-similar properties that will allow to increase the reliability and efficiency of the network.

Швидкий розвиток інформаційно-телекомунікаційних мереж (ІТС) та широке застосування систем зв'язку спричинило зростання уваги до питань оцінювання якості та надійності роботи таких систем. Задачі аналізу трафіку ІТС набули значного поширення в вирішенні проблем забезпечення якості проводового та безпроводового зв'язку, безвідмовної роботи інформаційних ресурсів, інформаційного пошуку. Ефективність функціонування даних мереж, значною мірою, визначається тимчасовими затримками при передачі даних між вузлами мережі. Мінімізація затримок в мережах з різнорідним мультисервісним трафіком забезпечується на етапі проектування з використанням математичних моделей масового обслуговування з різнорідним потоком заявок. Прогнозування завантаження мережі дозволяє забезпечити надійність роботи, раціональне використання ресурсів мережі, ефективне використання обладнання. Інформаційні системи аналізу та прогнозування трафіку показують на практиці свою ефективність, але модернізація комп'ютерних мереж вимагає нових підходів до моделювання, аналізу та прогнозування трафіку ІТС [1].

Саме тому **метою** даної роботи є вдосконалення процесу аналізу та прогнозування трафіку ІТС для підвищення ефективності та якості обслуговування мережі.

Численні дослідження процесів в мультисервісних мережах показали, що статистичні характеристики трафіку мають властивість тимчасової фрактальності (самоподібності). Оцінювання ймовірнісно-часових характеристик та властивостей самоподібності мультисервісного трафіку мережі необхідно провести в декілька етапів.

**Етап 1.** На етапі проектування топології безпроводової мережі пропонується провести визначення структури мережі, що проектуємо та скласти матрицю переходу станів. Неоднорідність трафіку даної мережі полягає в передачі пакетів декількох типів: аудіо- і відеопотоку, службової інформації (телеметрії), тощо, до яких пред'являються різні вимоги. Ці вимоги формуються у вигляді обмежень на час доставки пакетів різних типів [2].

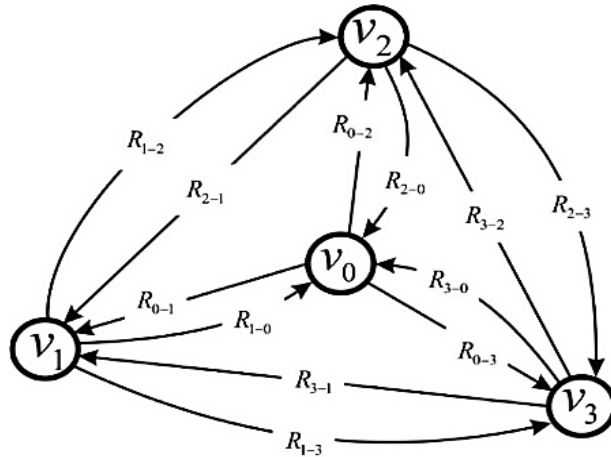


Рис. 1. Граф переходів безпроводової повітряної мережі.

Будь-яку мережу можна представити у вигляді графу переходів. Під станами в даному випадку вважатимемо окремі вузли з відповідною кількістю каналів для передачі та прийому інформації. Орієнтовні дуги (рис. 1б) показують перехід обслугованого пакету з одного вузла в інший для продовження обслуговування.

**Етап 2.** На етапі визначення інформаційного обміну між вузлами безпроводової повітряної мережі визначаються характеристики інформаційного обміну для кожного вузла. Результатом виконання цього етапу є формування векторів, які характеризують процес обміну інформації (обслуговування пакетів):

$g[V]$  - вектор інтенсивності надходження пакетів до вузлів мережі;

$n[V]$  - вектор числа каналів для обслуговування пакетів у вузлах мережі;

$\mu[V]$  - вектор інтенсивності обслуговування пакетів у вузлах мережі.

**Етап 3.** На етапі рішення системи диференціальних рівнянь стану безпроводової повітряної мережі складається квадратна матриця, яка визначає переходи між станами мережі. Для складання системи диференціальних рівнянь та знаходження відповідних ймовірнісних характеристик необхідно знайти інтенсивності потоків пакетів у вузлах мережі.

**Етап 4.** Розрахунок ймовірнісно-часових характеристик мультисервісного трафіку мережі. Виходячи із теорії масового обслуговування та теорії черг, пропонується визначити наступні характеристики мережі:

1. Вектор завантаженості каналів обслуговування у вузлах –  $p_i = \frac{\lambda_i}{n_i \mu_i}$ , де

$\lambda_i$  - вектор інтенсивності потоків пакетів у вузлах мережі,  $n_i$  - вектор числа каналів для обслуговування пакетів у вузлах мережі,  $\mu_i$  - вектор інтенсивності обслуговування пакетів у вузлах мережі.

2. Вектор ймовірностей (канали у вузлах мережі вільні) –

$$P_{(0)i} = \left( \sum_{k=1}^{n_i} \frac{(n_i p_i)^k}{k!} + \frac{(n_i p_i)^{n_i}}{n_i! (1-p_i)} \right)^{-1}.$$

3. Середня кількість пакетів в черзі в  $i$ -му вузлі –  $\bar{K}_i = P_{(0)i} \frac{(p_i n_i)^{n_i+1}}{n_i n_i! (1-p_i)^2}$ .
4. Середній час очікування в черзі в  $i$ -му вузлі –  $\bar{T}_i = P_{(0)i} \frac{(p_i n_i)^{n_i+1}}{n_i \mu_i n_i! (1-p_i)^2}$ .
5. Середнє число зайнятих каналів в  $i$ -му вузлі –  $\bar{K}_{(зк)_i} = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ .
6. Середнє число пакетів в  $i$ -му вузлі –  $\bar{N}_{(пак)_i} = \bar{K}_{(зк)_i} + \bar{K}_i$ .
7. Середній час обслуговування пакету мережею –  $\bar{T}_{мереж} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^N g_i} \bar{T}_i$  [3].

### Етап 5. Оцінювання фрактальних властивостей мережевого трафіку.

При дослідженні таких процесів, як поведінка телекомунікаційного трафіку може бути використано показник Херста, що дозволяє визначити хаотичність або стохастичність аналізованого процесу. У класичному виді показник розраховується із співвідношення  $\frac{R}{S} = (\alpha \cdot T)^H$ , де  $R$  – максимальний розмах сукупності;  $S$  – середньоквадратичне відхилення;  $T$  – час спостережень (чи об'єм вибірки),  $\alpha$  – деяка постійна;  $H$  – показник Херста.

*Висновки.* Для даної топології моделі мережі притаманні всі характерні особливості телекомунікаційного трафіку інтегрованої мережі з комутацією пакетів, в тому числі його неоднорідність, самоподібність і масштабна інваріантність.

Враховуючи, що трафік є самоподібним, то для даної мережі можливо прогнозувати його поведінку на основі розрахованих характеристик. Це дозволить збалансувати навантаження на маршрутизатори і канали зв'язку та, таким чином, підвищити надійність і ефективність роботи мережі.

### Література

1. Дронюк І.М. Аналіз трафіку комп'ютерної мережі на основі / І. М. Дронюк, О. Ю. Федевич // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – № 25.5. – С. 301–307.
2. Можаяєв О.О. Методи керування трафіком в мультисервісних мережах / О. О. Можаяєв, В. В. Казімірова, М. О. Можаяєв // Технология приборостроения. – Х. : ХУПС, 2013. – № 1. – С. 21–24.
3. Бойченко О.С. Методика знаходження основних характеристик перспективних АСУ підрозділів на базі бездротових інформаційно-комунікаційних мереж із динамічно змінюваною топологією / О. С. Бойченко, В. В. Воротніков, М. І. Сичевський // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: редакційно-видавничий відділ Національного лісотехнічного університету України, 2012. – Вип. 22.1. – С. 366–373.



## **ВПЛИВ МІКРОСТІЛЬНИКІВ НА ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ГЕТЕРОГЕННІЙ МЕРЕЖІ**

**Гордєєва Д.С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: dahhha94@gmail.com*

### **Influence of microcells on improving energy efficiency in heterogeneous networks**

It is considered a heterogeneous cellular network with using microcells. The author proposes the improving of energy efficiency through the introduction of microcells in a heterogeneous network and its location on the border between the two macro cells. The energy efficiency has been described mathematically. Analytical results of the simulation indicate that the use of microcell improves the energy efficiency about 29 - 37%.

У сучасних технологіях, особливо в мережах стільникового зв'язку, через зростаючі вимоги споживачів і зростання трафіку, компанії змушені витратити більше коштів на розробку нових технологій. Найбільш ефективні технології вимагають багато енергії і є енергоємними.

Актуальність теми визначається розвитком технологій, які спрямовані на скорочення споживання енергії в телекомунікаційних системах. Основними нововведеннями на даний момент є гетерогенні мережі - Heterogeneous Network (HetNet), які використовують стільники малої потужності споживання.

Мета полягає в тому, щоб підвищити ефективність використання енергії гетерогенної мережі за рахунок використання мікростільників.

Передбачається, що стільниковий гетерогенна мережа буде складатися з клітин з частотою повторного використання = 7, а базова станція (БС) буде розташована в центрі стільника.

Зображення мережі буде зменшено таким чином, що буде тільки включати в себе центральний кластер.

Крім того, гетерогенна мережа (HetNet) повинна включати в себе кілька Evolved Node B (eNB - базова станція стандарту LTE) вузлів. Для цієї мети, одна мікро eNB буде розгорнута в центрі стільника на кордоні між двома макростільниками в центральному кластері. Основна модифікована модель, яка дозволяє підвищити енергоефективність гетерогенної мережі показана на рис. 1.

Для того, щоб дослідити, як розміщення мікростільника впливає на ефективність використання енергії, необхідно визначити розмір Coordinated Multipoint (CoMP), тобто координовану передачу і прийом, а також, Cooperating Set (CCS) - набір співпраці CoMP. Іншими словами, має бути прийнято рішення про кількість макростільниками, які повинні бути узгоджені з одного мікростільники за допомогою CCS.

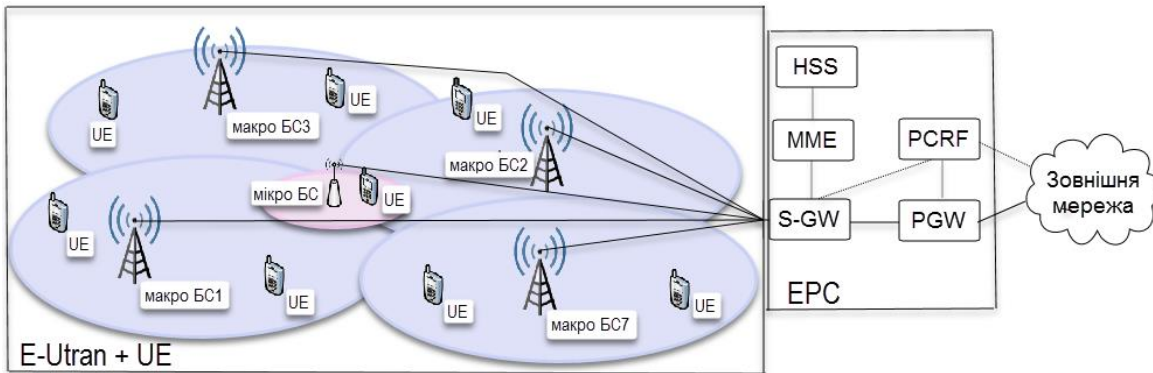


Рис. 1 Модифікована модель гетерогенної мережі з мікростільниками.

Коли споживається енергія тільки одного мікростільника, то вона визначається як non-SoMP, а потім при узгодженні мікростільника і одного макростільника - SoMP1. Координація мікростільника і двох макростільників - SoMP2, мікростільника і трьох макростільників - SoMP3. Відповідно координація мікростільника і чотирьох макростільників - SoMP4.

Основні параметри моделі наведені в табл.1.

Табл.1 Параметри моделі

Параметр	Значення
Відстань між стільниками	2500 м
Радіус макростільника	1445 м
Радіус мікростільника	100 м
Пропускна здатність	5 МГц
Модель розрахунку втрат на трасі для макростільника	COST 231 - Hata
Модель розрахунку втрат на трасі для мікростільника	Уолфіш-Ікегамі для NLOS
Модель каналу	Релеєвське рівномірне загасання

Для оцінки ефективності використання енергії, вводиться поняття коефіцієнта споживання енергії (ECR). Це значення дорівнює співвідношенню споживаної потужності до пропускної здатності мережі. Моделі споживання потужності БС описані в [1]. Таким чином, за допомогою наступного рівняння:

$$ECR = \frac{P_{BS,micro} + P_{BS,macro} \cdot N_{macro} + k \cdot offset}{T},$$

де  $P_{BS,micro}$  – енергоспоживання мікро БС;

$P_{BS,macro}$  – енергоспоживання макро БС;

$N_{macro}$  – кількість макро БС;

$k$  – коефіцієнт множення;

$offset$  – зміщення використаної енергії.

Зсув ( $offset$ ) потужності використовується через те, що не завжди макро БС працюють (при режимі non-SoMP) і в міру включення і взаємодії макро БС разом з мікро БС це зміщення можна розрахувати за формулою:

$$offset = N_{sector} \cdot N_{PApSec} \cdot P_{Sp} \cdot (1 + C_c) \cdot (1 + C_{PSBB}),$$

де  $N_{\text{sector}}$  - число секторів БС;

$N_{\text{PAPSec}}$  - число PAs на один сектор;

$P_{\text{Sp}}$  - обробка сигналу;

$C_c$  – втрати на охолодження

$C_{\text{PSBB}}$  - втрати на резервне живлення і зарядка.

Наступним параметром потрібно розрахувати посилення споживання енергії (ECG). Воно буде визначатися таким чином:

$$\text{ECG} = \frac{\text{ECR}_{\text{non-Comp}}}{\text{ECR}_{\text{Comp}}}$$

А для того, щоб визначити на скільки зменшилося споживання енергії (ERG) у відсотках, необхідно застосувати наступну формулу:

$$\text{ERG} = 1 - \frac{1}{\text{ECG}} \cdot 100 \%$$

Для оцінки енергоефективності (EE) необхідно взяти зворотну величину до відношення споживання енергії.

Отже, шукана величина буде розраховуватися за формулою:

$$\text{EE} = \frac{1}{\text{ECR}}$$

Тобто, енергоефективність є зворотною величиною до відношення споживаної енергії. Чим менше енергії буде використано, тим це поняття буде краще.

Етап моделювання виконано, використовуючи програмне забезпечення MatLab, для оцінки показників енергоефективності гетерогенної мережі.

Результати моделювання показують, що при розгляді ECR, щоб забезпечити високошвидкісну зв'язок для UE, HetNet без мережі MIMO (в разі, коли мікро eNB служить тільки для користувачів, і макро eNB # 1, # 2, # 3 і # 7 включені і нічого не передають) буде витратити 68 Вт потужності для досягнення пропускну здатності 1 Мбіт.

З іншого боку, мережу MIMO, побудована з однієї мікро eNB і чотири макро eNB буде витратити тільки 43 Вт для досягнення тієї ж пропускну здатності. Так, мережа MIMO забезпечує приріст 1,58 (ECG) з точки зору енергоефективності, і це економить майже 37% потужності (ERG).

З іншого боку, підвищення CCS призводить до виникнення інших проблем, пов'язаних з енергетичною ефективністю. Отже, подальші можливі дослідження можуть бути зроблені для визначення оптимальної кількості числа eNB в CCS.

#### Література

1. Arnold O. Power Consumption Modeling of Different Base Station Types in Heterogeneous Cellular Networks / O. Arnold, G. Richter, O. Fettweis, O. Blume// in Future Network and Mobile Summit, Technische Universitat Dresden, 2010, P.1-8.
2. Damnjanovic A. A Survey on 3GPP Heterogeneous Networks / A.Damnjanovic, J. Montojo, W. Yongbin, J. Tingfang// IEEE Wireless Communications, P. 10-21, June 2011.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ЗАДАЧ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

**Глоба Л.С., Косовненко Р.А., Степурин А.В.**

*Институт телекоммуникационных систем*

*КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: romankosovnenko@gmail.com*

### **Energy efficient task processing algorithm in distributed systems**

We consider the results of experiments and simulations on the study of the energy efficiency of task distribution algorithms in distributed systems. A new algorithm for distribution of tasks aimed at optimizing energy consumption is proposed.

В данной работе рассмотрены результаты экспериментов и моделирования по исследованию энергоэффективности алгоритмов распределения задач в распределенных системах. Предложен новый алгоритм распределения задач, направленный на оптимизацию энергопотребления.

Глобальные вычислительные сети Grid [1] были предложены в качестве новой парадигмы для решения крупномасштабных вычислительных задач в науке, технике и бизнесе [2]. Они дают возможность одновременного использования миллионов вычислительных ресурсов [3], принадлежащих различным организациям и расположенных в различных административных областях. Системы Grid объединяют разнородные вычислительные ресурсы (персональные компьютеры, рабочие станции, кластеры, суперкомпьютеры), используя разные стратегии доступа к ним, выполняя различные приложения (научные, инженерные и коммерческие), предъявляющие к системе различные требования. Ресурсы принадлежат различным организациям, имеющим свои правила управления ресурсами, их использования и определения их стоимости для различных пользователей в различное время. Доступность и загруженность ресурсов также может динамически изменяться во времени.

В окружении Grid владельцы и потребители ресурсов имеют различные цели, используют различные стратегии и экономические схемы. С другой стороны, нет стратегии позволяющей достигнуть аналогичного быстродействия при более низком энергопотреблении. Таким образом, актуальной проблемой является разработка алгоритма распределения задач, нацеленного на оптимизацию энергопотребления системы в целом.

Для разработки алгоритма было проведено ряд практических экспериментов, которые моделировались. И результаты моделирования этих

экспериментов сравнивались с экспериментальными результатами, а также с результатами моделирования с помощью различных алгоритмов распределения задач (первый свободный, раунд робин). Во время проведения эксперимента были снимались показатели напряжения, потребляемого тока, мощности при различной нагрузке нод.

По результатам эксперимента был спроектирован прототип алгоритма распределения задач с учетом энергоэффективности используемых ресурсов в системе Grid, а также несколько модификаций. Результаты моделирования представлены в табл. 1.

Algorithm	Time of processing (same tasks) (s)	Power consumed (W)	Gain (in comparison with "First available") (%)		Gain (in comparison with Round Robin) (%)	
			in time	in power consumed	in time	in power consumed
"First available"	16,79	380,69	0%	0%	1%	5%
Round Robin	17,02	401,81	-1%	-6%	0%	0%
Proposed	16,17	369,65	4%	3%	5%	8%
Proposed + tasks typification	15,55	366,97	7%	4%	9%	9%
Proposed + sleeping mode	16,17	319,64	4%	16%	5%	20%

Табл.1. Результаты моделирования алгоритмов распределения задач и их потребляемая мощность при равных задачах и ресурсах системы.

Проанализировав таблицу, можно сделать вывод, что использование предложенного алгоритма может снизить энергопотребление до 20%.

Входными параметрами предложенного алгоритма является набор вычислительных нод, которые подключены к брокеру ресурсов, каждая из нод описывается следующими параметрами: количество доступной оперативной памяти, количество ядер процессора, производительность CPU, функция, описывающая энергопотребление ноды от CPU.

Каждая задача, поступающая в очередь в определенный момент времени может быть описана следующим набором параметров;

- необходимое количество оперативной памяти;
- необходимое количество ядер для выполнения задачи;
- максимальное время для выполнения задачи.

Предложенный алгоритм словесно можно описать в виде последовательности шагов, которые нужно выполнить:

1. Определить состояние системы в момент времени  $\tau_{k-1}$ .

2. Отфильтровать ноды по количеству оперативной памяти и по количеству доступных ядер, необходимых для выполнения задачи.

3. Рассчитать набор суммарных энергопотреблений при выполнении задачи на каждой ноде отдельно.

4. Отсортировать ноды по увеличению вероятной потребляемой мощности и сформировать последовательность нод в порядке от меньшей потребляемой мощности к большей

5. Отсортировать ноды по увеличению производительности и сформировать последовательность нод в порядке от большей производительности к меньшей.

6. Определить оптимальное сочетание мощность/производительность с помощью пересечения двух последовательностей.

7. Отправить задачу на выполнение.

Работа первого прототипа была экспериментально подтверждена на реальной физической системе.

Итоги работы прототипа были зафиксированы аналогичным экспериментом. Полученные показатели сравнили с результатами моделирования, что показало правдивость предположений.

Результаты экспериментов показывают, что предложенный алгоритм может производить эффективное распределение при возможной незначительной потере производительности, но с большим выигрышем в потребляемой энергии, как следствие это делает предложенный алгоритм экономически более выгодным. Для повышения эффективности работы алгоритма предлагается использовать различные модификации данного алгоритма, которые учитывают характеристики потока задач, их классификацию, а также более детально используют характеристики нодов. Разработка таких алгоритмов является предметом дальнейших исследований.

#### Література

1. P. Brucker Scheduling Algorithms, Springer Ferlag 1998, pp 217-218.
2. L. Hluchy, V.D. Tran, D. Froehlich, and W. Castaings, Methods and Experiences of Parallelizing Flood Models, The 10th EuroPVM/MPI conference. LNCS 2840. Sept. 2003, Venice. pp. 677-681.
3. B.S. Baker, D.J. Brown and H.P. Katseff, A 5/4 algorithm for two-dimensional packing, J. of Algorithms, 1981, v. 2, pp. 348-368.
4. K. Jansen, Scheduling malleable parallel tasks: an asymptotic fully polynomial-time approximation scheme, Proc. European Symposium on Algorithms, ESA, 2002.
5. S. Orlando, P. Palmerini, R. Perego, F. Silvestri, Scheduling high performance data mining tasks on a data Grid environment, Euro-Par 2002, LNCS 2400, Springer-Ferlag Berlin Heidelberg 2002, pp. 375-384.
6. I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke, Intl J. Supercomputer Applications, 2001.
7. Dinda, P. and O'Hallaron, D., An Evaluation of Linear Models for Host Load Prediction. In Proc. 8th IEEE Symposium on High-Performance Distributed Computing, 1999, IEEE Press.
8. Berman, F., Wolski, R., Figueira, S., Schopf, J. and Shao, G. Application-Level Scheduling on Distributed Heterogeneous Networks. In Proc. Supercomputing '96, 1996.

## **DATA PROTECTION WITH INTELLECTUAL SUPPORT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL AND OPERATIONAL MANAGEMENT**

**Toliupa S., Parkhomenko I.**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv*

*E-mail: toliupa@i.ua*

### **Защита информации с интеллектуальной поддержкой организационно-технического и оперативного управления**

Для успешного использования современных информационных технологий необходимо эффективно управлять не только сетью, но и системой защиты информации (СЗИ), при этом на уровне информационной системы автономно должна работать система, реализующая управление составом событий информационной безопасности, планирование модульного состава СЗИ и аудит. Учитывая, что СЗИ является весьма сложной организационно-технической системой, функционирующей в условиях неопределенности, противоречивости и неполноты знаний о состоянии информационной среды, управление такой системой должно быть основано на применении методов теории принятия решений и необходимостью применения интеллектуальных технологий.

For the successful use of modern information technologies it is necessary to effectively manage not only the network, but also information systems security (ISS), the information system on the level of the system must operate autonomously implementing the management structure of information security events, planning the composition of modular ISS and audit. ISS is a very complex organizational and technical system, which works under conditions of uncertainty, inconsistency and incompleteness of knowledge about the state of the information environment, the management of such system should be based on the use of methods of the theory of decision-making and the need for the use of intelligent technologies.

The principles of the protection of information systems should provide effective defense, and not only by criminals, but also by incompetent or poorly trained users and staff. The main challenges in implementing protection systems are that they must satisfy two groups of contradictory requirements. Prevent accidental and deliberate release of information to unauthorized users, and access control to devices and system resources for all users, administrators and staff. On the one hand, reliable protection located in the information system that the more specific terms formulated in the form of two generic tasks should be ensured. On the other hand, the protection system should not cause significant inconvenience in a work process using system resources. In particular they should be guaranteed full freedom of access for each user and the independence of his work within his rights and powers. [1]

The main direction of information protection ways research is a steady increase in the system approach to the problem of protection of the information itself. The concept of systemic is above all the sense that data protection is not only the establishment of appropriate mechanisms and is a regular process which is

carried out at all stages of the life cycle of data processing systems in the integrated use of all available security methods. At the same time all the means, methods and measures used to protect the information, and certainly the most efficient combined into a single coherent system - protection system [2].

Modern approaches to the organization of IS does not fully ensure the requirements for data protection. The main disadvantages of commonly used ISS determined by the prevailing harsh principles of construction and architecture of the application is mainly defensive strategies to protect against known threats. Critical situation in the field of information security is aggravated due to the use of the global network of internal and external electronic transactions of the enterprise and the emergence of previously unknown types of destructive information impacts.

Therefore, for the successful use of modern information technologies it is necessary to effectively manage not only the network, but also ISS, besides on the IS level system implementing the management structure of information security events, planning the composition of modular ISS and audit should work autonomously. Since the object of management - ISS is a very complex organizational and technical system functioning under conditions of uncertainty, inconsistency and incompleteness of knowledge about the state of the information environment, the management of such a system should be based on the application of systems analysis, methods of the theory of decision-making and the need for the use of intelligent technologies [3].

One solution to this problem is to use the intelligent methods to support decision-making in the management of IS local information system, which, in turn, requires the development based on the principles of system analysis and general scientific approaches methodological framework for the protection of information management, the relevant models, methods, algorithms and software [1].

In order to implement a proactive strategy to protect in ISS the local information system substantiates the need for practically applicable models and intellectual support of rational methods of planning the modular structure of ISS, assessment and prediction of the risk of violation of information security and information security management in an uncertain information influences.

The circuit of organizational and technical management are mechanisms to protect the information management infrastructure with changing business applications, information processing plans and corresponding to the level of data protection requirements. The circuit includes: intelligent decision support for the choice of strategies to protect system security level evaluation system (risk) control action is implemented by employees of information security department. The command information is generated during the planning - targeted selection of a rational complex remedies.

In the control system having an architectural construction, effective solutions are selected and accepted as the basis of information about the technical characteristics of protection, and on the basis of the analysis of the controlled space. The architecture of the system of information security management information system in the local segment is presented in [4].



Thus it can be argued that the methodological basis of the information security management in the segment of the local information system, based on system analysis and general laws of building management systems, the novelty of which lies in the totality of the developed methods, principles of building architecture information security management system with intelligent support for organizational and technical and operational management, which allows a rapid and informed decisions to ensure the required level of data protection.

In circumstances where the control system does not have full information about the status of the information environment, the necessity to counter threats of a model of development in which there is a choice of control action that is most relevant to the state of the control object. Formulated principles of countering threats to development models, provides a formalized description of the method of decision-making on the choice of management options for responding to security events.

The proposed structure of building intellectual support system of operational management can be built by this principle. By development of the intellectual system of operative management it is suggested to choose an unclear model. It is related to that considerable part of information about reasons and sources of anomalous events can be got only an expert way or as heuristic descriptions of processes. For determination of sources of AP IS must be presented by the model of that informative network to that she is oriented. This model divides the task of moving to information between computers through the environment of network on the amount of levels of less large and easier solvable small tasks. Each of these small tasks decides by means of one network level.

In the system of intellectual support of operative management it is suggested to use intellectual technologies: mechanism of unclear inferencing for the numeral estimation of probability of attack; organized organization of information about events in the base of knowledge; models of counteraction to the threats; making decision on the choice of rational variant of reacting on the events of safety.

### References

1. Burachok V. L., Toliupa S.V., Anosov A.O. "System analysis and decision making in information security". - Kyiv : State University of telecommunications, 2015. – P. 345.
2. Andreyev V.I, Goncharenko, Diviznuk M.M., Pavlov I.N., Horosko V.O. Designing of systems of technical protection information / – Sevastopol.: Изд. Центр СКУЯЭИП, 2011. – P. 235.
3. Toliupa S.V. Designing of systems of support decision-making in the recovery process and ensure comprehensive protect information systems. // Scientific and technical journal "Modern information security". – Kyiv, 2012. - №4. – P. 69-74.
4. Toliupa S.V., Pavlov I.N. Analysis of modeling approaches in decision-making processes when designing systems of information protection // Scientific and technical journal "Modern information security" – Kyiv, 2014. - №2. – P. 96-104.

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ДИНАМИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРОЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

**Алексеев Н.А., Мазанка Р.М.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского  
E-mail: alexeyev@its.kpi.ua, roman.mazanka@outlook.com*

### **Distributed Computing Systems with Dynamic Architecture Productivity Increasing Using Neural Networks Methods**

The one of progressive ways to solve the problem of constantly growing data processing is to build high-performance distributed environments which include the number of personal devices having tangible computational power in total. Nowadays a lot of so-called volunteer computations implementations are known but still there's a challenge of effective tasks distribution between such client devices because of its non-stable participation. The work is dedicated to increasing of distributed computing systems with dynamic architecture productivity using neural network methods.

Для решения задач, которые требуют больших вычислительных мощностей зачастую создаются распределенные вычислительные системы. Принцип их работы заключается в том, что они делят сложную задачу на несколько подзадач, которые делегируются участникам этой системы для выполнения, после чего участники отчитываются центру управления, и результат отдается конечному пользователю. Таким образом, основной целью создания распределенных вычислительных систем является повышение эффективности вычислений путем распределения задачи и выполнения ее несколькими машинами одновременно. В современном мире количество устройств, которые имеют осязаемую вычислительную мощность, превышает количество пользователей сети Интернет, поэтому идея объединения этих устройств для решения вычислительных задач приобретает все большую популярность. Внедрение ГПСК в корпоративной среде позволяет привлечь ресурсы, которые простаивают, для выполнения высокопроизводительных вычислений, тем самым, частично перекрывая необходимость использования мощных компьютеров.

Сегодня существует множество готовых решений для построения распределенной вычислительной системы. Чаще всего необходимость в такой системе возникает во время разработки научных проектов, следовательно, решения для построения вычислительных систем зачастую разрабатываются «под ключ» и не являются универсальными. Таким образом, построение корпоративной вычислительной системы на основе данных систем является сложной задачей. Для выявления наиболее универсального программного обеспечения определим основные требования, которые оно должно удовлетворять: поддержка нод, подключенных путем беспроводного соединения, наличие клиента для наиболее популярных платформ (\*NIX-based, Microsoft Windows, Mac OS), высокая степень универсальности, а также поддержка динамической архитектуры.

В ранее проведенных исследованиях было определено, что из имеющегося программного обеспечения наиболее полностью удовлетворяет требованиям разработка Висконсинского университета в Мадисоне (англ. University of Wisconsin–

Madison, штат Висконсин, США) HTCCondor.

HTCCondor – это специализированная система управления нагрузкой рабочих мест. Она поддерживает построение очередей, приоритезацию задач, политики планирования, мониторинг и управление ресурсами [1]. Если машина-исполнитель более недоступна – система мигрирует данную задачу на другую машину (во время активности система делает контрольные точки, поэтому промежуточный прогресс сохраняется). Данная система построена на платформе UNIX, и имеет агенты для других платформ, однако, под другими платформами имеются некоторые ограничения. Согласно данным W3Schools, Microsoft Windows является лидирующей операционной системой (приблизительно 78,5% в 2016 году) [2], поэтому имеет смысл рассматривать ограничения HTCCondor относительно данной операционной системы. Для Microsoft Windows они следующие:

- контрольная точка процесса и миграция не поддерживаются вследствие отсутствия окружения задания;
- grid-type должен быть condor;
- доступ к сетевым папкам, для которых необходима аутентификация типа Kerberos, не осуществляется [3].

Очевидно, что наиболее критичное ограничение – это недоступность сохранения промежуточного результата и продолжения выполнения задачи на другой машине при утрате связи. Таким образом, если на рабочем узле выполняется задача, и с этим узлом на какой-то промежуток времени теряется связь, система вынуждена отдать эту задачу другому узлу, а текущий прогресс будет утерян. Поскольку в системе HTCCondor присутствует архитектурное ограничение в операционной системе Microsoft Windows, для увеличения эффективности вычислений было предложено изменение приоритета узлов, подключенных путем беспроводного соединения с учетом следующих показателей:

- учет качества сигнала беспроводной сети на узле;
- учет длительности подключения узла к текущей беспроводной сети.

Каждому узлу, который может выполнять задачи, выставляется соответствующий рейтинг, который влияет на место в очереди. Таким образом, при изменении рейтинга машины имеется возможность изменить алгоритм распределения задач в распределенной вычислительной системе.

Рассмотрим первый показатель, который предложено включить в зависимость при определении рейтинга машины. При низком уровне сигнала беспроводной сети существует высокая вероятность потери связи с другими узлами системы (в т.ч., с центром управления), соответственно, результат выполнения делегированной задачи может быть утерян с большой долей вероятности. Более приоритетными машинами для выполнения задач являются те, у которых наблюдается максимальный уровень сигнала беспроводной сети.

Для получения вероятности отключения узла как функции от контекстной информации пользователя было предложено создание нейронной сети, которая способна прогнозировать время доступности узла. Выбор нейронной сети как основы метода принятия решения обоснован способностью дообучаться, увеличивая точность своих прогнозов по мере поступления данных. Таким образом, нейронная сеть позволит оценить, через какое время будет предполагаемое отключение, и, чем больший показатель будет получен, тем больший коэффициент будет использован для выставления рейтинга текущему устройству. Согласно теории нейронных сетей, если функция определена на конечном множестве точек, то трехслойный перцептрон способен ее аппроксимировать (рис. 1). В качестве алгоритма обучения предлагается выбрать алгоритм обратного распространения ошибки. Данный алгоритм имеет

возможность переобучения, что является преимуществом для системы оценки длительности сессии.

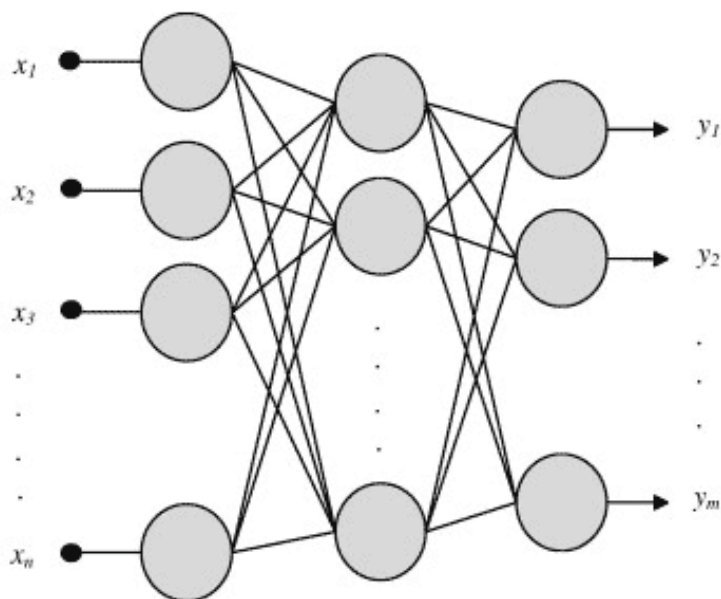


Рис. 1. Структура предлагаемой нейронной сети.

Количество весовых коэффициентов в такой сети можно вычислить по формуле (1).

$$l_w = \sum_{i=1}^{N_L-1} N_i N_{i+1}, \quad (1)$$

где  $N_L$  – количество слоев в нейронной сети,  $N_i$  – количество нейронов на  $i$ -ом слое.

Для обучения нейронной сети и получения начальных значений перед подключением ее к HTCCondor предлагается использовать беспроводную сеть Института телекоммуникационных систем. Данные начальные результаты будут справедливы для высших учебных заведений Украины, имеющих сходный режим работы.

Рассмотрев HTCCondor - как систему для использования в гетерогенной вычислительной сети с динамической архитектурой, можно сделать вывод, что для эффективного использования узлов, не сохраняющих промежуточные результаты вычислений, узлы, которые подключены путем беспроводного соединения следует рассматривать отдельно и учитывать (в их рейтинге) уровень сигнала беспроводной сети и оценку нейронной сети, которая базируется на длительности подключения узла и контекстной информации пользователя, а использование нейронной сети указанной конфигурации позволит более точно осуществлять распределение задач между вычислительными узлами.

### Литература

1. What is HTCCondor? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://research.cs.wisc.edu/htcondor/description.html>. / – Электрон. текстовые данные (дата обращения: 08 марта 2016).
2. OS Platform Statistics – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.w3schools.com/browsers/browsers\\_os.asp](https://www.w3schools.com/browsers/browsers_os.asp) – Электрон. текстовые данные (дата обращения: 26.03.2017).
3. Microsoft Windows – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://research.cs.wisc.edu/htcondor/manual/v8.7/7\\_2Microsoft\\_Windows.html](http://research.cs.wisc.edu/htcondor/manual/v8.7/7_2Microsoft_Windows.html) – Электрон. текстовые данные (дата обращения: 26.03.2017).

## ТЕХНОЛОГИЯ AZURE BLOB STORAGE ДЛЯ СОЗДАНИЯ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Глоба Л.С., Омельченко А.И.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского*

*E-mail: aomelchenko@its.kpi.ua*

### **Azure blob storage technology for creating the storage of research data**

The work is devoted to improving the structure and speed of access to scientific research data, the reliability of their storage, by creating a data storage based on Azure BLOB Storage technology from Microsoft. A detailed overview of the technology for develop the "cloud" storage from Microsoft. The main technical features of BLOB storage technology are considered.

В настоящее время ряд научных организаций получают уникальные данные, для которых необходимо гарантировать достоверность, сохранность, а также предоставлять к ним доступ в соответствии с утвержденным регламентом.

Исследования проводятся в разнообразных отраслях науки, таких как: зоология, геология, океанология и пр. Данные исследований описывают состояние научных исследований, имеют разнообразный формат и представление: результаты измерений, фото материал, видео данные, аудио файлы.

В связи с уникальностью данных возникает необходимость обеспечить их структурированность, надежность хранения и быстрый доступ к ним широкому кругу ученых всем заинтересованным научным организациям [1].

Для хранения данных научных исследований возможно использовать разные схемы хранения: наращивать ресурсы собственного Дата Центра, использовать ресурсы «облачных» хранилищ данных, а также использовать ресурсы удаленного Дата Центра. В статье проведен анализ возможных характеристик доступа к информации для «облачных» хранилищ данных ведущих компаний, их предоставляющих.

Критерием выбора способа хранения являются требования к условиям хранения информации по научным-исследованиям: скорость записи данных, скорость считывания данных, скорость удаления данных, время отклика при обращении к информации, что особенно критично для «облачных» сервисов.

С целью определения возможности использования «облачных» ресурсов были проанализированы результаты тестирования ресурсов хранения, предоставляемых компаниями Microsoft, Amazon, Google [2].

Первым тестом выполнялась проверка на скорость записи данных. «Облачное» хранилище Microsoft показало лучшие результаты в тестах на

скорость записи данных (любого типа) в 14 из 23 отдельных тестов. На втором и третьем месте с большим отставанием: Amazon и Google.

Результаты тестирования при чтении данных (как в целом, так и с файлами размера > 1МБ) из «облачного» хранилища так же показывают преимущество по скорости для платформы Microsoft, а с достаточно большим отставанием на втором месте идет Amazon, за которыми следуют другие вендоры с примерно одинаковыми результатами. Результаты тестирования чтения файлов размером более одного мегабайта приблизительно сравниваются, с небольшим отставанием от Microsoft следуют Amazon и Google.

При проведении тестирования по скорости удаления файлов также имеется значительное преимущество для «облачного» хранилища от Microsoft. На втором месте с большим отставанием Amazon, на третьем - Google.

Тестирование по времени отклика при обращении к информации, хранящейся в «облачном» хранилище, а также реакции сервисов было измерено из расчета времени ответа на запросы операций чтения/записи/удаления за период в 30 дней. Сервис Microsoft продемонстрировал лучшие результаты по среднему значению (0.48 секунды). С небольшим отставанием в результатах на втором месте идет Amazon, далее с большим отставанием располагаются другие облачные вендоры.

Из проведенных тестов видно, что Microsoft занимает лидирующие позиции в большинстве проведенных тестов, поэтому в дальнейшем рассматривается технология организации «облачного» хранилища от компании Microsoft.

Рассмотрим службу хранения, на базе облачных технологий от Microsoft Azure — хранилище BLOB-объектов Azure.

Хранилище BLOB-объектов Azure — это служба хранения большого количества неструктурированных данных объектов в облаке, таких как текстовые или двоичные данные (например, документы, файлы мультимедиа или установщики программных компонент), к которым можно получить доступ практически из любой точки мира по протоколу HTTP или HTTPS.

Хранилища BLOB-объектов или хранилища объектов можно использовать для предоставления данных в открытом доступе или для конфиденциального хранения данных, генерируемых прикладным программным обеспечением.

Наиболее частые способы использования хранилища BLOB-объектов:

- Обслуживание изображений или документов непосредственно в браузере;
- Хранение файлов для распределенного доступа;
- Поточковая передача видео и аудио;
- Хранение резервных копий и восстановление данных, аварийное восстановление и архивация;

- Хранение данных для анализа локальной службой или службой, размещенной в Azure.

Исходя из способов использования хранилища BLOB-объектов для хранения данных, функциональных возможностей, можно сделать вывод о соответствии данной технологии требованиям хранения данных научных исследований, выдвигаемых при создании центров хранения данных научных исследований.

Данные научных исследований необходимо разграничить по определенным правилам доступа (направлениям исследований), например, биологические данные исследований необходимо предоставить, только для специалистов биологов. Технология «облачного» хранилища Azure позволяет реализовать это требование с помощью средств разграничения доступа.

По умолчанию данные больших двоичных объектов в учетной записи хранения доступны только владельцу учетной записи хранения, также для проверки подлинности запросов к хранилищу BLOB-объектов используют ключ доступа к учетной записи. Существует два варианта предоставления другим пользователям доступа к данным больших двоичных объектов:

- **Анонимный доступ:** предоставить общий анонимный доступ к контейнеру или его большим двоичным объектам.

- **Подписанные URL-адреса:** предоставить клиентам подписанный URL-адрес (SAS), который обеспечивает делегированный доступ к ресурсу в учетной записи хранения пользователя. Для этого доступа существует возможность указать разрешения и интервал времени доступа.

Служба позволяет настраивать и давать доступ или его ограничивать к любому объекту в хранилище.

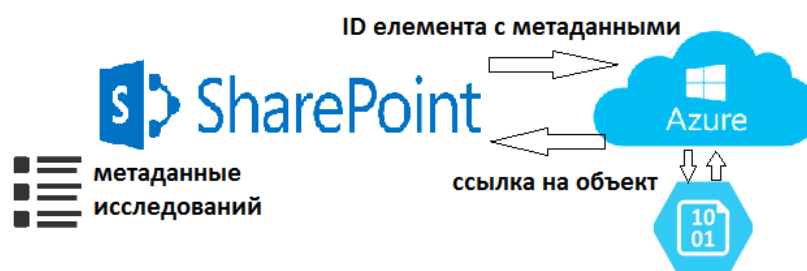


Рис 1. Архитектура взаимодействия SharePoint с Azure Blob Storage.

Управление метаданными научных исследований реализовано в рамках портала НАНЦ на базе SharePoint 2013[3]. Элементы хранятся в списках, каждый элемент имеет уникальный идентификатор. Такое построение хранилища, позволит изолировать данные исследований от их метаданных (Рис. 1). В такой реализации в составе метаданных будут храниться ссылки на данные исследований, представленные в виде объектов НЦАД, что позволит реализовать простое управление объектами, их копирование и восстановление при необходимости [4].

Исходя из рассмотренных функциональных компонент и программных средств можно сделать вывод, что служба хранения Blob объектов позволяет решить поставленные задачи хранения неструктурированного значительного объема данных и обеспечить безопасность хранения, которая необходима для уникальных исследований, проводимых, например, НАНЦ в Антарктиде.

Исходя из вышесказанного делаем выводы:

- Служба хранилища Azure, основанная на способах использования хранилища BLOB-объектов для хранения данных и их функциональных возможностях, является универсальным и удобным способом хранения данных научных исследований;

- Задачу конфиденциальности, быстрого доступа и разграничения прав доступа на данные исследования между учеными и научными организациями, решает интеграция порталного решения и хранилища Azure с помощью стандартных средств SharePoint. Рассмотрены алгоритмы загрузки в «облачное» хранилище и получения из него больших двоичных объектов, которые учитывают конфиденциальность данных проводимых исследований [5];

- На основании теоретических исследований и представленных алгоритмов передачи и хранения данных реализуется прикладное программное обеспечение для автоматической загрузки и отображения результатов научных исследований.

## Література

1. Глоба Л.С., Мороз И.В., Новогрудская Р.Л., Мочалкина К.С., Кузин И.О. Создание единого информационного пространства данных антарктических исследований, Украинский Антарктический Журнал, № 10-11, 2011, с. 343-351.
2. Глоба Л. С. Оптимізація функціонування порталу НАНЦ при роботі з гетерогенними даними / Л. С. Глоба, В.М. Наконечний, Р.Л. Новогрудська, О.О. Привар // VII Міжнародна Антарктична Конференція «Антарктичні дослідження: нові горизонти та пріоритети», Київ, 2015. – С.101.
3. Cloud storage: How do Amazon, Google and Microsoft stack up? Режим доступу: <http://www.techrepublic.com/article/cloud-storage-how-do-amazon-google-and-microsoft-stack-up/> Дата доступу: 30 серпня 2016.
4. Олексенко А.О., Глоба Л.С., Новогрудська Р.Л., Розробка процедури публікації метаданих в українському антарктичному центрі, Сьома міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій": Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2013, – С. 165-167.
5. Upload and Download files from Azure Storage [Електронний ресурс] – Електр. текстові дані. – Режим доступу: <https://blogs.msdn.microsoft.com/webapps/2014/09/24/upload-and-download-files-from-azure-storage/> Дата доступу: 30 серпня 2016.



## **ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ЗІСТАВЛЕННЯ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ТА НАЦІОНАЛЬНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ**

**Горицький В.М., Романченко В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: kiprida3711@gmail.com*

### **Conformity assessment of security of information technology based on a comparison with international standards and national regulations**

Generalization of requirements for procedure of qualification analysis regarding information security. Comparison of information security and trust components defined by ISO/IEC 15408 to requirements of ND TZI 2.5-004-99.

Доступ користувачів до інформації, яка є власністю держави, або до інформації з обмеженим доступом слід обробляти в системі із застосуванням комплексних систем захисту інформації(КСЗІ), підтвердження відповідності якої здійснено за результатами державної експертизи. Критерії оцінювання комп'ютерних систем в Україні визначено в НД ТЗІ 2.5-004-99. Разом з тим, на міжнародному рівні використовуються критерії, визначені в стандарті ISO/IEC 15408. Також, діюча в Україні та визнана в світі система оцінки відповідності, включаючи акредитовані органи з оцінки відповідності (ООВ), національну систему акредитації ООВ та їх нотифікацію (за потреби), також передбачає використання тільки відповідних міжнародних стандартів.

Ціль дослідження: створення єдиної системи критеріїв та оцінки відповідності безпеки інформаційних технологій шляхом їх гармонізації з міжнародними стандартами. В роботі представлені приклади гармонізованого стандарту.

Кваліфікаційний аналіз засобів захисту інформації проводять з метою оцінювання відповідності фактичної реалізації певним вимогам: вимогам нормативних документів у сфері технічного захисту інформації (ТЗІ), технічного завдання та іншої документації.

Українська нормативна база передбачає такі види кваліфікаційного аналізу: атестація (комплексів ТЗІ); державна експертиза (КСЗІ, засобів ТЗІ); сертифікація (зокрема засобів, ТЗІ).

Міжнародна нормативна база оперує поняттями: критерії, оцінка відповідності, акредитовані органи з оцінки відповідності, акредитація ООВ тощо.

Акредитація органів з оцінки відповідності – засвідчення органу з

оцінки відповідності вимогам національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами.

Мета державної експертизи - оцінка захищеності інформації, яка обробляється або циркулює в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах [1].

Порядок проведення експертизи визначено у Положенні про державну експертизу у сфері технічного захисту інформації. На основі результатів державної експертизи підтверджують відповідність КСЗІ та надають Атестат відповідності [1].

Сертифікацію засобів забезпечення ТЗІ здійснюють із метою підтвердження їх відповідності вимогам нормативних документів.

Таблиця 1. Відомості щодо зіставлення функціональних компонентів безпеки, визначених ISO/IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99.

Вимоги НД ТЗІ 2.5-004-99 щодо політики функціональних послуг безпеки	Вимоги стандарту ISO/IEC 15408-2 щодо функціональних елементів функціональних компонентів безпеки, які у сукупності забезпечують задоволення відповідних вимог НД ТЗІ 2.5-004-99	Умови задоволення функціональними елементами вимог НД ТЗІ 2.5-004-99
Політика довірчої конфіденційності, що реалізується комплекс засобів захисту (КЗЗ), повинна визначати множину об'єктів експертизи (ОЕ), до яких вона відноситься	Функції безпеки об'єкта (ФБО) повинні реалізовувати політику функцій безпеки (ПФБ) керування доступом для списку суб'єктів, на які поширюється ПФБ.	У списку суб'єктів функціональних елементів та/або наявні всі типи користувачів та всі типи процесів, на які поширюється політика ФПБ. [3]
Здійснювати розмежування доступу на підставі атрибутів доступу процесу і захищеного об'єкта	ФБО повинні реалізовувати керування доступом до об'єктів, що ґрунтується на списку суб'єктів та об'єктів та дозволяти доступ що ґрунтується на атрибутах безпеки, які явно дозволяють доступ. Повинні дозволяти інформаційний потік між керованим суб'єктом та керованою інформацією за допомогою керованої операції.	В атрибутах безпеки функціональних елементів наявні атрибути процесів та об'єктів усіх типів, на які поширюється політика ФПБ, що дозволяють керувати операціями переміщення інформації від об'єктів відповідних типів до процесів відповідних типів (операціями читання інформації).

Таблиця 2. Відомості щодо зіставлення компонентів довіри до безпеки, визначених ISO/IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-9.

Вимоги критеріїв гарантій НД ТЗІ 2.5-004-99	Вимоги стандарту ISO/IEC 15408-3 щодо елементів компонентів довіри, які у сукупності забезпечують задоволення відповідних вимог НД ТЗІ 2.5-004-99	Умови задоволення елементами довіри вимог НД ТЗІ 2.5-004-99
Розробник повинен визначити всі стадії життєвого циклу ОЕ, розробити, запровадити і підтримувати в робочому стані документально оформлені методики	<p>Розробник повинен визначити модель життєвого циклу, що використовується при розробці та супроводженні об'єкту оцінювання (ОО).</p> <p>Розробник повинен надати документацію з визначення життєвого циклу.</p> <p>Документація містить опис моделі.</p> <p>Модель життєвого циклу має забезпечити необхідний контроль.</p> <p>Документація містить опис моделі.</p> <p>Модель життєвого циклу забезпечує необхідний контроль за розробкою та супроводженням ОО</p>	У моделі життєвого циклу, яка наведена у документації з визначення життєвого циклу, зазначеній в елементах довіри ,документовані всі етапи кожної стадії життєвого циклу ОО і їх граничні вимоги
Розробник повинен описати стандарти кодування, яких необхідно дотримуватися в процесі реалізації	<p>Розробник ідентифікує інструментальні засоби розробки ОО.</p> <p>Розробник документує обрані опції інструментальних засобів розробки, що обумовлені реалізацією.</p> <p>Розробник повинен навести опис стандартів реалізації для всіх частин ОО.</p> <p>Усі інструментальні засоби розробки, що використовуються для реалізації, мають бути повністю визначені.</p>	Інструментальні засоби розробки, зазначені в елементах довіри, використовуються для компіляції усіх вхідних кодів ОО. [2]

Потреба в удосконаленні існуючого нормативно-методичного забезпечення ІБ в сформованих інформаційних технологіях і підходах починає розвиватися і виходити на сучасний міжнародний рівень. Цьому свідчить початок гармонізації зі стандартом ISO/IEC 15408 та порядок зіставлення функціональних компонентів безпеки, визначених ISO/IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99 тощо. На порядку денному - оцінка відповідності за міжнародними стандартами.

#### Література

1. Грайворонський М. В., Новіков О. М. Безпека Інформаційно-Комунікаційних Систем. – К.: Видавнича група BHV, 2009. – 544-552с.
2. НД ТЗІ 2.6-003-2015 Порядок зіставлення компонентів довіри до безпеки, визначених ISO-IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99.
3. НД ТЗІ 2.7-013-2016 Методичні вказівки з виконання зіставлення результатів оцінювання на відповідність вимогам ISO-IEC 15408 з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99.

## УЗАГАЛЬНЕНА КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СКЛАДНОЇ ІНТЕРНЕТ-СИСТЕМИ

**Дерманська Н.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: ndermanska@ukr.net*

### Generalized conceptual model of complex Internet-system

The article deals with usage of the systems approach to complex Internet-systems development. The generalized conceptual model of complex Internet-system is presented. Other models with their elements are used to describe it. The way of their mathematical formulation is shown.

Проектування складних Інтернет-систем в першу чергу означає проектування складних систем. Системний підхід та загалом системне проектування дозволяє повністю описати будь-які елементи, властивості та зв'язки таких систем на кожному етапі проектування та протягом усього їх ЖЦ.

Використання системного підходу дозволяє створити модель складної Інтернет-системи, яка повністю опише всі елементи створюваної системи, її властивості, стани, зв'язки між цими елементами, функціональні можливості та інші необхідні характерні особливості таких систем. Це досягається шляхом використання системного підходу, а саме – декомпозиції моделі системи на більш прості та логічно пов'язані моделі, що описують окремо кожний аспект складної інформаційної системи [1].

Узагальнена концептуальна модель складної Інтернет-системи може бути представлена наступним чином:

$$S(M) = \left\{ \begin{array}{l} M_{use\ case}, M_{activity}, M_{interaction}, M_{statechart}, \\ M_{class}, M_{component}, M_{deployment} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

де  $M_{use\ case}$  – модель прецедентів;

$M_{activity}$  – модель видів діяльності;

$M_{interaction}$  – модель взаємодії;

$M_{statechart}$  – модель станів;

$M_{class}$  – модель класів;

$M_{component}$  – модель компонентів;

$M_{deployment}$  – модель розміщення.

Таким чином, узагальнена концептуальна модель складної Інтернет-системи представлена множиною різноманітних моделей, кожна з яких

описує різні аспекти створюваної системи. Кожна з зазначених моделей, в свою чергу, може складатися з різних елементів чи навіть інших моделей.

Розглянемо детальніше декомпозицію узагальненої концептуальної моделі складної Інтернет-системи на прикладі моделі прецедентів.

Модель прецедентів або модель варіантів використання призначена для опису функціональних можливостей системи з врахуванням оточуючого середовища. Її проектують на етапі створення концептуальної моделі складної Інтернет-системи.

Розробка моделі прецедентів дозволяє:

- описати функціональне призначення системи;
- визначити межі та контекст предметної області системи, що проектується;
- сформулювати основні вимоги до функціональної поведінки системи, що проектується;
- розробити початкову концептуальну модель, що дозволить надалі деталізувати її у вигляді логічних та фізичних моделей [2].

Для представлення даної моделі використовується відповідна діаграма нотації UML – діаграма прецедентів. Це дозволяє визначити набір варіантів використання системи, що проектується, оточуючими її системами чи суб'єктами. Кожний із зазначених варіантів використання має приводити систему до деякого визначеного результату.

Згідно діаграми прецедентів система, що проектується, зображується у вигляді множини сутностей або акторів, які взаємодіють з системою за допомогою варіантів використання [3].

$$M_{use\ case} = \{A, U, R\}, \quad (2)$$

де  $A = \{a_i, i = \overline{1, n}, n \in Z\}$  – множина акторів (зовнішніх сутностей);

$U = \{u_i, i = \overline{1, n}, n \in Z\}$  – множина прецедентів;

$R = \{R^{ass}, R^{ext}, R^{gen}, R^{incl}\}$  – множина відношень між елементами моделі;

$R^{ass} = \{r_i^{ass}, i = \overline{1, n}, n \in Z\}$  – множина відношень асоціації (association relationship);


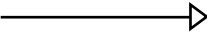
$R^{ext} = \{r_i^{ext}, i = \overline{1, n}, n \in Z\}$  – множина відношень розширення (extend relationship);

$R^{gen} = \{r_i^{gen}, i = \overline{1, n}, n \in Z\}$  – множина відношень узагальнення (generalization relationship);

$R^{incl} = \{r_i^{incl}, i = \overline{1, n}, n \in Z\}$  – множина відношень включення (include relationship).

Покажемо відповідність елементів моделі їх позначенням у таблиці 1.

Табл.1. Відповідність елементів моделі прецедентів їх формалізованим позначенням та позначенням згідно діаграми прецедентів нотації UML

Формалізоване позначення елементу моделі прецедентів	Елемент моделі прецедентів	Позначенням згідно діаграми прецедентів нотації UML
$a_i$	Актор (зовнішня сутність)	 Назва
$u_i$	Прецедент	 Назва прецеденту
$r_i^{ass}$	Відношення асоціації	
$r_i^{ext}$	Відношення розширення	
$r_i^{gen}$	Відношення узагальнення	
$r_i^{incl}$	Відношення включення	

Подібним чином описуються всі вище зазначені моделі.

Таке представлення узагальненої концептуальної моделі складної Інтернет-системи дозволяє повністю описати всі існуючі елементи такої системи, їх властивості, зв'язки, функції, інформаційні потоки. Застосування такої моделі дозволить підвищити ефективність проектування складної Інтернет-системи незалежно від предметної області, що розглядається.

#### Література

1. Гольшев Л. К. Системный подход к анализу и проектированию сложных систем. Системный проектирование / Л. К. Гольшев: научн. моногр. – К. : ГП «Информационно-аналитическое агентство», 2011. – 555 с.
2. Диаграмма вариантов использования (use case diagram) [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: [http://www.infosystem.ru/designing/methodology/uml/theory/use\\_case\\_diagram\\_theory.html](http://www.infosystem.ru/designing/methodology/uml/theory/use_case_diagram_theory.html)
3. UML Use Case Diagrams [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://www.uml-diagrams.org/use-case-diagrams.html>

## ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБЧИСЛЕНЬ ДЛЯ СЕРВІСІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Прокопець В.А., Глоба Л.С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: vprokopets95@gmail.com*

### **An approach to energy efficient computing for Internet of Things services**

In this paper new energy aware algorithm of tasks scheduling in server cluster was proposed. The proposed approach can be used in data centers to improve data processing for such services as Internet of Things (IoT) and Machine-to-Machine communications (M2M).

Актуальність дослідження полягає в тому, що із впровадженням у світі технологій 4G LTE та розвитком тенденції переходу до 5G постає питання збільшення швидкості обробки даних. Все більшого поширення набувають сервіси Internet of Things (IoT, Інтернет речей) та міжмашинної взаємодії (M2M), що потребують обробки великих масивів даних у режимі реального часу. Поряд із цим у світі гостро стоїть проблема економії електроенергії та переходу до альтернативних джерел енергії. Поєднання цих факторів зумовлює потребу розробки енергоефективних алгоритмів планування задач, що здатні забезпечувати обробку даних з високою швидкістю без затримок.

Обробка даних потребує значних енергозатрат. Згідно джерел [1], [2] кількість енергії, що була спожита центрами обробки даних (серверами, сховищами, апаратурою зв'язку та охолодження) по всьому світу у період з 2000 до 2010 років мала такий розподіл: становила близько 70,8 ТВт у 2000 році; 152,5 ТВт – у 2005 році (спостерігалось зростання споживання на 115%); зросла до 271,8 ТВт у 2010 році. При цьому частка цієї потужності у загальній споживаній у світі становить в середньому 1,5%. Обсяги енергії, спожитої ЦОД продовжують зростати і сьогодні.

У роботі запропонована стратегія планування задач у серверному кластері для оптимізації обробки навантаження за критеріями енергоефективності та швидкості обробки задач для сервісів IoT та M2M. У роботі створюється алгоритм енергоефективного планування обробки задач, аналізуються результати імітаційного моделювання роботи алгоритму у середовищі MATLAB.

**Постановка задачі.** Серверний кластер складається з  $n$  вузлів  $\{N_j\}$ . Кожен вузол  $N_j$  характеризується:

$V_j$  - об'ємом доступної оперативної пам'яті;

$flops_j$  - продуктивністю вузла  $N_j$ , що має  $k_{core_j}$  обчислювальних ядер.

$P_j = f_j(CPU_j)$  - функцією енергоспоживання від навантаженості процесора  $f_j(CPU_j)$ , що експериментально визначена для кожного вузла  $N_j$ .

Нова задача  $task_i$  приходить до системи в момент  $\tau$ .

Кожна задача потребує певних значень вищеназваних параметрів:

$$\{V_{req}, k_{core_{req}}, t_{max}\}$$
$$job_i \rightarrow task_i, \{V_{req_i}, k_{core_{req_i}}, t_{i_{max}}\}$$

Необхідно розробити алгоритм планування задач, такий що  $P_\Sigma \rightarrow min$ ,  
 $t_{task_i} \rightarrow min$ ,

де  $P_\Sigma$  - сумарна потужність спожита усім серверним кластером,

$t_\Sigma$  - час виконання набору із  $m$  задач.

**Опис запропонованого підходу.** Основна ідея запропонованого підходу складається із реалізації таких основних етапів:

I. Проведення попередньої атестації серверного кластера (визначення базових параметрів вузлів серверного кластера);

II. Застосування запропонованого алгоритму балансування, що складається із таких основних кроків:

1. Оцінка стану кластера в момент  $\tau k-1$  ;

2. Виключення з розгляду всіх непідходящих вузлів (по оперативній пам'яті і кількості доступних ядер);

3. Знаходження набору  $P_\Sigma = \{P_\Sigma j\}$  (за допомогою відомих функцій  $P_j = f_j(CPU_j)$ ), що являє собою теоретичні потужності, що будуть спожиті кожним вузлом кластера у разі розміщення задачі на нього;

4. Сортування набору вузлів  $N_j$  за теоретично встановленим внеском в потужність споживання всього кластера:  $NP = \{NP_j\}$ ;

5. Сортування набору вузлів по продуктивності:  $NFLOPS = \{NFLOPS_j\}$ ;

6. Присвоєння вузлам вагових коефіцієнтів (балів) за енергоефективність і продуктивність в залежності від їх позиції в сортованих масивах  $NP$  та  $NFLOPS$ ;

7. Призначення задачі вузлу, що має найбільший сумарний бал.

Новим у запропонованому підході є те, що енергетичні моделі визначаються індивідуально для кожного вузла кластера у рамках процесу його попередньої атестації. Також новим є запропонований алгоритм, що враховує при балансуванні задач 2 параметри – продуктивність вузла та його енергоефективність.



**Результати імітаційного моделювання.** Згідно описаного підходу у першу чергу необхідно визначити енергетичні моделі для кожного з вузлів кластера. Для цього, на основі графіка, отриманого в ході натурного експерименту, криву енергетичної моделі засобами середовища MATLAB було апроксимовано поліномом 4 ступеня вигляду:

$$P(CPU)=a*x^4+b*x^3+c*x^2+d*x^1+e*x^0.$$

Коефіцієнти a, b, c, d відповідно різнилися для кожного вузла кластера.

Таб. 1. Результати моделювання роботи кластера з 20 вузлів у середовищі MATLAB

Алгоритм	Середній час обробки однієї задачі, с	Сумарна спожита потужність *, Вт	Виграш у порівнянні із алгоритмом FIFO, %		Виграш у порівнянні із алгоритмом Round Robin, %	
			По часу	По спожитій потужності	По часу	По спожитій потужності
<b>First available (FIFO)</b>	11.636	1436.1	0%	0%	25.2%	4.5%
<b>Round Robin</b>	15.55	1500.8	-25.2%	-4.5%	0%	0%
<b>Least Connections</b>	13.01	1455.9	-11.9%	-1.4%	16.38%	3%
<b>Запропонований алгоритм</b>	10.89	1376.3	<b>6.4%</b>	<b>4.2%</b>	<b>30%</b>	<b>8.3%</b>

У роботі запропоновано унікальний підхід до балансування задач у серверному кластері, що має на меті оптимізацію процесу балансування за двома критеріями – продуктивність та енергоефективність обробки задач. Запропонований підхід відрізняється тим, що передбачає використання індивідуального підходу до визначення енергетичних моделей вузлів кластера та розподіл задач з урахуванням їх енергетичних моделей. Запропонований підхід зокрема може бути доцільним у разі поширення сервісів Internet of Things та M2M.

### Література

1. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – Санкт-Петербург: БХВ-С. Петербург, 2013. – 160 с.
2. Globa L.S., Kurdecha V.V., Ishchenko I.O., Zakharchuk A.G. An approach to the Internet of Things system architecture. CADSM'2017.
3. Hadjila, M. A Routing Algorithm based on Fuzzy Logic Approach to Prolong the Life-time of Wireless Sensor Networks / Hadjila M., Guyennet H., Feham M // International Journal of Open Scientific Research IJOSR. – Oct. 2013. – Vol.1, № 5. – PP.24-35.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕЧЁТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Бовда Е.М.**

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации  
E-mail: Bovdae@ukr.net*

### The engineering activities of operator information and telecommunication systems with fuzzy initial information

Considered the problem of estimation of limit possibilities of the operator (the norm of manageability) and synthesis of algorithms of its activities in the early stages of designing information-telecommunication systems using the theory of fuzzy sets.

На ранних этапах разработки сложных технических систем, к которым относится информационно-телекоммуникационные системы (ИТС), единственно доступной исходной информацией является экспертная информация. Базируясь на методах теории нечетких множеств [1], рассмотрим две типичные задачи проектирования деятельности оператора: оценка предельных возможностей оператора по управлению (норма управляемости) и синтез алгоритмов его деятельности.

*1. Оценка нормы управляемости при нечётких временных характеристиках работы оператора.*

Норма управляемости позволяет ориентировочно определить функции и численность оперативного персонала на ранних этапах разработки системы.

Методика оценки нормы управляемости на основе применения теории нечётких множеств заключается в следующем. На основе обработки экспертной информации производится построение функций принадлежности  $\mu_{\tau}(t)$  для директивного (располагаемого) времени решения задач управления и нормативного (затрачиваемого) времени  $\mu_{\tau}(t)$ . Указанные функции принадлежности строятся при фиксированном количестве объектов управления.

Экспертная информация о временных характеристиках может быть получена либо в виде нечёткой оценки средних значений, либо в виде нечётких интервальных оценок (рис.1).

Своевременное выполнение функции управления возможно при выполнении нечёткого неравенства  $\tilde{\tau} \leq \tilde{T}$ . Сведём задачу сравнения  $\tilde{\tau}$  и  $\tilde{T}$  к задаче сравнения двух нечётких  $L$ - $R$  чисел [2]. Каждое нечёткое число  $\tilde{\tau}(\tilde{T})$  представляется кортежем

$$\tilde{\tau} = (\bar{\tau}, \alpha_{\tau}, \beta_{\tau}); \quad \tilde{T} = (\bar{T}, \gamma_T, \sigma_T),$$

где  $\bar{\tau}(\bar{T})$  – среднее значение  $\tilde{\tau}(\tilde{T})$ ;  $\alpha_{\tau}, \beta_{\tau}(\gamma_T, \sigma_T)$  – левая и правая границы

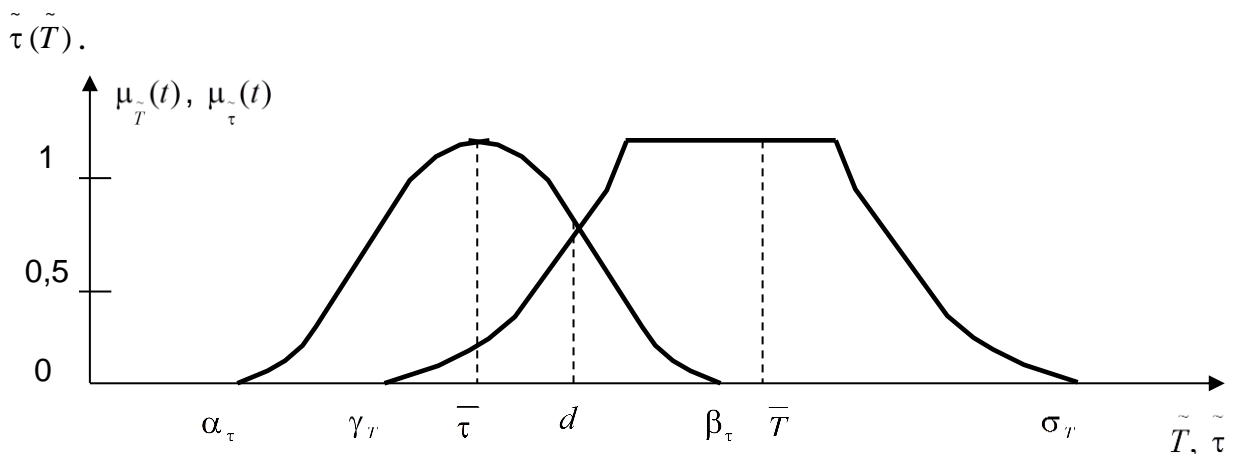


Рис.1. Сравнение нечётких величин при  $\tilde{T} > \tilde{\tau}$ .

Ответ на вопрос "может ли  $T$  быть больше  $\tau$ ?" нечёткий и представляется как нечёткое подмножество множества {да, нет}. Так как нас интересует, сможет ли оператор выполнить своевременно все действия по управлению, то достаточно получить ответ {да} для случая, когда  $\tilde{\tau} \leq \tilde{T}$  и {нет}, когда  $\tilde{\tau} \geq \tilde{T}$ . Для определённости на рис.1. рассмотрен случай, когда  $\tilde{\tau} \leq \tilde{T}$ , что определяется соотношением

$$V(\tilde{T} \geq \tilde{\tau}) = \sup_{x \geq y} \min(\mu_{\tilde{T}}(x), \mu_{\tilde{\tau}}(y)), \quad (1)$$

откуда получаем соотношение

$$V(\tilde{T} \geq \tilde{\tau}) = L\left(\frac{\bar{T} - \bar{\tau}}{\beta_{\tau} + \gamma_T}\right), \quad (2)$$

где  $L(z)$  находится из таблиц.

Если эксперты считают эту степень возможности вычисления функции управления недостаточной, то необходимо:

- уменьшить число управляемых объектов;
- построить функции принадлежности  $\mu_{\tilde{T}}(t)$  и  $\mu_{\tilde{\tau}}(t)$ ;

- произвести сравнение нечётких величин  $\tilde{\tau}$  и  $\tilde{T}$  и определить новое значение  $V(\tilde{T} \geq \tilde{\tau})$ .

Последовательно выполняя указанные расчёты, можно получить нечёткую оценку нормы управляемости.

## 2. Синтез нечётких алгоритмов деятельности оператора

Для синтеза алгоритмического процесса предлагается использовать понятие *нечёткого вероятностного графа* (НВГ), под которым понимается конечный ориентированный граф, дуги которого взвешены нечёткими вероятностно-временными характеристиками переходов между вершинами (например, рис. 2). Для определённости рассмотрим "прямую" постановку задачи синтеза алгоритма: найти такой вариант алгоритма, который обеспечивает минимальное время выполнения  $T$  при допустимой вероятности безошибочного выполнения алгоритма  $P \geq P_{\text{доп}}$ .

Для решения задачи синтеза алгоритма в такой постановке необходима методика расчёта значений вероятности  $P$  и времени  $T$  для исходного НВГ с помощью его преобразования в эквивалентный НВГ с одной дугой и двумя вершинами – входной и конечной. Основными операциями такого преобразования являются объединение последовательных и параллельных дуг и удаление дуги-петли, приведённые в [3].

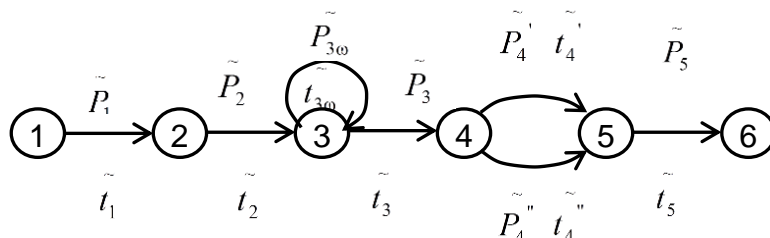


Рис. 2. Пример нечёткого алгоритма

Выбор рационального варианта алгоритма деятельности оператора при нечёткой исходной информации включает следующие этапы.

1. Генерируются возможные алгоритмические структуры деятельности оператора ( $i = \overline{1, n}$ ).

2. Определяются исходные данные по вероятностно-временным характеристикам каждого оператора  $A_k$ ,  $k = \overline{1, l}$ , и логического условия  $\omega_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Исходные данные представляют собой нечёткие числа в  $\alpha$ -уровневом разложении.

3. Отбрасываются заведомо неперспективные варианты выполнения операторов и логических условий, входящих в  $i$ -ю структуру.

4. Путём последовательного укрупнения графа  $i-1$  исходной структуры алгоритма до эквивалентного графа на основе использования формул преобразования определяются время реализации  $\tilde{T}(A_i, \omega_i)$  и вероятность правильного выполнения алгоритма  $\tilde{P}(A_i, \omega_i)$ .

5. Отбрасываются варианты реализации процесса, для которых  $\tilde{P}(A_i, \omega_i) < P_{\text{доп}}$ .

6. Из оставшихся вариантов выбираем тот, у которого  $\tilde{T}(A_i, \omega_i) \rightarrow \min$ .

7. Выбранный вариант "разворачивается" до уровня операторов и логических условий и записывается рациональный алгоритм.

Практическое применение предлагаемой методики синтеза алгоритма деятельности оператора на ранних этапах проектирования технических систем позволяет решить проблему исходных данных и получить достаточно эффективные алгоритмы.

#### Литература

1. Кофман А. В. Введение в теорию нечётких множеств / А. В. 1. Кофман. – М: Радио и связь, 1982. – 432 с.
2. Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечётких моделей: примеры использования. / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Фёдоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
3. Ротштейн А. П. Нечёткая надёжность алгоритмических процессов / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. – Винница: Континент, 1997. – 142 с.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ КОМПАНІЇ

Лавренюк А.М., Лавренюк С. І., Тульчинський П.Г.

*Фізико-технічний інститут НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Україна;*

*Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Україна*

*E-mail: lsi@bigmir.net*

### SOFTWARE OPTIMIZATION FOR TELECOMMUNICATION COMPANY BIG DATA ANALYSIS

Using optimal architecture development for software that created using python programming language, we have shown the solution of one of the Big data analysis problem for telecommunication company churn prediction.

We have shown decision-making system creation with flexible modular structure and with software development time and resource costs optimization.

На прикладі розробки оптимальної архітектури програмного забезпечення створеного на мові програмування python показано рішення однієї із задач аналізу великих даних для прогнозування відтоку клієнтів (churn predict) телекомунікаційної компанії. Показано створення системи прийняття рішень з гнучкою модульною структурою та з оптимізацією часових та ресурсних витрат на розробку програмного забезпечення.

**Вступ.** При рішенні задачі прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційної компанії проводиться аналіз великого об'єму даних, адже телекомунікаційні компанії:

- мають клієнтську базу від 1000000 і більше, дані необхідно брати за останні три місяці;
- для побудови моделей та тестування прогнозування на першому етапі достатні дані для телекомунікаційних компаній, що містяться в відкритих джерелах [1, 2];
- при розробці програмного забезпечення та його впровадженні необхідно збалансувати три компоненти, що значним чином впливають на результат:  $T$ -час,  $C$ -ресурси (люди, гроші),  $Q$ -якість;
- програмне забезпечення повинно бути: масштабоване, мультиплатформне, мати невелику сукупну вартість володіння;
- необхідність роботи програмного забезпечення на різних пристроях (робочі станції, смартфони, планшети...), а інтерфейс програмних систем повинен бути розрахований на роботу різних категорій співробітників.

Одній групі користувачів необхідна більша інтерактивність з можливістю проводити самостійно різне представлення результатів та розрахунків додаткових показників. Для другої групи необхідно швидко отримувати точні результати розрахунків основних показників для прийняття управлінських рішень. Тому інтерфейс повинен містити тільки необхідні дані, працювати швидко на різних пристроях та системах.

Якщо розробляти різні модулі на різні операційні системи та пристрої для різних груп користувачів будуть значно збільшені  $T, C$  при  $Q=const$ :

$$\begin{aligned} T &= T_0 + \Delta T, C = C_0 + \Delta C, \\ \partial_e \Delta T > 1, \Delta C > 1 \end{aligned} \quad (1)$$

**Запропонований підхід.** Виходячи з наявного досвіду побудови програмного забезпечення для прогнозування даних [3] та для обробки великих об'ємів даних [4], провівши ряд експериментів, запропоновано для рішення задачі аналізу великих даних використати мову програмування python, та бібліотеки, що необхідні для машинного навчання та прогнозування: pandas, numpy, sklearn та інші.

Доцільно використати триярусну архітектуру: сервер баз даних, сервер додатків та робочі станції користувачів. Основну задачу по обробці даних, машинному навчанню та прогнозуванню візьме на себе сервер додатків. Так, як для машинного навчання в python на базі бібліотеки sklearn використовується не просто бібліотека numpy, а numpy+mkl, то буде забезпечена достатня швидкодія, а django до python дає можливість побудувати веб-додаток (web-application) з високою швидкістю, гнучкістю та мультиплатформністю. Веб додаток проводить аналіз даних, буде інтерфейс користувача для другої групи користувачів, та правильно працює на різних пристроях. Jupiter notebook веб додаток для створення інтерфейсу для першої групи користувачів (рис. 1).

Ядро системи – обробка та аналіз даних, також спільні процедури доступу до даних винесені в окремі модулі та є спільними для двох систем. Таким чином, вірно виділивши спільні процедури, функції, та з'єднавши їх із першою та другою системами ми отримуємо:

$$\begin{aligned} T &= T_0 + \Delta T_1, C = C_0 + \Delta C_1, \\ \partial_e \Delta T_1 < \Delta T, \Delta C_1 < \Delta C, Q = const, \Delta T_1 \Rightarrow 0, \Delta C_1 \Rightarrow 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Слід зазначити, що технології глибинного навчання та методи машинного навчання успішно використовуються у великих об'ємів даних при проведенні аерокосмічних спостережень [5, 6].

Тому запропонований авторами підхід можна буду успішно використати в інших галузях.



Рис. 1. Архітектура програмного забезпечення.

Проведені експерименти показали високий результат якості прогнозування та швидкості обробки даних.

#### **Висновок.**

- мова програмування python та наявні компоненти дають можливість побудови оптимальних програмних систем для аналізу великих об'ємів даних, для машинного навчання, та для побудови мультиплатформних веб додатків або додатків робочого столу (desktop app) не критичних до великої швидкодії;

- запропонований підхід до побудови програмного забезпечення для аналізу великих даних базі мови програмування python зменшує витрати на створення програмного забезпечення та його супровід в подальшому.

#### **Література**

1. Telco Customer Churn data set, <https://www.ibm.com/communities/analytics/watson-analytics-blog/predictive-insights-in-the-telco-customer-churn-data-set/>.
2. Machine Learning Repository, [http://archive.ics.uci.edu/ml/?cm\\_mc\\_uid=15134185542514827482720&cm\\_mc\\_sid\\_50200000=1485174656](http://archive.ics.uci.edu/ml/?cm_mc_uid=15134185542514827482720&cm_mc_sid_50200000=1485174656).
3. Автоматическое построение числовых прогнозов / [Лавренюк С.И., Перевозчикова О.Л., Тульчинский В.Г., Харченко А.В.]/Компьютерная математика.–2010.–№ 2. – С. 52–61.
4. Лавренюк А.Н., Лавренюк С.И., Назаренко Е.В. Подход к оптимизации программы обработки больших объемов сейсмических данных на примере 3D миграции дуплексных волн//Компьютерная математика., сборн. научн. трудов–2014 №1–Р. 69-75.
5. Лавренюк М., Новіков О. Технологія глибинного навчання для великих об'ємів даних // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки, GEO-UA 2016.
6. Новіков О., Шелестов А., Лавренюк М. Розробка методів машинного навчання в проекті Google Earth Engine // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки, GEO-UA 2016. — 2016.— Р. 20-21.

## МЕТОД КОМПОЗИЦІЇ ВЕБ-СЕРВІСІВ

**Колюкаєва В.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: vkolyukaeva@gmail.com*

### THE METHOD OF WEB SERVICES COMPOSITION

In this paper the method of composition of Web services fulfills the requirements of Quality of Service (QoS). Describe the problem posed to select tracks and review proposed solutions to these problems.

В даній роботі розглядається метод композиції веб-сервісів з огляду на поставлені вимоги Quality of Service (QoS). Описуються поставлені задачі для вибору композиції, а також пропонується огляд шляху вирішення цих задач.

Сучасні інформаційні системи часто використовують в своїй роботі не тільки локальні сервіси, функціонування яких можливо контролювати, а й зовнішні, які з позиції споживача послуг представлені у вигляді «чорного ящика». Веб-сервіси виконують обмін в мережі і повинні задовольняти критеріям якості обслуговування Quality of Service (QoS), які залежать від виду сполучення інтеграції сервісів. Провайдери пропонують широкий вибір веб-сервісів з дублюванням функцій сервісів. Наприклад, серед найбільш затребуваних в споживчому секторі можна виділити функції картографії, надання інформації щодо географічних об'єктів, розміщення відео, графічних і аудіо-файлів. Виникає питання вибору сервісів, що виконують необхідну функцію і забезпечують необхідний рівень QoS. Таким чином, перед розробниками вже стоїть завдання вибору необхідного варіанту композиції веб-сервісів з багатьма початковими параметрами в рамках певної задачі.

Для вирішення поставленого завдання необхідно:

1. Для визначення множини веб-сервісів і їх функцій, які будуть брати участь у вирішенні задачі вибору, необхідно знайти безлічі реалізацій підзадач різними веб-сервісами;

2. Провести оцінку отриманої безлічі функцій веб-сервісів згідно з наявним набором критеріїв.

На Рис. 1 приведено види критеріїв, що можуть використовуватися для порівняння веб-сервісів.



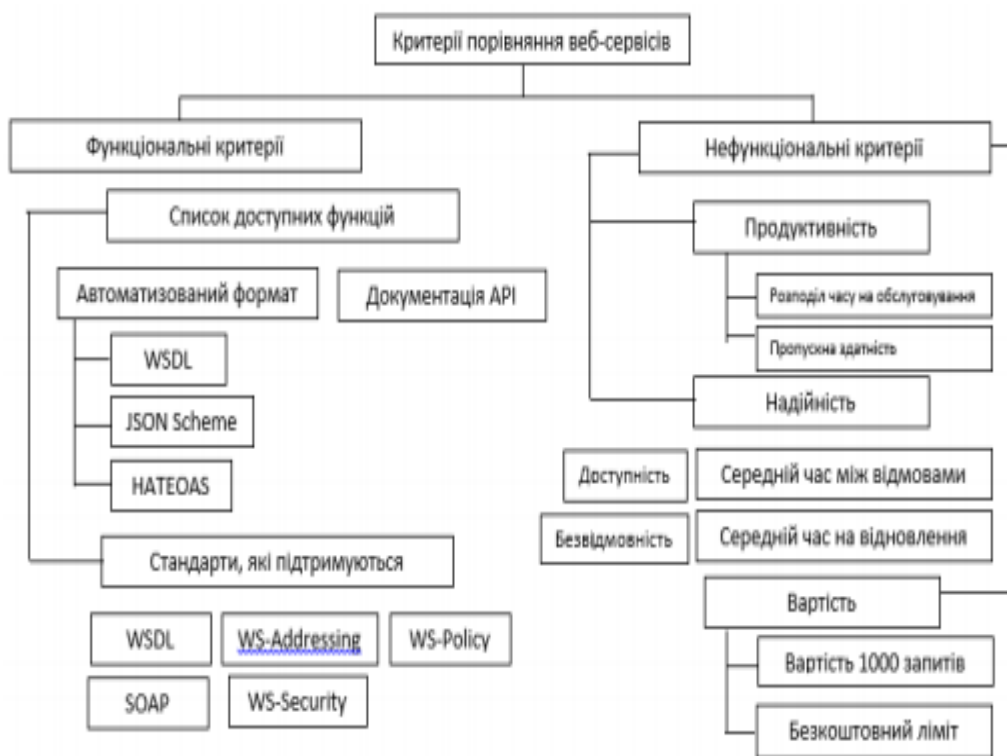


Рис. 1. Критерії порівняння веб-сервісів.

Для вибору веб-сервісів будемо використовувати нефункціональні критерії. Як QoS характеристики веб-сервісу використовуються: час обробки запиту, вартість обробки запиту, доступність і надійність.

Кожний сервіс пропонується перевіряти на час необхідний для проходження всіх етапів запиту (підключення до серверу, відправлення запиту, очікування відповіді й т.д.), але з урахуванням відхилення. Під відхиленням розуміється те, що середня завантаженість веб-сервісу може змінюватися протягом певного відрізка часу. Тому для отримання достовірної оцінки часу обслуговування запиту, необхідно проводити декілька розрахунків середнього часу обробки запитів і усереднювати це значення.

Для перевірки надійності веб-сервісу використовуються наступні критерії: середній час між відмовам, середній час на відновлення, доступність (вірогідність того, що об'єкт буде функціонувати), безвідмовність (вірогідність того, що запит буде опрацьован) та час роботи.

Варто зазначити, що існує два основних підходи до постановки задачі вибору варіанту композиції веб-сервісів:

1. Пошук кращої композиції веб-сервісів з урахуванням структури завдання. При цьому вводяться 4 базові структури об'єднання веб-сервісів (послідовна, циклічна, умовна і паралельна), для кожного можливого поєднання реалізацій підзадач веб-сервісами розраховується інтегральне значення критеріїв порівняння (цей процес, як правило, оптимізується) і вибирається варіант композиції з найкращими інтегральними оцінками значень критеріїв.

2. Пошук кращої композиції без урахування структури завдання. При цьому загальна задача пошуку кращої композиції веб-сервісів в рамках окремого завдання розглядається як пошук кращих рішень для окремих підзадач.

У процесі дослідження використовується другий підхід оскільки, по-перше, для більшості практичних задач виконується умова незалежності веб-сервісів і, по-друге, цей підхід дозволяє наочно представляти результати вибору з урахуванням відносної важливості критеріїв.

### Література

1. Душкин Д. (2012). Анализ чувствительности веб-сервисов в задаче выбора оптимальной конфигурации систем с сервисно-ориентированной архитектурой. Moscow: [http://ubs.mtas.ru/archive/search\\_results\\_new.php?publication\\_id=18929..](http://ubs.mtas.ru/archive/search_results_new.php?publication_id=18929..) p. 164-182.
2. Web Services Architecture – W3C Working Group Note (2004). The World Wide Web Consortium. URL: <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>.
3. Пирліна І. (2012). Выбор эффективного проекта реализации сервис-ориентированной архитектуры информационной системы. Moscow: Проблемы управления. p. 59-68.
4. Бабошин, Кашевнік (2007). Подход к организации взаимодействия веб-сервисов на основе модели потока работ. Moscow: Труды СПИИРАН. p. 247-254.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АНАЛІЗАТОРА ТРАФІКА ДОМАШНЬОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ RASPBERRY PI ZERO

**Бикова А.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: bykova.alien@gmail.com*

### **Research and development of a network traffic analyzer based on the Raspberry Pi Zero**

A network traffic analyzer based on Raspberry Pi Zero for IoT is proposed and implemented. It allows users control access to their home network. The effective method of development traffic analyzer is proposed.

Пристрій моніторингу мережі може бути дуже корисним доповненням до домашньої мережі. Оскільки все більше пристроїв стають розумними, а світ Інтернету речей все активніше впроваджується в домашні мережі, важливо, щоб власники повідомлялися про появу нових пристроїв в їх мережі та мали можливість відкликати будь-які небажані пристрої, не впливаючи на всю мережу. Небажані пристрої, які підключилися до мережі без згоди, можуть заподіяти багато шкоди. Мета цих досліджень і проекту - зрозуміти важливість інструментів мережевого моніторингу та запропонувати ефективний інструмент моніторингу, враховуючи мережу, що складається з розумних пристроїв.

В ході дослідження різних інструментів і систем мережевого моніторингу було помічено, що саме сам пристрій часто не приймався до уваги. Існуючі інструменти моніторингу мережі були в основному розроблені для інсталяції на комп'ютер користувача та зрідка розглядалися як окреме апаратне доповнення до існуючої мережі. Беручи до уваги, що інструмент моніторингу мережі найбільш корисний, коли він здійснює моніторинг протягом всього дня, засіб моніторингу домашньої мережі Raspberry Pi Zero призначений для окремого апаратного доповнення до мережі.

На малюнку 1 представлена структура і архітектура засобу моніторингу домашньої мережі на Raspberry Pi Zero. Raspberry Pi Zero підключається до роутера через дротове або бездротове з'єднання. Домовласник може отримати доступ до пристрою моніторингу з будь-якого пристрою в мережі. Якщо власник домашньої мережі хоче заблокувати пристрій, до iptable буде додано відповідний запис. Всі авторизовані пристрої в мережі також будуть підключені до домашнього роутера.

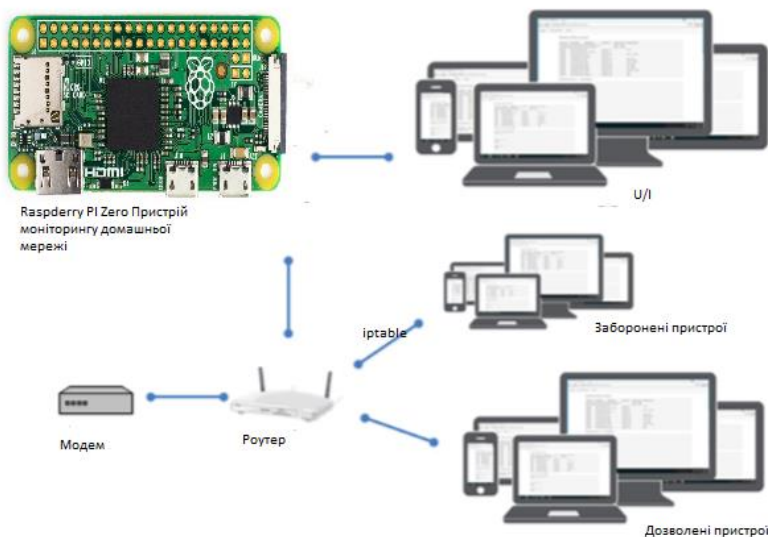


Рис. 1. Структура і архітектура інструменту для моніторингу домашньої мережі на Raspberry Pi Zero.

Kali Linux була обрана через велику кількість інструментів, які вона надає для мережевого моніторингу. Набір інструментів, який надає Kali Linux, багатий мережевими сценаріями і додатками для проникнення і використання слабких місць у мережі[1].

Для частини виявлення використовується NMAP [2]. NMAP - сканер мережевої безпеки, який сканує всю мережу і надає корисну інформацію для кожної системи. NMAP може приймати різні форми команд і дозволяє користувачеві вибирати тип сканування для виконання, від надання мінімальної кількості інформації до вичерпної. За допомогою NMAP ми отримуємо поточну IP-адресу, MAC-адресу і назву виробника мережевого пристрою. Користувач може вибрати і налаштувати час сканування. За замовчуванням сканування виконується кожну хвилину. По завершенні перевірки створюється тимчасовий файл з усією інформацією для кожного пристрою.

Для частині відмови були взяті кілька різних інструментів і методів. У міні-атаці відмови в обслуговуванні Nping [3] був обраний для використання. Nping - це інструмент з відкритим вихідним кодом, який дозволяє налаштувати мережні пакети для генерації.

Для частини відмови реалізована iptable конфігурація. Iptable - це додаток з відкритим вихідним кодом, який дозволяє налаштувати конфігурацію таблиці брандмауера ядра Linux. Коли власники мереж приймають рішення про заборону небажаного пристрою в своїй мережі, вони відправляють MAC-адресу, яка записується в файл. Буде запущена програма з використанням SSH і SCP для передачі цього файлу на маршрутизатор. Маршрутизатор повинен бути налаштований для підключення по SSH, щоб успішно реалізувати метод відмови в iptable. Для маршрутизатора написано невеликий скрипт, який повинен бути запущений на виконання. Скрипт переглядає файл, який містить MAC-адресу небажаного користувача, яка потім буде вставлена в iptable. Якщо власники мереж не зможуть зконфігурувати свій маршрутизатор для з'єднання

по SSH, вони все одно будуть повідомлені про те, що пристрій, що знаходиться в відкритому списку, повернувся у свою мережу, після чого власникам необхідно буде увійти в систему на сторінці утиліти налаштування маршрутизатора і заблокувати цей пристрій.

Для описання роботи серверної частини моніторингу мережі використовується кілька різних мов програмування: Bourne Shell, PHP. Основна частина серверної логіки засобу моніторингу мережі написана в Bourne Shell. PHP дозволяє через призначений для користувача інтерфейс взаємодіяти з сервером. PHP також запускає кілька сценаріїв оболонки Bourne.

Повідомлення викликаються по електронній пошті. Щоб настроїти електронну пошту використовуються сервер SSMTP і mailutils. Різні сценарії будуть викликати відповідні повідомлення, які відправляються власнику мережі у вигляді повідомлень.

Фронт-енд інструменту для моніторингу мережі написано з використанням HTML, Bootstrap і JavaScript. Фронт-енд взаємодіє з бек-ендом через PHP.

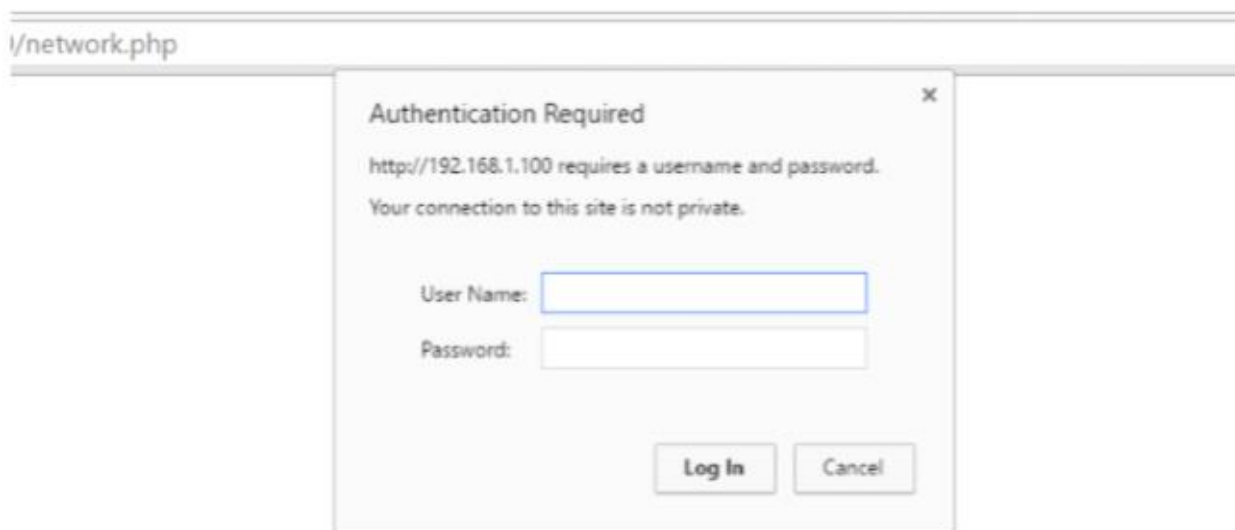


Рис. 2: Сторінка входу для контролю інструменту Raspberry Pi домашньої мережі.

Інструмент мережевого моніторингу розроблений, щоб бути простим і зручним у використанні. Власник мережі зможе взаємодіяти з інструментом моніторингу Raspberry Pi з будь-якого пристрою, який має веб-браузер і знаходиться в мережі. Власник мережі повинен буде вказати ім'я користувача і пароль, щоб отримати доступ до інструмента моніторингу. Веб-сервер Apache2, сконфігурованих на Raspberry Pi 3, дає власникам можливість взаємодіяти з інструментом моніторингу з будь-якого пристрою в своїй мережі.

#### Література

1. O. Security. Kali linux. <https://www.kali.org>.
2. G. Lyon. Nmap. <https://nmap.org/>.
3. L. Gordon. Nping. <https://nmap.org/nping/>.

## МЕТОД СТРОГОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АБОНЕНТІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

**Марковський О. П., Захаріудакіс Лефтеріос., Федотов М.Ф.**

*Факультет інформатики та обчислювальної техніки*

*КІІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: markovskyu@i.ua*

### **Method for strong users identification in telecommunication systems**

The method for high speed remote users authentication has been proposed. Proposed method realized the zero-knowledge conception of cryptographically strong authentication. Developed method is based on using of standard hash transformation. The procedures for remote users registration and authentication cycle were developed in detail. It has been shown that utilization of proposed technology allowed to increase the identification rate by 2-3 orders.

Розвиток телекомунікаційних систем значною мірою залежить від ефективності реалізації в них функцій захисту інформації та розподілення прав доступу. Ключова роль в вирішенні цієї проблеми належить засобам ідентифікації абонентів. Виходячи з цього, вдосконалення таких засобів є важливим та актуальним для розвитку сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій.

Високий рівень ефективності ідентифікації віддалених абонентів досягається як результат певного компромісу між рівнем захищеності від несанкціонованого доступу та швидкістю ідентифікації.

Теоретично доведено [1], що найбільший рівень захищеності від спроб несанкціонованого доступу може бути досягнутий в рамках концепції "нульових знань". Сутність цієї концепції полягає в тому, що для доведення своєї автентичності абонент має неявним чином виявити знання певної інформації, якою система не володіє, але може перевірити її наявність у абонента. При цьому в системі не зберігається ніякої секретної інформації, яка дозволяє відновити ідентифікаційні дані абонента, що пояснює походження назви концепції "нульових знань". Важливим є те, що при кожному зверненні до системи абонентом генерується нова ідентифікуюча інформація.

Ідентифікація абонентів, що реалізують теоретичну концепцію "нульових знань" вважається [2] строгою.

Концепція "нульових знань" передбачає використання теоретично незворотних криптографічних перетворень. Це означає, що існує алгоритм перетворення в прямому напрямку, але принципово неможливим є аналітичне віднаходження алгоритму зворотного перетворення. В існуючих схемах ідентифікації на основі концепції нульових знань для реалізації такого перетворення використовуються аналітично нерозв'язувані задачі теорії чисел, зокрема відома задача дискретного логарифмування. На

практиці найбільшого поширення набули методи FESIS [3], Guillou-Quisquater [4] та Schnorr [1].

Найбільш значимий для практики недолік існуючих схем строгої ідентифікації полягає в значній часовій складності обчислень, пов'язаних з реалізацією процедур ідентифікації. Це зумовлено тим, що в їх основі лежать мультиплікативні операції модулярної арифметики, що виконуються над числами, розрядність яких значно перевищує розрядність сучасних процесорів. Відповідно, висока складність обчислень значно сповільнює процес ідентифікації.

Авторами запропоновано метод реалізації строгої ідентифікації на іншій математичній основі - незворотних булевих функціях. Для реалізації таких перетворень пропонується використати стандартизовані хеш-перетворення. Стандартизований хеш-перетворювач ( $H$ ) – сертифікований відповідними органами алгоритм незворотного перетворення інформаційного блоку довільної довжини в код хеш-сигнатури фіксованої розрядності  $h$ . Найбільш відомими є хеш-перетворювачі SHA-1 та RIPEMD-160 [1], що формують 160-бітову хеш-сигнатуру ( $h=160$ ). Найважливішою якістю хеш-перетворювачів є їх незворотність – тобто практична неможливість віднаходження інформаційного блоку, хеш-сигнатура якого дорівнює заданій.

Суттєва перевага використання стандартизованих хеш-перетворювачів полягає в тому, що їх криптостійкість надійно перевірена спеціальним тестуванням та в процесі практичного застосування.

Пропонований метод регламентує процедури ініціалізації та сеансової ідентифікації при кожному зверненні абоненту до системи.

Метод передбачає таку послідовність дій при реєстрації :

- 1) Користувач довільно визначає кількість  $n$  циклів ідентифікації.
- 2) Випадковим чином генерує  $n$ -ий сеансовий пароль  $P_n$ .
- 3) Обчислює  $n-1$  паролів, причому  $j$ -тий пароль  $P_j$ ,  $j=n-1, \dots, 0$  обчислюється як хеш-перетворення  $H(x)$  від конкатенації попереднього паролю та номера сеансу:  $P_j = H(P_{j+1} || j)$ .
- 4) Пароль  $P_0$  відсилається в систему, зашифрований її відкритим ключем.

Послідовність дій  $j$ -того сеансу ідентифікації має вигляд:

- 1) Користувач шифрує відкритим ключем системи  $j$ -тий сеансовий пароль  $P_j$  і відсилає його в систему.
- 2) Система виконує хеш-перетворення над конкатенацією отриманого паролю та номера сеансу:  $\xi = H(P_j || j)$  і порівнює результату з попередньо отриманим паролем  $P_{j-1}$  : якщо  $\xi = P_{j-1}$  то надається доступ.

Очевидно, що система, маючи в розпорядженні попередній пароль  $P_{j-1}$  не здатна сама генерувати наступний пароль  $P_j$  : ця задача еквівалентна злому стандартизованого хеш-алгоритму. Ці алгоритми ретельно тестовано, вони пройшли апробацію практикою, їх незворотність гарантована відповідними державними органами. Використання стандартизованого хеш-перетворює унеможливорює застосування для цього інших методів крім перебору. При

цьому, в середньому, потрібно виконати  $2^{h-1}$  прорахунків хеш-перетворення, що для стандартизованого хеш-алгоритму SHA-1 становить  $2^{159}$  реалізацій алгоритму і виходить за рамки практичної доцільності.

Виходячи з цього, можна вважати, що задача підбору пароля як системою так і стороннім зловмисником потребує ресурсів, що виходять за рамки практичної доцільності.

Використання добре досліджених криптографічних примітивів, що пройшли перевіркою практичним застосуванням, забезпечує високий рівень надійності захисту від спроб порушення ідентифікації.

Основною перевагою запропонованого метода в порівнянні з аналогами полягає в тому, що передбачені ним обчислення мають значно меншу складність. Більшість існуючих методів ідентифікації віддалених користувачів, що реалізують концепцію “нульових знань” мають за основу незворотні перетворення теорії чисел, базовою операцією яких є модулярне експоненціювання над числами великої розрядності – 2048 або 4096. За оцінками [2] обчислювальна складність операції експоненціювання для розрядності 2048 на три порядки перевищує обчислювальну складність шифрування з використанням стандартизованого шифроблоку. Це означає, що обчислювальна складність запропонованого методу реалізації строгої ідентифікації на три порядки менша в порівнянні з відомими методами, що реалізують концепцію “нульових знань”. Проведені експерименти показали, що реально швидкість ідентифікації збільшується на 2-3 порядки.

Значимою для практики перевагою запропонованого методу в порівнянні з відомими є також те, що хеш-перетворення побудовані на логічних операціях, які просто та ефективно можуть бути реалізовані апаратними засобами, в тому числі ПЛІС [7]. Апаратна реалізація операцій модулярного експоненціювання над числами великої розрядності, що лежать в основі відомих методів строгої ідентифікації, суттєво більш складна і менш ефективна.

На відміну від відомих методів, для одного сеансу ідентифікації використовується лише одна пересилка пароля через потенційно відкриті лінії передачі даних.

### Література

1. Schneier B. Applied Cryptography. Protocols. Algorithms and Source codes in C. -Ed. John Wiley, 1996 - 758 pp.
2. Markovskyy O. Fast subscriber identification based on the zero knowledge principle for multimedia content distribution/ O. Markovskyy, N. Bardis, N. Doukas // International Journal of Multimedia Intelligence and Security 2010 - Vol. 1,- pp.78-82.
3. Feige U. Zero knowledge proofs of identity / Feige U., Fiat A., Shamir A.// Journal of Cryptology.- v.1.- №.2.- 1988, pp.77-94.
4. Pourand G. A realistic security analysis of identification schemes based on combinatorial problems // European Transactions on Telecommunications.- V.8,-№.5.- 1997,- pp.471-480.



## ПРИМЕНЕНИЕ ИГРОФИКАЦИИ В ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

**Чичиков А. О., Штогрин Е. С.**

*Институт телекоммуникационных систем*

*КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: tonychichikov@gmail.com, l\_shtogrina@mail.ru*

### **Application of gamification in the study of technical electro dynamics**

The application of gamification for the course of electro dynamics is considered. Advantages of using in education are described. Description of problems which appears while making laboratory works with using technical equipment and solving this problems using gamification. Views of program application are presented.

Современный образовательный процесс в учебных заведениях включает наличие нескольких видов занятий, таких как лекции, практические и лабораторные работы. На самостоятельную работу студента отводится большое количество времени, в том числе и время для подготовки к занятиям. Подготовка к лабораторным работам обычно сводится к повторению теоретического материала для последующего получения навыков работы с телекоммуникационным оборудованием непосредственно во время занятия. Этот опыт расширяет кругозор студентов и дает возможность увидеть варианты реального применения знаний, полученных на лекционных занятиях.

Приборы с использованием которых проводятся занятия являются уникальными технологичными устройствами не доступными в повседневной жизни для самостоятельного изучения или улучшения навыков работы с ними. Возможность работы с таким оборудованием вне лабораторий и при самостоятельной подготовке позволила бы значительно улучшить образовательный процесс. Широкая доступность и распространение персональных компьютеров создают благоприятные условия для создания образовательной системы на их основе. Готовые программные продукты предоставляют множество вариантов для моделирования процессов, систем и устройств. Однако на сегодняшний день отсутствуют системы и приложения, моделирующие телекоммуникационное оборудование таким образом, чтобы можно было осуществлять обучение используя эти модели. Таким образом, актуальной задачей является создание приложения, которое предоставит возможность подготовки и выполнения лабораторных работ студентам самостоятельно вне лабораторий.

Приложение должно быть реализовано таким образом, чтобы позволяло наглядно осуществлять ознакомление студентов с процессом и последовательностью проведения лабораторной работы. Это позволит студентам иметь четкое понимание и представление о задании, целях и сути эксперимента, сосредоточив внимание собственно на эксперименте, а не на знакомстве с оборудованием и составом установки, что можно выполнить при

подготовке.

В рамках работы разработано приложение для курса технической электродинамики с использованием принципов игрофикации. Сам термин игрофикация или геймификация (gamification) – означает использование игровых методик в не игровых целях. Наиболее часто такие методики используются в бизнесе, образовании и медицине. Целью их использования является упрощение процесса обучения для обучаемого, посредством создания интерактивного приложения, сервиса или ресурса, которые включают элементы игры. Такая практика обучения через игру получила широкое распространение и является перспективным направлением в образовании [1]. Известен положительный опыт развития цифровой педагогики с применением принципов игрофикации, как образовательной системы [2]. Для обучаемого образовательный процесс облегчается посредством внедрения развлекательных элементов, за счет чего повышается вовлеченность в процесс обучения и как следствие улучшается продуктивность [3].

Наиболее эффективным способом усвоения новой информации является самостоятельная практическая работа. Получение практического опыта способствует наилучшему усвоению и отложению в памяти новой для индивида информации. Разработанное приложение, используя принципы игрофикации, позволяет ознакомиться с устройством и порядком сборки лабораторной установки, а также виртуально выполнять практические упражнения из лабораторной работы. В этом приложении созданы макеты лабораторных установок предмета технической электродинамика и распространение радиоволн. Игровая логика обеспечивает интерактивное взаимодействие позволяя собирать установки из набора элементов. В зависимости от положения элементов в установке возможно смоделировать различные физические процессы и получить необходимые выходные результаты. Поэтому для получения правильных результатов в соответствии с заданием лабораторной работы важной частью является порядок сборки установки. При снятии показаний с измерительных устройств установки, в ходе проведения лабораторной работы, производится замена некоторых её составляющих. Различные варианты сборки позволяют студентам увидеть работу установки с заданными физическими зависимостями и тем самым применить теоретические знания на практике.

Для разработки приложения была выбрана платформа разработки игр Unity 3D, так как она предоставляет возможности для создания интерактивных приложений с использованием трехмерных моделей объектов. Трехмерные модели составных элементов установки были смоделированы в пакете создания трехмерной графики Blender 3D. Преимуществом использования данных средств разработки является возможность их бесплатного использования.

На рисунках 1 – 3 приведены скриншоты приложения. В начале работы приложения пользователю предлагается собрать установку из элементов, которые расположены в произвольном порядке. Когда пользователь использует последнюю оставшуюся деталь вокруг установки появляется обрамление и выводится сообщение о правильности сборки или наличии ошибок.

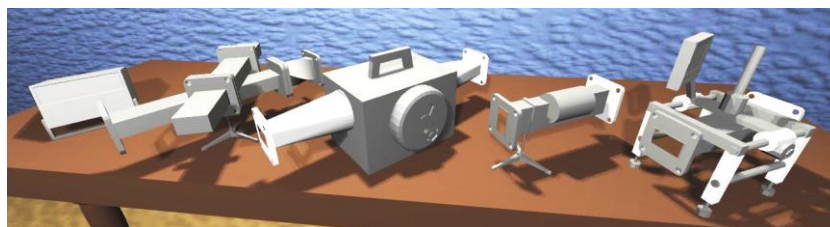


Рис. 1. Элементы разобранной лабораторной установки

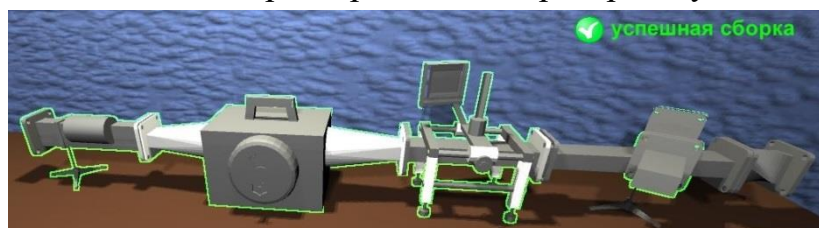


Рис. 2. Корректно собранная лабораторная установка

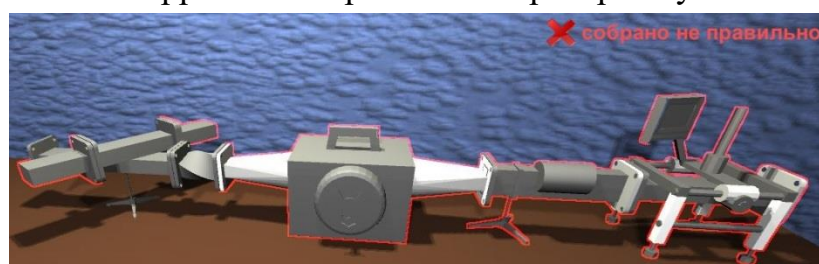


Рис. 3. Лабораторная установка, собранная с ошибками.

В рамках приложения виртуальные установки обладают бесконечным ресурсом, не требуют ремонта и замены деталей в отличие от их материальных экземпляров. Приложение с виртуальными установками снижает эксплуатацию установок в лаборатории, что позволяет продлить срок их будущей службы. Наличие виртуальных тренажеров позволяет в неограниченном количестве повторять сборку лабораторных установок и оттачивать знания и практические навыки работы с телекоммуникационным оборудованием. Также нет ограничений на количество студентов, которые одновременно могут работать с лабораторной установкой в любое время и в любом месте. Благодаря этому возрастает автономность и независимость учащихся в смысле доступа к лабораторным установкам и самостоятельной работы с ними. Появляется возможность многократного и свободного использования виртуальных лабораторных установок. В будущем планируется развитие приложения за счет увеличения количества установок, что позволит удаленно производить подготовку и выполнение большего количества лабораторных работ.

### Литература

1. Ившина Г. В. Разработка электронных образовательных ресурсов: мониторинг качества и внедрение / Г. В. Ившина // Учебно-методическое пособие по направлению «Электронные образовательные ресурсы», часть 1, Казань, 2008. – с. 97.
2. Варенина Л. П. Геймификация в образовании / Л. П. Варенина // Историческая и социально-образовательная мысль, том 6, № 6\_2, 2014. – С. 314 – 317.
3. Карпенко О. М. Геймификация в электронном обучении / О. М. Карпенко, А. В. Лукьянова, А. В. Абрамова, В. А. Басов // Дистанционное и виртуальное обучение, № 4, 2015. – с. 43.

## **РОЗПОДІЛЕНІ ОБРАХУНКИ МЕТОДОМ MapReduce НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ**

**Алексєєв М.О., Павленко В.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: ghostor2011@mail.ru*

### **DISTRIBUTED COMPUTING WITH MapReduce MODEL ON MOBILE PLATFORM**

This article explain the use of the newest programming model that makes big number operations calculating in parallel on mobile devices, where program runs in sandbox without specific needs and simulate mobile as powerful as PC.

Вже близько 5-ти років технології розподілених обрахунків набувають стрімкої популярності. Спричинено це глобальним підключенням великої кількості комп'ютерних пристроїв до мережі Internet, яка в свою чергу дає змогу зв'язувати вузли між собою. За ідею покладено твердження, що сучасні електронні машини не використовують всю процесорну потужність свого ядра (оперативної пам'яті, головного процесора) та витрачають енергію не раціонально. Покликанням такої технології є навантаження системи різними простими завданнями під час простою операційної системи, при цьому не блокуючи прикладні програми кореневого користувача. Завдання виконується як фоновий процес з низьким пріоритетом, займаючи до 10% продуктивності при паралельній роботі з процесами від імені користувача, і до 45% при переході операційної системи в режим очікування.

Вузли які працюють в рамках одного проекту отримують завдання від головного сервера, який спочатку ділить складну задачу на частини, потім розсилає вузлам для виконання, та через встановлений час  $t_{вик}$  починає збір обробленої інформації вузлами в єдину відповідь. Сам сервер є унікальної ланкою в роботі цієї технології, і потребує точного налаштування. На відміну від нього, робочі вузли можуть бути різної конфігурації і навіть не знати про існування один одного. Ця особливість архітектури дає змогу використовувати не тільки загально прийняті настільні комп'ютери, а й інші гаджети оснащені 32 або 64 бітними процесорами.

Вибір мобільної платформи (мобільних телефонів, планшетів, електронних годинників) в якості вузлів системи розподілених обрахунків має ряд переваг:

- Висока продуктивність для простих завдань;
- Мобільність гаджету;
- Простота настройки та створення додатків;
- Можливість використання великої кількості вузлів;
- Постійний статус online завдяки розповсюдженому 3G з'єднанню;
- Велика кількість часу простою (в режимі очікування);
- Можливість унікально ідентифікувати вузол за параметрами гаджету (IMEI, GUID, Serial Number, номер картки мобільного оператора).

Схематично система розподілених обрахунків являє собою мережу зв'язаних вузлів і сервера в середовищі Internet за допомогою популярного Http протоколу. Система складається з сервера написаному і працюючому за технологією Node.js, що спрощує зв'язування вузлів і роботу з Internet протоколами та декількох вузлів, підключених по мережі WiFi та 3G з різними мобільними операційними системами (IOS та Android). Сервер відповідальний за ділення, розсилку та склеювання завдання повинен мати надійний вихід до мережі Internet, адже він також має моніторити стан вузла та хід виконання обрахунку. Також існує програмна оснастка на мобільному клієнті що виконує приймання завдання, відправлення на обробку та форматування відповіді для подальшого відправлення на головний вузол.

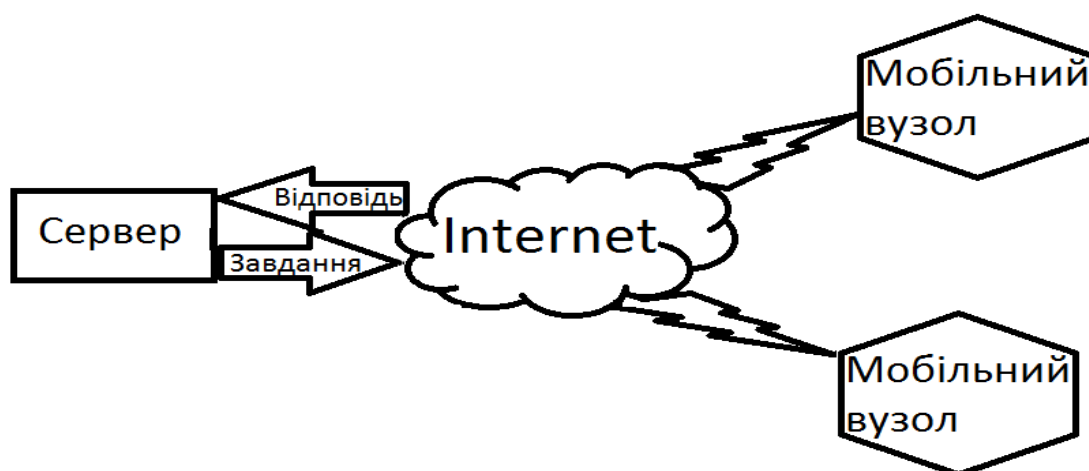


Рис. 1 Схема мережі розподілених обрахунків для мобільних вузлів.

На сервері після розсилання завдань, та обробкою їх на вузлах, виконується склеювання в загальну відповідь методом оберненим до ділення завдання. Відмінністю цих процесів є те, що на стадії склеювання також перевіряється повнота та актуальність отриманих даних за унікальним ідентифікатором пристрою. Цей етап включає в себе аналіз роботи вузла (наявність статусу online) та необхідності перевідправлення втраченої частини відповіді повторно на інший вільний працюючий вузол в разі раптового відключення попереднього вузла, який займався обробкою цієї частини завдання.

Для такої системи розроблено додаток на популярні мобільні платформи – IOS та Android – який можна завантажити з магазину додатків для кожної платформи відповідно. Саме він виконує отримання даних, обробку, відправку та форматування у вигляд відповіді для полегшеного склеювання сервером.

Таким чином, використання мобільних пристроїв для виконання громіздких та довготривалих обрахунків в якості вузлів малих та середніх мереж має ряд переваг над використанням стаціонарних комп'ютерів, а саме: більший час простою операційної системи, більший час роботи пристрою в режимі очікування, легкий вихід в мережу Internet, легкість налаштування платформи для виконання завдань, централізована система розповсюдження.

## Література

1. Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat (2014). MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. Google, Inc.
2. University of California, Barkeley. Source: <http://wla.berkeley.edu/~cs61a/fa11/lectures/communication.html>.
3. R. G. Gallager, P. A. Humblet, and P. M. Spira (January 1983). "A Distributed Algorithm for Minimum-Weight Spanning Trees".
4. Hamilton, Howard. "Distributed Algorithms". Retrieved 2013-03-03.

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Таран Н.В., Алексєєв М.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: n.taran713@gmail.com*

### **Classification of the methods for estimating the reliability of distributed information systems**

The basic methods for estimating the reliability of distributed information systems (DIS) are summarized. The classification of the methods for estimating the reliability of DIS is presented.

Проблема надійності інформаційних систем існує вже кілька десятиліть, і вона особливо загострилася з широким впровадженням розподілених інформаційних систем. Правильно побудована РІС має великі потенційні можливості, тому значимі її якість і продуманість.

Під **розподіленою інформаційною системою** зазвичай розуміється прикладна програмна система, орієнтована на збір, зберігання, пошук і обробку текстової або фактографічної інформації.

**Надійність** - властивість системи зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують її здатність виконувати основне призначення при впливі несправностей (відмов і збоїв) технічних засобів, помилок в програмах і даних, при відомих характеристиках системи технічного обслуговування і ремонту [1].

Вибір моделі надійності - складна науково-технічна задача. Вона може бути вирішена різними методами.

Застосування **прямих методів** для оцінки надійності РІС є дуже поширене тому що, зважаючи на високу надійність сучасних систем, статистичних даних про відмови не багато, а проведення експериментів є високовартісним[2]. Тому дані методи можуть використовуватися лише як спосіб підтвердження правильності виконання розрахунків.

**Непрямі методи** полягають у розрахунку показників надійності системи в цілому за характеристиками надійності її елементів. В сфері інформаційних систем можуть застосовуватись три класи непрямих методів: аналітичні, статистичного-моделювання, аналітико-статистичні.

Основою **аналітичних методів** є теорія випадкових процесів (ВП). Розрахунок надійності складних технічних систем часто базується на припущенні про те, що час безвідмовної роботи і час відновлення елементів мають експоненційний розподіл ймовірностей. Процеси, що протікають в системах з експоненційним розподілом інтервалів часу, є марківськими, тобто при яких імовірність переходу системи в новий стан залежить тільки від стану системи зараз і не залежить від того, коли і яким чином система

перейшла в цей стан. При експоненційному розподілі випадкового часу перебування системи в кожному з можливих станів марківський процес є однорідним (інтенсивності переходів між станами не залежать від часу). Однорідні марківські процеси з кінцевим числом станів і безперервним часом є основним математичним апаратом дослідження надійності складних систем з відновленням. Це пояснюється тим, що саме вони дозволяють отримувати аналітичні вирази або конструктивні обчислювальні схеми для розрахунку різних показників надійності. Крім того, в переважній більшості випадків вихідними даними для елементів є або константні інтенсивності відмов, або середні напрацювання до відмови.

Аналітичні методи забезпечують високу точність розрахунків і дозволяють досліджувати залежності значень показників надійності від різних факторів, що впливають, і умов функціонування в будь-яких інтервалах часу. При цьому процес функціонування системи зводиться зазвичай до моделі напівмарківського або багатовимірного марківського процесу. Основними аналітичними методами для розрахунку показників надійності розподілених інформаційних систем є: марківські моделі, напівмарківські моделі, логіко-ймовірнісні моделі, логіко-топологічні методи.

Можливості аналітичних методів, як правило, обмежені складністю математичного опису системи (особливо при законах розподілу напрацювання на відмову і часу відновлення, відмінних від експоненційних). Додаткові обмеження виникають у зв'язку з необхідністю апріорного виділення істотних факторів, що впливають на надійність і включаються в математичну модель.

Методи **статистичного моделювання**, які забезпечують найбільш адекватні оцінки надійності незалежно від складності та розмірності розподілених систем, вимагають дуже великих строкових витрат для їх реалізації та непридатні для проектування нових систем зі складною розподіленою структурою[3].

**Аналітико-статистичні методи** мають недоліки, які властиві як статистичним (потреба великих строкових витрат на збір статистичних даних), так і аналітичним методам (непридатність для РС з високої розмірністю і структурною складністю), тому їх використання малоперспективне.

Аналізуючи недоліки трьох класів непрямих методів можна зробити висновок, що найбільш важливим для дослідження надійності реальних РС є використання аналітичних методів, оскільки для великої кількості факторів, що впливають на надійність систем, висока достовірність моделювання практично недосяжна. Однак існуючі аналітичні методи оцінки надійності технічних систем мають наступні недоліки:

- складність визначення характеристик надійності для систем з великою кількістю станів;
- швидке зростання складності аналізу при подальшій деталізації структури системи;



- неможливість досліджувати залежні процеси, аналізувати системи зі змінною архітектурою;
- громіздкість обчислень при розрахунку складних моделей, що описують можливі стани системи.

На основі проведеного аналізу розроблена класифікація методів оцінки надійності розподілених інформаційних систем, наведена на рис. 1.

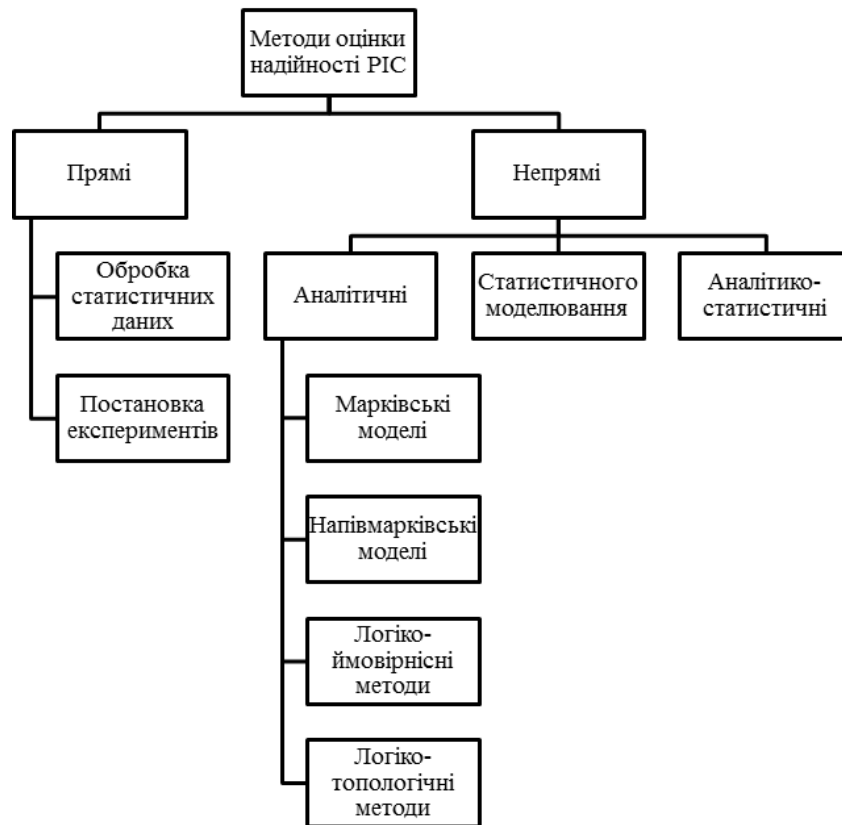


Рис. 1 Методи оцінки надійності розподілених інформаційних систем.

Порівняльний аналіз існуючих методів (оцінка їх можливостей) показує, що для оцінки надійності функціонування розподіленої інформаційної системи необхідно, ґрунтуючись на традиційних аналітичних методах, розробити підхід, що дозволить спростити розрахунок надійності системи, що містить відносно велику кількість компонентів.

### Література

1. Харченко В.С. Основи надійності цифрових систем: підруч. / В.С Харченко, В.Я Жихарев. – Харків: Нац. Аерокосм. ун-т «ХАІ», 2004. – 573 с.
2. Расчет надежности системы [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://www.isu-ugntu.ru/nir-i-ntu/raschet-nadezhnosti-sistem>. Дата доступу: Середа, 12 березня 2017.
3. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем: учеб. пособие. / В.Р. Матвеевский – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДОСТУПНОСТИ СЕТЕВОЙ УСЛУГИ

**Зайченко Ю.П., Васильев В.И., Вишталь Д.М., Любашенко Н.Д.**

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

*E-mail: d.vishtal@kpi.ua*

### Structurally-parametrical approach to the estimation of availability of network service

Questions of presentation of monotonous system properties of big dimension with complex structural organization with use of dual automorphism of Boolean mathematics by corresponding structural functions are considered

Для систем со сложной структурной организацией, состоящей из многих элементов, отказ отдельных элементов необязательно приводит к отказу системы. По этой причине для оценки надежности сложных систем используется следующий набор показателей: стационарная вероятность доступности сетевой услуги; среднее стационарное время доступности (недоступности) сетевой услуги.

Доступность сетевой услуги является универсальной характеристикой, используемой как поставщиками услуг, так и пользователями.

В качестве статической модели сети рассматривается размеченный конечный связный неорграф  $G(Y;X)$  без петель, где  $|Y|$  - число узлов графа,  $|X|$  - число ребер графа. Узлы графа играют вспомогательную роль. Матрица смежности узлов графа используется для нахождения представления детерминированных графовых свойств соответствующими структурными функциями.

В качестве динамической модели сети рассматривается стохастический граф, элементы которого взвешены весовыми параметрами. Сеть предназначена для обеспечения сетевой услуги в любой момент времени для всех пар узлов. Произвольная пара узлов может получить сетевую услугу, если в данный момент времени найдется по крайней мере один простой путь, их соединяющий.

Сетевая услуга доступна для всех узлов, если в данный момент времени существует по крайней мере одно остовное дерево.

Элементы сети и структурные функции, соответствующие условиям доступности сетевой услуги, принимают бинарные значения. Пусть  $\varphi(x_1(t)\dots x_n(t))$  – структурная функция, соответствующая некоторому виду сетевой услуги. Функция  $x_i(t)$  ( $i=1,\dots,n$ ) равна 1, если в момент  $t$   $i$ -й элемент доступен для выполнения сетевой услуги и равна 0 – в противном случае. Функция  $\varphi(t)$  равна 1, если в момент  $t$  сетевая услуга выполнима и 0 – в противном случае.

Пространство состояний графа  $W_G$  можно рассматривать и как векторное пространство по mod (2) [1,2] и как булеву векторную решетку  $B_2^n$ .

Использование пространства  $W_G$  удобно для алгоритма нахождения разрезающих множеств графа.

Изоморфизм булевой алгебры классов и соответствующей булевой алгебры свойств дает возможность алгебраизации необходимых вычислений для оценки характеристик доступности сетевой услуги. Функционирование сети рассматривается как процесс случайного блуждания по булевой векторной

решетке.

Принятые допущения модели:

1) Зависимостью на уровне отдельных элементов можно пренебречь.  
 2) Эволюция элементов моделируется во времени соответствующими альтернирующими процессами восстановления с конечными средними значениями интервалов доступности (недоступности) для выполнения сетевой услуги.

3) Структурная функция, соответствующая сетевой услуге, монотонная функция алгебры логики.

4) Эволюция структурных функций во времени моделируется соответствующими альтернирующими процессами восстановления с конечными средними значениями интервалов доступности (недоступности) сетевой услуги.

5) Существует  $\lim_{t \rightarrow \infty} P\{x_i(t) = 1\} = \frac{M\theta_i}{M\theta_i + M\xi_i} = P_i$ , где  $M\theta_i$ ,  $M\xi_i$  - средние стационарные интервалы доступности (недоступности)  $i$ -го элемента для выполнения сетевой услуги.

6) Существует  $\lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varphi(x_1(t), \dots, x_n(t)) = 1\} = \frac{M\theta_\varphi}{M\theta_\varphi + M\xi_\varphi}$ , где  $\varphi$  - детерминированная монотонная функция случайных аргументов,  $M\theta_\varphi$ ,  $M\xi_\varphi$  - средние стационарные интервалы доступности (недоступности) сетевой услуги,  $M\theta_\varphi + M\xi_\varphi$  средняя стационарная длина цикла альтернирующего процесса восстановления.

7) Вектор состояния элементов однозначно определяет состояние доступности (недоступности) сетевой услуги.

В этих условиях требуется оценить точно или приближенно следующие сетевые характеристики:

$h_\varphi(P_1, \dots, P_n)$  - стационарная вероятность доступности сетевой услуги;

$M\theta_\varphi$ ,  $M\xi_\varphi$  - средние стационарные интервалы доступности (недоступности)

сетевой услуги.

Основная вычислительная проблема оценки сетевых характеристик обусловлена большой размерностью пространства состояний. Это обстоятельство влечет трудновычислимость сетевых характеристик. Можно поднять порог вычислимости, используя свойство монотонности структурной функции, свойство дуальных автоморфизмов булевой алгебры и алгоритмы представления структурной функции в ортогональной неповторной форме. Свойство монотонности структурной функции позволяет осуществить структурно-фазовое укрупнение состояний сети [3].

Детерминированные свойства структурных функций определяются следующими тождествами:

$$\bigvee_{\{\alpha_i\} \in I} (\bigwedge_{k_i \in \{\alpha_i\}} x k_i) = \varphi(x_1, \dots, x_n) = \bigwedge_{\{\beta_j\} \in J} (\bigvee_{r_j \in \{\beta_j\}} x r_j), \quad (1)$$

$$\bigvee_{\{\beta_j\} \in J} (\bigwedge_{r_j \in \{\beta_j\}} x r_j) = \varphi^*(x_1, \dots, x_n) = \bigwedge_{\{\alpha_i\} \in I} (\bigvee_{k_i \in \{\alpha_i\}} x k_i), \quad (2)$$

$$\bigvee_{\{\beta_j\} \in J} (\bigwedge_{r_j \in \{\beta_j\}} \bar{x} r_j) = \bar{\varphi}(x_1, \dots, x_n) = \bigwedge_{\{\alpha_i\} \in I} (\bigvee_{k_i \in \{\alpha_i\}} \bar{x} k_i), \quad (3)$$

$$\{\alpha_i\} \in I_{(\bigwedge_{k_i \in \{\alpha_i\}} \overline{x} k_i)} = \overline{\varphi^*} (x_1, \dots, x_n) = \{\beta_j\} \in J_{(\bigvee_{r_j \in \{\beta_j\}} \overline{x} r_j)}, \quad (4)$$

где  $\bigwedge_{k_i \in \{\alpha_i\}} \overline{x} k_i = \alpha_i(x)$  –  $i$ -я простая импликанта функции  $\varphi(x)$ ,

$\{\alpha_i\}$  – набор индексов существенных переменных  $i$ -ой импликанты,

$\bigvee_{r_j \in \{\beta_j\}} \overline{x} r_j = \beta_j(x)$  –  $j$ -я простая импликанта  $\varphi^*(x)$ ,

$\{\beta_j\}$  – набор индексов существенных переменных  $j$ -ой импликанты,

$\bigvee_{k_i \in \{\alpha_i\}} \overline{x} k_i = \alpha_i^*(x)$  – двойственная по отношению к  $\alpha_i(x)$  функция,

$\bigvee_{r_j \in \{\beta_j\}} \overline{x} r_j = \beta_j^*(x)$  – двойственная по отношению к  $\beta_j(x)$  функция.

Интерпретация остальных компонент тождеств определяется аналогично.

Символ  $I$  используется и для обозначения полного списка простых импликант функции  $\varphi(x)$  и для обозначения индексов семейств существенных переменных простых импликант. Символ  $J$  используется аналогичным образом.

Сделаем несколько замечаний:

1) Тождества (1-4) дают возможность находить минимальное по числу литералов представление соответствующих структурных функций. Однако при этом утрачивается независимость функционирования, рассматриваемая на уровне простых импликант функций. В общем случае простые импликанты не являются независимыми случайными величинами.

2) Тождества (1-4) верны не только для бинарных значений переменных, но и для непрерывных неотрицательных значений переменных. С комбинаторной точки зрения теоретико-множественные семейства индексов простых импликант  $I = \{\{\alpha_i\}\}_{i=1}^{|\mathcal{I}|}$  и  $J = \{\{\beta_j\}\}_{j=1}^{|\mathcal{J}|}$  образуют два двойственных семейства минимальных трансверсалей.

3) Знание  $M\theta_i$ ,  $M\xi_j$ , а также семейств множеств  $I$  и (или)  $J$  дает возможность выявить “узкие места” в обеспечении сетевых характеристик, определять степень влияния на эти характеристики, как отдельных элементов, так и определенных конфигураций элементов, что важно для развивающихся сетей.

Для оценки характеристик сети используются эффективные алгоритмы поиска семейств  $I$  и  $J$ , а также алгоритмы представления структурной функции в ортогональной неповторной форме. В работе рассматриваются иллюстративные примеры оценки сетевых характеристик в зависимости от весовых параметров элементов и разных структурных функций.

### Литература

1. М. Свами, К. Тхуласираман. Графы, сети и алгоритмы. - М.: Мир - 1984.- 455 с.
2. Васильев В.И., Вишталь Д.М., Гвоздев В.С., Галушко М.Е. “Детерминированные и вероятностные свойства монотонных бинарных структур в задачах анализа надежности сетей связи”. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції “Системний аналіз та інформаційні технології” (25-29 травня 2010 р., м.Київ, Україна). - 2010, с.57.
3. Зайченко Ю.П., Васильев В.И., Вишталь Д.М., Гвоздев В.С. “Булев метод исследования структурных свойств сети связи в классе бинарных стохастических моделей”. Матеріали Четвертої Міжнародної науково-технічної конференції і Другої студентської науково-технічної конференції “Проблеми телекомунікацій” (20-23 квітня 2010 р., м. Київ, Україна).- 2010, с. 55.

## **СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ДАТА-ЦЕНТРІВ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ**

**М.М. Воронюк**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: maria.voronyuk.15@gmail.com*

### **MONITORING SYSTEM FOR DATA CENTERS OF TELECOM OPERATORS**

In this paper we consider several methods to help revolutionize the work of monitoring systems for data centers. Disclosed brief concept of these methods and the benefits they provide

В даній роботі розглядається декілька методів, які допоможуть революціонізувати роботу систем моніторингу для дата-центрів. Розкривається стисла концепція даних методів та переваги, які вони надають.

Ще 10 років тому служби моніторингу були засновані на настільних комп'ютерах, які мали обмежений обсяг даних і були, майже повністю, залежні від керуючої ними людини. Даний факт змушує задуматись про те, як досягнення і тенденції в ІТ змінюють моніторинг центру обробки даних і, в свою чергу, як цифровий моніторинг змінює і покращує якість операцій і обслуговування центру обробки даних. Так як сьогодні більшість центрів обробки даних не користуються великою аналітикою даних і машинним обчисленням, то ми розглянемо кілька методів які допоможуть революціонізувати роботу центрів обробки даних, зокрема такі:

- Підвищення продуктивності і цінності вбудованих систем;
- Хмарні обчислення;
- Велика аналітика даних;
- Мобільні обчислення;
- Автоматизація ефективності праці.

Для початку розглянемо продуктивність і цінність вбудованих систем. Вбудовані системи можна знайти практично у всіх пристроях центру обробки даних, в тому числі в блоках охолодження, блоках розподілу живлення, ДБЖ

тощо. Потрібно уточнити, що за останні роки вбудовані системи значно покращилися з точки зору обчислювальних можливостей, зберігання даних, зв'язку та ціноутворення. Це означає, що сьогодні пристрої дата-центрів можуть надати набагато більше даних, ніж вони могли 10 років тому, що відбулось за рахунок комбінації більшої кількості датчиків, більшої кількості функцій, більшої кількості алгоритмів і більш високої частоти дискретизації. Це дає велику перевагу, бо чим більше доступних даних, тим більше система моніторингу зможе вивести корисної інформації з пристроїв центру обробки даних.

Наступним методом є хмарні обчислення – метод зберігання даних і обробки цих даних. IT-послуги, такі як інтелектуальна аналітика і машинне обчислення, можуть запускатися на платформі хмарних обчислень для подальшого підвищення якості моніторингу центру даних. Аналітика даних надзвичайно потрібна коли виникають наступні ситуації:

- збільшується обсяг даних;
- дані стають неструктурованими;
- дані обробляються в режимі реального часу.

Це значно дозволяє скоротити дата-центрам час виконуваних операцій, а звідси і час простою, вірогідність втрати даних, а також допомагає отримати цінну інформацію своєчасно.

Наступним методом є мобільні обчислення. За останні кілька років глобальне використання мобільних телефонів для доступу в Інтернет росте з року в рік, в той час як доступ до них через ПК стрімко скорочується. Цю тенденцію також застосуємо для працівників дата-центрів, яким все частіше пропонується виконувати більше функцій з меншою кількістю ресурсів. Так як весь сенс моніторингу центрів обробки даних полягає в зменшенні ризику простоїв шляхом ідентифікації та адресації зміни стану до того, як інші виникнуть то мобільні обчислення дають значний вигреш в часі для працівників дата-центрів.

Також не можна випускати з виду підвищення енергоефективності та масштабованість. Чим більше контрольованих пристроїв, тим краще можливість підвищити ефективність центрів обробки даних. Однак, щоб зробити якісний висновок про ефективність центру обробки даних, навантаження ДБЖ (як мінімум) необхідно виміряти і загальне ІТ-навантаження. Без знання ІТ-навантаження немає підстав для оцінки збільшення або зменшення інфраструктури електроживлення та охолодження. Ефективна система може забезпечити можливість діагностики джерел неефективності і пропонувати коригувальні дії. Масштабованість - це здатність системи цифрового віддаленого моніторингу використовувати додаткові пристрої або вузли для моніторингу і залежно від того, як ці системи розроблені, моніторинг може бути обмежений до декількох тисяч пристроїв. Масштабованість зазвичай не проблема для невеликих центрів обробки даних (наприклад, 500 кВт), але це серйозна проблема для великих дата-центрів. Деякі центри обробки даних можуть мати сотні тисяч пристроїв для моніторингу і вимагати опитування кожні кілька секунд, тому цифрову систему моніторингу слід проектувати з використанням горизонтально масштабованої хмарної архітектури. Це означає, що в міру відстеження більшої кількості пристроїв хмарний сервіс автоматично має додавати додаткові обчислювальні вузли для управління моніторингом.

Розглянуті в даній статті методи, мають значно розширити ефективність дата-центрів в службах моніторингу, зменшити вірогідність простою аварійних ситуацій, зменшити грошові втрати та дати поштовх до розвитку технологій і виведення їх на новий, значно якісніший, рівень.

### **Література**

1. Reichle & De-Massari AG (R&M) - Data Center Handbook v. 5, 2014. 15-40.
2. Люсьен Аврамов, Маурицио Портолани, Центры обработки данных на основе политик и АСІ: структура, концепции и методология, 2001. 67-90.
3. Mauricio Arregoces, Maurizio Portolani - Data Center Fundamentals, 2003. 801-840.

**Секція 5. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування**  
**телекомунікаційних технологій**

УДК 681.5.015

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ  
ІДЕНТИФІКАЦІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

**Сільвестров А.М., Кривобока Г.І.**

*Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,*

*Національний університет харчових технологій*

*E-mail: silvestrovanton@gmail.com, galinka\_kgi@mail.ru*

Getting adequate models of control objects are made based on the theory of identification. When identification in low priori information on the object and measurement error input  $X$  and  $Y$  outputs regression analysis methods are ineffective. zapoponovanyu method reduces provides more accurate estimates on short, sylnozashumlennyh sample input and output signals.

Вдосконалення, ускладнення та збільшення різноманітності технічних об'єктів потребує підвищення вимог до ефективності їх функціонування. Це створює умови та потребу ускладнення систем керування, розробки нових алгоритмів роботи та оцінки систем і процесів. Властивістю будь-яких систем управління є залежність сигналів на виході від вхідних сигналів об'єкта управління. Основна задача розробника системи полягає у встановленні залежності вихідних сигналів від вхідних та її реалізації технічними засобами. Створення та управління системами, які залежать від перешкод, що здійснюють вплив як на об'єкт управління так і на саму систему, вимагає методів відмінних від традиційних, що описані в теорії ідентифікації.

Метою роботи є моделювання та дослідження методу ідентифікації – інтегрованого методу найменших квадратів (ІМНК), що забезпечує більшу точність оцінок на коротких, сильнозашумлених вибірках вхідних та вихідних сигналів.

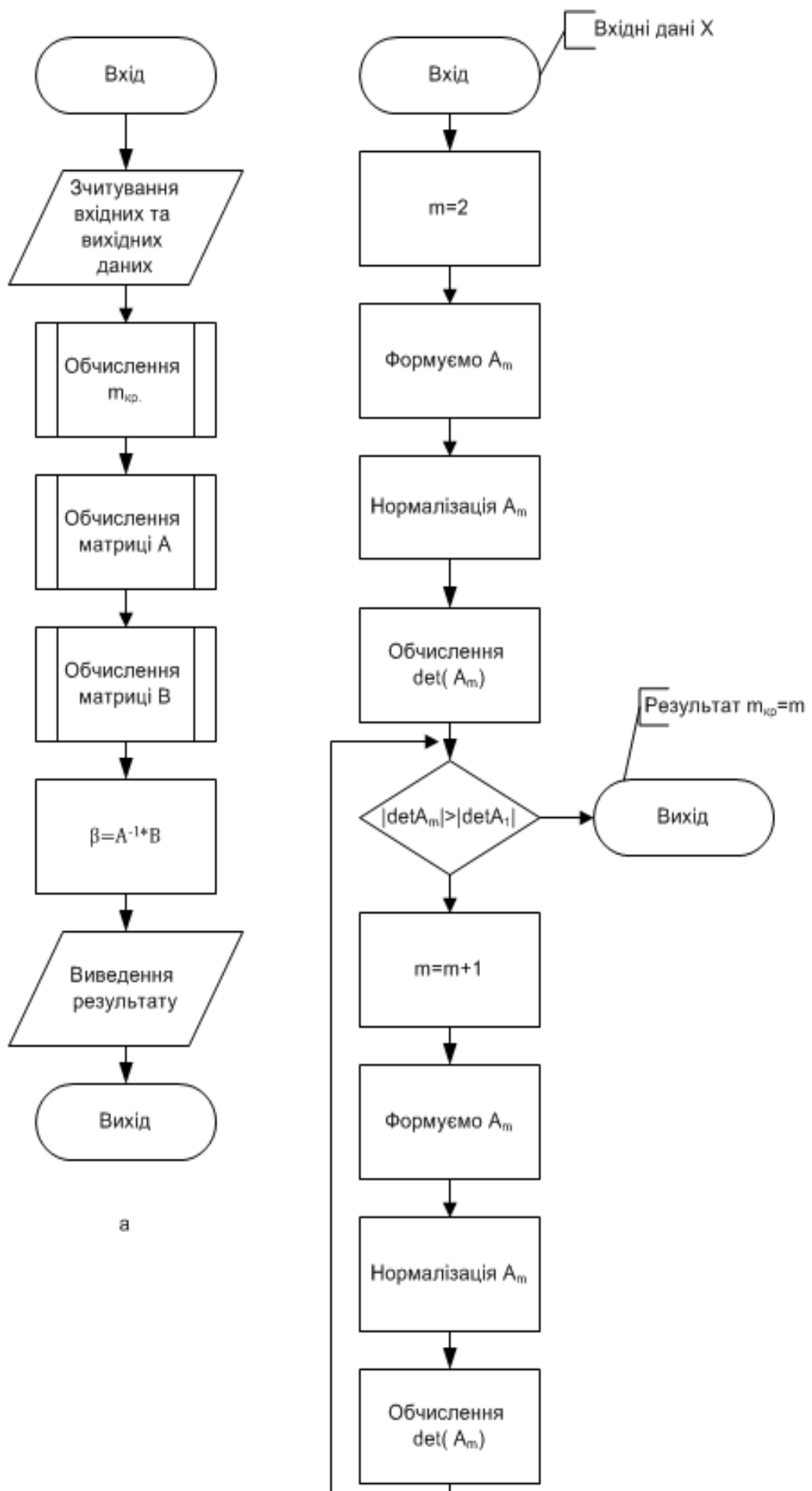
Інтегрований метод найменших квадратів забезпечує зменшення розкиду значень функціоналу, не зменшуючи його кривизни в зоні екстремуму. Це можливо зробити для незглажених  $X, Y$  шляхом додаткового усереднення по множині квазістатистично незалежних функціоналів, близьких до середньоквадратичного [1]. Такими функціоналами можуть бути

зсунуті у часі  $t$  на інтервал  $\theta$  середні добутки  $\frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon(t) \cdot \varepsilon(t + \theta) dt$ . Усреднюючи їх на інтервалі  $[-\tau_1, \tau_1]$  отримуємо критерій:

$$I = \frac{1}{2} \int_{-\tau_1}^{\tau_1} \eta(\theta) \int_0^T \varepsilon(t) \cdot \varepsilon(t + \theta) dt d\theta \quad (2)$$

де  $\eta(\theta)$  – функція ваги.





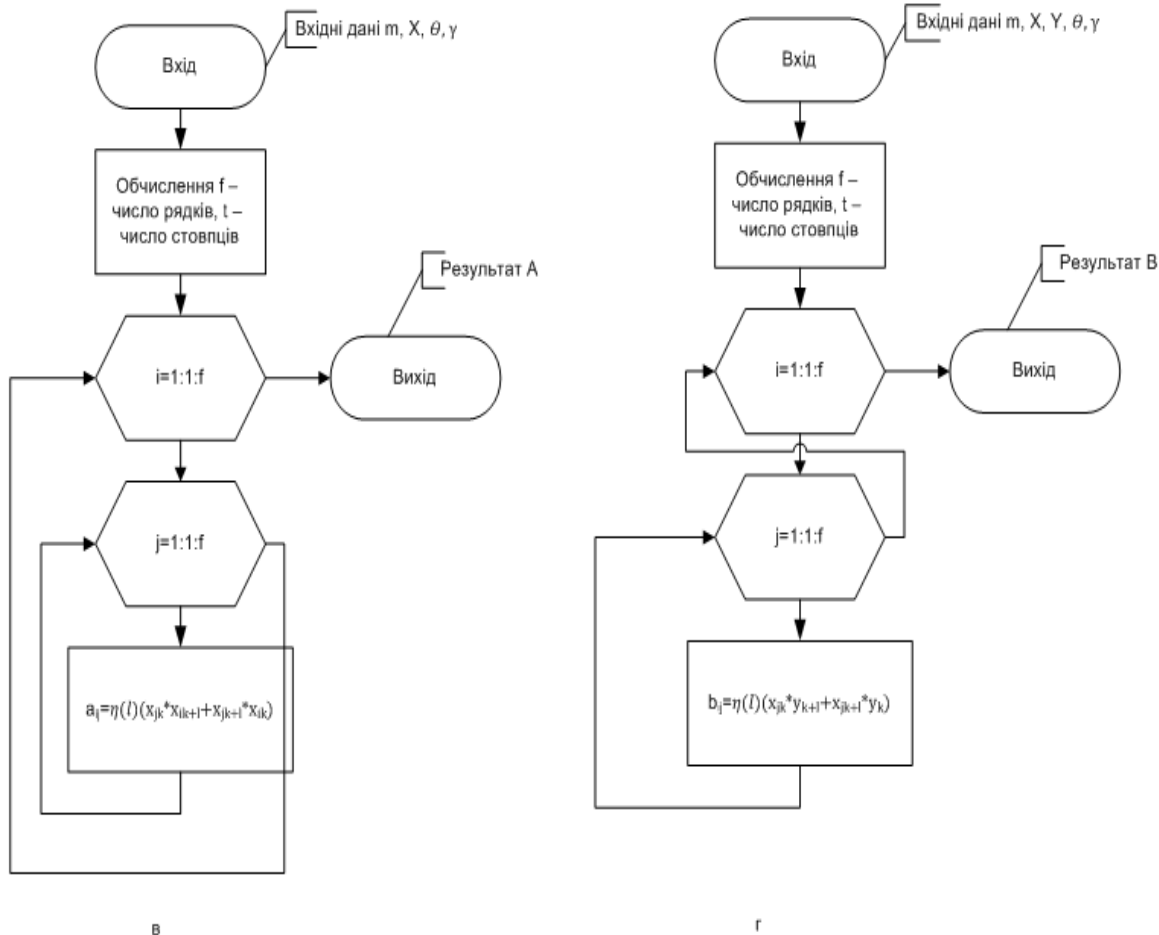


Рис. 1. Блок-схема алгоритму методу ІМНК:  
 а-алгоритм методу ІМНК; б – Функція обчислення  $m_{кр}$ ;  
 в – функція обчислення матриці А; г – функція обчислення матриці В.

У [1] обґрунтовано алгоритм роботи методу ІМНК, що представлений у вигляді блок-схеми алгоритму (рис. 1).

Для дослідження роботи методу ІМНК було використано модель розроблену в середовищі Simulink, представлену на рисунку 2, що дозволяє в режимі реального часу дослідити та визначити параметри моделі, за відомими вхідними та вихідними даними.

Для дослідження ефективності методу ІМНК в порівнянні з МНК згенеровано множину вхідних  $(x_1, x_2)$  та вихідних  $(y)$  сигналів моделі  $y(t) = \beta_1 x_1(t) + \beta_2 x_2(t) + e_y(t)$  для 1000 вимірів, де  $\beta_1 = \beta_2 = 1$ ;  $t = k\Delta t$  ( $k = \overline{1, N}$ );  $N = 1000$ ;  $\Delta t = 0.001T$ ;  $x_1(t) = \sin \omega t + e_1(t)$ ;  $x_2(t) = \sin(\omega t + \varphi) + e_2(t)$ ;  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ;  $\varphi \approx 30^\circ$ ,  $e_y, e_1, e_2$  – 10% «білий шум».

В результат оцінки параметрів моделі для даних  $(x_1, x_2)$  та  $(y)$  за допомогою моделі, що реалізує ІМНК (рис. 2) отримано два значення оцінок параметрів  $\hat{\beta}_1 = 1.02$  та  $\hat{\beta}_2 = 0.97$ , що наближені до  $\beta_1 = 1$  та  $\beta_2 = 1$ .

У результаті застосування методу МНК, отримано модель

$\hat{y}(t) = 0.76x_1(t) + 0.75x_2(t)$  із суттєво заниженими оцінками  $\hat{\beta}_1 = 0.76$  та  $\hat{\beta}_2 = 0.75$  істинних одиничних коефіцієнтів, що підтверджує ефективність ІМНК в умовах невизначеності.

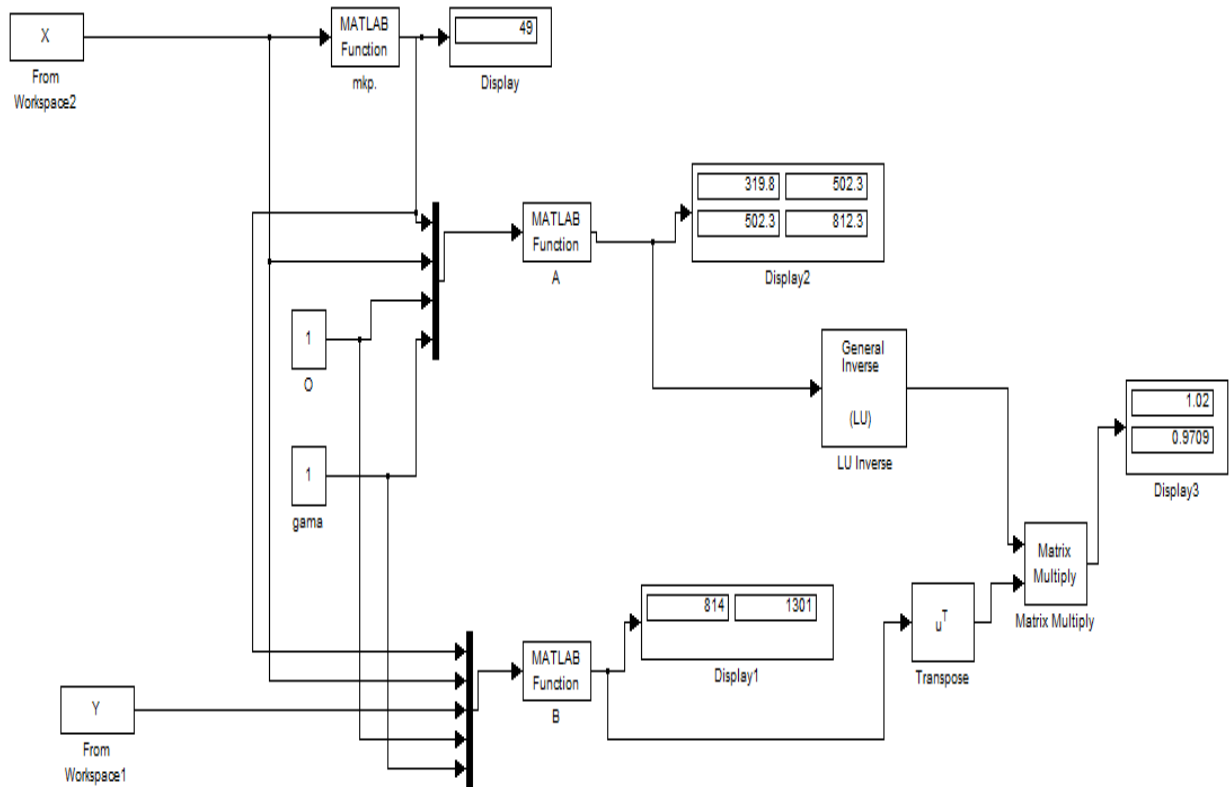


Рис. 2. Результат моделювання експерименту.

Запропонований метод ІМНК для побудови моделей об'єктів керування, в умовах недостатньої апріорної інформації про об'єкт дослідження та впливі на об'єкт шумів різного роду, дає можливість не збільшуючи числа вимірювань, тобто складність і вартість натурального експерименту, отримати прості локальні моделі. Подальше вдосконалення методу можливе в плані оптимізації структури вагових функцій.

### Література

1. Островерхов М.Я., А.М. Сільвестров, О.М. Скринник Системи і методи електротехнічних об'єктів: монографія. – К.: НАУ, 2016. – 324 с.
2. Островерхов М.Я., Пижов В.М. Моделювання електромеханічних систем в Simulink. – К.: ВД «Стилос», 2008. – 528 с.

## МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІ СКЛАДНИХ НЕЛІНІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

Сільвестров А.М., Скринник О.М.

Національний технічний університет України КІП ім. І. Сікорського, Україна

E-mail: silvestrovanton@gmail.com

### Method Identification of Complex Nonlinear Dependence

The research results are presented in the publication confirm the possibility of developing quite simple analytical model with the proposed method. The accuracy of the approximation meets the requirements of modern mathematical methods and object-oriented modeling. The developed model by this method can be used for analytical calculation of optimal modes of stochastic non-stationary objects, diagnosis of their condition, interpolation and extrapolation variable object.

Пристрій для намотування плівки у рулони складається з ролика і моталки, на валу якої знаходиться бобіна з намотувальним матеріалом. Моталка і ролик мають індивідуальні електроприводи. Завданням електроприводу ролика подачі є підтримка заданої кутової швидкості  $\omega_2$  і, відповідно, лінійної швидкості матеріалу  $V_2$ .

Електропривод моталки є безпосереднім (безредукторним) і створює необхідний натяг матеріалу  $F$ . Відстань між роликками подачі і валом моталки дорівнює  $L$ . Матеріал змотується в рулон на бобіну з початковим радіусом  $r_{10}$ . Матеріал представляє собою в'язко-пружне середовище, яке характеризується модулем пружності  $E$ , коефіцієнтом Пуассона  $\nu$ , шириною  $b$  і товщиною  $h$ .

На підставі кінематичної схеми пристрою, складено розрахункову схему його механічної частини (рис.1).

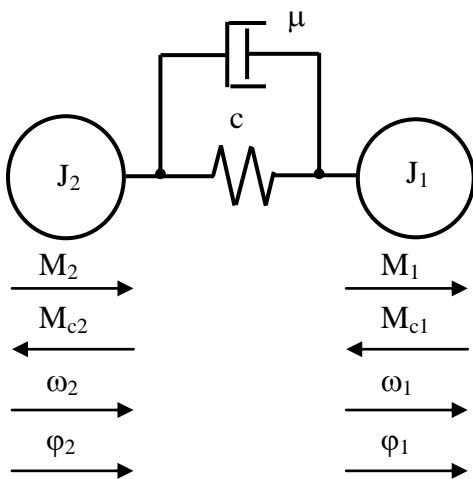


Рис. 1. Розрахункова схема механічної частини системи.

Ланка з моментом інерції  $J_1$  представляє обертові частини електроприводу моталки і рулону, які рухаються під дією моменту електродвигуна  $M_1$  з кутовою швидкістю  $\omega_1$ , проходячи кутовий шлях  $\phi_1$ . Цьому руху протидіє момент опору  $M_{c1}$ , що обумовлений натягом матеріалу, силами тертя, аеродинамічним опором матеріалу та ін. Друга ланка розрахункової схеми характеризує момент інерції електроприводу ролика  $J_2$ , двигун якого створює момент  $M_2$ , забезпечуючи рух з

кутовою швидкістю  $\omega_2$  на шляху  $\phi_2$  за дії моменту опору  $M_{c2}$ . Обидві ланки пов'язані між собою матеріалом, який має подовжню жорсткість  $c$  при розтягуванні

$$c = \frac{E(t)bh}{L}$$

і характеризується коефіцієнтом в'язкого тертя  $m = (0,01 - 0,2)c$  в залежності від матеріалу.

Загальною формою записи рівнянь руху механічної системи (рис.1), є рівняння Лагранжа 2-го роду [1]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{W_K}{\dot{q}_i} \right) - \frac{W_K}{q_i} = Q_i - \frac{W_{II}}{q_i} - \frac{W_D}{\dot{q}_i},$$

де  $W_K$  і  $W_{II}$  – кінетична і потенційна енергія системи;  $W_D$  – енергія дисипації (розсіювання) системи;  $Q_i$  – узагальнена сила;  $q_i$  – узагальнена координата;  $\dot{q}_i = \frac{dq_i}{dt}$  – узагальнена швидкість;  $i$  – кількість рівнянь системи.

Під дією зусилля натягу кожний виток деформує відповідні шари і викликає зміну початкового напруженого стану, міцносних та деформаційних властивостей плівки. Тому важливо встановити математичну залежність відповідних напружень в плівці від радіусу рулону плівки, що намотується. Теоретичні моделі [2, 3] залежностей радіальних  $\sigma_r$  і окружних  $\sigma_Q$  напруг та відповідних їм деформацій  $\varepsilon_r$  і  $\varepsilon_Q$  суттєво залежать від неточного або взагалі невідомого параметра  $m$  анізотропії плівки.

Тому доцільно ці залежності визначити експериментальним шляхом з використанням принципу «чорної скриньки» та кусково-аналітичної апроксимації окремих частин експериментальних залежностей звичайними степеневими поліномами з подальшим їх об'єднанням на основі використання селективних вагових функцій, існуючих в усьому діапазоні зміни аргументу. Відповідні питомі напруги вимірювались для ряду радіусів:  $r = 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.12, 0.15, 0.17, 0.2$  м.

Для ілюстрації доцільності і ефективності запропонованого методу, відповідні залежності апроксимувалися одним поліномом  $8 \div 9$  степені, за якого теоретична модель і експериментальні дані практично співпали в точках експерименту. Однак між деякими точками, внаслідок високої степені полінома, виникали суттєві пульсації, які не відповідають фізичній сутності (гладкості) залежності. Ці пульсації значно погіршують точність апроксимації залежності напруги від радіуса і особливо похідну цієї залежності від часу, яка вказує на ступінь не стаціонарності процесу. В запропонованому методі інтервал зміни радіусу розбивався на два підінтервали; на кожному підінтервалі досить точно залежність напруги від радіусу рулону апроксимувалося за методом найменших квадратів простим степеневим поліномом другого порядку; загальну (для всього діапазону) модель отримували шляхом складання часткових моделей з ваговими селективними функціями, аналітичними в усьому діапазоні зміни радіусу. Тобто замість залежності

$$\sigma(r) = \sum_{i=0}^{8 \div 9} \beta_i r^i \quad (1)$$

використовувалась набагато простіша і коректніша модель

$$\sigma(r) = (\beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 r^2) \cdot \eta_1(r) + (\gamma_0 + \gamma_1 r + \gamma_2 r^2) \cdot \eta_2(r), \quad (2)$$

де вагові функції задавались наступним чином:

$$\eta_1(r) = 1 / \left( 1 + \left( \frac{r}{r_1} \right)^N \right), \quad \eta_2(r) = 1 / \left( 1 + \left( \frac{r_1}{r} \right)^N \right), \quad N \gg 1,$$

$r_1$  – значення  $r$  на границі між двома інтервалами  $[0.05, r_1], [r_1, 0.2]$ . Границя  $r_1$  і степінь  $N$  можуть автоматично підбиратися за умови, щоб середньо-квадратична або максимальна похибка апроксимації не перевищувала допустиму.

Як. Приклад, на рис.2 наведені апроксимації окружних напружень поліномом (1) і поліномом (2), та їх похідних від радіуса  $r$ , які визначають (важливу для задачі автоматичного керування процесом намотки) ступінь не стаціонарності об'єкта керування. Як витікає з рис.2 модель (1), за тієї ж точності апроксимації залежності  $\sigma_Q/N_0$  від  $r$ , дає похибку по швидкості

$\frac{1}{N_0} \cdot \frac{d\sigma_Q}{dr}$  зміни напружень на декілька порядків більшу, ніж її дійсне

значення, отримане по моделі (2) запропонованим методом. При цьому ще має місце і спрощення структури моделі (2) відносно моделі (1).

Враховуючи простоту і необхідну точність моделі (2) запропонованого метода, відносно моделі (1) і звичайного метода найменших квадратів, доцільно їх широке впровадження.

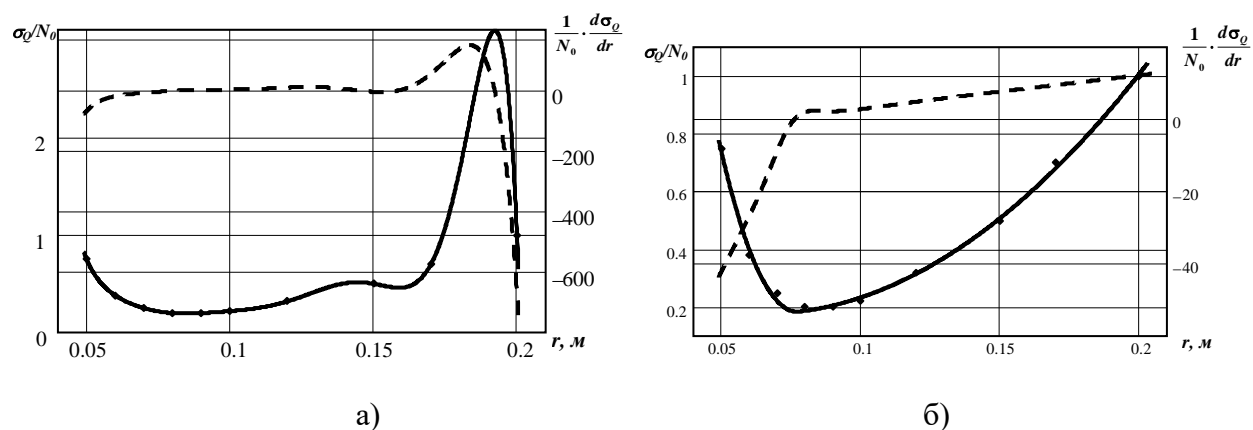


Рис. 2. Розподіл відносних окружних напружень  $\sigma_Q/N_0$  по радіусу рулону плівки  $r$  під час намотування з постійним моментом  $M_H = \text{const}$  на товарний ролик діаметром 100 мм до кінцевого діаметра рулону 400 мм.

## Література

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1990. – 607 с.
2. Кириченко Ю.О. Математична модель напружено-деформованого стану рулонованого матеріалу // Вісник КНУТД. – 2004. – № 3. – 123 с.
3. Костицький В.В., Кириченко Ю.О., Артеменко Л.Ф. Дослідження напружено-деформованого стану рулонованого матеріалу // Вісник КНУТД. – 2004. – № 5. – 163 с.

## СПОСОБ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕНСОРОВ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

<sup>1</sup>Лысенко А.И., <sup>2</sup>Тачинина Е.Н., <sup>3</sup>Чумаченко С.Н.

<sup>1</sup>Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского,

<sup>2</sup>Национальный авиационный университет

<sup>3</sup>Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

E-mail: lysenko.a.i.1952@gmail.com, ten0512@rambler.ru, sergiy23.chumachenko@gmail.com

### The Method of Sensors Deployment in Emergency area Based Unmanned Aerial Vehicles

This paper proposes the mathematical statement and solution of the vehicle path optimality condition when the wireless network sensors are located in the area of emergency situation. The methods of mathematical modeling, optimal control and numerical integration are applied.

Одним из наиболее перспективных направлений для решения проблемы информационно-телекоммуникационного обеспечения поисково-спасательных работ есть применение технологии мобильной беспроводной мультисенсорной сети (МБМСС), ситуационно разворачиваемой на оперативном ландшафте за минимальное время по так называемому ad-hoc запросу. Наиболее перспективной для решения задач поиска и спасения разновидностью МБМСС можно считать беспроводную сенсорную сеть с мобильными сенсорами и аэроплатформами, которые выполняют функцию как носителя сенсоров, предназначенных для размещения в зоне бедствия, так и телекоммуникационного ретранслятора информации собранной от сенсоров (рис. 1).

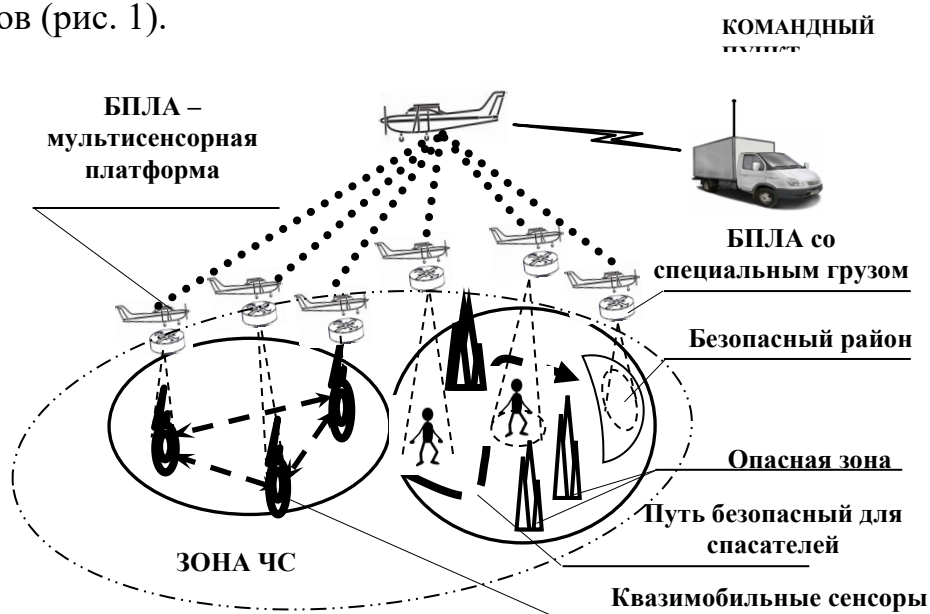


Рис. 1. Применение МБМСС на основе группового использования БПЛА для проведения поисково-спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации (ЧС).

Исходя из выше сказанного, возможно сформулировать как минимум

две содержательных задачи, требующих отыскания оптимальной траектории движения носителя с учетом того, что десантируемый груз тоже должен совершать оптимальное движение к своей цели: задача размещения сенсоров (развертывания сенсорной сети) в заданном районе; задача сброса груза спасателям и потерпевшим.

В первой задаче десантируемый груз (ДГ) – это мобильные или квазимобильные сенсоры, а во второй – это некоторая полезная нагрузка.

Выполним математическую постановку задачи поиска оптимальной траектории движения носителя.

Пусть на борту носителя находится  $k$  подгрупп ДГ ( в общей сложности ДГ будет  $\sum_{i=1}^k r_i$ , т.е. в каждой подгруппе по  $r_i$  ДГ). От носителя в полете  $k$  раз произойдет отделение групп ДГ (рис.2.).

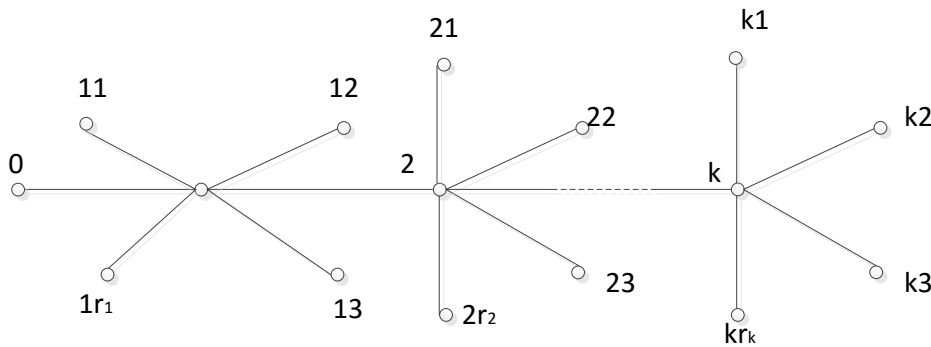


Рис. 2. Пример схемы траектории движения носителя с десантируемым грузом (ветвящейся траектории)

Движение носителя описывается дифференциальной системой вида

$$\dot{x} = f(x, u, t), t \in [t_0, t_f], x \in E^n, u \in \Omega \subset E^m, \tag{1}$$

где  $x, u$  – векторы фазового состояния и управляющих воздействий, влияющих на движение носителя,  $t_0, t_f$  – моменты времени начала и конца движения носителя в заданном интервале, на котором заканчивается его движение с целью доставки полезной нагрузки или получения информации с мультисенсоров.

Динамика движения подгрупп ДГ описывается уравнениями вида

$$\dot{x}_\beta = f_\beta(x_\beta, u_\beta, t), [t_{\beta^*}, t_\beta], \tag{2}$$

где  $x_\beta \in E^n, u_\beta \in \Omega_\beta \subset E^{m_\beta}, (\beta=1, \beta^* = 3-1; \beta = ij, \beta^* = i; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i})$ .

В моменты разделения подгрупп ДГ для всех фазовых координат, кроме координаты, описывающей изменение массы носителя, для которой (пусть это будет  $n$ -я координата) должны быть выполнены условия

$$x_{i_n}(t_i) = \xi(i)x_{i+1_n}(t_i) + \sum_{j=1}^{r_i} x_{ij_n}(t_i), i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}, \xi(i) = \begin{cases} 1, i = \overline{1, k-1}, \\ 0, i = k. \end{cases} \tag{3}$$

Управление  $u_\beta(t)$ , фазовые координаты  $x_1(t_0), x_\beta(t_\beta)$ , моменты времени  $t_0, t_\beta (\beta = i, ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i})$  необходимо выбрать так, чтобы минимизировать расширенный критерий



$$\zeta = S^* + \sum_{i=1}^k (I_i^* + \sum_{j=1}^{r_i} (I_{ij}^*)) + D, \quad (4)$$

$$\text{где } S^* = \nu S + \sum_{l=1}^{n_g^{(0)}} \nu_l^{(0)}, g_l^{(0)}(x_1(t_0), t_0) + \sum_{i=1}^k \left[ \sum_{l=1}^{n_g^{(1)}} \nu_l^{(1)}, g_l^{(1)}(x_i(t_i), t_i) + \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{l=1}^{n_g^{(ij)}} \nu_l^{(ij)}, g_l^{(ij)}(x_{ij}(t_{ij}), t_{ij}) \right],$$

$$I_\beta^* = \int_{t_{\beta^*}}^{t_\beta} \left\{ \Phi_\beta^*(x_\beta, u_\beta, t) + \lambda_\beta^T(t) \left[ f_\beta(x_\beta, u_\beta, t) - \dot{x}_\beta \right] \right\} dt,$$

$$\Phi_\beta^*(x_\beta, u_\beta, t) = \nu \Phi_\beta(x_\beta, u_\beta, t) + \sum_{i=1}^{n_g^{(\beta)}} \mu_i^{(\beta)}(t) q_i^{(\beta)}(t)(x_\beta, u_\beta, t),$$

$$D = \sum_{i=1}^k \left\{ \sum_{\tau=1}^{n-1} \alpha_\tau^{(i)} \xi(i) [x_{\tau i}(t_i) - x_{\tau i+1}(t_i)] + \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{\tau=1}^{n-1} \alpha_\tau^{(ij)} [x_{\tau i}(t_i) - x_{\tau ij}(t_i)] + \alpha_n^{(i)} \left[ x_{ni}(t_i) - \xi(i)x_{ni+1}(t_i) - \sum_{j=1}^{r_i} x_{ijn}(t_i) \right] \right\}.$$

Используя введенные в выражении (4) обозначения, сформулируем условия оптимальности траектории движения носителя [1-2].

Пусть  $x_\beta, u_\beta, t, x_1(t_0), t_0, (\beta = ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i})$  - допустимый процесс задачи (1)-(4) и  $t_0 < t_1 < \dots < t_k$ . Тогда для его оптимальности траектории движения носителя необходимо:

- существование множителей  $\nu, \nu_l^{(0)} (l = \overline{1, n_g^{(0)}}), \nu_l^{(1)} (l = \overline{1, n_g^{(i)}}), \nu_l^{(ij)} (l = \overline{1, n_g^{(ij)}}),$

$\mu_l^{(\beta)}(t) (l = \overline{1, n_g^{(\beta)}}) \quad t \in [t_{\beta^*}, t_\beta]$  не равных одновременно нулю;

- непрерывных на  $t \in [t_{\beta^*}, t_\beta]$  решений сопряженных векторных уравнений

$$\dot{\lambda}_\beta(t) + \partial H_\beta(x_\beta(t), u_\beta(t), \lambda_\beta(t), t) = 0, \quad (\beta = i, ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i});$$

- векторной функции  $\lambda_\beta(t)$  ограниченной вариации, являющейся решением обыкновенного дифференциального уравнения

$$\dot{\lambda}_\beta(t) = -\partial H_\beta / \partial x_\beta \Big|_\wedge, \quad (\beta = i, ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}).$$

Сформулированные необходимые условия оптимальности траектории движения носителя при размещении сенсоров беспроводной сенсорной сети в зоне чрезвычайной ситуации, позволяют определить оптимальные координаты и моменты времени ветвления траектории, а также оптимальные управления и траектории движения десантируемого груза (мобильных сенсоров) к заданным целям по отдельным ветвям траектории после отделения от носителя.

### Литература

1. O. Lysenko, S. Valuiskyi, O. Tachinina, S. Danylyuk. A Method of Control of Telecommunication Airsystems for the Wireless AD HOC Networks Optimization. 3rd International Conference: Actual problems of unmanned aerial vehicles developments (APUAVD-2015) October 13-15, 2015 Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), p.182-185. SCOPUS.
2. O. Tachinina, I Alekseeva, O. Lysenko, S. Chumachenko. The Scenario-Based Approach for Control of Multi-Object Dynamic System Motion. 3rd International Conference: Actual problems of unmanned aerial vehicles developments (APUAVD-2015) October 13-15, 2015. Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), p.305-308.

## СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

**Явіся В.С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: yavisiya@bigmir.net*

### **A method of providing high speed data transfer of unmanned aerial vehicles**

Unmanned aerial vehicles of small dimensions with electromotor are widely used in various fields. It is necessary to provide high-speed data transfer between the ground control center and the drones. For this proposed to use directional antennas on board the drones. Traditional ways to implement such a task are estimated taking into account the restrictions on weight and size, and energy performance.

Сьогодні за допомогою мультикоптерних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) малих розмірів з електродвигунами можна контролювати технічний стан об'єктів, їх безпеку та режими функціонування, БПЛА можна використовувати з метою аерофотознімання для картографування, безпілотні комплекси дозволяють підвищити показники телекомунікаційних мереж (живучість, пропускну здатність), вони можуть доставляти вантажі і т.п.

Як правило, будь-яке застосування БПЛА має на увазі, що одержувана з їхньою допомогою інформація й сигнали управління безпосередньо БПЛА повинні передаватися в реальному часі, що вимагає забезпечити передачу великого обсягу даних при заданих смузі пропускання й імовірності бітової помилки.

Для підвищення пропускну здатності необхідно використовувати спектрально-ефективні методи модуляції, що змушує забезпечити більш високе відношення сигнал/шум (ВСШ) на вході приймача. При цьому висуваються жорсткі вимоги як по мінімізації розмірів приймально-передавального і антенно-фідерного встаткування, так і по споживаній ними потужності.

Для задоволення вимог по ваго-габаритним показникам і по пропускну здатності доцільним є вибір надвисоких частот (НВЧ), а саме, діапазону 2,4 ГГц, у якому залежно від поточного значення ВСШ можна використовувати такі види модуляції як BPSK, QPSK, QAM16, QAM32 і т.д., які забезпечують високу спектральну ефективність [1].

Мультикоптерні БПЛА з електроприводом як правило використовуються на відстанях до 10 км, тому обмежень, пов'язаних з «прямою видимістю» для них не існує, тому що при висоті польоту 50 м і висоті наземного комплексу управління (НКУ) 1,5 м (за умови його знаходження в руках оператора), дальність прямої видимості, яка визначається формулою [2]:

$$D_{\text{км}} = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

де  $h_1, h_2$  – висоти БПЛА й НКУ відповідно, складе більше 30 км.

У діапазоні 2,4 ГГц загасання сигналу на відстані 10 км досягає 120 дБ [1], тому необхідно передбачити заходи, що дозволяють забезпечити необхідний енергетичний рівень переданого сигналу. Аналіз ринку малогабаритних приймально-передаючих пристроїв показує, що найпоширеніші приймачі із чутливістю порядку –90 дБ, і передавачі з посиленням близько 30 дБ, що дозволяє переkritи загасання саме в 120 дБ.

Однак, для забезпечення ймовірності помилки порядку  $10^{-6}$  при використанні QAM32 на вході приймача необхідне ВСШ на рівні 18 дБ [2]. Враховуючи втрати у фідері приймача й передавача (усього близько 3 дБ), стає зрозумілим, що енергетика переданого сигналу повинна бути збільшена, як мінімум, на 21 дБ, а в реальних умовах поширення сигналу й впливу ненавмисних перешкод – на ще більшу величину. Розв'язати таке завдання можна шляхом використання спрямованих антен.

Для параболічної антени коефіцієнт підсилення розраховується за формулою [2]:

$$G = 10 \lg(k(\pi D / \lambda)^2 \cos \varphi) \quad (1)$$

де:  $G$  – коефіцієнт підсилення;  $k$  – ефективність або коефіцієнт використання поверхні антени (для більшості антен рівний приблизно 0,55);  $D$  – діаметр дзеркала;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $\varphi$  – кут приходу хвилі.

Відповідно до виразу (1) при діаметрі дзеркала 0,5 м, точно спрямованій антені на БПЛА ( $\varphi = 0$ ), у діапазоні 2,4 ГГц коефіцієнт підсилення складе лише 19,4 дБ. Подальше підвищення коефіцієнта підсилення може бути здійснене за рахунок збільшення діаметра дзеркала, що важко реалізувати для носимих НКУ. Очевидно, що рівень сигналу повинен бути підвищений «із запасом» приблизно на 5 дБ.

Завдання підвищення рівня сигналу може бути вирішене шляхом установки на борту БПЛА спрямованої антени.

Управління напрямком максимального посилення бортової антени може здійснюватися декількома способами [3]: установка антени на опорно-поворотному пристрої; використання багатоеlementної антенної решітки з керованою діаграмою спрямованості; використання декількох антен, що перемикаються.

Реалізація першого способу дозволяє використовувати одну гостроспрямовану антену для безперервного спостереження за напрямком на НКУ. При установці антени на опорно-поворотному пристрої необхідне створення обертового переходу. Він може бути розміщений у різних місцях: перед антеною після підсилювача потужності; після передавача перед підсилювачем потужності й антеною; передавальний пристрій, підсилювач потужності й антена розміщуються на поворотному пристрої, через багатоканальний обертовий перехід передаються сигнали та живлення.

Загальними недоліками використання опорно-поворотного пристрою є:

- висока вартість обертового коаксіального НВЧ переходу;
- при розміщенні гостроспрямованої антени будь-якого типу на опорно-поворотному пристрої, більша частина поверхні поворотної платформи залишається невикористованою. Для підвищення ефективності використання площі поворотної платформи необхідно розміщати на ній крім антени передавальне встаткування та підсилювач потужності;
- переміщення антени в горизонтальній площині приводить до переміщення центру ваги БПЛА, а отже до дестабілізації його просторового положення;
- значні витрати потужності на роботу електропривода.

При реалізації другого способу для створення антенної системи з керованою діаграмою спрямованості може бути використана кільцева антенна решітка. Завдяки кільцевій симетрії антенної решітки вдається одержати спрямовані діаграми, які мало змінюються при скануванні в межах  $360^\circ$  у площині решітки.

Однак, для одержання посилення кільцевою антенною решіткою необхідно збільшувати число елементів, що у зв'язку з ваго-габаритними обмеженнями неприйнятно для мультикоптерних БПЛА з електроприводом. Крім того, використання багатоелементної антенної решітки ускладнюється необхідністю виготовлення складних і високовартісних діаграм утворюючих пристроїв.

Третій спосіб передбачає використання декількох антен, що перемикаються, тоді просторові напрямки по азимуту розбиваються на сектори. Зі збільшенням коефіцієнтів підсилення антен їх число зростає, а для розміщення великої кількості антен потрібно збільшувати габаритні розміри й масу всієї антенної системи. У цьому випадку можливий компромісний розв'язок, що забезпечує необхідне посилення й задовольняє ваго-габаритні обмеження.

Для його реалізації пропонується розмістити на борту БПЛА шість антен типу «хвильовий канал». З урахуванням ваго-габаритних обмежень конструкція однієї антени буде складатися лише із трьох елементів. Габаритні показники можна визначити використовуючи рис. 1.

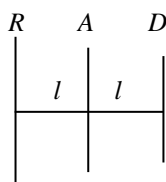


Рис. 1 Типова трьохелементна антена типу «хвильовий канал».

Відомо [4], що розміри елементів антени визначаються довжиною хвилі, а саме: активний вібратор  $A = 0,5\lambda$ ; рефлектор незначно більше вібратора  $R \geq A$ ; директор незначно менше його  $D \leq A$ ; відстань між рефлектором, активним вібратором і директором  $l = 0,25\lambda$ . Для обраного частотного діапазону  $\lambda = 0,125$  м, тому одна антена має габарити приблизно  $7 \times 7$  см, конструкція із шести антен вписується в окружність радіусом  $R_6 = 2l +$

$l \sin 60 \approx 2,87l \approx 9$  см, а її вага складе близько 120 грам. Коефіцієнт підсилення трьохелементної антени типу «хвильовий канал» – 5,5 дБ.

При наявності декількох антен на борту БПЛА виникає необхідність вибору антени, спрямованої у бік НКУ. Існує кілька варіантів реалізації подібної системи: перемикач виходу підсилювача передавача між антенами (один передавач, один підсилювач потужності, кілька антен); перемикач виходу передавача між підсилювачами потужності й антенами (один передавач, кілька сполучених підсилювачів потужності й антен); перемикач сигналу між передавачами (число передавачів і підсилювачів потужності дорівнює числу антен).

При першому варіанті вихідний сигнал підсилювача потужності комутується між декількома антенами. Гідністю цього варіанта є використання єдиного передавального модуля й підсилювача потужності для роботи на кілька антенних пристроїв. Загальним недоліком є втрати в комутуючому пристрої.

При другому варіанті число підсилювачів потужності дорівнює числу антен. До недоліків такого підходу можна віднести: наявність декількох підсилювачів потужності, які займають багато місця й мають більшу вагу.

Третій варіант вимагає використання для кожної антени свого передавача й підсилювача потужності. У цьому випадку перемикач сигналів виконується на рівні цифрової логіки. До переваг даного підходу слід віднести високу надійність системи. Однак платою за це є велика вага й висока вартість.

Очевидно, що для мультикоптерних БПЛА кращим є перший варіант – варіант перемикач виходу підсилювача потужності передавача між антенами.

Таким чином, при використанні запропонованого варіанта побудови антенної системи для мультикоптерного БПЛА загальне посилення приймально-передавального тракту може досягти 55 дБ, що забезпечить на видаленні 10 км ВСС на вході приймача 22 дБ, а відповідно – можливість високошвидкісної та якісної передачі інформації за рахунок використання, наприклад, модуляції QAM64 з імовірністю помилки порядку  $10^{-8}$ .

## Література

1. Боев Н.М. Анализ радиотрасс связи с беспилотными летательными аппаратами /Электронный ресурс/ [http://radio-systems.org/uav\\_communications\\_links](http://radio-systems.org/uav_communications_links).
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Боев Н. М., Шаршавин П. В., Нигруца И. В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния /Электронный ресурс/ <http://uav-siberia.com/content/postroenie-sistem-svyazi-bes-pilotnyh-letatelnyh-apparatov-dlya-peredachi-informacii-na>.
4. Гончаренко И.А. Антенны КВ и УКВ. Часть 3. Простые КВ антенны. М.: РадиоСофт, 2015. – 288 с.

## УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЄЮ В БЕЗПРОВОДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

**Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я., Ткаченко Д.В.**

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна*

*E-mail: beatle135@gmail.com*

### Topology control in wireless sensor networks

The analysis of topology management methods and protocols in wireless sensor networks has been considered. It was shown that, depending on the purpose, topology management tasks are divided into the coverage and connectivity topology management tasks. Comparative tables of different topology management methods and protocols, and also the proposals on the synthesis of new methods and development of existing methods and protocols were given.

Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) або *Wireless Sensor Network (WSN)* – розподілені мережі, що складаються з маленьких сенсорних вузлів, з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних [1].

Одним з основних завдань оперативного управління БСМ є управління її топологією. Під топологією мережі розуміють сукупність вузлів на місцевості і каналів, що сполучають їх, у взаємному розташуванні. Топологія визначає потенційні можливості сенсорної мережі по спостереженню та доставці інформації моніторингу базовим станціям [2]. На даний час існує велика кількість методів управління топологією, одні з них направлені на побудову топології для отримання покриття інші для отримання зв'язності (рис. 1).

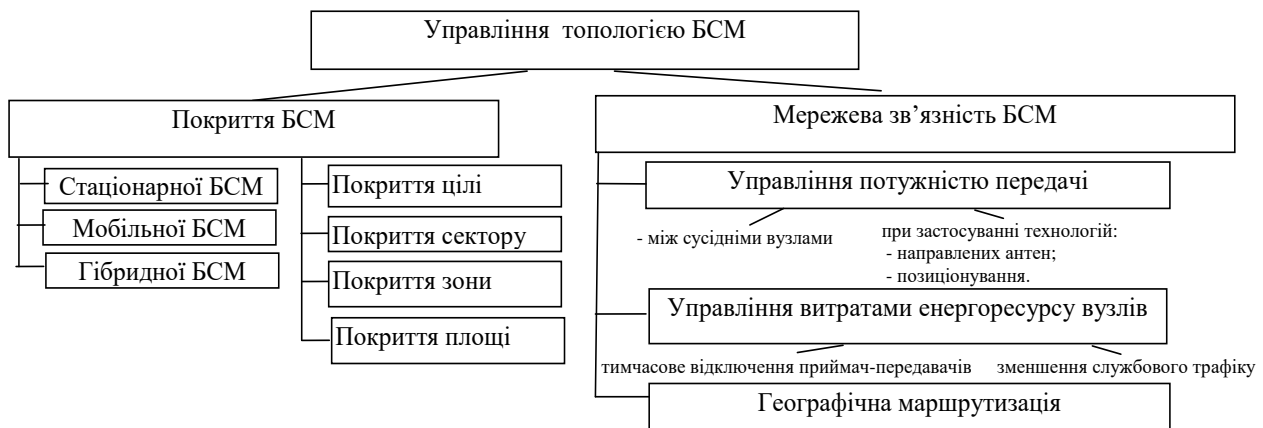


Рис. 1. Методи управління топологією в БСМ.

1. **Методи (протоколи) управління топологією для отримання покриття** – забезпечують вимоги якості спостереження за цілями при використанні мінімуму енергії батарей вузлів (таблиця 1).

**Стационарні мережі. Покриття зони:** протокол PEAS планує в часі

необхідну кількість сенсорних вузлів. Протокол запускає два алгоритми: *Probing Environment* та *Adaptive Sleeping*. Протокол *Rotating coverage* – удосконалене детерміновану дискову модель покриття (вузли сусіди синхронізуються та знають радіус моніторингу). *Покриття цілі*: задачею протоколу *Optimal Geographical Density Control* (OGDC) є мінімізація частково співпадаючих радіусів моніторингу (перекриття) всіх сенсорних вузлів для випадку:  $R_n \geq 2R_m$ , де  $R_n$  – діапазон передачі,  $R_m$  – діапазон моніторингу. *Покриття площі*: *Coverage Configuration* (CCP) протокол забезпечує гнучкість в побудові топології БСМ с різними ступенями покриття (з використанням координат вузлів). Протокол *k-UC*, *k-NC* використовує поліноміально-часовий алгоритм покриття кожної зони спостереження необхідною кількістю вузлів. Інформація про непокриті сегменти (зони) збирається центральним контролером. Недолік: централізоване управління, неможливість масштабування. Протокол *Differentiated* використовує розподілений алгоритм контролю щільності вузлів заснований на часовій синхронізації (рішення приймається з врахуванням необхідного ступеня покриття).

Таблиця 1

Методи управління топологією для отримання покриття

Категорія	Завдання	Рішення	Механізм реалізації	Характеристика
Стационарні мережі	Покриття зони	PEAS [F. Ye і ін.]	Динамічне регулювання потужності	Розподілена схема сну
		<i>Rotating coverage</i> [Q. Cao і ін.]	Часова синхронізація, радіус моніторингу	Розподілена схема сну, гарантована кінцева границя затримки
	Покриття цілі	OGDC [H. Zhang і J. Hou]	Координати, фіксований дисковий радіус моніторингу	Розрахунок остаточної енергії
		<i>Sponsored Area</i>	Координати	Розрахунок сектору покриття
		<i>Extended-Sponsored Area</i>	Координати, часова синхронізація	Фіксована модель дискового покриття
	Покриття площі	CCP [X. Wang і ін.]	Координати	Реконфігуруємий рівень покриття
<i>k-UC</i> , <i>k-NC</i> [C. Huang і Y. Tseng]		Координати	Не одиночна дискова модель покриття	
<i>Differentiated</i> [T. Yan і ін.]		Координати, часова синхронізація	Жадібний, видозмінюючись до рівня покриття	
Мобільні мережі	Розрахункова геометрія	VEC, VOR, <i>Minmax</i> [G. Wang і ін.]	Координати	Локальний, масштабуємий, розподілений
	Віртуальна дія	<i>Potential Fields</i> [A. Howard і ін.]	Діапазон, поведінка	Масштабуємий, розподілений, відсутня локальна комунікація
		DSS [N. Heo]	Координати	Масштабуємий, розподілений, остаточна енергія
Гібридні мережі	Один мобільний сенсор	<i>Single Robot</i> [M. Batalin і G. Sukhtame]	Координати	Розподілений, немає багатострибкової передачі
	Множина мобільних сенсорів	<i>Bidding Protocol</i> [G. Wang і ін.]	Координати	Діаграми Вороного

**Мобільні мережі.** Запропоновано розподілений самоорганізуючий протокол, який спочатку розраховує наявність непокритих зон (за допомогою діаграм Вороного) на площі спостереження, а потім вираховує позиції цілей

та переміщує сенсорні вузли (VEC, VOR та *Minimax*) для зменшення непокритих зон. Протоколи *Potential Fields* та *Distributed Self-Spreading* (DSS) використовують інформацію моніторингу для прийняття рішення по переміщенню (щільність розміщення та відстань між сусідами).

**Гібридні мережі.** В протоколі *Single Robot* інформація не передається між розгорнутими вузлами (спостерігають) всі рішення приймаються мобільним роботом. Протокол *Bidding Protocol* пропонує схему переміщення вузлів в гібридній мережі для ліквідування порожнеч покриття.

## **2. Методи (протоколи) управління топологією для отримання зв'язності.**

**2.1. Методи управління потужністю.** Передбачається, що кожен вузол може змінювати потужність передачі  $p_i = [p_{i_{\min}} \dots p_{i_{\max}}]$  з певним кроком дискретизації  $\Delta p$ . Методи управління потужністю передачі фундаментальні в досягненні мережевої енергоефективності. S. Narayanaswamy та ін. пропонують розподілений протокол COMPOW, який передбачає одночасне задоволення трьох цілей: максимізація пропускної спроможності всієї мережі, збільшення функціонування батарей вузлів через енергоефективні маршрути та зменшення колізій на MAC рівні. P. Santi і D. Blough за допомогою моделювання досліджують компроміс між діапазоном передачі та розміром найбільшого зв'язного компонента мережі. V. Rodoplu і T. Meng запропонували розподілений алгоритм управління потужністю, який використовує інформацію місцезнаходження для мінімізації витрат енергії для зв'язку з головним вузлом. J. Pan та ін. розглядають дворівневу БСМ, яка складається з сенсорів кластерів, розміщених біля стратегічних зон, и базових станцій (БС) місцезнаходження яких може змінюватись.

**2.2 Методи управління енергоресурсом** (таблиця 2). В GAF методі вузли використовують координати свого розміщення для поділу площі спостереження на фіксовані квадрати. Використовується схема сну всередині кожного квадрата (вузол координатор). В. Chen та ін. пропонують SPAN, для побудови енергоефективної топології ( адаптивно вибирає координаторів серед всіх вузлів для ефективної передачі пакетів по сформованому маршруту та вимикає інші вузли). С. Schurgers та ін. пропонують STEM метод, який використовує схему „сон” (режим „передача” та „ моніторинг”). В режимі „передача” передаються тільки дані, в режимі „ моніторинг” передавачі відключаються та передають тільки за подіями. R. Zheng та ін. розробили асинхронну схему включення/відключення (розраховують теоретичну границю схеми прокидання при відповідній щільності).

**2.3 Географічна маршрутизація** (таблиця 3). Для мобільних БСМ запропоновано протокол *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR), який починає роботу з виявлення місце розташування всіх вузлів мережі та здійснює обхід пустот за допомогою методу периметричної маршрутизації та



правила правої руки. Протоколи *Compass Routing* та FACE-1 використовують метрику мінімальної відстані між сусідами. Протокол FACE-2 здійснює маршрутизацію через границі *Gabriel Graph* (GG), які побудовані в кожному вузлі. Недолік: граничні вузли витрачають більше енергії. Для удосконалення вищезазначених протоколів пропонується *Compass Routing* протокол, який використовує механізм зворотної роботи (повернення в жадібний режим після режиму периметричної маршрутизації).

Таблиця 2. Методи управління топологією для отримання зв'язності

Протоколи	Механізм реалізації	Мобільність	Синхронізація	Інформація про Місце розташування	Розподілений
SPAN	Управління витратами енергоресурсу	Стаціонарні	Ні	Ні	Так
<i>Asynchronous Wakeup protocol</i>	Управління витратами енергоресурсу	Стаціонарні	Ні	Ні	Ні
<i>Power saving protocol</i>	Управління витратами енергоресурсу	Мобільні	Ні	Ні	Так
GAF	Управління витратами енергоресурсу	Мобільні	Ні	Так	Так
STEM	Управління витратами енергоресурсу	Стаціонарні	Ні	Ні	Так
S-MAC	Управління витратами енергоресурсу	Стаціонарні	Так	Ні	Так

Протокол *Intermediate Node Forwarding* (INF) пропонує механізм зворотного зв'язку до відправника про втрату пакету. Протокол *Active Message Relay* для побудови маршруту в незв'язній мобільній мережі використовує мобільних агентів. Протокол *Geographic and Energy Aware Routing* (GEAR) здійснює передачу пакетів в відповідну зону мережі. Недолік: використовується тільки для мереж малої розмірності.

Таблиця 3. Методи географічної маршрутизації

Протоколи	Механізм реалізації	Характеристика
GPSR [B. Karp]	Інформація про місце розташування або повний планарний граф (RNG, GG)	Правило правої руки в периметричному режимі навколо пустот
<i>Compass Routing</i> [E. Kranakis та ін] FACE II [P. Bose], GOAFR+	Інформація про місце розташування або повний планарний граф (GG)	Фасе-маршрутизація на планарних графах для запобігання маршрутних "дір"
INF [S. Douglas і ін]	Інформація про місце розташування	Передача відправнику повідомлення про відмову
<i>Active Message Relay</i> [Q. Li і D. Rus]	Інформація про місце розташування	Для мобільного (переміщеного) вузла досягнути незв'язного сусіда
GEAR [Y. Yu та ін]	Інформація про місце розташування, знання, п коефіцієнт вартості	Знання та приблизна вартість для географічної маршрутизації та обмежена адресація в зоні

Таким чином, пропонується реалізовувати багатокритеріальну оптимізацію при пошуку топології БСМ за критеріями: наявність зв'язності, задоволення вимог покриття та режимів моніторингу, мінімум витрат енергії батарей.

#### Література

1. Міночкін А.І., Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ" – 2007. – № 4. С. 16 – 22.
2. Романюк В. А, Жук О. В., Сова О. Я., Система управління тактичними сенсорними мережами // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2008. – С. 88– 97.

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ДАНИХ ПРО ПАРАМЕТРИ РУХУ НАНОСУПУТНИКІВ

**Явіся В.С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: yavisya@bigmir.net*

### **Analysis methods of data for nano satellite parameters of motion**

Investigates methods of obtaining information about the parameters of movement of ultra-small spacecraft, which is necessary for the formation of the executive bodies of the control signals orientation and stabilization systems of spatial position. Traditional methods are evaluated in terms of their accuracy, feasibility, as well as the restrictions on weight and overall performance.

Відомо, що наносупутники (НС) можуть використовуватися як ретрансляційна мережа, для дистанційного зондування Землі, наукових місій, екологічного моніторингу, прогнозу землетрусів, дослідження іоносфери, у тому числі польотів до інших планет.

Незалежно від того, яка система стабілізації й орієнтації буде використовуватися, для її роботи необхідно одержати сигнали управління. Таке завдання вирішується як правило за допомогою інерційних систем [1].

Інерція є найбільш універсальним фактором, що дозволяє створити прилади для реєстрації зміни швидкості тіл у просторі. Такі прилади, називані акселерометрами або датчиками прискорень, дозволяють вимірювати проекцію на свою вісь чутливості прискорення тієї точки НС, де він встановлений. Акселерометр реагує тільки на сили, що прикладаються за посередництвом НС. Якщо одна зі складових загальної сили, що визначає прискорений рух НС, обумовлена дією тяжіння, то відповідна їй складова прискорення не може бути виміряна акселерометром. Сили тяжіння діють однаково як на прилад, так і на НС і тому при відсутності інших сил за допомогою акселерометра не можуть бути виявлені.

Таким чином, при русі НС у полі тяжіння вимірюване акселерометром прискорення відрізняється від дійсного й тому одержало назву *гаданого прискорення*. Вимір гаданого прискорення дозволяє визначити дійсне положення НС щодо центру тяжіння

Для управління необхідно знати три ортогональні складові вектора гаданого прискорення центру маси НС, тобто мати три датчики, встановлені у центрі маси НС, із трьома взаємно перпендикулярними осями чутливості. Ці осі чутливості повинні бути орієнтовані по тім осям координат, у яких заданий вектор положення центру маси НС щодо центру тяжіння  $R$ . Триєдр осей чутливості акселерометрів являє собою *осі вимірювальної системи*, а осі, у яких заданий вектор  $R$  – *інерційний координатний базис*, тобто базис, щодо якого

відлічується абсолютне прискорення. Осі інерції (або осі форми) НС не збігаються з інерційним базисом, а обертаються щодо нього залежно від напрямку вектора швидкості центру маси НС. Отже, для управління за допомогою виміру гаданих прискорень або *інерційного управління* необхідно або сполучати осі вимірювальної системи з інерційним координатним базисом незалежно від руху НС, або в кожний момент часу знати взаємне розташування осей вимірювальної системи й інерційного базису. В останньому випадку складові вектора гаданого прискорення з осей вимірювальної системи повинні бути перепроєктовані на осі інерційного координатного базису [2].

Таким чином, технічна реалізація методу інерційного управління можлива у двох варіантах. Перший – за допомогою пристроїв, які не обертаються разом із НС і, зберігаючи своє положення відносно інерційного базису, служать опорою для вимірювальної системи. Другий варіант – за допомогою пристроїв, які забезпечують обчислення параметрів, що визначають кути між осями вимірювальної системи й інерційного базису, а також проектування вимірюваних компонентів прискорення на осі цього базису.

Перший варіант вимагає наявності приладів, що фізично моделюють інерційний базис на борті НС, – гіростабілізованих платформ, другий – використання безплатформових систем.

При реалізації платформових систем забезпечення необхідної надійності й збільшення точності виявилось пов'язаним зі значним ростом маси й габаритів платформ, негативною є і їх чутливість до великих перевантажень і кутів обертання, що характерно для НС. Тому безплатформні інерційні системи (БІС), завдяки наявності сьогодні високошвидкісних обчислювальних пристроїв у мініатюрному виконанні, займають лідируюче положення при створенні нових систем управління об'єктами, для яких є критичними ваго-габаритні показники таких систем [2, 3].

При автоматизації системи стабілізації насамперед вирішується завдання демпфірування коливань НС, що виникають при зміні програми польоту й дії зовнішніх збурень.

Теорія повністю автоматизованої системи стабілізації, як і будь-якої системи автоматичного управління, містить математичний опис руху НС, який розглядається як об'єкт управління. Центральним завданням цієї теорії є обґрунтування вибору законів управління, тобто співвідношень, що зв'язують різницю між вимірюваними поточними й програмними значеннями параметрів руху НС із командами на органі управління. Закони управління в сучасних системах стабілізації НС, крім забезпечення точності, стійкості й певного характеру перехідного процесу в системі, повинні екстремізувати певні критерії [2].

У безплатформних системах стабілізації (БСС) зв'язок між інерційним і вимірювальним базисами виражається в процесі обчислень через параметри, які не можуть безпосередньо служити параметрами управління.

Специфіка БСС відносно математичного опису об'єкта стабілізації полягає в тому, що рівняння руху НС повинні бути записані через вимірювані датчиками параметри й через параметри зв'язку. Це спрощує замикання систем рівнянь стабілізації. І ще одна особливість БСС – необхідність розробки методів

синтезу алгоритмів, що забезпечують обчислення параметрів зв'язку в реальному часі, а також аналізу системи помилок, що супроводжують ці обчислення.

У цілому розробку БСС доцільно будувати таким чином, щоб незважаючи на її специфіку математичний опис окремих частин системи дозволив би при виборі закону управління використовувати ефективні й добре розроблені загальні методи теорії автоматичного управління й, зокрема, методи, які застосовуються в платформних системах. Саме для цього необхідно визначити метод, що дозволяє одержати сигнали управління, які забезпечують роботу виконавчих органів систем орієнтації й стабілізації положенням НС [2].

Первинна інформація про параметри кутового руху НС відповідно до законів механіки може бути отримана у вигляді прискорення крапки установки вимірювального приладу або інтегралів цього прискорення. Необхідно відзначити, що на будь-якому об'єкті, що рухається, можна безпосередньо (без зв'язку з іншими тілами) виміряти лише прискорення. Усі інші величини, що знімаються з датчиків, являють собою інтеграли від прискорення. З позицій загального компонування функціональної схеми БСС, а також для зручності формування вимог по точності доцільно розбити її на три підкласи залежно від співвідношення величин, які безпосередньо вимірюються й обчислюються [2]:

- системи, де вимірюються тільки лінійні прискорення, а всі інші параметри обчислюються;

- системи, де вимірюються, крім лінійних параметрів, і кутові швидкості;

- системи, де вимірюються будь-які параметри, включаючи й кути Ейлера.

*Система на основі датчиків лінійних прискорень.*

Для того щоб обчислити параметри кутового положення НС, необхідно знати його кутову швидкість відносно інерційного базису.

Для вимірювання кутової швидкості використовуються акселерометри з інтегральним виходом. Максимальна точність таких приладів характеризується помилкою близько 0,001% масштабного коефіцієнта [4]. Отже, помилка на одному такті обчислень кутової швидкості буде порядку  $10^{-4} \text{ с}^{-1}$  для плеча довжиною 1 м. При величині кроку дискретності 0,1 с помилка обчислень уже за 2-3 хвилини накопичується до величин, порівнянних з вимірюваними значеннями, що приводить до необхідності мати датчик з нестабільністю масштабного коефіцієнта не більш  $10^{-6}\%$ , на що розраховувати навіть у перспективі важко. Таким чином, система на основі одних датчиків лінійних прискорень поки представляє лише теоретичний інтерес.

*Система з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.*

Усі існуючі й перспективні високоточні датчики лінійних прискорень і кутових швидкостей дозволяють одержувати інформацію тільки у вигляді приросту інтегралів від названих параметрів, тобто, по суті, є датчиками приросту лінійної швидкості й кутів обертання НС. Але такі параметри, як лінійне прискорення й кутова швидкість, мають набагато більш глибокий фізичний зміст, ніж приріст їх інтегралів. Тому в цьому випадку можна говорити про існування двох методів:

- будувати математичний апарат паралельно для безпосередньої й інтегральної форми знімання інформації з вимірювальної системи;

- при розв'язку теоретичних питань вважати, що інформація про параметри руху доступна в дійсній розмірності останніх, а практично інтегральний її характер ураховується при розробці конкретних алгоритмів побудови інерційного координатного базису (ІКБ).

Для обчислення параметрів руху НС необхідно знати вектор прискорення його центру маси й вектор кутової швидкості обертання біля центру маси. Таким чином, вимірювальна система повинна мати, мінімум три датчики лінійних прискорень і три датчики кутової швидкості.

*Система на основі датчиків, що вимірюють кути Ейлера.*

Відлік кутів Ейлера проводиться від інерційного базису, тому його фізичне моделювання є неминучим. Однак у цьому випадку на відміну від звичайних платформних систем моделюються тільки вимірювальні осі, а не платформа для розміщення датчиків лінійних прискорень. Таким чином, для одержання інерційних компонентів вектора швидкості необхідно вимірювання, які здійснюються відносно зв'язаної системи координат, перераховувати до ІКБ.

Перевагою подібної системи є економія обчислювальних ресурсів при аналітичній побудові інерційного базису. Значним недоліком є обмеження максимальних кутів повороту й припустимих перевантажень через наявність вільних гіроскопічних систем на борті НС. Система з виміром кутів Ейлера може розглядатися як граничний випадок між платформним і безплатформним варіантами: по наявності фізичних моделей ІКБ на борті цю систему можна віднести до категорії звичайних інерційних, а по характеру розташування датчиків прискорення – до категорії безплатформних систем.

Відзначений недолік системи з вільними гіроскопічними приладами на теперішньому етапі розвитку інерційних систем управління зводить до мінімуму переваги БІС. Дійсно, у порівнянні з гіростабілізованою платформою зберігається перевага в забезпеченні надійності, а також у можливості використовувати датчик прискорення більших ваг і габаритів. Недоліком є необхідність мати на борті потужний обчислювач, що збільшує до того ж сумарну помилку побудови ІКБ.

Тому при побудові системи стабілізації НС для одержання керуючої інформації доцільно використовувати системи з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.

## Література

1. Явися В.С. Способы управления пространственным положением наноспутника // Десята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій». Збірник тез. – К.: НТУУ «КПІ». – 2016. – С. 507-510.
2. Лебедев Р. К. Стабилизация летательного аппарата бесплатформенной инерциальной системой. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.
3. Гуцин В.Н. Основы устройства космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2003 г. – 272 с.
4. Литвин М.А., Малюгина А.А., Миллер А.Б. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // Информационные процессы. – 2014. – Том 14. – № 4. – С. 326–339.

## ФИЛЬТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ БПЛА ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ СЕНСОРНОЙ СЕТИ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ TDOA И RSS

**Товкач И.О., Жук С.Я.**

*Радиотехнический факультет КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина  
E-mail: tovkach.igor@gmail.com*

### Filtration of parameters of the UAV movement in case of complex use of data from the sensor network obtained on the basis TDOA and RSS methods

On the basis of a mathematical apparatus of the Kalman filtering, adaptive algorithm for filtration of parameters of the UAV movement in case of complex use of data from the sensor network obtained on the basis TDOA and RSS methods are realized. Analysis of the developed algorithm executed using statistical modeling.

Последние достижения в области беспроводных сенсорных сетей (БСС) открывают новые возможности при решении задачи определения местоположения и оценки параметров движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). БСС представляет собой набор миниатюрных и недорогих устройств, оснащенных различными видами датчиков, небольшим микроконтроллером и приемопередатчиком, которые объединены с помощью сети WLAN, использующей для передачи данных радиоканалы.

Для определения местоположения БПЛА широкое распространение находят методы TDOA (time difference of arrival) [1] и RSS (received-signal strength) [2]. Уравнение наблюдения для метода TDOA, описывающее процесс измерения координат БПЛА сенсорной сетью, включающей  $L+1$  датчик, имеет вид

$$\Delta^l(k) = h_{\Delta}^l(u(k)) + v^l(k), \quad l = \overline{1, L} \quad (2)$$

где  $\Delta^l(k)$  – измеренная разность расстояний между  $l$ -м и опорным ( $l=0$ ) датчиками  $l = \overline{1, L}$ ;  $v^l(k)$  – ошибка измерения  $l$ -го датчика с дисперсией  $d^l$ ;

$$h_{\Delta}^l(u(k)) = \sqrt{(x(k) - x^l)^2 + (y(k) - y^l)^2} - \sqrt{x^2(k) + y^2(k)} - v^0(k). \quad (3)$$

Уравнение наблюдения для метода RSS имеет вид

$$p^l(k) = h_p^l(u(k)) + v^l(k), \quad l = \overline{1, L}, \quad (2)$$

где  $p^l(k)$  – измеренная  $l$ -м датчиком мощность сигнала БПЛА  $l = \overline{0, L}$ ;  $v^l(k)$  – ошибка измерения мощности принятого сигнала  $l$ -м датчиком с дисперсией  $d^l$ ;

$$h_p^l(u(k)) = p^0 - 10 \cdot \alpha \cdot \lg \left( \frac{\sqrt{(x(k) - x^l)^2 + (y(k) - y^l)^2}}{r^0} \right). \quad (3)$$

Движение БПЛА в прямоугольной системе координат описывается стохастической динамической системой вида [3]:

$$u(k) = Fu(k-1) + G\omega(k), \quad (1)$$

где  $u(k)$  - вектор состояния, включающий параметры движения БПЛА

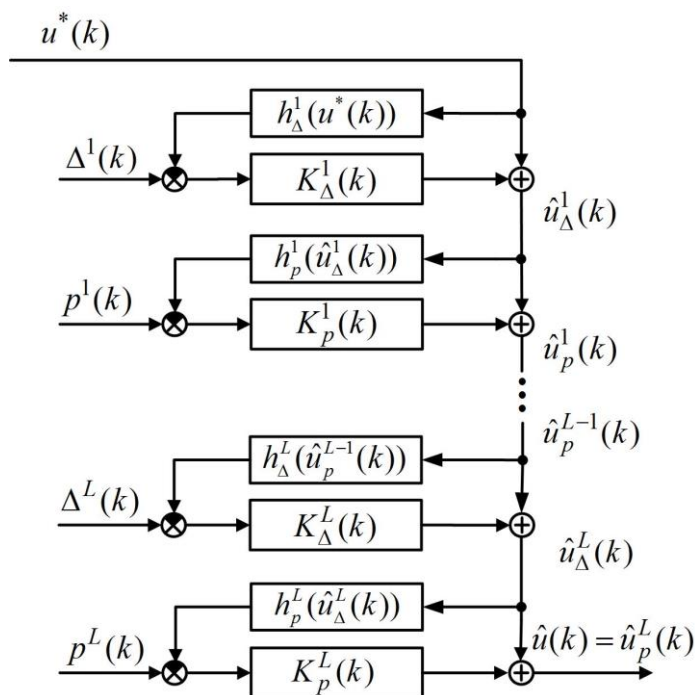


Рис. 1. Структурная схема фильтра при комплексировании TDOA и RSS измерений.

по осям прямоугольной системы координат.

Повышение точности оценивания параметров движения БПЛА может быть достигнуто путем комплексной обработки данных, полученных на основе методов TDOA и RSS [4].

На основе математического аппарата Калмановской фильтрации синтезирован алгоритм оценивания параметров движения БПЛА при комплексном использовании данных сенсорной сети, полученных на основе методов TDOA и RSS. Структурная схема полученного расширенного фильтра Калмана с последовательной реализацией вычислений показана на рис. 1.

Анализ эффективности разработанного алгоритма проведен с

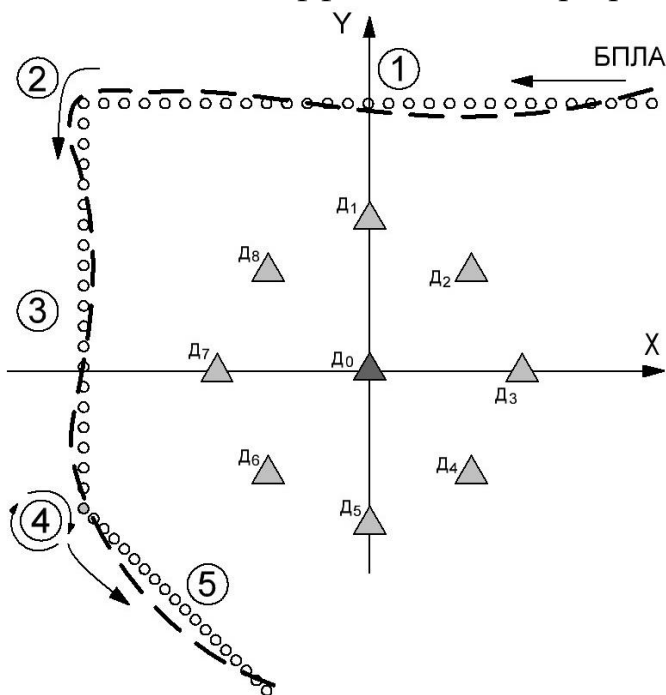


Рис. 2. Конфигурация сенсорной сети из 9 датчиков и траектория движения БПЛА.

помощью статистического моделирования. При этом сенсорная сеть (рис. 2) состоит из девяти датчиков, располагающихся на окружности с радиусом 100 м. Для наглядности работы алгоритмов была сформирована тестовая траектория движения БПЛА, которая включает пять участков (рис. 2). СКО ошибок измерений при использовании методов TDOA и RSS  $\sigma_\Delta = 2.4$  м и  $\sigma_P = 1$  дБ соответственно.

Темп поступления информации  $T=1$  с. Испытания проводились по ста реализациям.

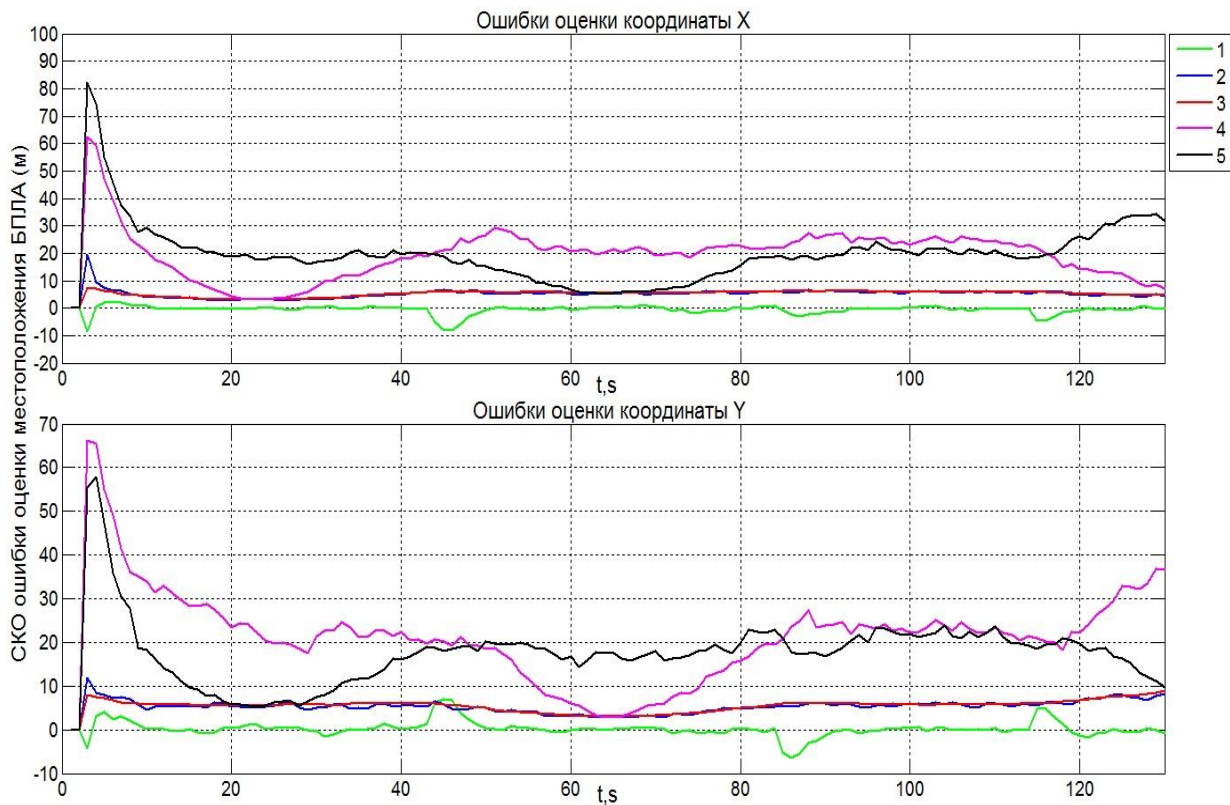


Рис. 3. SKO ошибки оценки местоположения БПЛА.

На рис. 3 показаны полученные методом Монте-Карло зависимости математических ожиданий (кривые 1) и SKO (кривые 2) ошибок оценки местоположения БПЛА по координатам  $X$ ,  $Y$ , а также SKO (кривые 3) ошибок оценки, рассчитанных разработанным фильтром. Также на рис. 3 показаны зависимости SKO ошибок оценки местоположения БПЛА фильтров Калмана при независимой обработке данных, полученных методом TDOA (кривые 4) и методом RSS (кривые 5). Комплексное использование данных позволяет уменьшить SKO ошибки определения местоположения БПЛА более, чем в 3 раза.

### Литература

1. Товкач И.О. Рекуррентный алгоритм пассивной локации в сенсорной сети по разностно-дальномерному методу при некоррелированных ошибках измерений / И.О. Товкач, С.Я. Жук // X Міжнародна Науково-технічна Конференція "ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ 2016", 19.04-22.04.2016 р.: тези доп. — Київ, 2016. — С.432-434.
2. Товкач И. О. Рекуррентный алгоритм пассивной локации в сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала / И.О. Товкач, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2016. – № 66. – с. 46-55.
3. Жук С. Я. Методы оптимизации дискретных динамических систем со случайной структурой / С. Я. Жук: [Монография]. — К.: НТУУ «КПИ», 2008 – 232 с.
4. Hedley M. Wireless Sensor Network using Hybrid TDOA/RSS Tracking of Uncooperative Targets / M. Hedley, Q. Zhai // 17th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, – 2014, pp. 385–390.



## РОЗВИТОК МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПРОВОДОВИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ З МОБІЛЬНИМИ СЕНСОРАМИ

**Шпанчук О.О., Прищепя Т.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: oshpantshuk@gmail.com*

### **Development management predictive wireless sensor networks with mobile sensors**

As a result of research developed algorithm of data transmission for WSN node based on time division. The method proposed to use semaphores for WSN to restrict access to certain sites, in the first case - given the number of flows in the second - to sites that accept alarm that must be transmitted with minimal delays and losses.

Безпроводна сенсорна мережа (БСМ) є новим типом інформаційно-комунікаційної системи, побудованої для збору інформації і управління виконавчими пристроями з областю покриття від кількох метрів до десятка кілометрів. На сьогодні залишається актуальним питання розробки алгоритмів управління інформаційним потоком всередині мережі, а також проведення оптимізації такого потоку. Завантаженість вузлів інформаційними потоками є основним фактором при підвищенні якості обслуговування (QoS) інформаційних потоків.

В роботі [2] розглянуто підхід до оптимізації маршрутів інформаційних пакетів в бездротових сенсорних мережах на основі використання алгоритму Форда-Беллмана з урахуванням змін складу вузлів і топології мережі, пропускної спроможності каналів, завантаження вузлів. Механізми інтелектуального управління БСМ запропоновані в роботі [3], де зазначається, що важливим моментом при роботі автономної сенсорної мережі є її відмовостійкість і поведінку в разі переміщення вузлів, відмови або відключенні. Вузли бездротових сенсорних мереж мають пам'ять [1], яку пропонується використовувати для створення буфера для інформації, що збирається. Як відомо з проведених аналізів енергоспоживання вузла БСМ [4], основна частина енергії джерела живлення витрачається вузлом на прийом і передачу даних, а не на її обробку. Тому пропозиція створення буфера інформації, що збирається є виправданим з точки зору зменшення енерговитрат вузла БСМ.

Для оптимізації відправки пакетів і управління потоком даних пропонується адаптивний алгоритм управління роботою прийомо-передаючого вузла БСМ. Пропонується ввести поняття «Ранок», «День», «Вечір», «Ніч» для алгоритму. «День» - стан, коли вузол може передати дані, означає, що вузол-приймач може прийняти ці дані. «Ніч» - вузол-одержувач не може прийняти дані, так як можливо зайнятий прийомом інших даних, вузлу-відправнику забороняється передавати дані. «Вечір» - вузлу-

одержувачу прийшла нова заявка або він йде в «сплячий» режим. «Ранок» - вузол-відправник зібрав необхідні дані і готовий їх передати. З урахуванням введених понять алгоритм управління передавачем наведено на рис. 1.

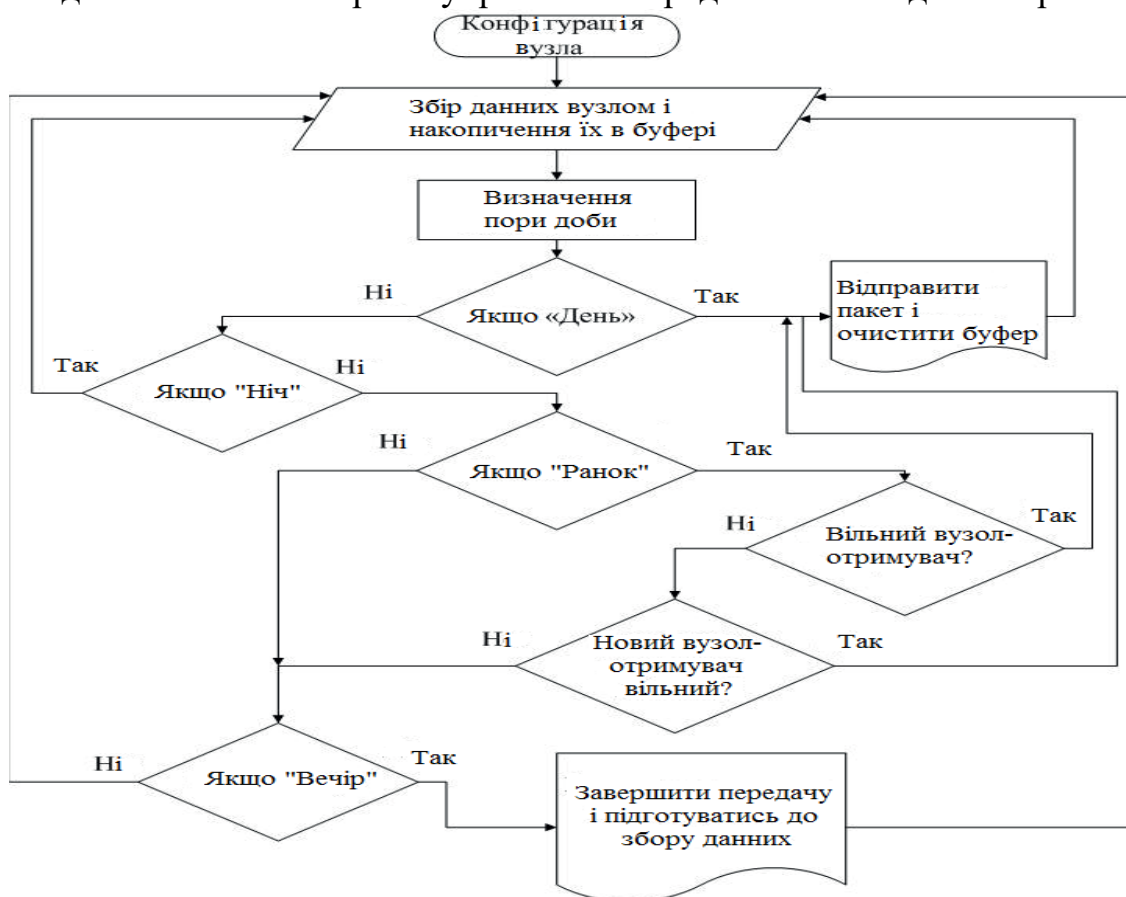


Рис. 3. Алгоритм управління передачі даних для вузла БСМ

Для оптимізації управління інформаційним потоком пропонується використовувати мурашиний алгоритм. Мураха рухатиметься від вузла  $i$  до вузла  $j$ , використовуючи імовірно-пропорційне правило з імовірністю [5]:

$$P_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^\alpha (\frac{1}{w_{i,j}})^\beta}{\sum_{j \in M} \tau_{i,j}^\alpha (\frac{1}{w_{i,j}})^\beta}, \quad (1)$$

де  $\tau_{i,j}$  - кількість феромонів на ребрі від вузла  $i$  до вузла  $j$ ;  $w_{i,j}$  - відстань між вузлами  $i$  та  $j$ ;  $M$  - безліч вузлів, які можна відвідати мурашки;  $\alpha$  - коефіцієнт, який контролює вплив кількості феромонів  $\tau_{i,j}$ ;  $\beta$  - коефіцієнт, який контролює відстань між вузлами  $i$  та  $j$  на вибір мурашки. Якщо у виразі (1)  $\alpha = 0$ , то буде обраний найближчий вузол, що відповідає жадібному алгоритму в класичній теорії оптимізації. Якщо  $\beta = 0$ , тоді працює лише феромонне посилення, що тягне за собою швидке виродження маршрутів до одного субоптимального рішення.

У мурашиний алгоритм введемо принцип семафора з трьома станами. Нехай вузол  $j$  БСМ передає аварійну сигналізацію, тоді мураха не може на нього піти - семафор «Червоний», а мурашка не прокладає по цій дузі феромон. У разі обслуговування вузлом потоку семафор - «Жовтий», мураха може піти, і відкласти феромон, але з меншим коефіцієнтом. У разі відсутності обслуговування потоку семафор - «Зелений», мураха застосовує

класичний метод. Введемо в формулу (1) запропонований принцип семафора:

$$P_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^{\alpha} (\frac{1}{w_{i,j}})^{\beta}}{\sum_{j \in M} \tau_{i,j}^{\alpha} (\frac{1}{w_{i,j}})^{\beta}} S, \quad (2)$$

де  $S$  – стан семафора.

В результаті проведених досліджень розроблений алгоритм управління передачею даних для вузла БСМ, заснований на тимчасовому поділі. Метод семафорів пропонується використовувати для БСМ з метою обмеження доступу до деяких вузлів, в першому випадку - з заданою кількістю потоків, у другому - до вузлів, які приймають аварійну сигналізацію, яка повинна передаватися з мінімальними затримками і втратами.

Для оптимізації інформаційних потів в бездротових сенсорних мережах можна застосовувати як алгоритмічну теорію графів, так і потокові моделі. Для мурашиного алгоритму пропонується два підходи по його модифікації. Перший підхід ґрунтується на алгоритмі управління передачею даних для вузла БСМ і додаткового використання буфера пам'яті на вузлу (рис 3). Другий - пропонує ввести принцип семафора (2), рис. 4.

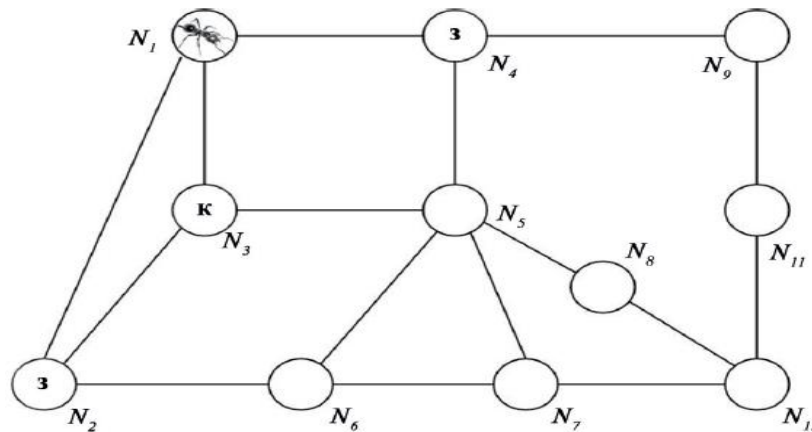


Рис. 4. Робота мурашиного алгоритму із застосуванням Семафорів.

Як видно з рис. 4, у мурашки, який знаходиться на вузлі  $N_1$ , є можливість піти тільки на вузли  $N_2$  і  $N_4$ , де горить «Зелений», в той час як вузол  $N_3$  обслуговує вузол з високим пріоритетом.

#### Література

1. Ермошкина, Д. Д. Классификация беспроводных сенсорных сетей по видам нагрузки [Текст] / А. Е. Кучерявый, Д. Д. Ермошкина // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – Т. 5, № 7. – С. 64–65.
2. Kudryashov, S. V. Optimal routing of data flows in wireless sensor networks [Текст] / S. V. Kudryashov // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2008. – Vol. 47, Issue 2.– P. 282–295. doi: 10.1134/s1064230708020159
3. Акимов, А. А. Системы поддержки принятия решений на базе беспроводных сенсорных сетей с использованием интеллектуального анализа данных [Текст] / А. А.– 2010. – № 1. – С. 225–229. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/download/71795022.pdf>
4. Восков, Л. С. Повышение качества обслуживания в беспроводных стационарных сенсорных сетях с автономными источниками питания [Текст] / Л. С. Восков, М. М. Комаров // Качество. Инновации. Образование. – 2012. – № 1 (80). – С.51–55.
5. Dorigo, M. Ant Colony Optimization [Текст] / M. Dorigo, T. Stützle. – Cambridge, MA: MIT Press, 2004. – 321 p.

## PASSIVE ACOUSTIC LOCALIZATION AND TRACKING OF VESSELS USING A COMPACT ARRAY OF HYDROPHONES

**I. Urazghildiiev, D. Hannay**  
*JASCO Applied Sciences, USA*  
*E-mail: ildar.urazghildiiev@jasco.com*

### Пассивное акустическое оценивание местоположения кораблей с использованием компактной решетки гидрофонов

Рассматривается задача оценивания местоположения и направления движения объекта за счет использования пеленгов, измеряемых с помощью стационарной компактной пассивной решетки гидрофонов. Наблюдаемость оценок достигается за счет использования априорной информации о скорости объекта. Точность предлагаемого алгоритма максимального правдоподобия оценивается по результатам измерения местоположения кораблей с известными GPS координатами.

Passive acoustic vessel localization and tracking plays an important role in port security applications and, more generally, for monitoring coastal and offshore vessel activities. The approach can provide vessel presence and distribution information at locations where automatic identification systems (AIS) cannot be deployed or do not work well. Passive acoustic monitoring (PAM) approaches can be used, for example, to monitor vessel activities in marine protected areas and conservation areas. The basic requirements of vessel tracking systems are the ability to identify vessels within a surveillance area, and to estimate their headings, speeds and positions.

Time difference of arrival (TDOA) methods can be applied to acoustic measurements obtained from compact arrays of hydrophones. Recent advances in undersea digital networks allow real-time streaming of high-bandwidth acoustic data from compact arrays. The TDOA-based techniques can be applied to these data to implement practical localization and tracking solutions [1]-[3].

The problem of estimating positions and heading angles of sources from bearing measurements is known as bearing-only target motion analysis (BO-TMA) [4]-[5]. The main difficulty in implementing BO-TMA techniques is that they require a moving observer, which is not possible for most long term PAM applications.

In this work the problem of estimating the positions and heading angles of vessels, using bearing-only measurements from a stationary compact array, is considered. We assume that bearing errors are represented as a correlated Gaussian random process with known or estimated statistical characteristics. We also assume that the speed of sources is approximately known. Thus, position estimates are obtained by combining bearing measurements with speed assumptions. The goal of

this work is to evaluate the influence of various factors on accuracy of the position and heading estimates. The influencing factors include duration of correlation interval, variance of bearing errors, duration of the source observation interval, and variance of speed errors.

We assumed that locating and tracking sources is to be performed within an area specified in 2D Cartesian  $(x, y)$  coordinates. At time  $t$  the position of the source is described by the vector

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}(t_0) + v_0 \mathbf{e}(\gamma_0)(t - t_0) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} \in R^2, \quad (1)$$

where  $v_0$  is the source's speed,  $\gamma_0$  is its heading angle, and the vector  $\mathbf{e}(\gamma_0) = [\sin \gamma_0, \cos \gamma_0]^T$  indicates its travel direction in Cartesian coordinates, and  $\mathbf{r}(t_0) = [x_0, y_0]^T$  is its initial position. We assumed that the parameters  $x_0, y_0, \gamma_0$  were unknown, such that the vector of parameters to be estimated is defined as

$$\boldsymbol{\theta}_0 = [x_0, y_0, \gamma_0]^T \in R^3, \quad (2)$$

where symbol "T" denotes transpose. The bearing estimates provided by the array are

$$\hat{\alpha}(t) = \alpha(t, \boldsymbol{\theta}_0) + \varepsilon(t), \quad (3)$$

where  $\alpha(t, \boldsymbol{\theta}_0) = \tan^{-1} \frac{x(t)}{y(t)}$  is the true bearing and  $\varepsilon(t)$  is the bearing estimation error.

To overcome the observability problem, we assumed that the unknown speed of a source can be described probabilistically by a mean value and variance. When the mean speed is used, the vector (2) becomes observable from (3) in the sense that the unambiguous estimate of the parameters (2) exists.

The logarithmic likelihood function of the vector of bearing estimates (3) is

$$\ln W(\hat{\boldsymbol{\alpha}}|\boldsymbol{\theta}) = -\frac{1}{2}(\hat{\boldsymbol{\alpha}} - \boldsymbol{\alpha}(\boldsymbol{\theta}))^T \mathbf{C}^{-1}(\hat{\boldsymbol{\alpha}} - \boldsymbol{\alpha}(\boldsymbol{\theta})). \quad (4)$$

From (4), the maximum likelihood (ML) estimates of vector  $\boldsymbol{\theta}$  obtained for the speed  $v$  are

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \hat{\boldsymbol{\theta}}(v) = \{\hat{x}_0(v), \hat{y}_0(v), \hat{\gamma}_0\} = \arg \max_{x, y, \gamma} \ln W(\hat{\boldsymbol{\alpha}}|\boldsymbol{\theta}). \quad (5)$$

In practice, the estimates (5) can be calculated using a grid search algorithm that maximizes (4) in 3D space over the parameters  $x, y$ , and  $\gamma$ .

The performance of the ML estimator (5) was evaluated experimentally using a stationary compact tetrahedral array of hydrophones monitored by an Autonomous Multichannel Acoustic Recorder (AMAR, JASCO Applied Sciences) [2]. The array was deployed on the Victoria Experimental Network Under the Sea (VENUS) cabled ocean observatory operated by Ocean Networks Canada (ONC) in the Salish Sea, BC, Canada. The array was deployed on the seabed at 168 m

depth; the hydrophones of the array were approximately 1.84 m apart. The position and orientation of the array was measured during the deployment and calibrated using surface vessels with known GPS coordinates. Although tetrahedral array used in our tests could measure both azimuth and elevation angles, only azimuths were used to compute the parameter estimates (5).

Root mean square errors (RMSE) of range and heading estimates were obtained at the closest point of approach (CPA) of 171 vessels, and were used to evaluate the performance of the ML estimator (5). Test results (see Fig. 1) demonstrated that in the case of Gaussian bearing errors, and in the absence of speed errors, the RMSE of the range and heading ML estimates (5) are close to the Cramér-Rao bounds.

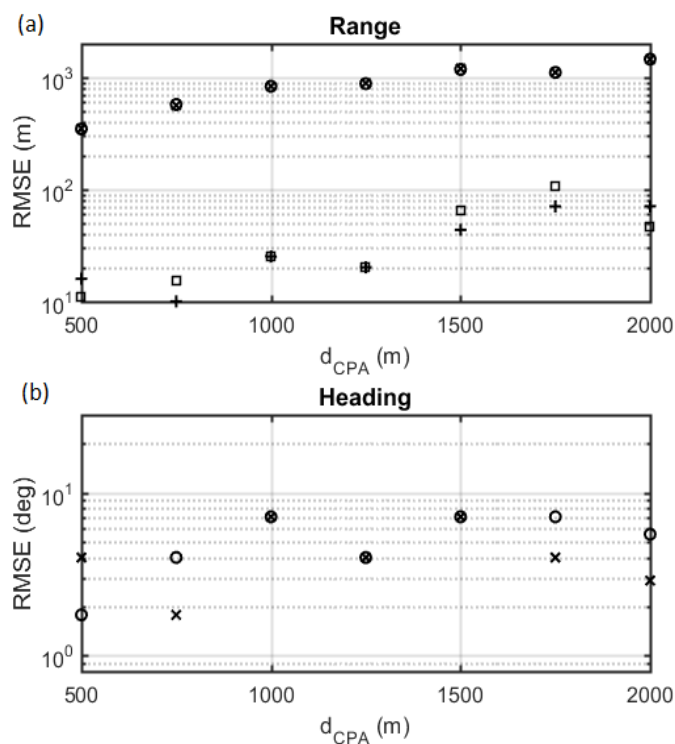


Fig. 1. RMSE of (a) range estimates and (b) heading estimates as functions of CPA distance obtained from *in situ* tests. Parameter estimates were obtained using the mean vessel speed of 7.3 m/s (Scenario 1) using a diagonal covariance matrix (symbol “x”) and a non-diagonal covariance matrix (symbol “o”). Parameter estimates obtained with the actual speed of vessels (Scenario 2) are shown by the symbols “+” (diagonal covariance matrix) and “□” (non-diagonal covariance matrix).

## References

1. A. Tesei, S. Fioravanti, V. Grandi, P. Guerrini, and A. Maguer, “Localization of small surface vessels through acoustic data fusion of two tetrahedral arrays of hydrophones,” Proc. 11th Eur. Conf. Underwater Acoust., pp. 1–12, Jul. 2012.
2. C. Hillis, X. Mouy, I. Urazghildiiev, and T. Dakin, “Autonomous Multichannel Acoustic Recorders on the VENUS Ocean Observatory”, Oceans’2014, St. John’s, 2014.
3. M. Gassmann, E. E. Henderson, S. M. Wiggins, M. Roch, and J. A. Hildebrand, “Offshore killer whale tracking using multiple hydrophone arrays,” J. Acoust. Soc. Am., vol. 134, no. 5, pp. 3513–3521, Nov. 2013.
4. S. C. Nardone, A. G. Lingren, and K. F. Gong, “Fundamental properties and performance of conventional bearing-only target motion analysis,” IEEE Trans. Autom. Control, vol. 29, no. 9, pp. 775–787, Sep. 1984.

## РОЗВИТОК СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Дробіна О.С., Романюк А.В.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: oleg.drobina.kpi@gmail.com*

### Development of ways to increase bandwidth in wireless sensor networks

Due to the low data rate of wireless sensor networks (WSN) (250 kbit/s) the actual problem is the development of methods of processing and data transmission, focused on the efficient usages of bandwidth and on the increasement of WSN bandwidth. The efficient usage of WSN bandwidth can be reached by optimizing of sensor networks protocols and by preprogrressing of data on wireless nodes. To increase the overall bandwidth of WSN methods of network coding can be used. One of the methods of increasing of WSN bandwidth is presented in this work and it is based on network coding.

Останнім часом, безпроводові сенсорні мережі (БСМ) пережили великий розвиток. Такі мережі, які складаються із множини мініатюрних вузлів, які оснащені малопотужними передавально-приймальними приладами, мікропроцесором і сенсором, можуть пов'язати воєдино глобальні комп'ютерні мережі і фізичний світ. Успішне використання БСМ в медицині пов'язано з розробкою біологічних сенсорів, які сумісні з інтегральними схемами сенсорних вузлів. Але найбільше поширення БСМ отримали в області моніторингу навколишнього середовища і живих створінь [1]. БСМ, які застосовуються в задачах моніторингу, найчастіше використовуюють топологію кластерного дерева (Рис. 1) [2]. В даній топології сусідні вузли на шляху до базової станції є як джерелами інформації, так і ретрансляторами даних інших вузлів.

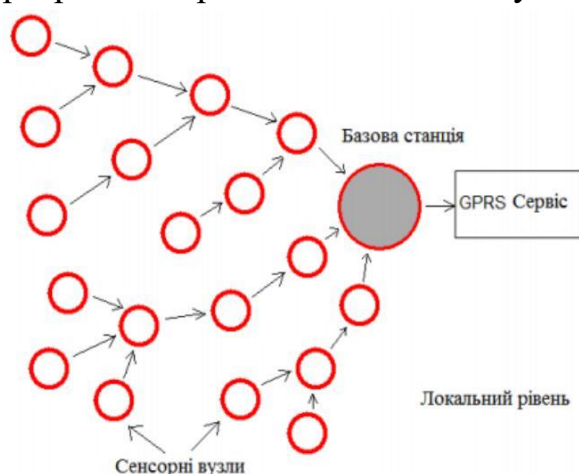


Рис. 1. Топологія кластерного дерева.

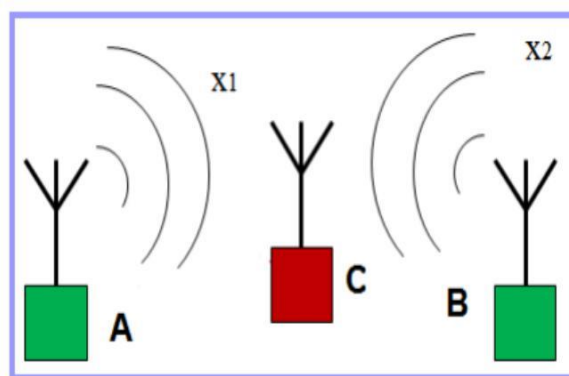


Рис. 2 Обмін повідомленнями між вузлами.

Одним із рішень задачі збільшення пропускної здатності БСМ є використання мережного кодування. Основний принцип мережного кодування полягає в тому, що проміжний вузол об'єднує декілька прийнятих пакетів і передає їх наступним вузлам мережі[3]. Розглянемо принцип мережного кодування на прикладі обміну пакетами в безпроводній мережі з трьома вузлами. Нехай вузли А, В обмінюються повідомленнями  $X_1$   $X_2$  через вузол (ретранслятор) С (Рис. 2). Для безпроводної мережі без кодування протокол передачі має алгоритм, представлений на рис. 3 та вигляд, представлений на рис. 4.

- t1  $X_1 : A \rightarrow C$  ;
- t2  $X_2 : B \rightarrow C$  ;
- t3  $X_3 : C \rightarrow A$  ;
- t4  $X_4 : C \rightarrow B$ .

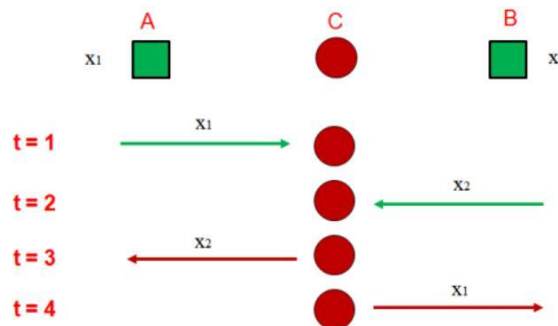


Рис. 3. Алгоритм передачі без кодування.

Рис. 4. Модель передачі без кодування.

Отже, для обміну повідомленнями в мережі без кодування між вузлами А і В необхідно чотири кадри.

При використанні мережного кодування ретранслятор зберігає пакети і утворює їх лінійні комбінації. В даному випадку протокол передачі буде мати алгоритм, як показано на рис. 5 і модель передачі, як показано на рис. 6.

- t1  $X_1 : A \rightarrow C$ ;
- t2  $X_2 : B \rightarrow C$ ;
- t3:  $X_1 \oplus X_2 : C \rightarrow A$ ;  $C \rightarrow B$ .
- $X_2 = (X_1 \oplus X_2) \oplus X_1$ ;
- $X_1 = (X_1 \oplus X_2) \oplus X_2$ .

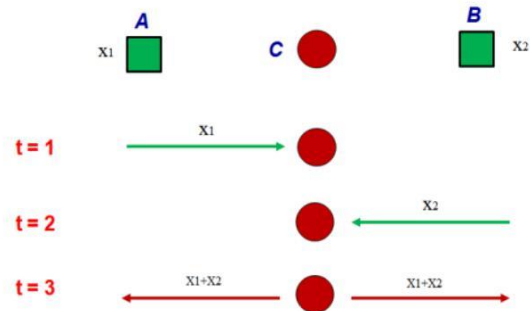


Рис. 5. Алгоритм мережного кодуванням.

Рис. 6. Модель передачі з мережним кодуванням.

В кадрі 3 вузол С формує суму прийнятих пакетів за модулем 2 і передає пакет  $X_1 \oplus X_2$  (рис. 6). Вузли А і В приймають цей пакет і обчислюють необхідні пакети, як показано на рис. 5.

При мережному кодуванні кожний вихідний пакет, що передається по мережі, є лінійною комбінацією отриманих пакетів, де операція додавання виконується над полем  $GF(2^S)$ [4]:



$$X = \sum_{i=1}^n g_i * H^i$$

де  $H^i$  – вихідні пакети одного або декількох джерел інформації;  $g_i$  – коефіцієнти поля  $\mathbf{GF}(2^S)$ ,  $g_i$  символ складається із  $s$  бітів.

Для того, щоб відновити закодовані пакети  $(g_i, H^i), \dots, (g_m, H^m)$ , необхідно розв'язати систему  $m$  рівнянь:

$$\langle X_j = \sum_{i=1}^n g_i^j * H^i \rangle, j = \{1, \dots, m\}$$

в якій  $H^i$  є невідомими. Для розв'язання системи  $m$  рівнянь з  $n$  невідомими необхідно, щоб  $m \geq n$ . Однією з важливих задач при використанні мережного кодування є вибір кожним вузлом мережі лінійних комбінацій. Найпростіший алгоритм – кожний вузол довільно, незалежно і децентралізовано, з рівною ймовірністю вибирає елементи поля  $\mathbf{GF}(2^S)$  [5].

Отже, враховуючи вище сказане, при використанні мережного кодування для обміну повідомленнями між вузлами **A** і **B** необхідно 3 кадри. Використання мережного кодування дозволяє збільшити пропускну здатність та підвищити надійність мережі [6].

## Література

1. Міночкін А.І., Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку сенсорних мереж // Зв'язок. – 2008. – № 1. – С. 16 – 21.
2. Akyildiz I. F., Vuran M. C. Wireless Sensor Networks, New York: John Wiley & Sons, 2010. – 571 p.
3. Shengli Z., Liew S. C., Lam, P. P. Physical layer network coding. arXiv preprint arXiv:0704.2475, 2007.
4. Николайчук Я.Н., Коды поля Галуа: теория і використання /Монографія/ – Тернопіль: ТЗОО «Тернограф», - 2012. – 576 с.
5. Fragouli C., Le Boudec J. Y., Widmer J. Network coding: an instant primer //ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 2006. – Т. 36. – №. 1. – pp. 63-68.
6. Fragouli C., Soljanin E. Information flow decomposition for network coding. Information Theory, IEEE Transactions on 52 (3), 2006. – pp. 829-848.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЧЕРГОЮ DSREM В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

**Довженко Т.П., Сторчак К.П.**

*Державний університет телекомунікацій, Україна*

*E-mail: timurdov@ukr.net*

### **Applying the method of active queue management of router buffer DSREM in Wireless Sensor Networks**

WSN (Wireless Sensor Network) is a data collection and transmission network consisting of a plurality of wireless sensor nodes distributed in space for monitoring environmental parameters or objects located in it. One of the main tasks of the data network is to ensure a sufficient level of quality of service, loss minimization and sustainability of the network to dynamically changeable conditions. DSREM method can ensure network performance stability under high loads. The paper presents the concept of using DSREM-algorithm in WSN.

Безпроводні сенсорні мережі WSN (Wireless Sensor Network) являють собою самоорганізовані мережі, що складаються з багатьох безпроводових сенсорних вузлів, розподілених в просторі і призначених для моніторингу характеристик навколишнього середовища або об'єктів, що розташовані в даній мережі [1]. Простір, який покривається сенсорною мережею, називається сенсорним полем. Самі безпроводові сенсорні вузли в більшості випадків являють собою мініатюрні пристрої з обмеженими ресурсами: зарядом батареї, об'ємом пам'яті, обчислювальними можливостями і т.д. Проте об'єднання великого числа цих елементів в мережу забезпечує можливість отримання реальної картини того, що відбувається в рамках даного сенсорного поля. Безпроводні сенсорні вузли можуть збирати інформацію про спостережувані явища і передавати її далі для обробки і аналізу. Наприклад, дані про температуру, вологість, умови освітлення, сейсмічної активності і т.д. Такі дані можуть бути використані як для виявлення будь-яких подій, так і для управління ними. Як приклад можна привести використання сенсорів для автоматичного пожежогасіння в разі отримання тривожних повідомлень про загоряння.

Однією з основних задач будь-якої мережі передачі даних є забезпечення достатнього рівня якості обслуговування, мінімізації втрат і стійкості мережі до динамічно змінюваних умов.

DSREM-алгоритм (Random Exponential Marking packets with Dynamically Split characteristic) активного управління чергою дає змогу забезпечити стабільність роботи при значних навантаженнях в мережі [2].

Головною особливістю DSREM-алгоритму є використання нових спеціальних параметрів [3,4]:

1.  $k1$  – коефіцієнт масштабування по осі імовірності;
2.  $k2$  – коефіцієнт масштабування по осі міри перевантаження (ціни);
3.  $kst$  – коефіцієнта стійкості.

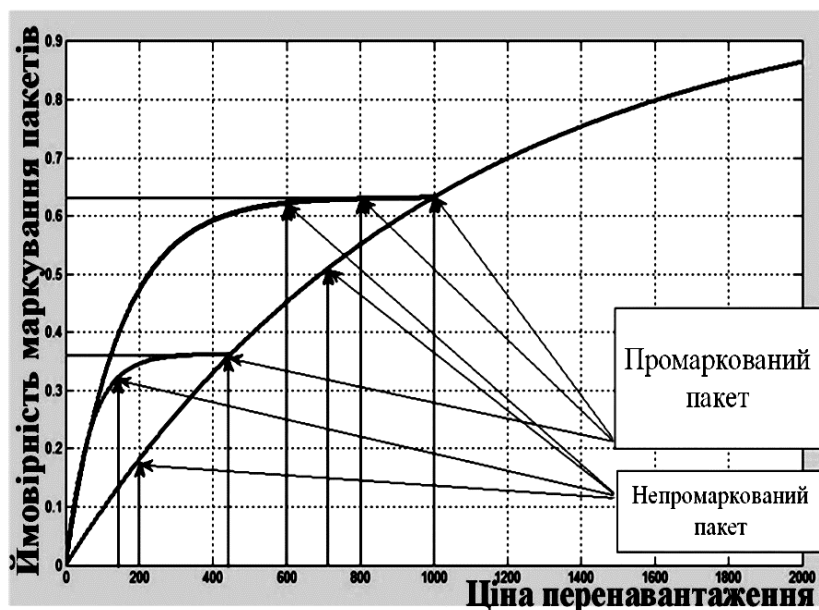


Рис. 1. Графік залежності імовірності маркування пакетів від ціни перенавантаження каналу для DSREM-алгоритму

При відсутності або при малому навантаженні мережі, DSREM-алгоритм працює відповідно до REM-алгоритму. Так, якщо перший пакет не був відкинутий, вікно передавача збільшується в 2 рази, тим самим збільшується передача пакетів і збільшується ціна. Якщо наступний пакет буде промаркований, тоді характеристика імовірності буде розщеплена завдяки коефіцієнтам масштабування по осі імовірності  $k1$  та осі міри перенавантаження (ціни)  $k2$ .

При зменшенні навантаження в мережі, зменшується ціна для наступного пакету, але імовірність маркування пакету вже розраховується за розщеплюваною характеристикою імовірності. При збільшенні навантаження імовірність розраховується за REM-методом. Крім того, якщо наступний пакет після розщеплення характеристики імовірності не був промаркований та має меншу ціну, імовірність відкидання для нього також буде розраховуватися за розщеплюваною характеристикою.

Коригування імовірності маркування пакетів відбувається по більш 'крутій' характеристиці, тим самим черга піддається більшому стримуванню для зростання.

Отже при зменшенні вхідних потоків маршрутизатора, DSREM зменшує імовірність відкидання пакетів повільніше, ніж REM-алгоритм, тим самим стримуючи зростання черги в буфері.

На рис. 1 запропоновано концепцію використання DSREM-алгоритму в WSN. Мережа передачі даних складається з декількох кластерів (сенсорних полів). Кожен кластер, в свою чергу, може вміщувати значну кількість сенсорних датчиків, які, використовуючи протокол ZigBee (стандарт IEEE 802.15.4), передають дані на головний вузол кластера. Маршрутизатор, на який передаються дані від усіх головних вузлів мережі, в якості методу активного управління чергою пакетів використовує DSREM-

регулятор, який з-поміж усіх основних подібних методів забезпечує найкращі показники по втратах пакетів та стабільності системи [2]. Тим самим, збільшуються показники якості обслуговування кінцевих користувачів.

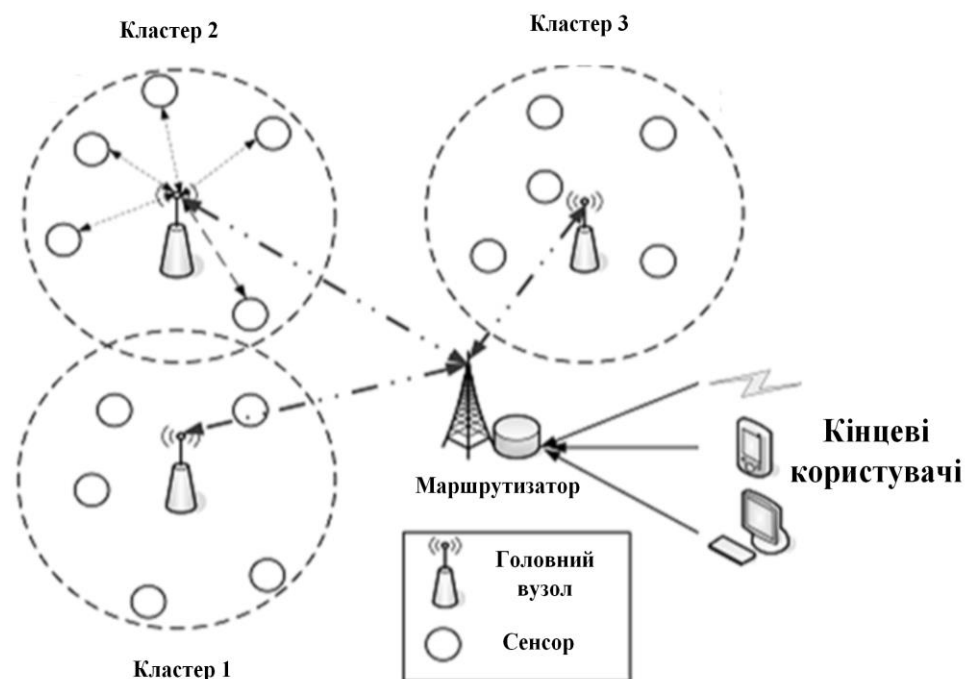


Рис. 2. Концепція побудови WSN з використанням DSREM-алгоритму.

Запропонована концепція побудови безпроводової сенсорної мережі може бути використана при застосуванні великої кількості сенсорних датчиків, оскільки DSREM-алгоритм забезпечує стабільність роботи та малі втрати при високому рівні навантаження мережі.

## Література

1. Волков Л.С. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты / Л.С. Волков // Автоматизация и ИТ в энергетике, 2–3(2–3), С. 44–49, 2009.
2. Dovzhenko T. DSREM-regulator in TCP/IP network/ T. Dovzhenko // Eureka: Physics and engineering, 4(5), pp. 39–46, 2016.
3. Довженко Т. П. Аналіз характеристик мережі TCP/IP з використанням модифікованого REM-алгоритму з динамічно розщеплюваною характеристикою (DSREM) / Т. П. Довженко, К. П. Сторчак // Зв'язок, 4, С. 35–37, 2010.
4. Довженко Т. П. Дослідження TCP/IP мережі з використанням модифікованого REM-алгоритму активного управління чергою з динамічно-розщеплюваною характеристикою (DSREM) / Т. П. Довженко // Технологический аудит и резервы производства, 4/3(30), С. 13–19, 2016.

## РОЗПОДІЛЕНА БАЗА ДАНИХ ВІРТУАЛЬНИХ КООРДИНАТ ВУЗЛІВ

<sup>1</sup>Валуйський С.В., <sup>1</sup>Лукашук В.В. <sup>2</sup>Чумаченко С.М.

<sup>1</sup> Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

<sup>2</sup> Український науко-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

E-mail: vas77794@gmail.com; sergiy23.chumachenko@gmail.com

### Distributed data base of nodes virtual coordinates

The main purpose of this work was to denote main disadvantages and problems related with saving data about nodes in WSN. Estimate memory usage of distributed database based on hash tables using notion of virtual coordinates.

Хеш-таблиця являє собою узагальнення звичайного масиву, будучи асоціативною пам'яттю, в якій доступ до елементам здійснюється по ключу, а не за індексом. Хеш-таблиця дозволяє зберігати пари (ключ, значення) і підтримує три базові операції: додавання в хеш-таблицю значення пари ключ і значення, зчитування та видалення.

У безпроводних сенсорних мережах хеш-таблиці можуть використовуватися для зберігання різного роду інформації (наприклад, зібрані показники датчиків або звіти про зафіксовані події). Однак централізоване зберігання хеш-таблиці на деякому виділеному вузлу має ряд істотних недоліків, зокрема: низька стійкість до відмов, погана масштабованість і висока ймовірність перевантаження системи. Отже, більш доцільним рішенням є організація розподіленої хеш-таблиці на основі мережі з безлічі вузлів, які виступають в ролі елементів пам'яті. В цьому випадку завдання хеш-функції полягає у визначенні відповідності між ключем  $k$  і вузла, відповідального за зберігання значення  $d$ .

Розподілені географічні хеш-таблиць отримала свій розвиток в системі CellHashRouting [1] в якій площа покриття мережі розбивається на безліч кластерів, і між ними виконується розподіл зберігається інформації за допомогою GPSR. Однак географічні хеш-таблиці мають той ж недолік, що принцип маршрутизації який лежить в їх основі, тому в даній роботі пропонується оцінити використання пам'яті у системі розподілених хеш-таблиць на основі віртуальних координат.

Однією з проблем більшості алгоритмів геометричній маршрутизації є необхідність знати координати одержувача для початку процесу доставки пакета. Очевидно, що в більшості випадків відправник знає тільки адресу (ідентифікатор) одержувача, тому потрібна деяка мережева служба, що дозволяє встановити відповідність між адресом вузла та його віртуальними координатами.

З деяких роботах з маршрутизації по віртуальним координатам дане питання розглядається тільки в [2] і [3], в яких пропонується використання опорних вузлів у якості сховищ координат усіх інших вузлів мережі, ґрунтуючись на тому факті, що вузли завжди знають як доставити пакет до опорного вузла. Якщо віртуальні координати вузла  $v$  змінилися, то він обчислює номер опорного вузла, відповідального за зберігання цієї інформації, за допомогою деякої хеш-функції  $H$ , яка перетворює адреса вузла  $a_v$  в один з індексів опорних вузлів, і передає йому значення  $v$ . Якщо деякому вузлу  $w$  необхідно передати пакет до  $v$ , то спочатку він запитує значення вектора  $v$  в опорного вузла з номером  $H(a_v)$  і після отримання відповіді починає процес маршрутизації.

Такий даний підхід не відповідає вимогам масштабованості системи з наступних причин. Припустимо ідеальну ситуацію, в якій хеш-функція забезпечує рівномірний розподіл віртуальних координат  $n$  вузлів між  $n_L$  опорними вузлами, тобто в кожному опорному вузлі зберігаються  $n / n_L$  віртуальних координат. Враховуючи, що для кожного вектору віртуальних координат потрібно  $\Theta(n_L)$  пам'яті, навантаження на кожен опорний вузол становитиме

$$M_L = \frac{n}{n_L} \Theta(n_L) \quad (1)$$

що робить цю схему непридатною в мережах великих розмірів.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати розподілену хеш-таблицю на основі віртуальних координат, в якій ключами є адреси вузлів, а значеннями - їх координати, тобто в таблиці розміщуються пари виду  $(a_v, \vec{v})$ . При цьому кількість записів в хеш-таблиці і її ємність збігаються, тобто  $n_k = n$ . Отже, для організації подібної хеш-таблиці кожному вузлу мережі в середньому буде потрібно  $M_{avg} = \Theta(n_L)$  пам'яті, а в найгіршому випадку -  $M_{max} = \Theta(\rho n_L)$  що значно краще оцінки (1), враховуючи, що, як правило,  $\rho = \text{const} n_L = \text{const}$ , а також  $n_L \ll n$ .

Потрібно відмітити, що оцінки для витрат пам'яті мають місце при типі трафіку «багато-до-багатьох», коли кожен вузол мережі є потенційним одержувачем. Якщо ж умови прикладної завдання такі, що кількість одержувачів мала, то і витрати пам'яті будуть значно меншими. Мережева служба для співставлення віртуальних координат вузла на його адреси має виконати наступні дії:

1. Кожен вузол мережі  $v$ , який потенційно може бути одержувачем пакета у загальному випадку зазначені дії виконують всі вузли мережі), при зміні своїх віртуальних координат поміщає нове значення  $\vec{v}$  в розподілену хеш-таблицю, тобто відправляє відповідний пакет віртуальному вузлу з координатами  $H(a_v) = \vec{h}(a_v)$ .

2. Потенційні одержувачі пакетів також періодично оновлюють збережене в хеш-таблиці значення своїх віртуальних координат, навіть якщо координати не змінилися.

3. Якщо деякому вузлу  $w$  необхідно передати пакет вузлу  $v$ , то вузол  $w$  робить запит в хеш-таблицю, передаючи пакет з координатами  $\vec{h}(a_v)$ , і після отримання у відповідь вектору  $v$  починає процес маршрутизації. При наступній передачі пакета вузлу  $w$  немає необхідності повторно зчитувати координати з хеш-таблиці за рахунок кешування.

Топологія мережі може змінюватися з різних причин, тому фізичний вузол із сховище, з відповідними віртуальним координатам  $\vec{h}(a_v)$ , також може змінитися. Зазначене в пункті 2 примусове періодичне оновлення значень у хеш-таблиці встановить нову відповідність між точкою і віртуальним простором  $\vec{h}(a_v)$  і найближчим до неї фізичним вузлом згідно поточної топології мережі. Час оновлення може мати різні значень, виходячи із швидкості змін, що відбуваються в топології мережі. При цьому період може бути як фіксованим (заданим на етапі проектування системи), так і динамічно налаштованому процесі роботи. Сказане також відноситься і до параметрів кешування у пункті 3.

Крім кешування можливі інші варіанти оптимізації запитів в базу даних координат, вибір найбільш доцільного з них залежить від умов експлуатації мережі і розв'язуваної прикладної завдання.

Було розглянуто основні недоліки і проблеми пов'язані із зберіганням даних в безпроводних сенсорних мережах, які використовують методи географічної маршрутизації. Запропонована оцінка використання пам'яті при використанні розподіленої бази даних з віртуальними координатами.

### Література

1. CHR: a distributed hash table for wireless ad hoc networks / R Araujo [et al.] // Proceedings Of the 25th IEEE international conference ol distributed computing systems workshops. Columbus (USA), 2005. Vol. 6, no. 10. P. 407-413.
2. Bea convector routing: scalable point-to-point routing in wireless sensor nets / R. Fonseca [etal.] // Proceedings in the 2nd symposium networked systems designand implementation. Boston (USA), 2005. P. 329-342.
3. Efficient hop ID based routing for spar sea doc networks / Y. Zhao [etal] // Proceedings of the 13th IEEE international conference ol network protocols. Boston (USA), 2005. P. 179-190.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФРАКТАЛІВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ СЕНСОРІВ ПРИ ЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ

<sup>1</sup>Гордійко Н.О., <sup>2</sup>Лисенко О.І., <sup>3</sup>Томашевська Т.В.

<sup>1</sup> *Фізико-технічний інститут КПІ ім. Ігоря Сікорського*

<sup>2</sup> *Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

<sup>3</sup> *Національна Академія статистики, обліку та аудиту*

*E-mail: natalygor22@gmail.com; tomas\_tat@ukr.net*

### **Method Of Using Geometrical Fractal for Optimal Sensor Allocation for Environmental Monitoring**

This article deals with a specific example of solving the problem of optimal allocation of sensors in the system of ecological monitoring for various geometric areas. For the location of sensors proposed method of using geometrical fractals: placing the system sensors in cell centers fractal geometric object selected accordance with its shape geometry area.

Концепції фрактала [1] та самоподібності знаходять широке застосування у фізиці, геології, термодинамічних системах, біології, у суспільних науках (наприклад, в економіці). Не стала винятком у цьому плані й екологія. Проте донедавна основні застосування фракталів в екології були пов'язані з необхідністю опису просторової складності тих чи інших біотопів, зокрема, гірських масивів, річкових систем, ґрунтів, ландшафтів, коралових рифів, рослин, океану тощо [1–3].

Застосування запропонованого в [4] методу геометричних фракталів дає можливість використання принципів теорії фракталів при екологічному моніторингу, що виходить з самого характеру фрактальних об'єктів [2], дозволяє зменшити розкидане хаотичне розростання кількості датчиків і тим самим оптимізувати систему екологічного моніторингу.

Метою роботи є розв'язання задачі оптимального розташування системи датчиків для екологічного моніторингу території, використовуючи як шаблон підібраний за допомогою вказаного методу [2] геометричний фрактальний об'єкт, який відповідає геометрії області спостереження (розміщується на ній оптимальним чином). У даній статті розглядаються геометричні фрактальні об'єкти, які створюються шляхом простих геометричних побудов за допомогою так званих L-систем та терл-графіки [5].

Метод розв'язання задачі оптимального розміщення системи датчиків при екологічному моніторингу [4] полягає у такому.

1. Залежно від геометрії території спостереження, або обирається відомий фрактальний об'єкт (з відомою фрактальною розмірністю  $D$ ), або за допомогою певної модифікації створюється новий, що відповідає геометрії області спостереження, площа  $S$  якої відома (легко розраховується).

2. За  $S$  та відомим радіусом дії датчиків системи спостереження  $r$  розраховується мінімальна кількість  $N$  первинних утворюючих об'єктів



радіусом  $r$ , необхідних для покриття області спостереження:  $N(r) = \frac{S}{S_0(r)}$ , де  $S_0(r)$  – площа елементарного утворюючого елементу,  $N$  – округлюється до цілого.

3. Визначається мінімальний порядок  $L$  фрактального об'єкту – необхідна та достатня кількість ітерацій для його побудови, що й визначає вигляд шаблону розміщення датчиків.

Значення  $L$  обирається так. Для кожного  $L$ , починаючи з 2, будується фрактальний об'єкт обраного (на етапі 1) виду, підраховується кількість його утворюючих елементів  $k$  та порівнюється з  $N$ . Якщо  $N(r) \approx k$  (з обраною необхідною точністю), то побудований фрактальний об'єкт порядку  $L$  обирається шаблоном розміщення датчиків системи спостереження, кількість яких, власне, й дорівнюватиме  $k$ . Якщо ж умова не виконується, то порядок фрактального об'єкту  $L$  збільшується на 1 – і процес повторюється доти, поки не виконається умова  $N(r) \approx k$ .

4. Визначені  $k$  датчиків спостереження екологічної системи моніторингу розміщуються у центрах "комірок" побудованого фрактального об'єкту-шаблону.

Для областей спостереження різної форми площею  $S=10^7$  м<sup>2</sup> розрахована кількість датчиків системи спостереження радіусу  $r=200$  м. Розраховане  $N \approx 80$ . У випадку території простої (наприклад, квадратної) форми одним з прийнятних фрактальних об'єктів може бути замкнена крива Серпінського [5,6] порядку  $L=4$  (рис.1), оскільки для неї  $k=85$ . Отже, з "похибкою" (надлишок датчиків) у 5% для розміщення датчиків системи моніторингу як шаблон можна обрати криву Серпінського 4-го порядку (рис.1).

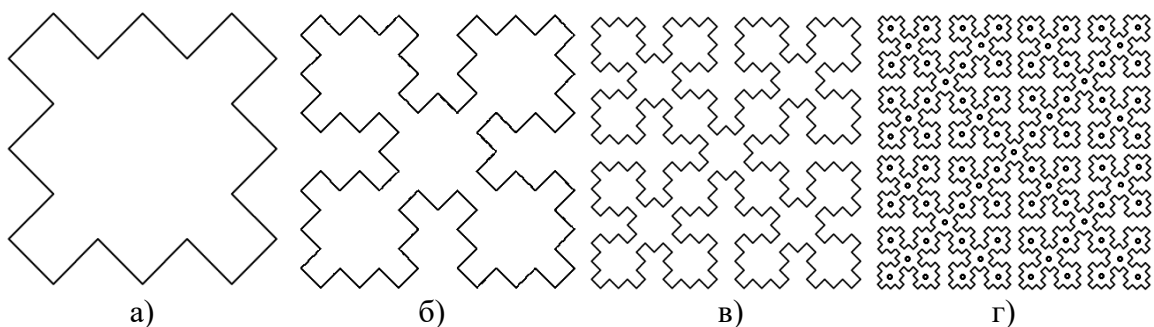


Рис. 1. Крива Серпінського порядку з 1-го по 4-й (а–г, відповідно).

У випадку області неправильної форми можна спробувати підібрати з великої кількості вже відомих фрактальних об'єктів такий, що відповідатиме геометрії області спостереження. Так, на рис. 2 для наведеної області довільної форми (рис. 2,а) як шаблон розміщення запропонований фрактальний об'єкт Triangle [5,6] (рис. 2,б–е). Кількість його утворюючих елементів, що заповнюють область (рис.2,а),  $k \approx 83$ , а до цієї умови найближчим виявляється об'єкт порядку  $L=6$  (рис. 2,ж).

Якщо ж необхідний фрактальний об'єкт складно підібрати, то можна спробувати за певними нескладними правилами побудувати новий, який більше відповідатиме геометрії області спостереження.

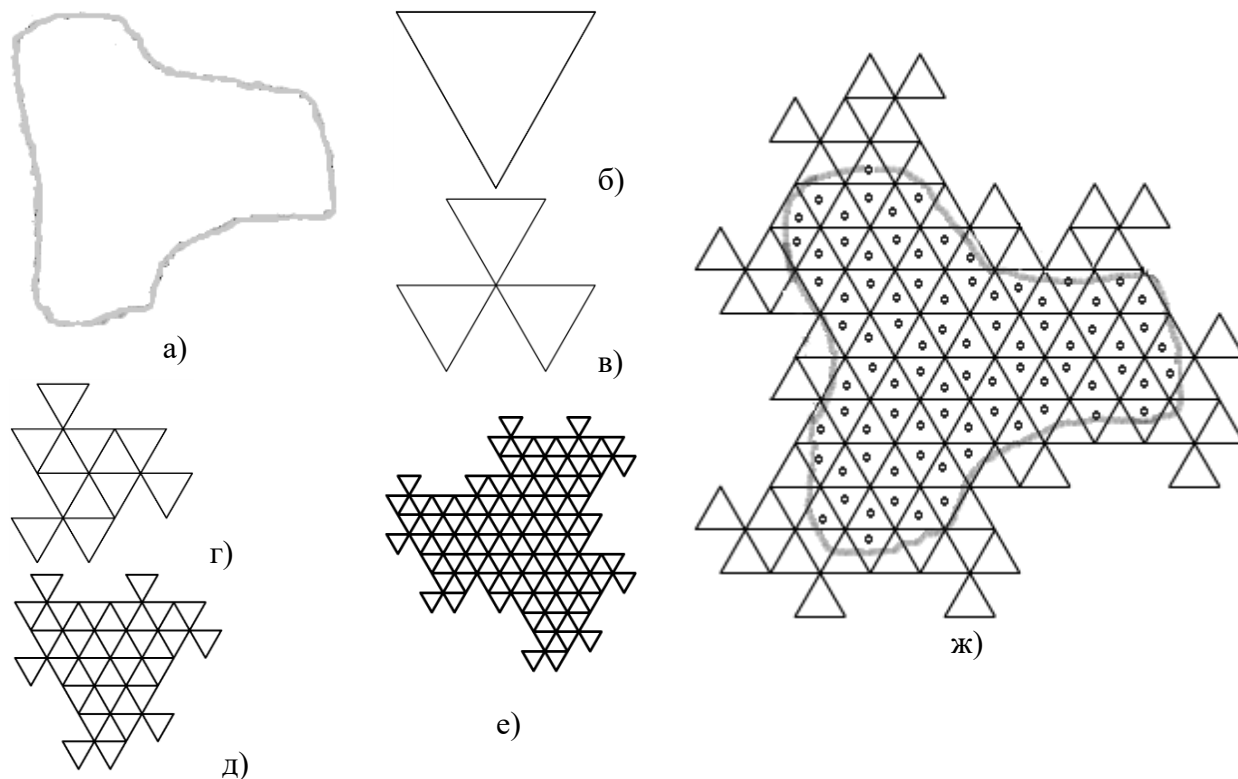


Рис. 2. Фрактальний об'єкт Triangle порядку з 1-го по 6-й (б–ж, відповідно)

Оскільки найчастіше форма обстежуваної території не має простої геометричної форми, то використовуючи властивості фракталів, можна шляхом створення нових фрактальних об'єктів (зокрема, змінюючи породжуючі правила), максимально наблизити геометричну форму фрактального об'єкту до геометрії області спостереження та автоматизувати цей процес.

У подальшому це дасть можливість створити базу даних або інформаційно-довідкову систему геометричних шаблонів.

#### Література

1. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт; [пер. с англ. А. Р. Логунова]. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
2. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии : монография / [Д. Б. Гелашвили, Д. И. Иудин, Г. С. Розенберг, В. Н. Якимов и др.]. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2013. – 370 с.
3. Федер, Е. Фракталы / Е. Федер; [пер. с англ. Ю. А. Данилова, А. Шукурова] – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Томашевська Т.В., Гордійко Н.О., Прищепа Т.О., Лисенко О.І. Метод використання геометричних фракталів для розв'язання задачі оптимального розміщення сенсорів при екологічному моніторингу / Т.В. Томашевська, Н.О. Гордійко, Т.О. Прищепа, О.І. Лисенко. – Збірник матеріалів X Міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2016. К.: НТУУ "КПІ", 2016. – С.480–482.
5. Поршнева, С. В. Реализация в MATLAB алгоритмов построения фрактальных объектов / С.В. Поршнева // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 3. – С. 72-81.

## **ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ МЕТОД МОНІТОРИНГУ ЦІЛЕЙ У ЗОНАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

**Лисенко О.І. Новіков В.І.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: lysenko.a.i.1952@gmail.com*

### **Energy saving methods for monitoring purposes in the control areas of wireless sensor networks**

A new method of managing power consumption for nodes of Wireless Sensor Network (WSN) was proposed. Method benefits are consideration of target's monitoring parameters (location, number), WSN parameters (battery's energy of WSN nodes, location, distance between nodes, data rate). It affords to reduce battery's power consumption of WSN nodes by definition (redistribution) of time (sessions) spent on surveillance of sensor's target.

Особливостями безпроводових сенсорних мереж (БСМ) моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, територій в зонах стихійного лиха (техногенних аварій) [1] є випадкове розміщення сенсорних вузлів, певна надлишковість сенсорних вузлів, значна інтенсивність виходу з ладу вузлів; малий час розгортання; неоднорідність вузлів і їх ресурсів (різні дальності радіо зв'язності та зон моніторингу окремих датчиків, енергоємність батарей тощо); концентрація трафіка навколо шлюзу; колективний доступ до радіоресурсу; автономність функціонування; обмежена безпека. В таких умовах задовольнити вимоги до якості інформаційного обміну та тривалості функціонування мережі не можливо без ефективної системи управління БСМ.

Так як живлення вузлів БСМ здійснюється від батарей обмеженої ємності, то задача управління витратами енергоресурсу сенсорних вузлів є однією з основних. Для цього до складу системи управління БСМ входить підсистема управління витратами енергоресурсу. Метою її функціонування є мінімізація та перерозподіл витрат енергоресурсу вузлами для максимізації тривалості функціонування БСМ.

Аналіз наукових результатів, отриманих в вибраній предметній області [2], показав, що існуючі методи управління витратами енергоресурсів БСМ не враховують особливостей БСМ і тому не забезпечують максимізацію тривалості їх функціонування при виконанні вимог до якості інформаційного обміну. У зв'язку з цим, задача розробки нових та удосконалення існуючих методів управління витратами енергоресурсів для використання в БСМ є

актуальною на сьогоднішньому етапі розвитку безпроводових телекомунікацій. В роботі пропонується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ.

Задано. Множина зон спостереження  $Z_j$ , множина сенсорів  $C_i$  та базова станція (БС)  $D$  в заданій координатній площі,  $i, j=1...N$ ; побудована топологія сенсорної мережі.

Обмеження. Будь-який сенсор  $C_i$  може використовуватися як для спостереження за ціллю у зоні спостереження  $Z_j$ , так і для передачі (або ретрансляції) зібраних даних до БС. Кожен сенсор може одночасно спостерігати тільки за однією ціллю у зоні спостереження. Кожна ціль повинна спостерігатися деяким одним сенсором у будь-який час (безперервно). Розміщення сенсорів, цілей у зоні спостереження і БС квазістатичне.

Множина вимог до методу управління витратами енергоресурсу вузлів  $\{B_q\}$ ,  $q=\overline{1,3}$  наступна: мінімальні витрати енергії батареї сенсорних вузлів; врахування розташування та кількості цілей у зонах спостереження; безперервний моніторинг зони спостереження.

Формалізація завдання. Введемо наступні позначення:

$D$  – базова станція, енергоресурс якої необмежений.

$C_i$ ,  $i=\overline{1, n}$  – множина сенсорів і  $n = |C|$ .

$Z_j$ ,  $j=\overline{1, m}$  – множина зон спостереження і  $m = |Z|$ .

$C(j)$ ,  $j=1, 2, \dots, m$  – множина сенсорів, здатних спостерігати за ціллю  $j$  у зоні спостереження  $Z_j$ ;

$Z(i)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$  – множина цілей, що знаходяться в межах зони моніторингу сенсорів  $i$ .

$N(i)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$  – множина сусідів сенсора  $i$ .

$E_i^{\delta}$  – початковий енергетичний резерв сенсора  $i$ .

$d_{iu}$  – відстань між сенсорами  $i$  та  $u$ ,  $i, u=1, 2, \dots, n, D$ .

$e^{Пд}, e^{Пр}$  – енергія, необхідна для передачі і прийому однієї одиниці даних, відповідно.

$e^M$  – енергія, що витрачається для моніторингу цілі у зоні спостереження за одиницю часу.

$F$  – швидкість (частота) передачі даних, згенерована сенсорами, що спостерігають за цілями.

$t_{ij}$  – загальний час спостереження  $i$ -го сенсора за  $j$ -ою ціллю.

Відзначимо, що  $C(i)$  може частково перетинатися з  $C(j)$  для  $i \neq j$ , і  $Z(i)$  може частково перетинатися з  $Z(j)$  для  $i \neq j$ .

Необхідно: для заданих множин сенсорів  $C$ , цілей  $Z$  і базових станцій  $D$ , знайти управляючий вплив  $U_{\Pi}(t)$  (матрицю спостереження  $|T|_{n \times m}$ ), що задовольняє введеним обмеженням та збільшує тривалість функціонування сенсорної мережі  $T_{\Phi_{\text{БСМ}}}$ :

$$U_{\Pi}(t) = \arg \max T_{\Phi_{\text{БСМ}}}(C(t), Z(t), D(t)E^{\delta}(t), U_{\Pi}(t)),$$

$$\text{де } U_{\Pi}(t) = \{|T|_{n \times m}\}.$$

Тривалість функціонування сенсорної мережі – відрізок часу до моменту виснаження енергії всіх сенсорів в  $C(j)$ , поки існує ціль  $j$ , або дані моніторингу не можуть бути передані до БС внаслідок незв'язності мережі.

Пропонується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який включає три етапи:

1. Знаходження верхньої межі максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі  $T_{\Phi_{\text{БСМ}}}$  та матриці спостереження  $|T|_{n \times m}$  (яка визначає інтервал часу, протягом якого сенсори спостерігають за цілями у зонах спостереження).

2. Визначення сесій спостереження – розбиття матриці спостереження  $|T|_{n \times m}$  в послідовність матриць (сесій) спостереження  $T_{n \times m} = T_1 + T_2 + \dots + T_l$ , які не зменшують отримане значення максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі та забезпечують виконання умови один сенсор – одна ціль.

3. Визначення маршрутів передачі зібраної інформації за сесіями спостереження.

Оцінка ефективності енергозберігаючого методу моніторингу БСМ включає наступні етапи:

1. Аналіз умов функціонування мережі і завдання початкових даних у вигляді: параметри БСМ (розмірність мережі:  $N$  – кількість вузлів мережі,  $Z$  – кількість цілей, діаметр мережі і площа розміщення); параметри вузлів (початкові координати розміщення на місцевості –  $x_i, y_i$ ,  $CV$  – середній ступінь зв'язності мережі,  $E^{\delta}$  – початковий енергетичний резерв сенсорів,  $e^{\text{Пд}}, e^{\text{Пр}}, e^{\text{М}}$  – енергія, необхідна для передачі, прийому та моніторингу однієї одиниці даних,  $F$  – швидкість (частота) передачі даних,  $t_{ij}$  – загальний час спостереження  $i$ -го сенсора за  $j$ -ою ціллю).

Варіанти параметрів сенсорного вузла наведені в таблиці 1:

Таблиця 1. Варіанти параметрів вузла безпроводної сенсорної мережі.

Процесор	АТmega1281
Тактова частота	4 МГц
Оперативна пам'ять	8 Кбайт
Flash – пам'ять	128 Кбайт
Приймач – передавач	
Стандарт радіоканалу	IEEE 802.15.4
Діапазон частот	2400-2483,5 МГц
Швидкість передачі даних	до 250 Кбіт/с

2. Вибір показників ефективності функціонування БСМ. Оцінка ефективності розробленого методу моніторингу цілей в БСМ проводиться за двома групами показників: глобальним (тривалість функціонування сенсорної мережі) та локальними (алгоритмічна складність  $O(|E| \times n^3)$ , зв'язна складність  $O(2d)$ , складність зберігання  $O(n^2)$ ).

3. Проведення досліджень. Оцінка ефективності методу моніторингу проводиться з використанням наступних вихідних даних: розмірність мережі:  $N = 100$ ,  $M = 5 - 15$ , енергія необхідна для передачі однієї одиниці інформації – 0,12 мВт (100 м) – 36,3 мВт (400 м); енергія необхідна для прийому однієї одиниці інформації – 0,1 мВт. Протокол доступу до каналу – детермінований.

В таблиці 2 наведені параметри витрат енергії сенсорними вузлами в різних режимах роботи [3].

Таблиця 2. Витрати енергії сенсорними вузлами при різних режимах роботи.

Режими роботи	Струм, А	Потужність, Вт
Моніторинг	2,9 мА	8,7 мВт
Режим „сон”	1,9 мА	5,9 мВт
Вимкнений режим	1 мкА	3 мкВт

Оцінка ефективності методу моніторингу цілей за локальними та глобальними показниками проводилася в порівнянні з існуючим методом surveillance method (SM) та без використання методів моніторингу [4].

Отримані результати показали, що застосування запропонованого методу забезпечує збільшення тривалості функціонування сенсорної мережі в середньому на 10-15% в порівнянні з існуючими методами.

#### Література

1. Міночкін А.І. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж / А.І. Міночкін, В.А.Романюк, О.В. Жук // Збірник наукових праць № 4. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 112 – 119.
2. Коваленко І.Г. Аналіз методів енергозбереження в сенсорних радіомережах / І.Г.Коваленко, В.А.Романюк, І.М. Діянчук // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2011. – № 1. – С. 76 – 84.
3. Yan T. Differentiated surveillance for sensor networks / T. Yan, T. He, J. A. Stankovic // 1st Int. Conf. Embedded Networked Sensor Systems. – Los Angeles. –2003. – pp. 51 – 62.
4. Жук О.В. Оцінка ефективності методики моніторингу цілей в безпроводній сенсорній мережі тактичної ланки управління / О.В. Жук, В.А. Романюк, О. Я. Сова // Труды Академії. – 2008. – № 7 (87). – С. 154 – 162.

## МЕТОД МАРШРУТИЗАЦІЇ ПО ВІРТУАЛЬНИМ КООРДИНАТАМ

**Валуїський С.В., Лукашук В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: vas77794@gmail.com*

### **Methods of routing via virtual coordinates**

The main purpose of this work was to introduce the general structure of method for routing via virtual coordinates and determine its advantages over other methods of geometrical routing.

Принцип геометричної маршрутизації полягає у використанні інформації про місцезнаходження вузлів у просторі для визначення шляху доставки пакета. У ході процесу маршрутизації поточний вузол обирає серед своїх сусідів такий вузол, який найближче розташований до отримувача, і передає йому пакет даних. Відстань між вузлами обчислюється на основі їх координат за допомогою деякої метрики (зазвичай, Евклідова норма). Процес послідовної мінімізації відстані триває до тих пір, поки пакет не досягне місця призначення або серед сусідів поточного вузла немає вузла, розташованого ближче до отримувача. Існують різні варіанти виходу з локального мінімуму (режим бектрекінгу), які повністю або з високою ймовірністю гарантують доставку пакета ціною, збільшення довжини шляху.

Головною перевагою методу геометричній маршрутизації є висока масштабованість, так як вузлу досить зберігати, інформацію тільки про своїх найближчих сусідів, а службові витрати не залежать від всієї кількості вузлів в мережі.

Недоліками даного методу маршрутизації є :

1. Припущення, що вузлам відомі їх координати в просторі, але очевидно, далеко не завжди є можливість використовувати системи позиціонування для визначення географічних координат.
2. Велика ймовірність появи локальних мінімумів при низькій або нерівномірній щільності розміщення вузлів і наявності перешкод.
3. Припущення і подальший розвиток схем географічної маршрутизації, що вузли розподілені на двомірної площини (наприклад, пристрої розміщені уздовж поверхні Землі або різниця в висотах менше дальності радіозв'язку).

Саме метод маршрутизації по віртуальними координатами може вирішити вищезгадані недоліки. Основна ідея якого полягає в тому, що в мережі вибирається деяка фіксована кількість опорних вузлів, які періодично передають ширококомвні сигнальні пакети, отримуючи які інші вузли

обчислюють свою відстань до них. Віртуальними координатами вузла є вектор, що складається із значень відстаней між вузлом і опорними вузлами, при цьому, як правило під відстанню розуміється довжина найкоротшого шляху між ними. Як і в звичайних алгоритмах географічної маршрутизації, процес доставки пакетів побудований на послідовному скороченні відстані між поточним вузлом (починаючи з відправника) і одержувачем, але для його розрахунку замість координат в фізичному просторі використовуються віртуальні координати і метрики віртуальної відстані в загальному випадку відмінні від евклідової норми.

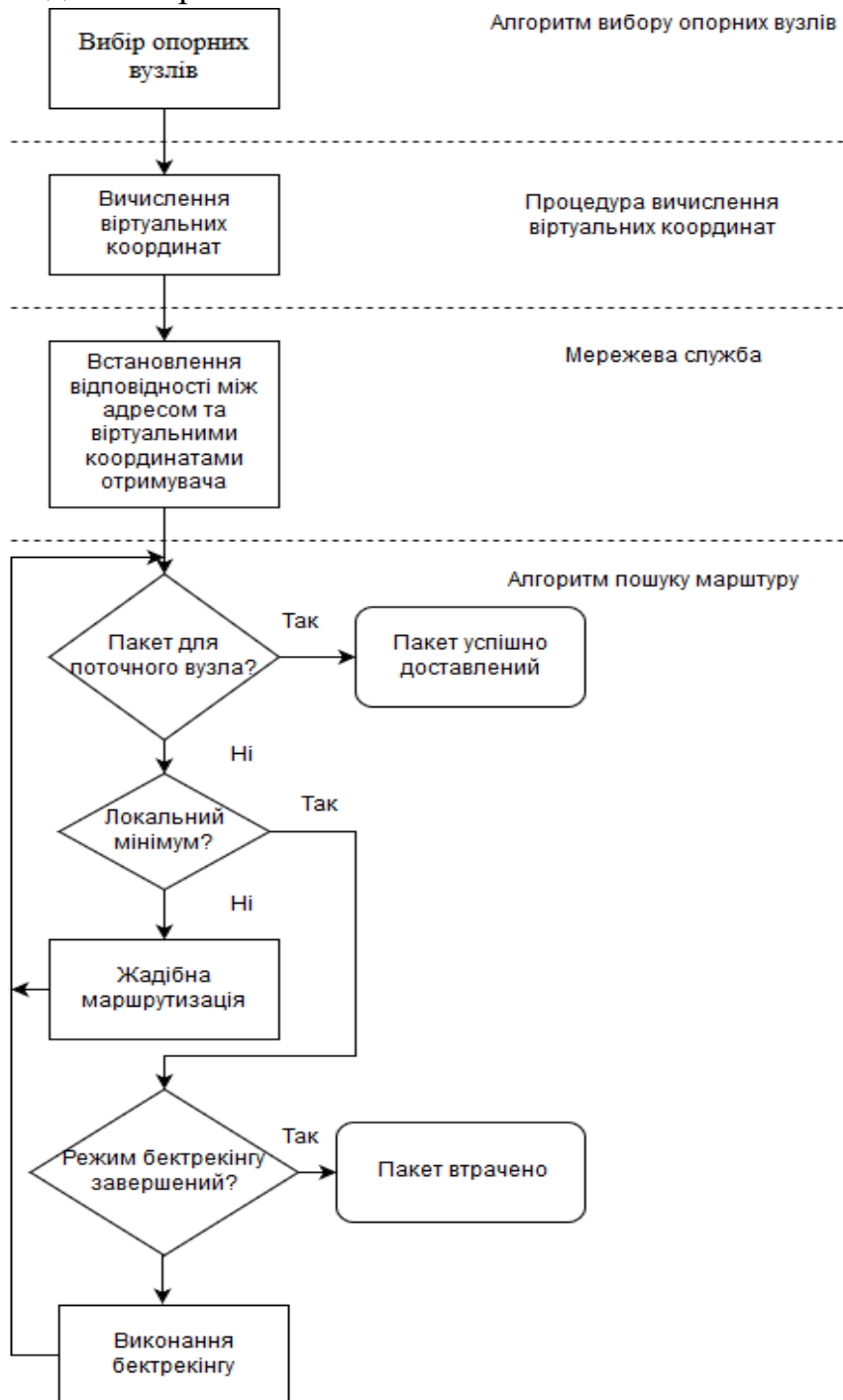


Рис. 1. Загальна структура методу маршрутизації за віртуальними координатами.



*Загальний опис методу.* Пропонований метод маршрутизації по віртуальним координатам, загальна структура якого показана на рис. 1, передбачає виконання таких дій:

1. При початковій ініціалізації мережі за допомогою розподіленого алгоритму вибирається  $n_L$  опорних вузлів, які періодично починають передачу спеціальних ширококомовних сигнальних пакетів, а решта вузли ці пакети тільки ретранслюють.

2. Аналізуючи отримані сигнальні пакети, всі вузли мережі обчислюють вартість оптимальних шляхів до кожного з опорних вузлів. В результаті кожен вузол мережі  $v \in V$  отримує вектор віртуальних координат  $\vec{v} = \{v_i\}_{i=1}^{n_L}$  в якому елемент  $v_i = C[p_{opt}(v, l_i)]$ , де  $p_{opt}(v, l_i)$  - маршрут з мінімальною вартістю між  $v$  та  $i$ -тим опорним вузлом  $l_i$ . При цьому  $v_i=0$ , якщо вузол  $v$  є  $i$ -тим опорним вузлом. Новий метод відрізняється від існуючих тим, що при обчисленні віртуальних координат використовується значення вартості маршруту, а не його довжина.

3. Як і у всіх аналогічних методах, для початку процедури маршрутизації по віртуальним координатам відправник  $s$  повинен знати адресу призначення  $t$  і його віртуальні координати  $\vec{t}$ .

4. Процес виявлення шляху доставки пакета даних від  $s$  до  $t$  полягає в послідовній мінімізації віртуального відстані до  $t$  відповідності з алгоритмом пошуку маршрутів.

Проаналізовано основні методи географічної маршрутизації. Розглянуто основні переваги і недоліки цього методу. Запропоновано новий метод маршрутизації по віртуальним координатам та визначено основні етапи його роботи.

## Література

1. Liu K., Abu-Ghazaleh N. Virtual coordinate backtracking for void traversal in geographic routing // Proceedings of the 5th international conference on ad-hoc networks and wireless. Ottawa (Canada), 2006. P. 46-59.
2. Cao Q., Abdelzaher T. A scalable logical coordinates framework for routing in wireless sensor networks // Proceedings of the 25th IEEE international realtime systems symposium. Lisbon (Portugal), 2004. P. 349-358.
3. Cao Q., Abdelzaher T. Scalable logical coordinates framework for routing in wireless sensor networks // ACM transactions on sensor networks. 2006. Vol. 2, no. 4. P. 557-593.

## АЛГОРИТМ ПОШУКУ ДОЦІЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Прищепя Т.О., Лисенко О.І.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: its\_tk@ukr.net*

### The search algorithm of expedient location of the node of wireless sensor networks

The paper describes the algorithm for finding appropriate placement of routers when deploying wireless sensor networks. Was based on a method in which to reduce exhaustive search options for placement of routers is proposed to use a set of rules, a combined knowledge base.

Задача пошуку доцільної топології мережі вузлів (маршрутизаторів) є однією із ключових задач телекомунікаційного профілю при розгортанні безпроводових сенсорних мереж (БСМ). Суть цієї задачі полягає у визначенні положення маршрутизаторів на місцевості та розрахунку взаємозв'язків між ними і іншими вузлами.

Відомі на сьогодні підходи до рішення подібних задач засновані на застосуванні апарату комбінаторного аналізу [1-4]. Подібні алгоритми опираються на представлення мережі передачі даних у вигляді графу і повного його перерахування. Основною перевагою даного підходу є можливість отримання точного рішення, тому для невеликих мереж цей підхід є ефективним. Недоліком таких алгоритмів є топологія мереж великої розмірності, так як число графів, які генеруються зростає експоненціально зі збільшенням числа вузлів мережі.

Тому при великій кількості вузлів існуючі підходи не дозволяють мати високу пропускну здатність, і саме тому потрібно вдосконалювати існуючі методи знаходження розміщення ретрансляторів.

**Постановка задачі.** Розглянемо приклад архітектури БСМ (рис. 1). БСМ складається із сукупності  $S$  кінцевих вузлів (КВ), на деякій території розміром  $r$ . Для того, щоб зібрати дані з КВ і передати їх на шлюз використовується сукупність  $K$  ретрансляторів (маршрутизаторів) з радіусом зони радіопокриття  $R$ . Якщо КВ знаходиться в зоні радіопокриття ретранслятора, данні мережею ретрансляторів потрапляють до координатора  $C$ , а від нього на шлюз, а потім через глобальні мережі в центр обробки даних.

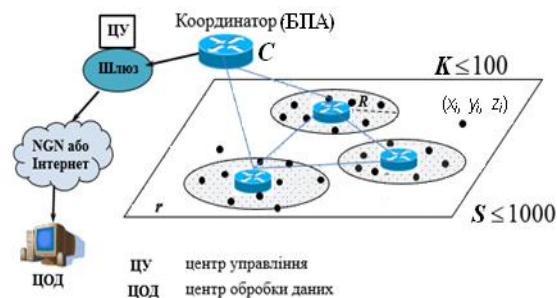


Рис. 1. Приклад безпроводової сенсорної мережі

Якщо під топологією мережі розуміти сукупність геометричного розташування її вузлів і ймовірностей використання комунікацій між ними для доставки повідомлень, тоді БСМ можна представити у вигляді спрямованого зваженого графа, що складається з  $N$  вершин (вузлів) і  $M$  ребер (каналів зв'язку) (рис. 2).

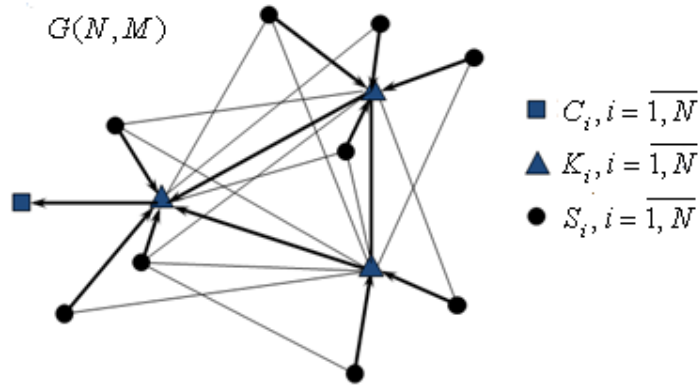


Рис. 2. Приклад графу безпроводової сенсорної мережі

Таким чином, можемо сформулювати наступну *математичну постановку задачі* – знайти таку топологію мережі (місце розташування вузлів), яка мінімізує вартість транспортування потоків даних від КВ до шлюзу, при виконанні обмежень на ресурси мережі, забезпеченні зв'язності і показників функціонування мережі:

$$X_0 = \arg \min_{X_0 \in \Omega_{1,2}} C(X) = \arg \min_{X_0 \in \Omega_{1,2}} \sum_{i=1}^{N+K} \sum_{j=1}^{N+K} W_{ij}, i \neq j, \quad (1)$$

$$\Omega_1 : \{X \in r, p_{ij} \leq PER^0, P \leq P^0, N \leq 1000, K \leq 100\}$$

$$\Omega_2 : \{s(m_{ab}) \geq s^0, t_3(m_{ab}) \leq t_3^0, a, b = \overline{1, N}\},$$

де  $X$  – вектор координат проєкцій розміщення множини БПЛА;  $PER^0$  – граничне значення ймовірності пакетної помилки в радіоканалі;  $P, P^0$  – надійність і обмеження надійності мережі;  $s(m_{ab}), t_3(m_{ab}), s^0, t_3^0$  – пропускна здатність (ПЗ) і затримка в маршруті  $m_{ab}$  і відповідні обмеження.

**Алгоритм пошуку доцільного розташування вузлів (ретрансляторів) БСМ.** Відомі алгоритми перерахування графів приводять до отримання точних рішень, але наявність сотні (тисячі) вузлів потребує значних затрат часу. Тому для скорочення повного перебору варіантів розміщення ретрансляторів пропонується використовувати сукупність правил, поєднаних в базу знань.[2]

Це дозволяє отримати в реальному часі близькі до оптимальних рішення та використовувати запропонований алгоритм для оперативного управління положенням ретранслятора.

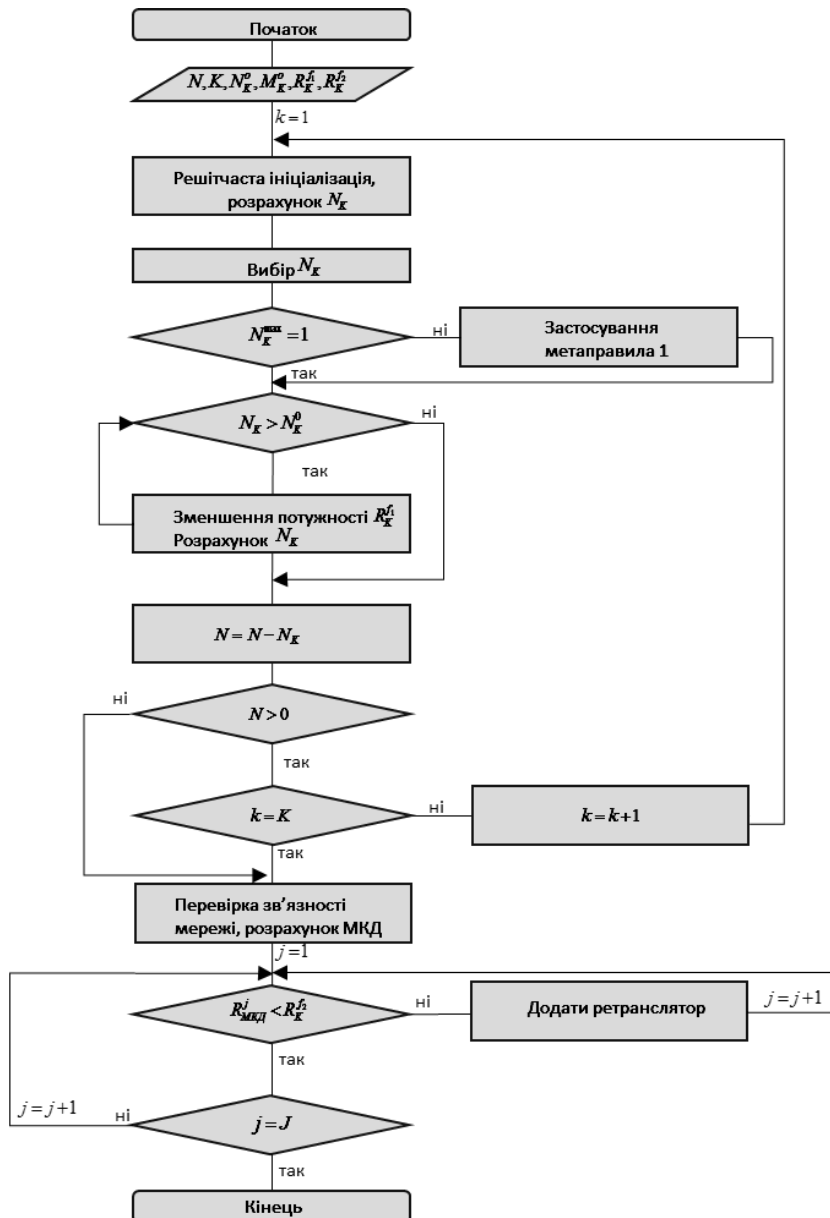


Рис. 3. Схема-алгоритм управління положенням маршрутизаторів

В роботі наведений алгоритм пошуку доцільного розміщення маршрутизаторів при розгортанні безпроводових сенсорних мереж. За основу було взято метод, в якому для скорочення повного перебору варіантів розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати сукупність правил, поєднаних в базу знань.

### Література

1. Костевич Л.С. Математическое программирование: Информ. Технологии оптимальных решений: Учеб.пособие / Л.С. Костевич. – Мн.: Новое знание, 2003. – 424 с.: ил.
2. Валуйський С.В., Прищеп Т.О., Димид М.Д. Алгоритм пошуку раціонального розміщення ретрансляторів при розгортанні безпроводних сенсорних мереж // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2016. – Вип.11. С.1-9.
3. Ramesh, M. V. Wireless Sensor Network for Landslide Detection [Текст] / M. V. Ramesh, S. Kumar, P. V. Rangan// 2009 International Conference on Wireless Networks (ICWN'09): conference, June 14, 2009: proceedings. – Las Vegas, 2009. – P. 1–7.
4. Вишне夫斯基 В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей, - М.: Техносфера, 2003, 512 с.

## MODIFIED METHOD OF CLUSTERING FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

**Kurdecha V.V., Kuzimovych M.M.**

*National Technical University of Ukraine*

*“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”*

*E-mail: vt14m@yandex.ua, kuzimovich8@gmail.com*

### МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

У статті описується модифікований метод кластеризації сенсорних мереж, який застосовується для підвищення енергоефективності системи, що базується на використанні декількох критеріїв в сукупності для відбору головного вузла і формуванні кластеру та на поєднанні двох схем звітності сенсорів.

Wireless sensor networks (WSNs) consist of a large amount of sensors to collect and transmit data, which are widely used in various activities nowadays. In a cluster-based WSN, the cluster head (CH) is responsible to collect data from the cluster members (CMs) in each cluster, to aggregate the collected data and then to send it to the sink.

CH selection, cluster formation and data transmission are considered as the main things needed to be optimized for energy saving. Many criteria were investigated: residual energy (like DEEC, REACH-ME, SEP, LEACH-CE, etc. [1]); distance and location (Euclidean distance calculating among nodes [2]); node density (PS-LEACH – extension of LEACH [3]).

The main aim of monitoring applications built on the grounds of wireless sensor networks is to detect some event and send actual and accurate information to users. More often than not the detected event may spread to a larger region or/and may change its location (Figure 1, a-b).

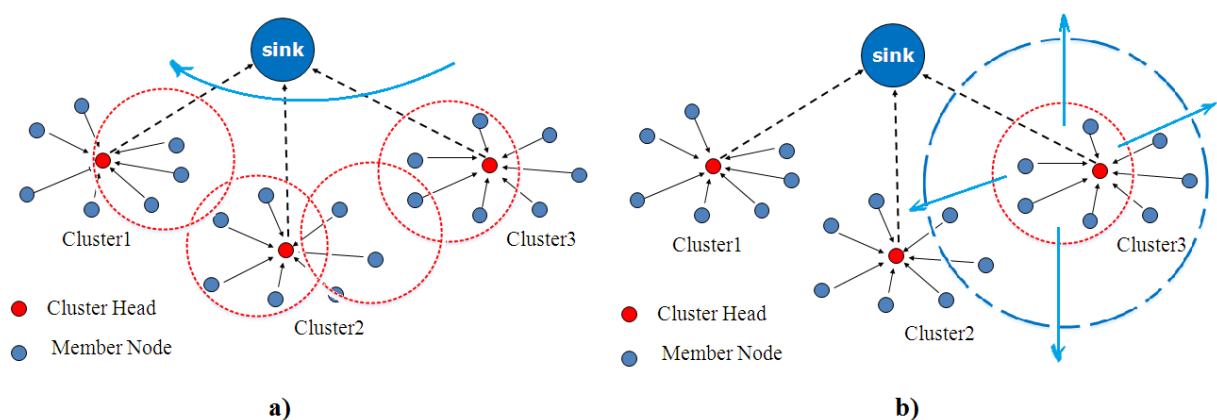


Fig. 1. Event migration (a) and extension (b) example.

So additionally, it is needed to modify nodes schedule depending on event appearance and its changes to aim energy efficiency.

Proposed method is extended - it takes for account not one, but several criteria

at once to get common rule for CH's selecting and cluster formation. It is proposed to exam and take for account all described above criteria together to reduce and balance the energy consumption as a result.

By the way, it combines two reporting schemes together - event-driven and time-driven schemes to provide both energy efficiency and data transmission accuracy. Method applying and main steps are shown on Figure 2:

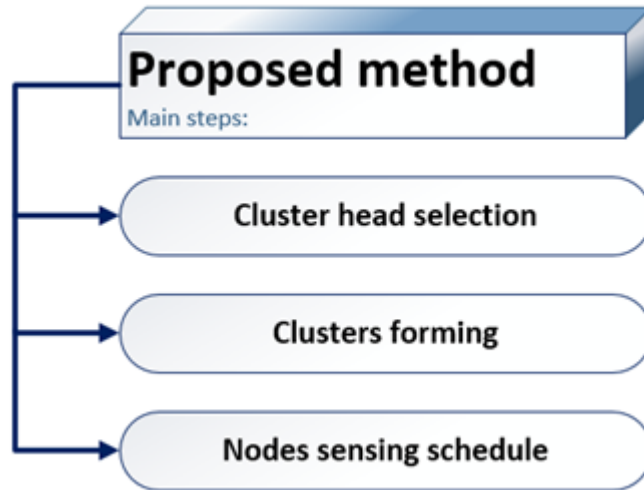


Fig. 2. Proposed method main steps.

Cluster head selection.

1. Suppose that amount of cluster heads for every round is constant and determines by  $r(d)$  – mean ratio of CHs to all nodes from formula (1) [3]:

$$H(d) = \begin{cases} \frac{r(d)}{1 - r(d) \times [\varphi \bmod (1/r(d))]}, & \text{if } d \in \bar{S}; \\ 0, & \text{Otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

2. In every round, a particular sensor device  $d$  obtains a random uniform value between 0 and 1 and it is compared with the threshold  $H(d)$ . Threshold depends of active sensing region of node  $\mu(d)$  criterion – ratio of part of node sensing region, which is separately practiced by only this defined node to rest of node sensing region, sensed by this node and by other near placed nodes. It calculates using values of Euclidian distances among nodes. Sensor device with smaller value of  $\mu(d)$  is been given higher likelihood of being cluster head.

3. If obtained value is less than threshold, this sensor elects himself as pretender to be a cluster-head and transmits their residual energy to base station.

4. Base station chooses  $r(d)$  nodes with max residual energy to be CHs.

CH's reselection. Frequent updating of CHs results in additional energy consumption. When the residual energy for CH is less than some energy threshold, the nearest CM with residual energy more than in CH is selected.

Clusters forming.

1. Calculating own value of active sensing region  $\mu(d)$  node considers other nodes placed in its sensing region. Nodes with large amount of near placed nodes and with high residual energy reserve is chosen as a CH.

2. Suppose that making this calculating, every node knew locations of other ones, every such group of nodes with chosen CH forms in result own cluster.

Nodes sensing schedule.

Data sensing and transmission combines two schemes – event-driven + time-driven (Figure 3).

The event-driven data-reporting scheme can be used to save energy. Nodes communicate at a low frequency. Then they transmit data to CHs only when they sense a change (substantial difference between two adjacent sampling instant).

Once an abnormal phenomenon is detected, data reporting switches to the time-driven scheme - sensors in the event area send data to CHs periodically at a higher frequency.

After the abnormal phenomenon disappears, data transmission will switch back to the event-driven scheme.

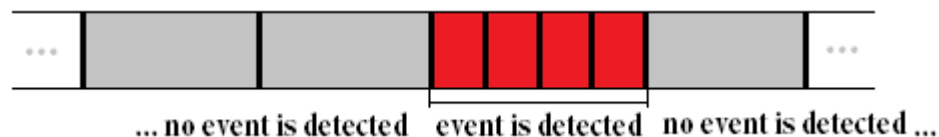


Fig. 3. Switching from event-driven to time-driven reporting.

*Conclusion.* The CH's selection and clusters formation significantly influence on energy consumption of sensor network, so generally it was considered particular criterion separately from other ones, which decreases accuracy towards energy consumption and enhancing its efficiency. Moreover energy saving is directly connected with nodes work time and downtime duration, which is impossible to evaluate without event consideration.

Proposed modified method involves several criteria in clustering algorithm, which leads to more justified decisions in terms of energy, as well as it applies joint event-driven and time-driven data sending scheme to ensure both high energy efficiency and performance exactness.

## References

1. T. Samanchuen, An Energy Efficient Routing Protocol with Stable Cluster Head for Reactive Wireless Sensor Networks. Nakorn Pathom, Thailand: Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), 2016.
2. Xuan Liu, Jun Li, ZY Dong, Fei Xiong, Joint Design of Energy-Efficient Clustering and Data Recovery for Wireless Sensor Networks. Beijing, China: IEEE Access (Vol. 5), 2017.
3. M. Patil, C. Sharma, Energy Efficient Cluster Head Selection to Enhance Network Connectivity for Wireless Sensor Network. Bangalore, India: Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), IEEE International Conference, 2016.

## LPWAN З ВИКОРИСТАННЯМ RASPBERRY PI І ТЕХНОЛОГІЇ LORA

Могильний С.Б., Голощапова К.А.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: isearch@ukr.net

### LPWAN using Raspberry Pi and LoRa technology

Based on the analysis of existing types of sensor networks the possibility of building a network based on economic LPWAN devices and technologies LoRa. Considered design educational network using a gateway LoRa on Raspberry Pi.

Кількість пристроїв, підключених до Інтернету невідмінно зростає (рис.1) [1] і їх все частіше об'єднують в сенсорні мережі, які дозволяють збирати дані з багаточисельних сенсорів, передавати їх на хмарні сервіси. Там відбувається накопичення інформації, її обробка та формування зворотних сигналів керування. Для ефективної роботи такої системи Інтернету речей необхідно забезпечити довготривалу і надійну роботу каналів збору даних, охоплення одним шлюзом великої території і, звичайно, більш низьку вартість.

Основні технічні параметри діючих сьогодні мереж LPWAN (low-power wide area network – мережа з широким охоплення і низьким енергоспоживанням) наведені в табл. 1 [2].

Таблиця 1 Основні параметри розповсюджених сенсорних мереж

Рішення	Модель	Частота, МГц	Дальність, км	Швидкість передачі даних	Розмір пакету
Sigfox	Пропріетарна	868/902	за містом: 30-50 в місті: 3-10	завантаження: < 300 Кбіт/с скачування: 8 біт в день	12 біт
LoRaWAN	Альянс	433/780/868/915	за містом: 15 в місті: 2-5	300 біт/с – 50 Кбіт/с	визначає користувач
Ingenu	Пропріетарна	2400	за містом: 5-10 в місті: 1-3	завантаження: 624 Кбіт/с скачування: 156 Кбіт/с	8 біт – 10 Кбіт
Weighless-W	Альянс	400-800	5	1 Кбіт/с – 10 Мбіт/с	> 10 біт
Weighless-N	Альянс	< 1 000	3	100 Кбіт/с	< 20 біт
Weighless-P	Альянс	< 1 000	2	200 біт/с – 100 Кбіт/с	> 10 біт
Dash7	Альянс	433/868/915	< 5	10, 56 або 167 Кбіт/с	< 256 біт

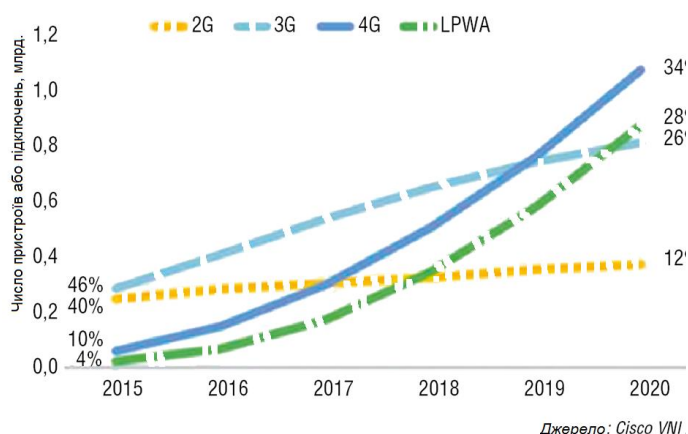


Рис. 1 Темпи зростання числа пристроїв, підключених до Інтернету.



Технологія LoRa спирається на метод модуляції, запатентований компанією Semtech і відкритий мережевий протокол Long Range Wide Area Networks (LoRaWAN). Модуляція LoRa заснована на технології розширення спектру (Spread Spectrum Modulation) і зміні лінійної частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum, CSS) (рис. 2) [3]. Таке рішення забезпечує високу стійкість зв'язку на великих відстанях і може забезпечити чутливість до -138 дБм (рис. 3) [4]. Модуляція LoRa визначає фізичний рівень мережі радіодоступу, яка може мати різну топологію. Розвитком технології LoRaWAN займається некомерційна організація LoRa Alliance, в яку входять такі компанії, як IBM, Semtech, Cisco, Actility та ін.

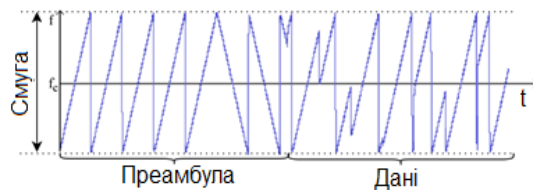


Рис. 3 Метод CSS частотної модуляції

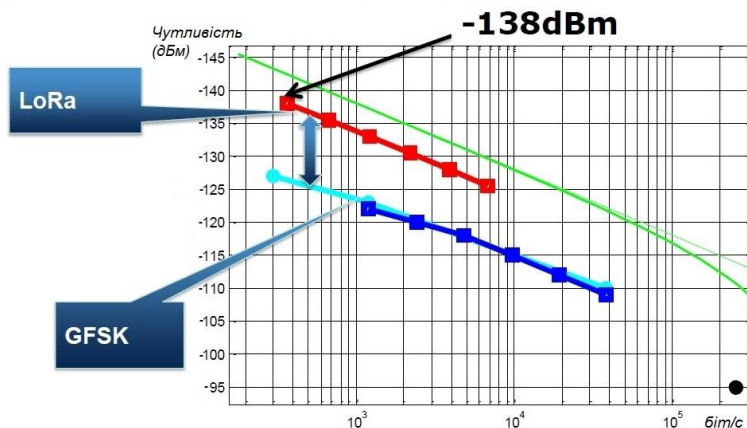


Рис. 2 Залежність отриманої чутливості від швидкості передачі даних.

Зона охоплення базової станції (шлюзу) в мережі LoRaWAN становить до 15 км, швидкість передачі даних - до 50 Кбіт/с (табл. 1). Заявлена тривалість автономної роботи кінцевого пристрою (при використанні акумулятора ємністю 2000 мА·год) – 105 місяців, тобто майже дев'ять років. Максимальний бюджет

лінії зв'язку з використання технології LoRa 168 дБ. Безперечною перевагою сенсорної мережі на основі технології LoRa також є використання безліцензійних частотних діапазонів (для України – 433 МГц), що дозволяє створювати невеликі приватні мережі.

Ціна радіомодулів LoRa становить 14-22\$ при ціні самої мікросхеми близько 5\$. Для дослідження можливостей сенсорних мереж і навчання студентів нових технологій Інтернету речей оправдано використати при

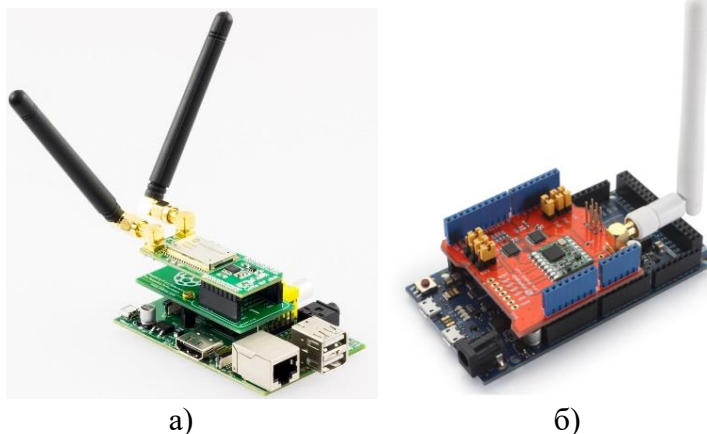


Рис.4 Шлюз для LoRa на Raspberry Pi (а) і LoRa Shield для Arduino (б).

побудові мережі доступні технічні рішення, які забезпечують необхідні параметри. Наприклад, Raspberry Pi (38\$) для побудови шлюзу і мікроконтролер Arduino (3\$) для підключення сенсорів (рис. 4).

Параметри мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3 (4 ядра, 1 Гб оперативної пам'яті, частота тактування 1,2 ГГц [5] перевершують параметри популярної конструкції шлюзу LoRa EMB-GATE-LR (одноядерний ARM Cortex-A, 5 12 Мб оперативної пам'яті, частота 536 МГц). Ціна EMB-GATE-LR перевищує 300\$. Також важливо, що на Raspberry Pi використовується

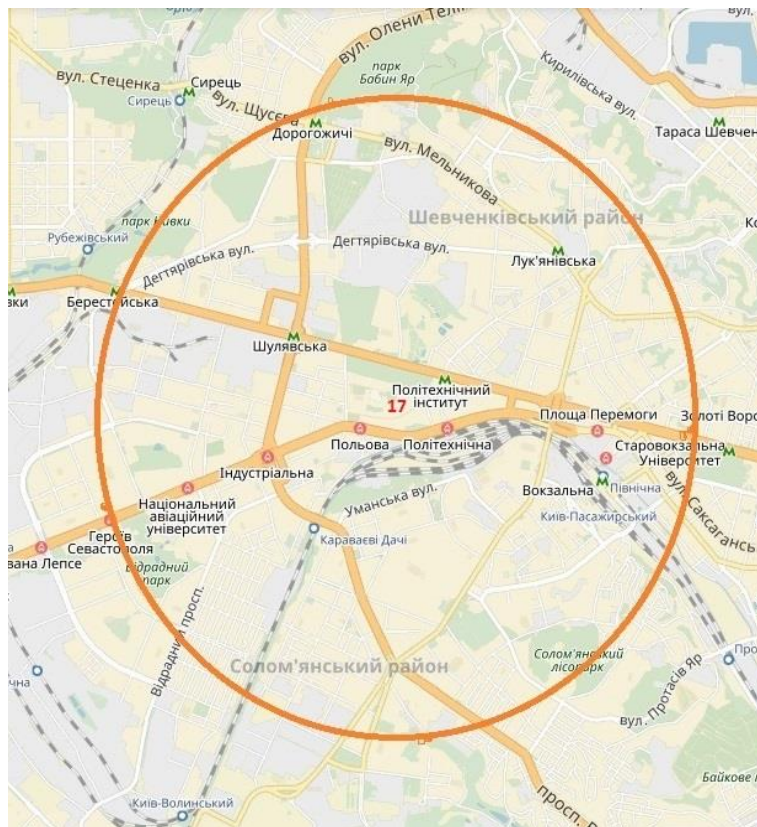


Рис. 5 Очікувана область охоплення

відкрита операційна система Raspbian (на основі ядра Linux), яка швидко розвивається і під яку можна налаштувати будь-який пристрій.

На рис. 5 показана очікувана область охоплення території сенсорної навчальної мережі при розміщенні шлюзу на 5 поверсі 17-го навчального корпусу (для досяжності радіоканалу 3 км). Варто зазначити, що технологія LoRa дозволяє підключити до шлюзу до 20 тис. пристроїв.

В рамках проекту для підтримки профілів користувачів створений сервісний сайт [iot.kpi.ua](http://iot.kpi.ua). Окремі завдання проекту стали основою випускних робіт бакалаврів спеціалізації «Інформаційно-комунікаційні технології». Реалізована апаратна частина мережі і основне програмне забезпечення, які підтвердили очікувані параметри. Попереду дослідження швидкодії передачі даних, в тому числі, окремих зображень, та вимірювання отриманої дальності передачі.

#### Література

1. Сети для IoT: LPWAN. Available at: <https://www.osp.ru/lan/2016/11/13050722/>
2. A Detailed Breakdown of LPWAN Technologies and Providers. Available at: [http://web.luxresearchinc.com/hubfs/Insight\\_Breakdown\\_of\\_LPWAN\\_Technologies.pdf](http://web.luxresearchinc.com/hubfs/Insight_Breakdown_of_LPWAN_Technologies.pdf)
3. Augustin A.; Yi J.; Clausen T.; Townsley W.M. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors* 2016, 16, 1466.
4. Semtech Wireless Products. LoRa™ Introduction: Cambridge Wireless. 2015, 28 p
5. Могильний С.Б. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi – інструмент дослідника / С.Б. Могильний. / - К.: Талком, 2014. — 340 с.

## МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ У МЕРЕЖАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

**Курдеча В. В., Іщенко І. О, Захарчук А. Г.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: 9bandriy@ukr.net*

### **Clustering method in the IoT systems using fuzzy logic**

The concept of the IoT is becoming increasingly important for the development of networks, especially for sensor networks. In the IoT sensor networks, energy efficiency is a problem, associated with the limited energy of sensor nodes.

Концепція Інтернету Речей набуває все більшого значення для розвитку мереж зв'язку, а особливо для сенсорних мереж. При цьому в сенсорних IoT мережах існує проблема енергоефективності, яка пов'язана з обмеженістю енергоресурсів сенсорних вузлів.

В серії робіт [3] досліджується можливість використання нечіткої логіки і кластеризації за допомогою діаграм Вороного у сенсорних мережах, але ніде не описана можливість одночасного використання даних підходів, тому у роботі запропонована модель для підвищення енергоефективності сенсорних мереж, за рахунок розробки алгоритму кластеризації з використанням діаграм Вороного і вибору головного вузла кластера з використанням методів нечіткої логіки.

Для підтвердження ефективності запропонованого рішення проводиться моделювання наступної системи:

Пропонується, що  $S$  сенсорів розподілені випадковим чином на площині, наприклад, для моніторингу навколишнього середовища.

Сенсорне поле ділиться на 2 логічні області (перша область від 0 – 50м і друга 50 – 100м) для ефективною комунікації між головним вузлами і базовою станцією. Шлюз і головні вузли у безпосередній близькості від БС використовують пряму передачу, головні вузли далі ніж 50м від БС використовують шлюз для передачі даних.

Приймемо наступні вихідні дані:

- Базова станція (БС) розташована поза зоною сенсорного поля;
- Сенсорні вузи і БС стаціонарні;
- Стаціонарний шлюз розташований у центрі сенсорного поля;
- Всі сенсорні вузли однорідні і мають однакову початкову енергію.

Нище пропонується новий алгоритм вибору головного вузла кластера сенсорної мережі, який використовує одночасно переваги як діаграм

Вороного так і методів нечіткої логіки. У блок-схемі (рис.1) представлено виконання алгоритму кластеризації і вибору головного вузла кластера.

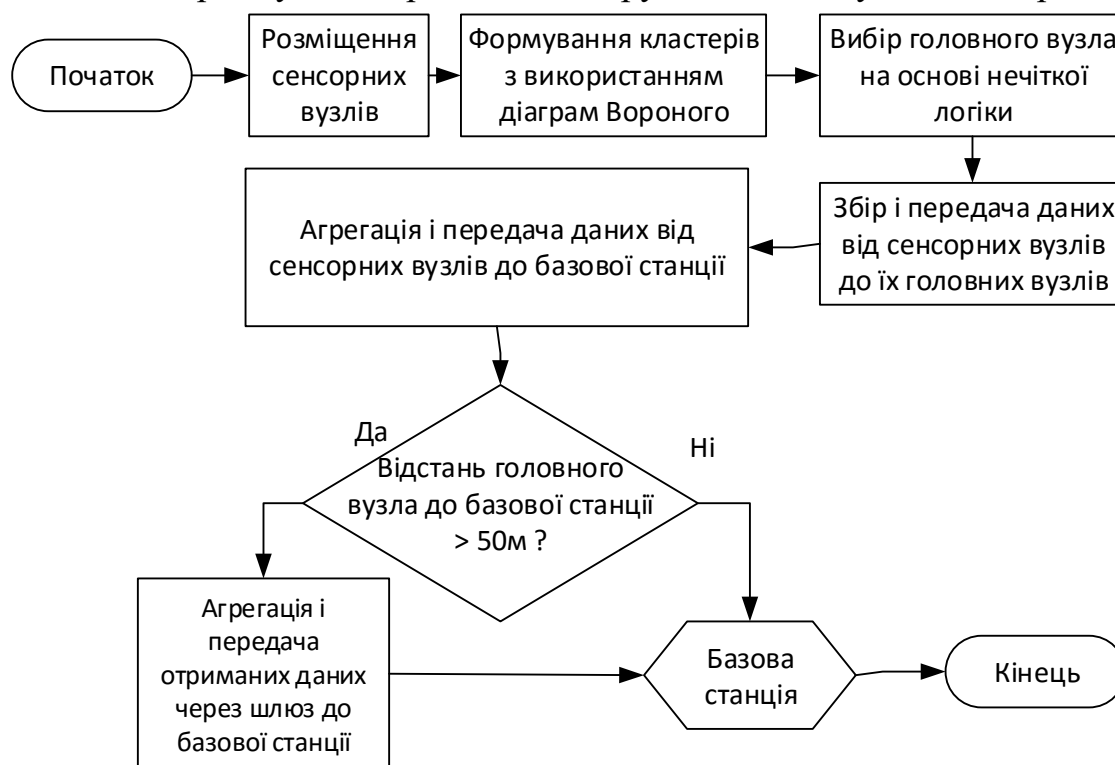


Рис.1. Розподіл електромагнітних полів досліджуваного типу коливання.

Підтвердженням підвищеною енергоефективності сенсорних мереж при застосуванні даного алгоритму є проведене імітаційне моделювання, його результати відображені на рисунках 2-3.

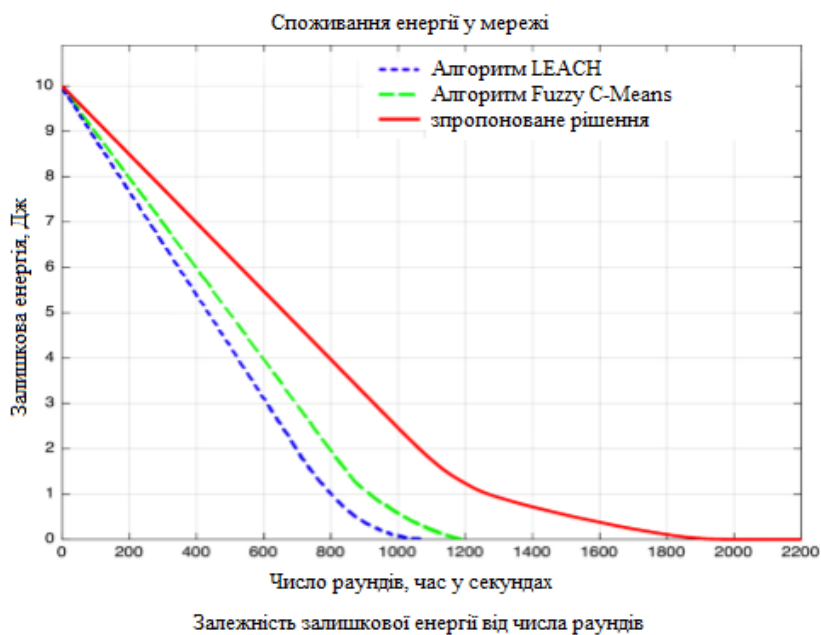


Рис.2. Залишок енергії у вузлах сенсорної мережі.

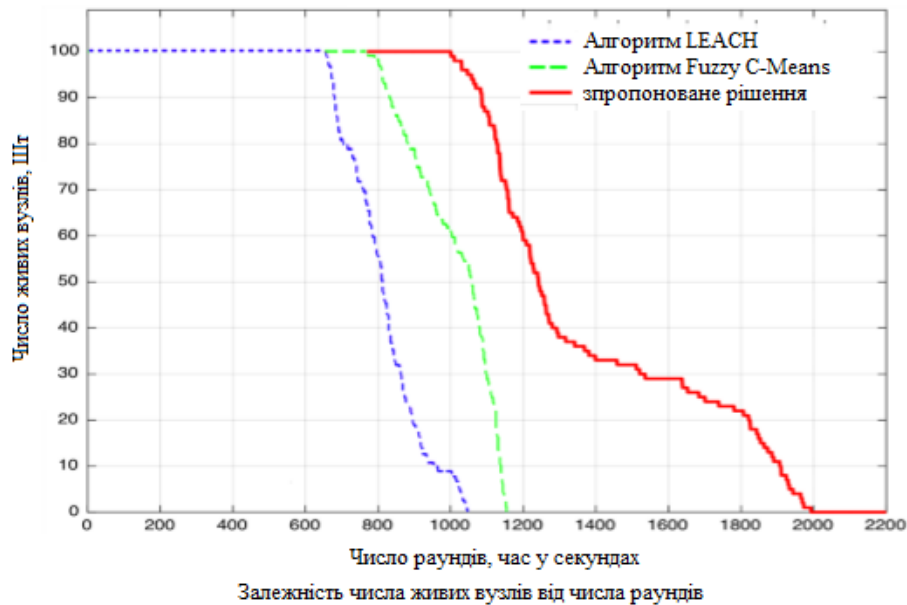


Рис.3. Життєвий цикл сенсорної IoT мережі.

Застосування даного методу для оцінки центральності положення безпроводних сенсорних вузлів при кластеризації діаграм Вороного дозволило істотно покращити характеристики кластеризуємої мережі, і, в першу чергу, збільшити тривалість життєвого циклу БСМ на 70% в порівнянні з відомим досі алгоритмом вибору головного вузла на основі використання методів нечіткої логіки і на 90% в порівнянні з LEACH. Даний алгоритм може застосовуватись виконавцями проектів по використанні кластеризації для побудови сенсорних IoT мереж, які стають все більш і більш складними за своєю структурою.

### Література

1. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – Санкт-Петербург: БХВ-С. Петербург, 2013. – 160 с.
2. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 736 с.
3. Аль-Наггар, Я. М. Кластеризация в беспроводных нательных сенсорных сетях [Электронный документ] / Я. М. Аль-Наггар // Электронный научный журнал "Информационные технологии и телекоммуникации". Выпуск 1(9)-2015. СПбГУТ. – С. 4-18. – Режим доступа: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>.
4. Кучерявый, А. Е. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2008. – 290 с.
5. Hadjila, M. A Routing Algorithm based on Fuzzy Logic Approach to Prolong the Life-time of Wireless Sensor Networks / Hadjila M., Guyennet H., Feham M // International Journal of Open Scientific Research IJOSR. – Oct. 2013. – Vol.1, № 5. – PP.24-35.
6. Globa L.S., Kurdecha V.V., Ishchenko I.O., Zakharchuk A.G. An approach to the Internet of Things system architecture. CADSM'2017.

## ВЫРОЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЯЧЕЙКАХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Ильченко М.Е., Живков А.П.

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского  
E-mail: lileya15@gmail.com*

### Degenerate Oscillations in the Metamaterial Unit Cells

In the paper we present the results of theoretical and experimental studies on the elementary metamaterial unit cells. We consider two degenerate oscillations in the widespread Split Ring Resonator (SRR) model of metamaterial unit cells. It allows us to easily explain their seemingly anomalous properties and improve the properties of these structures, that are often used in microwave engineering

Статья ведущего специалиста компании Raytheon Co. Эли Брукнера (Eli Brookner), открывающая ноябрьский номер журнала *Microwave Journal* за 2016 год [1], свидетельствует о том важном месте, которое метаматериалы заняли в современной микроволновой технике. Однако для специалистов, занимающихся подобными устройствами (микроволновыми фильтрами, фазированными антенными решетками и т.п.) становится все более очевидным, что традиционные подходы, заложенные уже в пионерских работах по метаматериалам [2], как к 3D структурам с отрицательными  $\mu$  и  $\epsilon$ , не всегда удобны при проектировании микроволновой техники.

В опубликованных ранее работах [3,4] отмечалась топологическая эквивалентность SRR (Split Ring Resonator) и режекторных фильтров, предложенных в [5]. Микрополосковая структура, образованная линией передачи и двумя не связанными между собой, параллельно включенными резонаторами, представлена на рис. 1:

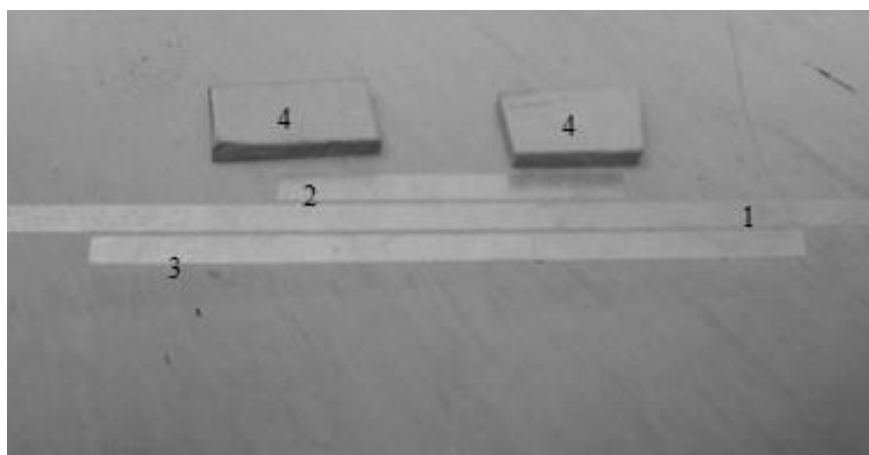


Рис. 1. «Ячейка» метаматериала.

1 – микрополосковая линия. 2 - резонатор длиной 21 мм,  
3 – резонатор длиной 42 мм, 4 – кусочки диэлектрика, аналогичного  
диэлектрику подложки ( $\epsilon = 10$ , толщина подложки – 2 мм)

Характеристики исследуемого режекторного фильтра в диапазоне 1250 –

5000 МГц представлены на рис. 2 а). Явно просматриваются три спектральных составляющих. Первая из них на частоте порядка 1500 МГц соответствует «полуволновому» колебанию резонатора 3 (рис. 1) (первая «гармоника»). Вторая спектральная составляющая на частоте порядка 2900 соответствует «полуволновому» колебанию резонатора 2 (его первая «гармоника») и «волновому» колебанию резонатора 3 (вторая «гармоника»). Наконец третья спектральная составляющая – третья «гармоника» резонатора 3. Не совсем стопроцентная кратность «гармоник» резонатора 3 обусловлена как влиянием его связи с линией передачи (разная на разных частотах), так и со смещением частоты второй гармоники под влиянием колебания резонатора 2. Частота «суммарного» колебания зависит от взаимной расстройки между частотами колебаний этих резонаторов [6].

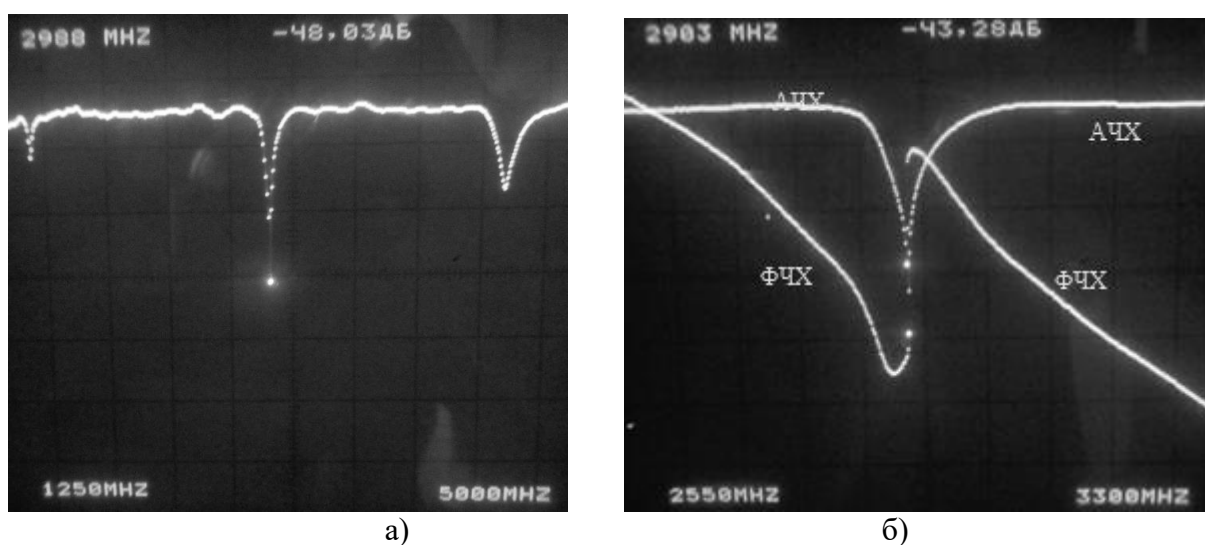


Рис. 2. Спектры колебаний ячейки метаматериала  
 а) диапазон частот – 1250 – 5000 МГц, б) амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики фильтра в диапазоне частот 2550 – 3300 МГц

Диапазон частот, в котором проявляются метаматериальные свойства ячейки, исследован более детально и результаты измерений коэффициента передачи фильтра ( $S_{21}$ ) представлены на рис. 2 б). Форма фазочастотной характеристики (на рис. ФЧХ) свидетельствует о том, что исследуемая структура является неминимальнофазовой, что на языке, принятом для 3D метаматериалов, эквивалентно встречной направленности групповой и фазовых скоростей распространения электромагнитной волны. Это свидетельствует также и о правильности выбора мостовых схем в качестве прототипов ячеек метаматериалов [3].

Аномально высокое затухание АЧХ (амплитудно-частотной характеристики, на представленной характеристике – 43 дБ, с помощью двух кусочков диэлектриков, приближение которых к концам того или иного резонаторов изменяет их «электрическую» длину, а, следовательно, и частоту, удавалось достигать затухания на центральной частоте более 60 дБ), связано вовсе не с чрезвычайно высокой добротностью резонаторов типа SRR, как это принято было считать до сих пор (см., например [7]). При

достаточно точной настройке плеч мостовой схемы она обеспечивает практически нулевой сигнал на выходе фильтра, то есть в традиционном представлении добротность, близкую к бесконечной. Это свидетельствует, во-первых, о том, что спектр резонаторов типа SRR содержит вырожденные колебания (снятие вырождения, достигаемое теми же кусочками диэлектрика, продемонстрировано в [4]), а во-вторых – о некорректности расчета добротности SRR как добротности одного резонатора (колебания).

Следует прокомментировать также общепринятое для метаматериальных структур мнение о малости ячеек по сравнению с длинами волн. Действительно, из-за влияния меньшего («полуволнового») внутреннего кольца SRR) резонансная частота внешнего («волнового» кольца) заметно снижается [8]. Кроме того, в рассмотренной нами микрополосковой структуре резонаторы вытянуты в линию, а в SRR реализованы в виде колец (соответственно расстояние между центрами SRR уменьшается примерно в 3 раза). Если добавить к этому еще и влияние диэлектрической подложки, становится понятным почему представление о малости типовых ячеек метаматериалов 3D структур по сравнению с длиной волны вполне справедливо. Это, однако, не исключает их топологической эквивалентности вытянутым линейным структурам типа представленных на рис. 1.

### Литература

1. E. Brookner “Metamaterial Advances for Radar and Communications” *Microwave Journal*, Nov2016, Vol. 59 Issue 11, p22-42. 11p.
2. J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart. “Magnetism from Conductors and Enhanced Nonlinear Phenomena”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 47, No. 11, November 1999.
3. Ильченко М.Е., Живков А.П., Орлов А.Т. Фильтры на базе резонаторов с близкими по частоте модами как ячейки метаматериалов.// *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2016. – № 1 (104). – С. 7–14.
4. Ильченко М.Е. Инверсия мод колебаний в ячейках метаматериалов / М.Е. Ильченко, А.П. Живков // Tenth International Scientific Conference “Modern Challenges in Telecommunications” (Київ, 19-22 квітня 2016 р.). м. Київ, 2016. Стр.20 – 23.
5. Режекторный СВЧ фильтр: А. с. 1529321 СССР, МКИ Н 01 Р1/20 /М.Е. Ильченко, А.П. Живков, А.Г. Витюк. – Опубл. 15.12.89, Бюл. № 46.
6. Ильченко М.Е. СВЧ устройства с использованием нескольких типов колебаний диэлектрических резонаторов / М.Е. Ильченко, А.П. Живков // *Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника*. – 1989. – Т. 32, № 5. – С. 56–59. (есть англ. версия: М. Е. Il'chenko and A.P. Zhivkov “UHF devices based on several dielectric-cavity mode types”, *Izvestiya VUZ, Radioelektronika*, vol. 32, No. 5, pp. 56-59, 1989).
7. U. L. Rohde and A. K. Poddar, “Möbius Metamaterial Inspired Next Generation Circuits and Systems” *Microwave Journal*, Vol. 59, No. 5, May 2016.
8. Radkovskaya, A. Shamonin M., Stevens C. J., G. Faulkner G., Edwards D. J., Shamonina E. and Solymar L. Resonant frequencies of a combination of split rings: experimental, analytical and numerical study. *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 46, 473–476.



## RSSI МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

**Бондарук О.А., Петрова В.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: alex.bondaruk9@gmail.com*

### RSSI Localization Method for Wireless Sensor Network Nodes

Wireless sensor network applications require node localization. In some scenarios, explicit node positioning (e.g. GPS) is not possible. This method can be used in wireless sensor networks for positioning nodes. The method is based on the use of additional similar nodes in base stations. Information about the location of built-in units compared with the global location and calculates the correction factor.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) є мережею з безліччю вузлів - мотів, які з'єднані за допомогою радіоінтерфейсу. Вони можуть застосовуватися в різноманітних галузях промисловості, медицини, сільського господарства, охорони, попередження НС, в побуті, в військових цілях і т.д. для моніторингу і контролю стану деякого контрольованого параметра (рис. 1).

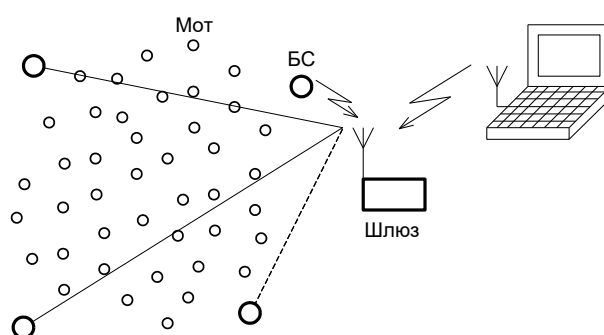


Рис. 1. Фрагмент БСМ.

У БСМ часто виникає необхідність знати місце розташування одного або декількох мотів, значення контрольованого параметра яких відхилилося від норми. Також деякі види маршрутизації в БСМ використовують інформацію про місцезнаходження вузлів для побудови ефективних маршрутів.

Є безліч способів позиціонування об'єктів, але, виходячи особливостей БСМ, ефективно використовуються тільки найбільш прості. Найчастіше це визначення координат мотів за допомогою GPS (Global Positioning System - Система глобального позиціонування) або RSSI (Received Signal Strength Indication - Індикація сили сигналу) [1]. Використання на кожному вузлі БСМ приймача GPS робить мережу занадто дорогою, тому що саме вартість мота визначає вартість мережі в цілому, з огляду на використання в мережі великої кількості вузлів (може досягати десятків тисяч). Тому найбільш прийнятним є метод RSSI, який використовується в безпроводових мережах повсюдно.

RSSI технологія встановлює місце розташування об'єкта, визначаючи відстані до БС по потужності прийнятого пілот-сигналу від БС при відомій потужності переданого по загасання за час поширення.

Величина загасання визначається як:

$$A = \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2, \quad (1)$$

де  $d$  - відстань між джерелом і приймачем сигналу,  $f$  - частота сигналу,  $c$  - швидкість світла.

З (1) можна виразити відстань від джерела сигналу (БС) до мота:

$$d = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{A}. \quad (2)$$

Звідси, знаючи відстані від усіх БС, місце розташування мота визначається, як точка перетину кіл (рис. 2).

Координати мота є рішенням системи рівнянь [2]:

$$(x_m, y_m) = \begin{cases} d_A^2 = (x_A - x_m)^2 + (y_A - y_m)^2 \\ d_B^2 = (x_B - x_m)^2 + (y_B - y_m)^2 \\ d_C^2 = (x_C - x_m)^2 + (y_C - y_m)^2 \end{cases}, \quad (3)$$

де  $d_i$  - відстань до  $i$ -ої БС,

$x_m, y_m$  - шукані координати мота,

$x_i, y_i$  - координати  $i$ -ої БС.

Даний метод дозволяє відносно просто і досить точно визначити локальні координати об'єктів, або (при заданих глобальних координатах на БС) шляхом рішення системи рівнянь (3) отримати глобальні координати об'єктів. Простота реалізації алгоритму робить його застосування ефективним в рамках використання на простих обчислювальних системах критичних до енергозбереження. Недоліком даного методу є недостатня точність визначення місця розташування при щільному розміщенні об'єктів невеликих габаритів, яке характерно для БСМ.

В основу розробленого методу покладено метод підвищення точності позиціонування технології RSSI за рахунок застосування  $n + 1$  БС (де  $n$  - мінімально необхідна кількість БС), в яких додатково встановлені моти, однотипні використовуваним в мережі. Тоді аналогічно позиціонуванню мотів за технологією RSSI проводиться взаємне позиціонування БС: по черзі  $n$  БС в широкомовному режимі розсилають пілот-сигнали, а  $i$ -та БС приймає сигнали на встановлений в ній мот, який оцінює відстані до кожної БС по (2) (рис. 3).

Використання на БС додаткового мота, аналогічного мотам мережі, виключає появу помилки (відмінності в рівнях прийнятого пілот-сигналу) через відхилення параметрів приймачів мота і БС. Порівняння глобальних (точних, від GPS) і локальних (визначаються за технологією RSSI) відстаней від  $n$  БС до  $i$ -ої

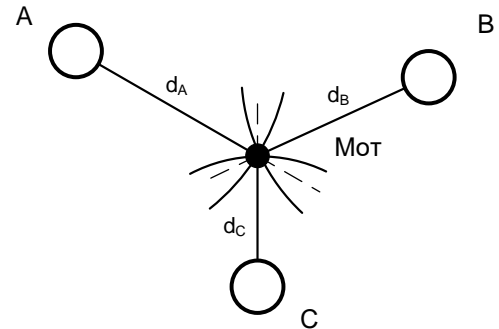


Рис. 2. Позиціонування мота.

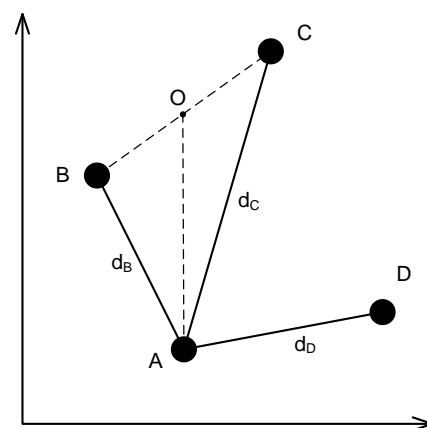


Рис. 3. Розрахунок коригувального коефіцієнту.

дозволяє визначити поправочний коефіцієнт для кожної БС:

$$k = \frac{d_{\Gamma}}{d_{\Pi}}. \quad (4)$$

Інформація про місцезнаходження мотів, що передають інформацію до БС А і В і знаходяться в секторі ВАО (рис. 3), коригується коригувальним коефіцієнтом  $k_{AB} = \frac{d_{\Gamma_{AB}}}{d_{\Pi_{AB}}}$ , а до БС А і С і знаходяться в секторі ОАС  $k_{AC} = \frac{d_{\Pi_{AC}}}{d_{\Gamma_{AC}}}$ .

Тобто моти, що визначили свої локальні координати за технологією RSSI упорядковано відповідно нерівностям

$$\begin{aligned} k_{AB} \text{ для } y \leq ax + b \\ k_{AC} \text{ для } y > ax + b \end{aligned} \quad (5)$$

де рівняння прямої АТ  $y = ax + b$  є рішенням системи рівнянь:

$$\begin{cases} y_O = ax_O + b \\ y_A = ax_A + b \end{cases} \quad (6)$$

$x_O, y_O$ , - глобальні координати точки О (в найпростішому випадку - середина відрізка),

$x_A, y_A$ , - глобальні координати точки А.

Аналогічно і для інших БС.

У зв'язку з тим, що передбачається, що всі особливості поширення радіохвиль в напрямку від і-ої БС до решти рівномірні в секторах, отриманих шляхом розбиття мережі на околиці БС, то доцільна коригування локальних координат мотів поправочних коефіцієнтів, розрахованим для відповідного сектора.

Таким чином, розроблений метод підвищення точності позиціонування вузлів в БСМ дозволяє досягти більш точної локалізації мотів, при цьому не ускладнюючи апаратну і програмну частини.

### Література

1. Nafarieh A. "A Testbed for Localizing Wireless LAN Devices Using Received Signal Strength," [Text]/ A. Nafarieh and J. How. Communication Networks and Services Research Conference, Halifax, 2008, pp. 481-487.
2. Converting Signal Strength Percentage to dBm Values [Електронный ресурс]/ WildPackets, November, 2002. – 11 С. Режим доступа: [http://www.wildpackets.com/elements/whitepapers/Converting\\_Signal\\_Strength.pdf](http://www.wildpackets.com/elements/whitepapers/Converting_Signal_Strength.pdf).
3. Chaczko Z. Methods of sensors localization in wireless sensor networks / Z. Chaczko, R. Klempous, J. Nikodem, M. Nikodem // In Engineering of Computer-Based Systems, 2007. ECBS'07. 14th Annual IEEE International Conference and Workshops, pp. 145–152. IEEE, 2007.

## ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

**Туранська О. С., Лисенко О.І.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: turanska.o.s@gmail.com*

### **Information Security in Wireless Sensor Networks**

The question of information security is very popular nowadays for all types of networks, wireless sensor networks are no exception. Wireless sensor networks are often used in battle, monitoring infrastructure or in disaster area, that's why is very important that the information is coming from the sensor was authentic and in time.

Питання безпеки інформації є дуже популярним в наш час для всіх типів мереж і безпроводові сенсорні мережі не є виключенням. Безпроводові сенсорні мережі часто використовуються в полі бою, для моніторингу звичайної інфраструктури чи в зоні стихійних лих і тому дуже важливо щоб інформація, яка поступає від сенсорів була достовірною і вчасною. В таких зонах сенсори часто залишаються без нагляду і тому стають мішенями для фізичних атак та несанкціонованого доступу до інформації.

В усіх типах побудови мережі є фундаментальні механізми для забезпечення основних служб безпеки. Таких як: конфіденційність, цілісність та доступність. Ці механізми повинні гарантувати те, що тільки ймовірний отримувач зможе правильно інтерпретувати повідомлення, що повідомлення не може бути змінено в процесі передачі та гарантувати здатність системи чи мережі виконувати задачі в будь-який час без перебоїв. Це першочергові цілі забезпечення безпеки мережі. Другорядними ж є актуальність даних, самоорганізація, часова синхронізація. Актуальність даних дозволяє перевірити, що повідомлення було відправлено вперше, а не є копією вже застарілого, самоорганізація дозволяє забезпечити досить незалежну і гнучку роботу сенсорів для можливості самовідновлення в топології в критичних ситуаціях, на часовій синхронізації базується успішна робота різних механізмів і протоколів в БСМ, вона використовується для визначення загальної часової шкали для всіх вузлів мережі.

Більшість атак на БСМ схожі на загрози, які можуть виникати при атаках в проводових мережах, але безпроводові мережі більш уразливі за рахунок своєї ширококомовної природи і відкритих каналів передачі даних.

Атаки можуть бути активними і пасивними. Пасивні атаки – це атаки, ціллю яких є виключно отримання інформації, яка передається. Частіш за все це моніторинг та прослуховування. Дана техніка являє собою найбільшу загрозу для конфіденційності даних.

Активні атаки – це атаки при яких відбуваються зміна даних, що передаються, неавторизованими особами. Найпоширеніші активні атаки:

- Атака маршрутизації. Атаки відбуваються на мережевому рівні моделі OSI. Найчастіше зустрічаються: змінна маршрутна інформація

(можуть виникати закільцювання маршрутів та збільшення часу передачі пакетів); вибіркоче розсилання (вузли, на які здійснюється вплив, можуть вибірково видаляти повідомлення призначені для передачі в мережі); атака «бездонна воронка»(вузол, на який здійснюється вплив, перенаправляє весь трафік в мережі через себе); атака «переповнення» (широкомовна атака, яка використовується для перенаправлення в сенсорну мережу необов'язкових повідомлень, для знищення таких ресурсів як канална ємність, обчислювальної потужність та ін.)

- Захват вузла. Призводить до отримання важливої інформації, наприклад криптографічних ключів.
- Спотворення повідомлень. Будь-яке спотворення повідомлення злочинцями несе в собі загрозу цілісності інформації.
- Фізичні атаки. Часто БСМ розміщують в місцях, де сенсори знаходяться без нагляду, тому вони є схильними до фізичного пошкодження, що пошкоджує сенсори без можливості відновлення.

Стандартним захистом від прослуховування та модифікації пакетів є криптографія. У мережах з рівноправними вузлами, криптографія з міжкінцевим шифруванням дозволяє досягти високого рівня безпеки, однак вимагає встановлення ключів між усіма вузлами мережі і є несумісною з широкомовною розсилкою і пасивною участю (технологія, завдяки якій вузол, що прослуховує сусідній до нього вузол мережі, може вирішити не передавати дані, в разі якщо точно такі дані передаються сусіднім вузлом). Криптографія на каналному рівні спрощує установку ключів і підтримує пасивну участь і трансляцію розсилку, проте дозволяє проміжним вузлів перехоплювати і змінювати повідомлення.

Досить розповсюдженими в сенсорних мережах є атаки відмови в обслуговуванні (DoS). Вони вимагають ефективних заходів, для їх уникнення та перешкоджання їх поширенню по всій мережі. Наприклад, коли виявляється або підозрюється атака перешкод, сенсорна мережа може спробувати ізолювати порушену область, направивши трафік навколо відключених частин мережі.

На каналному рівні атаки зіткнень і вичерпання можуть втілюватись шляхом використання кодів корекції помилок (які додають витрати обробки і комунікації) і схем, що обмежують розмір, що дозволяють пристрою ігнорувати запити, які можуть привести до передчасного енергетичного виснаження. Перетворення може бути адресовано на мережевому рівні за допомогою коду аутентифікації повідомлень, яка може бути розглянута як криптографічно безпечна контрольна сума повідомлення. Ці контрольні суми дозволяють одержувачу перевірити, імітувалося або змінювалося чи повідомлення.

Популярний протокол, який використовують для роботи БСМ – це стандарт IEEE 802.15.4 і специфікація ZigBee. Цей стандарт забезпечує чотири основних моделі безпеки: управління доступом, цілісність повідомлень, конфіденційність повідомлень і захист відтворення.

Стандарт розрізняє вісім наборів безпеки, кожен з різними рівнями захисту для переданих даних. Перший набір не передбачає захист, другий набір передбачає тільки шифрування (AES - CTR), супроводжуваний групою наборів тільки з аутентифікацією (AES - CBC - MAC), і групою наборів і з аутентифікацією і з шифруванням (AES - CCM). Набори, які пропонують аутентифікацію, відрізняються за розмірами MAC, які варіюються від 32 до 128 бітів. Для кожного набору, який пропонує шифрування, IEEE 802.15.4 також пропонує додатковий захист відтворення, що складається з монотонно збільшених порядкових чисел для повідомлень, щоб дозволити одержувачу виявляти атаки відтворення.

На додаток до засобів захисту IEEE 802.15.4 специфікація ZigBee також представляє поняття центру довіри, відповідальність зазвичай прийнята на координатора ZigBee. Центр довіри відповідальний за аутентифікацію пристроїв, що бажають приєднатися до мережі (адміністратор довіри), підтримка і розподіл ключів (адміністратор мережі) і включення наскрізний безпеки між пристроями (менеджер конфігурації).

ZigBee також диференціюється між житловим і комерційним режимом. У житловому режимі центр довіри дозволяє вузлам приєднуватися до мережі, але не встановлює ключі з мережевими пристроями. У комерційному режимі він генерує і підтримує ключі, і свіжість лічильників з кожним пристроєм в мережі. Недолік комерційного режиму - вартість пам'яті, яка росте з розміром мережі.

Подібно специфікаціям в стандарті IEEE 802.15.4, у ZigBee є кілька рівнів безпеки, включаючи нульова безпеку, тільки шифрування, тільки аутентифікація, і обидва і шифрування і аутентифікація.

Безпроводові сенсорні мережі використовуються в багатьох сферах нашого життя. Оскільки, як і будь-які комп'ютерні мережі, безпроводові теж піддаються загрозам та атакам, тому необхідно використовувати спеціальні протоколи та методи для захисту інформації, для зменшення ризиків потрапляння інформації, що передається в мережі, в чужі руки. У зв'язку із тенденцією до спрощення структури БСМ, необхідно вдосконалювати існуючі методи і розвивати нові.

### Література

1. Kui Ren, Wenjing Lou "Communication Security in Wireless Sensor Networks", year 2007
2. Murat Dener, "Security Analysis in Wireless Sensor Networks", year 2014
3. Adrian Perrig, John Stankovic, David Wagner, "Security in Wireless Sensor Networks Communications of the ACM, Page 53—57, year 2004.

## ОГЛЯД ПРОТОКОЛУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПРОВОДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

**Тарасюк В. О., Петрова В.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: vika\_tarasiuk008@mail.ru, : valentynapetrova@gmail.com*

### **The review of wireless sensor networks management protocol**

Today we need to develop the full stack of protocols for wireless sensor networks. One of the most important protocols is a management protocol that helps users monitor the wireless network, collect and analyze data and make a decision.

На сьогоднішній день Інтернет досяг значних масштабів у своєму розвитку. Його прототип, мережа ARPANET з комутацією пакетів, спочатку з'єднувала всього декілька вузлів, в той час як до 2020 року, за прогнозами експертів, Інтернет зможе з'єднати між собою близько 50 мільярдів об'єктів. Дана концепція більш відома як IoT – InternetofThings, або ж Інтернет речей, де через поширене використання датчиків, вся фізична інфраструктура тісно пов'язана з інформацією та комунікаційними технологіями; де інтелектуальний моніторинг та управління може бути досягнуто за допомогою використання мережевих вбудованих пристроїв. В такій системі пристрої з'єднуються між собою для передачі корисної інформації, вимірювання та контролю через розподілені сенсорні мережі.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) мають кілька специфічних характеристик, які відрізняють їх від традиційних мереж [1]. Така мережа, як правило, складається із сотень тисяч пристроїв, так званих датчиків, які, як правило невеликі за розмірами. Вузол датчика складається з джерела енергії, процесора, пам'яті та одного або більше сенсорних пристроїв. Джерело енергії вважається найважливішим ресурсом, так як всі інші компоненти залежать від нього, щоб працювати належним чином. До середовища БСМ додатків важко отримати доступ, що робить місцеве обслуговування, здійснюване технічним персоналом, складним або навіть неможливо. Ці та інші характеристики призводять до необхідності розробки мережі з низькими енергозатратами. Протокол повинен також враховувати всі обмеження, накладені цими мережами.

Традиційне управління мережею здійснюється протоколом SNMP [2] (Simple Network Management Protocol – простий протокол управління мережею) і протоколом, запропонованим для безпроводових мереж adhoc – ANMP [3] (Ad Hoc Network Management Protocol – протокол управління мережею Ad Hoc), їх життєздатність та реалізація на БСМ перевіряється.

Протокол повинен забезпечувати послуги, які будуть використовуватися в верхньому рівні стеку протоколів. Йдеться про протокол прикладного рівня, призначений для користувачів, які будуть спостерігати за мережею. Manna NMP – один із протоколів управління, за

допомогою якого відбувається «взаємодія» між спостерігачем та мережею. При використанні даного протоколу користувачі матимуть можливість «запитувати» мережу необхідну їм інформацію, значення атрибутів змінних, і отримувати повідомлення, якщо відбуватиметься якась важлива «подія в мережі».

Є певні варіації протоколів для транспорту, мережі і MAC рівня для БСМ. Проте, до цих пір не існує повного стандартного стеку протоколів для БСМ. Крім того, набір протоколів може бути ефективним для одного типу додатків, але неефективним для іншого. Питання визначення стеку протоколів БСМ до сих пір є відкритою темою. Manna NMP розглядатиме тільки аспекти, пов'язані на рівні додатків.

Формат повідомлення Manna NMP дуже схожий на SNMP за винятком деяких дрібних деталей, як, наприклад, механізм, який дозволяє додавати невелику затримку в посилці повідомлення. На рисунку 1 показані заголовки Manna NMP повідомлень. Також на рисунку 1 є типи повідомлень, які можуть використовуватися для зв'язку спостерігача з мережею.

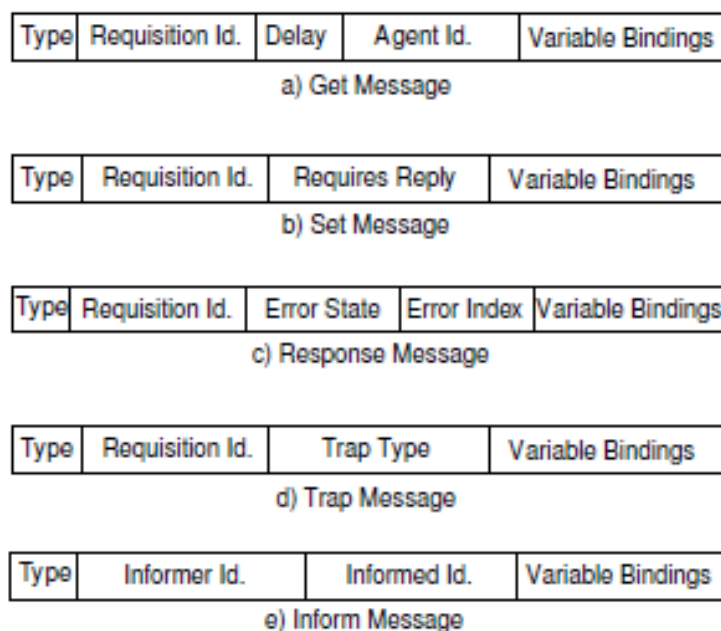


Рис. 1. Заголовки Manna NMP повідомлень.

Специфічні особливості БСМ вказують на необхідність визначення об'єктів, які повинні бути під контролем системи управління. Інформаційна база управління (MIB – Management Information Base) представляє об'єкти, які можуть бути в деякій системі. Тому для Manna NMP також пропонується Manna MIB – група об'єктів, пов'язаних з БСМ, якими можливо буде управляти.[3]

#### Література

1. I. Akyildiz, W. Su, Y. Sanakarasubramaniam, and E. Cayirci, Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks Journal, 38(4):393-422, March, 2002.
2. Stallings, William, SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2, Addison-Wesley, December, 1998.
3. <https://pdfs.semanticscholar.org/1c56/62c7f37124f357a7f2127cc347c11d45ec34.pdf>.



## ПЛАТФОРМА ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ЛЕТАЮЩИЕ ДАТЧИКИ

Ярмола И.А.

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского*

*E-mail: i.yarmola@gmail.com*

### Framework for data collection in Wireless Sensor Networks using flying sensors

A framework for data collection from a sensor network using flying sensor nodes. Efficient data communication within the network is a necessity as sensor nodes are usually energy constrained. The framework utilizes the various entities forming the network for a different utility compared to their usual role in sensor networks.

Беспроводные сенсорные сети получили глобальное внимание в последние годы, особенно с быстрым увеличением в технологии Microelectromechanical Systems (MEMS), которая упростила разработку умных датчиков.

Эти датчики маленькие с ограниченной обработкой и вычислительными ресурсами, и они недороги по сравнению с традиционными датчиками. Эти узлы датчика могут обнаружить, измерить и собрать информацию от среды и, на основе некоторого локального процесса принятия решений, они могут передать обнаруженные данные пользователю [1].

В кластеризации узлы датчика разделены на различные виртуальные группы согласно ряду правил. Некоторые узлы выбраны как кластерные головы, а другие узлы называют кластерными элементами.

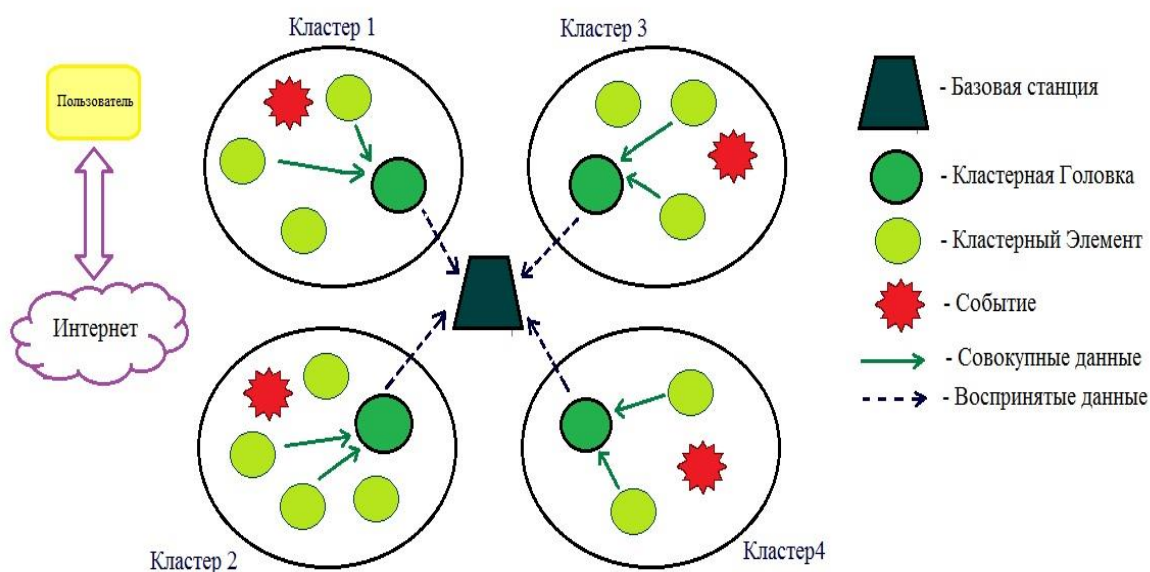


Рис. 1. Кластеризация в беспроводной сенсорной сети.

Кластерные головы ответственны за управление кластерными элементами и за получения и обработку данных от них. Они также узлы, имеющие возможность связаться с базовой станцией непосредственно, в то время как каждый кластерный элемент может сделать связь только с ее собственной кластерной головой (рис. 1) [2].

Сбор данных от сети до платформы полагается на следующие объекты: кластерная голова; сжимающее обнаружение; летающий датчик; базовая станция и узлы датчика (рис. 2).

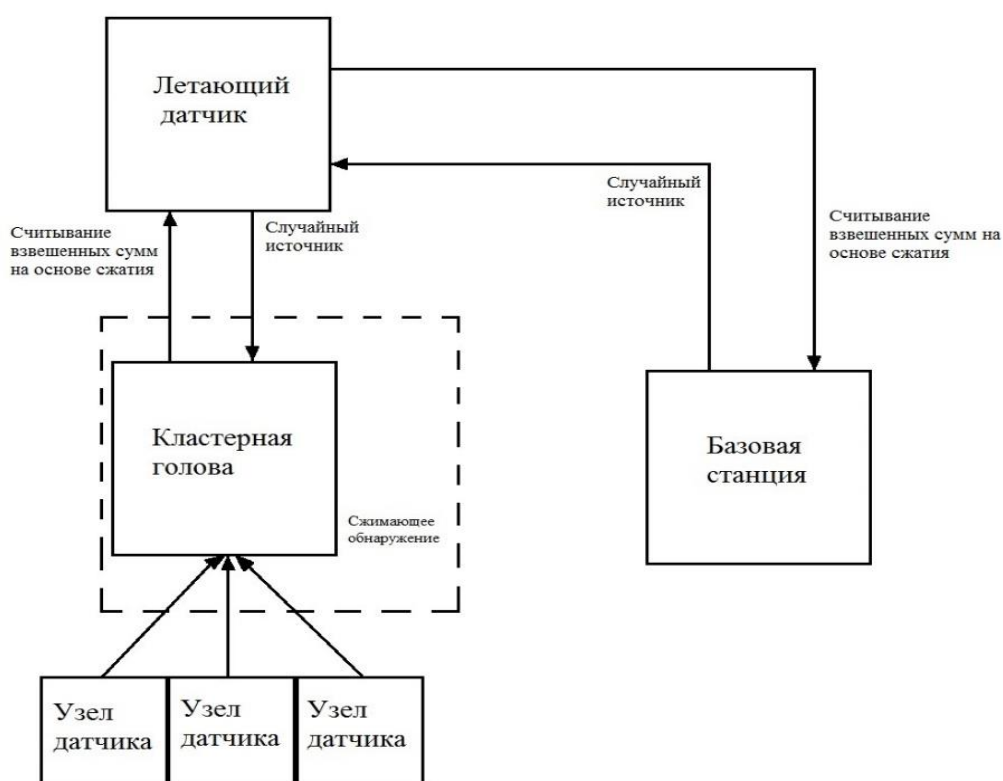


Рис. 1. Модель системы, детализирующая отношения между различными объектами.

В этой платформе был бы предел на коммуникационных транзитных участках, разрешенных между самым дальним узлом в кластере кластерной голове, чтобы поддержать надлежащий размер кластера. Это в свою очередь влияет на общее количество кластеров в области развертывания.

Количество оптимальных кластеров в распознающей области обратно пропорционально расстоянию до базовой станции от распознающей области. Если базовая станция расположена очень далеко от распознающей области, то будет возможен только один кластер, который будет охватывать

всю область обнаружения.

В платформе данные будут собираться с помощью летающего датчика и доставляться на базовую станцию, поэтому базовая станция может быть размещена на большом расстоянии от распознающей области (расстояние, по крайней мере больше, чем диапазон связи головных блоков и узлов датчиков), сохраняя при этом иерархическую структуру на основе кластера.

Базовая станция будет получать взвешенные наборы данных для всех кластеров от одного раунда летающего датчика. После поставки данных к летающему датчику, кластерная голова принимает новые показания от узлов. Голова кластера будет повторять процесс, генерирующий случайный коэффициент, используя новое случайное начальное число, выпущенное базовой станцией.

Сбор данных с использованием летающего датчика и доставка к базовой станции выгодна, особенно в приложениях беспроводных сенсорных сетей в пригодном для жилья суровом ландшафте. Эта платформа хорошо разработана, для решения различных проблем, которые препятствовали бы развертыванию сенсорной сети в таких условиях [3].

### **Литература**

1. I.F. Akyildiz, H. Rudin, B. Stiller - Computer Networks //TheInternational Journal of Computer and Telecommunications Networking. – University of California, United States, pp.2292-2293, 2008
2. Iman Aly Saroit Ismail, Mahmoud Ahmed Ismail Shoman - Faculty of Computers and Information // Egyptian Informatics Journal, Cairo University, Egypt, vol. 18, no. 1, pp. 45–54, 2017
3. N. Amini, A. Vahdatpour, W. Xu, M. Gerla, and M. Sarrafzadeh, “Cluster size optimization in sensor networks with decentralized cluster-based protocols,” Computer Communications, vol. 35, no. 2, pp. 207 – 220, 2012.

# САМОКОРРЕКТИРУЮЩАЯСЯ ВРЕМЕННАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОМОЩНЫХ УСТРОЙСТВ

**Брицун А. В.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского  
Email: nobodylovesnazi@gmail.com*

## **Self-Correcting Time Synchronization in wireless sensor networks using Low-Power Devices**

This article focuses in proposing and implementing a time synchronization service for low-power wireless sensor networks using low frequency real-time clocks in each node. This work present the design, implementation and test of an adaptive algorithm, making the timing of the clocks convert as quickly as possible and after this conversion, keeping them most similar as possible. The goal is to achieve the best method that ensures right timing and still having low energy consumption.

Системы на основе беспроводных сенсорных сетей (БСС) являются очень масштабируемыми и гибкими, что делает их пригодными для наблюдения и мониторинга различных аспектов физического мира в различных областях. Для выполнения своих действий БСС должна обмениваться данными, а для эффективной коммуникации требуется временная синхронизация между узлами датчиков, которая также поможет обрабатывать и анализировать данные для прогнозирования будущего поведения системы, что полезно даже на прикладном уровне. Координация времени позволяет создавать расписание передач и синхронизации рабочих циклов узлов.

Среди известных методов синхронизации можно упомянуть двунаправленную парную синхронизацию, синхронизирующий протокол для сенсорных сетей (TPSN) и облегченную временную синхронизацию (LTS). Для второй группы можно выделить два протокола, называемые Tiny-Sync и Mini-Sync (TS / MS). Они подробно описаны в работах [7] [5]. В работе [4] проводится сравнение между методами измерения времени задержки синхронизации (DMTS) и RBS, и заключает, что DMTS обеспечивает наилучшие показатели энергопотребления. В исследовании [2] анализируется ошибка синхронизации в RBS и CesiumSpray и предложено распределение гауссовской вероятности для ошибки синхронизации и вероятность фактической синхронизации с ошибкой меньше заданного порога.

**Проблема синхронизации времени.** Основные типы синхронизации часов: глобальные часы, относительные часы, относительное понятие времени, физическое упорядочение. Большинство моделей должны учитывать, могут ли возникать ошибки, адаптировать и улучшить синхронизацию системы.

Наиболее важным источником ошибок в системе синхронизации является недетерминированность [2]. В работе Li [8] перечислены пять из этих ошибок недетерминированности, а в Koretz [1] - вариации ошибок кристалла кварца в этом списке, как описано далее: время отправки, время доступа, время перехода, время задержки распространения, время приема, кристалл кварца (различные единицы оборудования, изготовленного в одном и том же лоте, могут быть разными часами).

Даже измеренное время может быть неправильным, и такие факторы, как температура и время жизни, могут влиять на меру времени.

**Методы временной синхронизации.** Для идеальных часов производная  $dC(t) / dt$  должна быть равна 1. Сдвиг часов может меняться, но мы предполагаем, что он остается ограниченным и может находиться в пределах следующих значений:

$$1 - \rho \leq \frac{dC(t)}{dt} \leq 1 + \rho \quad (1)$$

где  $\rho$  обозначает максимальный коэффициент сдвига [6]. Если время часов в узле датчика А равно  $C_a(t)$ , где  $C_a(t) = t$  для идеального тактового сигнала, а тактовая частота - это скорость, с которой часы прогрессируют. Смещение тактовой частоты представляет собой разность между временем, сообщенным часами на двух сенсорных узлах. Временной сдвиг определяется как разность частот двух часов  $C'_A(t) - C'_B(t)$ [6].

**Самокоррекция.** Самокоррекция - это метод, в котором узел датчика использует полученное значение тактового сигнала от временного узла сервера, чтобы аппроксимировать свои собственные часы. В дополнение к этому методу существует также автоматическая коррекция по времени для уравнения 2, если разрешен метод точной настройки. В результате этого  $\Delta$  Часов не может превышать определенное значение.

$$\Delta Clock_k = Clock_k - Clock_{k-1} \quad (2)$$

**Прогнозирование часов.** Алгоритм прогнозирования тактовых импульсов [7] предсказывает значение опорного тактового сигнала с последними параметрами, посылаемыми опорным основным устройством, что улучшает точность времени. Зная задержку передачи и измеряя разницу между часами, можно приблизительно предсказать значение опорного тактового генератора. Затем принимающее устройство синхронизируется с принятием этого значения в качестве эталона. Устройство многократно выполняет функцию синхронизации и, таким образом, оставляет устройство с большей точностью, чем без метода прогнозирования.

**Предлагаемые подходы.** Справочный узел: у узла временного сервера, Reference RTC, есть функция для распространения своих часов для синхронизации узлов в сети. RTC - это компьютерные часы, которые отслеживают текущее время. Есть две возможности для режимов передачи. Первая имеет только одну передачу в начале периода ожидания и ждет до

конца периода, как это можно увидеть на рисунке 4а. Второй режим, в котором активна точная синхронизация, действует, не принимая во внимание, где он находится в периоде ожидания. Таким образом, он передает каждую половину секунды.

Синхронизирующий узел. В этой работе предлагаются три различных подхода к синхронизации для узла датчика. В первом способе синхронизирующий узел предназначен для ожидания передачи RTC. Второй предложенный подход потребляет меньше энергии, чем первый. В этом случае синхронизирующий узел принимает информацию о задержке передачи синхронизирующего сообщения, поэтому можно оставаться в режиме пониженной мощности (режим ожидания) до следующей передачи, переключаясь в режим приема, когда ожидается следующая передача.

Последний подход - это усиление по сравнению с первыми двумя, имеющими более низкое энергопотребление, чем первое. Этот подход использует ту же информацию о следующей передаче, что и второй подход, объясненный выше. Кроме того, этот третий измеряет разность между двумя последними передачами опорного времени от временного узла сервера и прогнозирует приблизительное значение для него, корректируя часы каждую половину секунды с прогнозируемым значением.

## Литература

1. Hermann Kopetz and Wilhelm Ochsenreiter. Clock synchronization in distributed real-time systems. *Computers, IEEE Transactions on*, 100(8):933–940, 1987.
2. Santashil PalChaudhuri, Amit Kumar Saha, and David B Johnson. Adaptive clock synchronization in sensor networks. In *Proceedings of the 3rd international symposium on Information processing in sensor networks*, pages 340–348. ACM, 2004.
3. G Panfilo and P Tavella. Atomic clock prediction based on stochastic differential equations. *Metrologia*, 45(6):S108, 2008.
4. Su Ping. Delay measurement time synchronization for wireless sensor networks. Intel Research Berkeley Lab, 6, 2003.
5. Fengyuan Ren, Chuang Lin, and Feng Liu. Self-correcting time synchronization using reference broadcast in wireless sensor network. *Wireless Communications, IEEE*, 15(4):79–85, 2008.
6. Ill-Keun Rhee, Jaehan Lee, Jangsub Kim, Erchin Serpedin, and Yik-Chung Wu. Clock synchronization in wireless sensor networks: An overview. *Sensors*, 9(1):56–85, 2009.
7. Bharath Sundararaman, Ugo Buy, and Ajay D Kshemkalyani. Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey. *Ad Hoc Networks*, 3(3):281–323, 2005.
8. Zhengbao Li, Zhongwen Guo, Feng Hong, and Lu Hong. E 2 dts: an energy efficiency distributed time synchronization algorithm for underwater acoustic mobile sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 11(4):1372–1380

## **СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ С ПОМОЩЬЮ УЛУЧШЕНИЕ LEACH ПРОТОКОЛА**

**Опанасец В.А.**

*Институт телекоммуникационных систем*

*КПИ им. Игора Сикорского, Украина*

*E-mail: vetalok1995@gmail.com*

### **Method of decreasing energy consumption in wireless sensor networks within the improvement of the LEACH protocol**

This paper proposed possible schemes for enhancing energy saving in WSN by improving the algorithm “Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy” (LEACH) Protocol. The research also analyses how to minimize energy dissipation and power required in WSN taking into consideration the total power, transmission frequency, transmission distance and transmission time between the sensors in a network.

Беспроводные сенсорные сети (БСС) - это современные технологии передачи данных через беспроводные сети, которые потребляют больше энергии и рассеивают значительное количество энергии для обнаружения и мониторинга операций на различных уровнях приложений [1]. Некоторые из приложений БСС включают в себя: мониторинг дикой природы, обнаружение загрязнения, приложения безопасности, военные приложения, обнаружение лесных пожаров, медицинское зондирование, морские системы, промышленные системы обнаружения, мониторинг опасности и т.д. Энергопотребление и рассеиваемая мощность в БСС стали серьезными проблемами для выполнения этих операций.

В связи с этим было предложено несколько методов и процедур, направленных на снижение потребления энергии и улучшение срока службы БСС, но из-за их размеров и сложности требование энергии является высоким, и это приводило к отказу сети. Для решения проблемы будут проведены углубленные исследования, направленные на минимизацию потребления энергии в БСС путем расширения LEACH-протокола (протокол иерархии адаптивной кластеризации низкой энергии).

LEACH - это протокол на основе кластера, и он является самоорганизующейся системой, в которой сеть разделяется на фазу настройки и фазу устойчивого состояния [2]. На этапе настройки устанавливается кластерное формирование или кластеризация узлов датчиков, где несколько узлов образуют группу, возглавляемую кластерной головой (КГ). Однако в течение установившегося состояния устанавливается связь и обмен информацией между членами кластеров и от КГ и базовой станции.

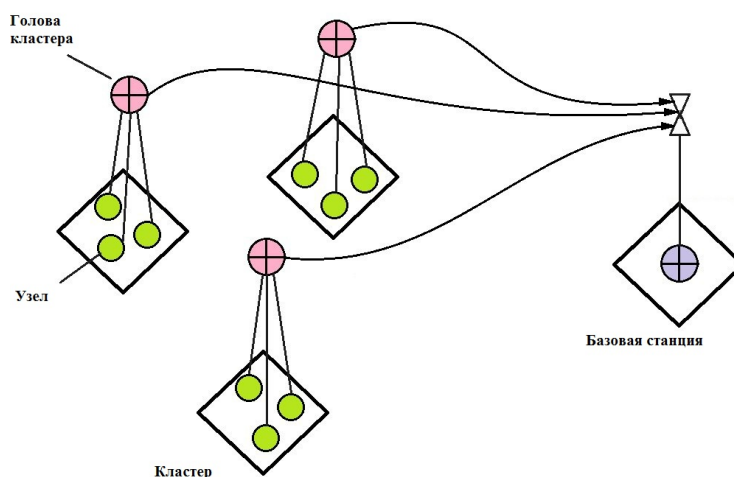


Рис. 1. Кластерное формирование узлов в LEACH.

Фаза настройки компрометирует формирование кластеров и назначение кластерных головок, в то время как в установившейся фазе, устанавливается передача данных между узлами и головой кластера [3].

Тем не менее, протокол LEACH вводит пространственную кластеризацию сенсорных узлов для БСС и выполняет агрегирование данных с использованием головы кластера. Это улучшает балансировку энергопотребления узлов и головки кластера. Протокол повышает допустимость мобильности сетевого протокола, где время разделяется на постоянный интервал с одинаковым размером, известным как обновление топологии. Таким образом, каждый сенсорный узел становится головой кластера в начале временного интервала.

Cell-LEACH предназначенный для улучшения сетевого времени жизни, минимизирует потребление энергии во время установившейся фазы протокола LEACH [4]. Здесь каждый КГ сети включает семь подгрупп узлов под названием Ячейка (Cell), где в каждой ячейке, голова Ячейки (Cell), выбранная к заголовку ячейки. В этом алгоритме голова Ячейки (Cell) ответственна за агрегацию информации от участников ячейки и связывается с КГ и поэтому КГ передает данные к базовой станции (БС) для вычисления. При этом алгоритме все узлы установлены на сне или прочь от энергетического требования, кроме того, который отвечает за временной интервал.

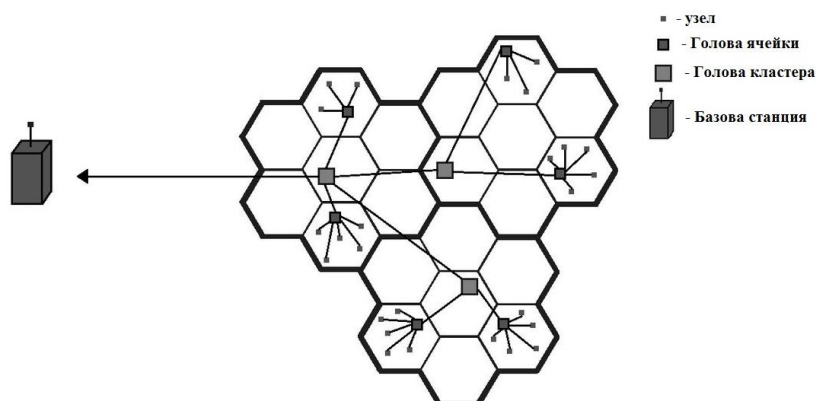




Рис. 2. Структура предложенной Cell-LEACH.

LEACH-TLCH должен повысить надежность узлов датчиков и снизить скорость рассеивания энергии в течение установившейся фазы протокола в экосистеме БСС. LEACH-TLCH это модифицированный LEACH путем введения дополнительного КГ, где вторичный КГ за сбор информации, собранной пространственно-распределенными узлами, и ее распространение на главный КГ. LEACH-TLCH за счет введение вторичного КГ приводит к уменьшению расстояние между КГ и БС что позволяет минимизировать потребления энергии в течение установившегося состояния.

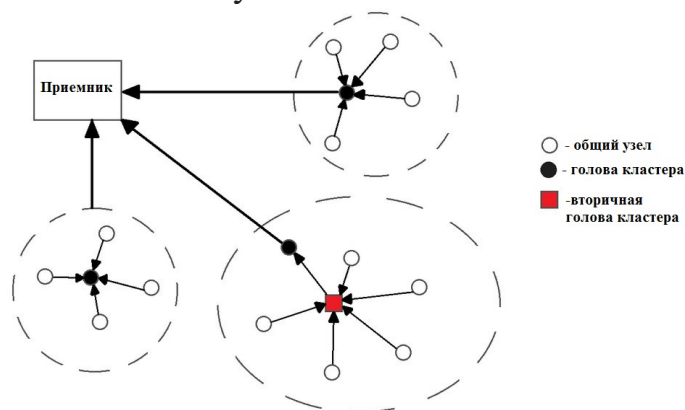


Рис. 3. Структура предложенной LEACH-TLCH.

К-LEACH или К-метод [5], который улучшает время жизни сети и обеспечивает энергетический баланс в сети, используя Евклидово расстояние. В К-LEACH универсальная кластеризация установлена вместо случайной кластеризации. Алгоритм показывает, что в первом раунде кластеризации, узел с более высокой остаточной энергией выбран, чтобы быть КГ, тогда как для другого раунда вперед метод Евклидова расстояния используется для выбора КГ, означая узел, который является следующим за КГ, выбран, чтобы быть КГ.

Таким образом, было рассмотрено различные алгоритмы на энергетическом потреблении и рассеяния мощности в БСС на основе LEACH, которые предназначены для обеспечения меньших энергетических затрат и низкую мощность использование.

### Литература

1. Doherty, L., Simon, J. and Watteyne, T., Wireless sensor Network Challenges and Solutions. Microwave Journal, 55(8), 2012, pp. 22-34.
2. Sushma, B., Nandal, D. and Nandal, V, Security threats in sensor wireless networks. InternationalJournalofcomputerscienceandmanagementstudies, 11(1), 2011, pp. 59-63.
3. Goldsmiths, A. Wireless Communication, USA: New York. CambridgeUniversityPress, 2005.
4. Yektaparast, A., Nabar, F. Sarmast, A. An Improvement of LEACH protocol (Cell-LEACH), 14th International Conference on Advanced Communication Technology, 2012, PyeongChang, 19-22 February, IEEE.
5. Bakaraniya, P. and Mehta, S, K-LEACH: An Improved LEACH Protocol for Lifetime Improvement in WSN. InternationalJournalofEngineeringTrendsandTechnology, 4(5), 2013, pp. 1521-1526.

## РАЗВИТИЕ СПОСОБОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

**Козик Ю.Л., Новиков В.И.**

*Институт телекоммуникационных систем*

*КПИ им.Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: primuspostdeum@gmail.com*

### **Development of route ways in wireless sensor networks**

In this paper, the development and application of new methods for routing wireless sensor networks is considered using the example of six most characteristic and known algorithms: SPIN, DD, RR, GBR, GPSR, LEACH.

Эффективность функционирования беспроводных сенсорных сетей (БСС) во многом определяется выбором протоколов маршрутизации пакетов. Неправильный выбор протоколов маршрутизации приводит к неравномерной загруженности узлов задействованных в ретрансляции пакетов. А так как БСС – это самонастраивающаяся сеть, состоящая из большого количества узлов, которые питаются от аккумулятора, то это в свою очередь приводит к быстрому расходованию заряда батарей этих узлов. При проектировании БСС необходимо стремиться к уменьшению и выравниванию загрузки узлов, что достигается во многом благодаря протоколу маршрутизации. Однако эта проблема, при наличии множества узлов БСС, является сложной научной задачей. Следовательно, одной из основных задач оперативного управления БСС является маршрутизация информационных потоков.

Помимо ранее упомянутых требований к энергоэффективности системы, возникает еще ряд требований, которые необходимо учесть при выборе протокола маршрутизации БСС. Список требований в общем случае включает: учет энергозатрат, минимизацию вычислительных затрат, минимальный объем используемой памяти, максимальную скорость доставки, равномерную загруженность сети, максимальную надежность работы сети, обеспечение безопасности сети, минимизация управляющего трафика.

В соответствии со структурой топологии сети, методы маршрутизации разделены на три категории: технологии маршрутизации на основе местоположения, иерархическая маршрутизация, технология на основе центрирования данных.

В данной статье будет рассмотрена маршрутизация в БСС на примере шести наиболее характерных и известных алгоритмов: SPIN, DD, RR, GBR, GPSR, LEACH.

SensorProtocolsforInformationviaNegotiation (SPIN) – семейство протоколов, обеспечивающее доставку данных путем распространения сообщения от каждого узла, по всей сети, что позволяет довольно простым способом получить информацию с любого узла по запросу с немедленной

доставкой. Относится к методам маршрутизации с одноранговыми узлами без гарантированной доставки сообщений. Хорошо подходит для БСС с динамической топологией с мобильными узлами. Суть алгоритма заключается в следующем. При получении новых данных узел проводит предварительные «переговоры» с соседними узлами, посылая сообщение ADV и ожидая от них ответа REQ. Получив запрос на передачу (REQ), узел транслирует реальные данные. Каждый сосед, получив новые данные, аналогичным образом ведет переговоры соответственно со своими соседями и рассылает эти данные тем из них, которые в этих данных заинтересованы, т.е. которые их еще не получили и имеют возможность транслировать их далее по сети.

Метод маршрутизации DirectedDiffusion (DD) ориентирован на централизованную модель сбора данных с доставкой по запросу. Централизованная модель подразумевает наличие в сети центрального узла сбора и, соответственно, маршрутизацию от множества источников данных к одному приемнику. Процесс маршрутизации начинается с рассылки центральным узлом сообщения запроса. Так как данные в узле представлены в виде пар атрибут-значение, то запрос указывает на интересующие центральный узел параметры и их диапазон возможных значений. Каждый узел поддерживает локальный кэш запросов, в котором хранятся записи о состоянии активных запросов. Запросы от центрального узла периодически повторяются с целью обеспечения надежности доставки и работоспособности общей схемы маршрутизации при отказах в сети.

Вариацией предыдущего алгоритма является метод RumorRouting (RR). Оптимизирует схему маршрутизации для тех сетей, в которых число событий невелико, а количество запросов огромно. Ключевой особенностью метода является наличие таблицы предыдущих запросов в памяти каждого узла. И в тот момент, когда центральным узлом распространяется запрос на данные, уже полученные вследствие произошедшего события, те узлы, через которые направляется запрос, просматривают свои таблицы событий и в случае обнаружения соответствия запросу информируют центр о результате. Таким образом, информация о событии доходит до инициатора запроса еще до того, как запрос дойдет до требуемого источника данных. Таким образом значительно облегчается задача определения расположения в сети исходного узла – источника события.

Gradient-basedrouting (GBR) является еще одним вариантом алгоритма DD. Особенность данной модификации заключается в том, что в процессе распространения запроса из центра по всей сети учитывается количество ретрансляций от узла к узлу. В каждом узле вычисляется параметр, который указывает на минимально возможное число звеньев в цепочке маршрута от данного узла к центральному. Градиентом для каждого из соседних направлений в узле обозначается разность между количеством промежуточных звеньев до центрального узла. Для маршрутизации выбирается направление с наибольшим значением градиента. В тех случаях, когда градиенты для разных направлений равны, выбор осуществляется

случайным образом. Соответственно для новых потоков составляется маршрут таким образом, чтобы в него входили только те узлы, которые не участвуют в доставке других потоков.

GreedyPerimeterStatelessRouting (GPSR) – класс алгоритмов, который использует географическую информацию о местоположении узла в пространстве. Каждый узел знает о расположении самого себя и ближайших соседей. Пересылка сообщения осуществляется узлом тому соседу, который находится ближе всего к адресату.

LowEnergyAdaptiveClusteringHierarchy(LEACH) относится к классу иерархических методов маршрутизации с балансировкой энергетической нагрузки. Близлежащие узлы данной модели, находящиеся в одной зоне радиодоступа, объединяются в отдельную коммуникационную группу – кластер. Кластер состоит из обычных узлов низшего ранга и одного узла высшего ранга, выполняющего функции маршрутизации для всех остальных узлов кластера. Множество главных узлов образуют основу коммуникационной инфраструктуры сети. Взаимодействие внутри кластера происходит непосредственно между обычными узлами и узлом высшего ранга, далее передачу сообщений узлам других кластеров на себя берут главы кластеров. Глава кластера выбирается случайным образом и периодически сменяется таким образом, чтобы равномерно распределить энергетическую нагрузку по всем узлам кластера, поскольку функции маршрутизации, возложенные на главу кластера, являются причиной интенсивного расхода им энергии на ретрансляцию сообщений от всех узлов кластера.

Таким образом, рассмотренные методы маршрутизации дают некоторое представление о разнообразии способов обмена данными в БСС и характеризуют направления развития и создания новых методов маршрутизации в БСС. Использование той или иной стратегии и метода маршрутизации обусловлено в первую очередь выполняемыми задачами, структурой и организацией сети, в некоторых случаях существующие алгоритмы модифицируют с учетом конкретных требований. В результате выбирается метод позволяющий достичь частных показателей, заданных определенными техническими условиями или имеющимися ограничениями.

### Литература

1. Бершадский, А. М. Обзор методов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях / А. М. Бершадский, Л. С. Курилов, А. Г. Финогеев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 47–57.
2. Дорошенко А.Е., Жереб К.А., Шевченко Р.С. О моделировании сенсорных сетей средствами высокого уровня // Проблемипрограмування. — 2006. — Т. 2-3.
3. Dargie W., Poellabauer C. Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice. — John Wiley and Sons, 2010. — 330 p.

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ВУЗЛІВ БСМ ПРИ ВІДСУТНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ТОПОЛОГІЮ МЕРЕЖІ**

**Поліник С.А., Петрова В.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: valentynapetrova@gmail.com*

### **Determining the location of nodes WSN in the absence of information about the network topology**

The task of positioning units WSN in the absence of information about the network topology (initially - initialize the network) without the use of additional modules and complex optimization problems, with the greatest possible precision and minimal costs for energy consumption are currently not addressed and, therefore, this relevant area for further research.

Безпроводова сенсорна мережу (БСМ) - це розподілена, самоорганізуюча мережа, що має безлічі датчиків і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. До складу датчиків зазвичай входять автономні мікрокомп'ютери (контролери) з живленням від батарей і приймачі, що дозволяє їм самоорганізовуватися в спеціалізовані мережі, зв'язуючись один з одним і обмінюючись даними за допомогою радіозв'язку. Існує велика кількість робіт, де метою дослідження є характеристики телекомунікаційної взаємодії об'єктів БСМ. Це і питання, пов'язані з організацією роботи мережі (протоколи різних рівнів моделі OSI), створенням енергоефективних алгоритмів, розробкою ПЗ, визначенням місця розташування об'єктів щодо один одного, прив'язкою до географічних координат і т. п.

На сьогоднішній день опубліковано ряд робіт на основі інформації про взаємне розташування об'єктів, яка доступна в процесі роботи (визначення відстані, напрямки, азимута і ін.). Завдання визначення місця розташування вузлів БСМ при відсутності інформації про топологію мережі (на початковому етапі - ініціалізації мережі), без використання додаткових модулів і складних оптимізаційних задач, з максимально можливою точністю і мінімальними витратами по енергоспоживанню на даний момент не вирішена, а, значить, дана область актуальна для проведення подальших досліджень.

*Аналіз існуючих алгоритмів взаємодії об'єктів БСМ.* Основною перешкодою на шляху розвитку сенсорних мереж є складність проектування за рахунок того, що кожна окрема сенсорна мережа потребує індивідуального підходу з великою кількістю проміжних етапів [1]. Вибір алгоритмів і

протоколів взаємодії об'єктів мережі ускладнений тим, що всі протоколи покликані ефективно вирішувати тільки одну або кілька завдань. Тому вже на етапі проектування розробник стикається з тим, що кожна мережа - індивідуальна система. Наприклад, організація мережі для автоматизації в сфері ЖКГ [2] буде кардинально відрізнятися від організації мережі моніторингу живих організмів, хоча по суті обидві системи є сенсорними мережами. Використання протоколів взаємодії елементів класичних мереж часто не дає позитивного результату в силу специфіки децентралізованої мережі, що не має постійної структури, яка складається з великої кількості вузлів (до десятків тисяч) з автономним живленням. Але, як і будь-яка телекомунікаційна система, БСМ будується за принципами організації інформаційних мереж. Наприклад, завдання високої відмовостійкості мережі (або «функціональної стійкості») концептуально вирішується методами прикладної теорії інформації шляхом введення невпорядкованої структури [3], а завдання самоорганізації, тривалості життя мережі і т. д. - шляхом введення надмірності (це може бути надмірність по числу сенсорів, за кількістю можливих маршрутів, підпрограм і т. д.) [4].

*Основні вимоги до БСМ.* Ефективність використання енергії має важливе значення для бездротової сенсорної мережі, так як її термін служби повинен бути досить великий. Всі сходяться в думках - кожен алгоритм, протокол, кожна процедура (маршрутизація, позиціонування і т. п.), кожен мережевий аспект (наприклад, топологія) повинні бути оптимізовані по енергоспоживанню, поряд з оптимізацією виконання основної функції, на основі енергоциклів [5]. Існує безліч підходів і системних рішень для підвищення енергоефективності БСМ, але більшість авторів нехтують питаннями економії енергії при різних етапах роботи на протязі її життєвого циклу, таких, наприклад, як етап ініціалізації (розгортання мережі) [6]. Також актуальна оптимізація апаратної платформи, як, наприклад, датчикову апаратура, у якій при значеннях контрольованого параметра «норма» передача інформації не ведеться, а при значеннях «менше норми» і «більше норми» - ведеться передача відповідного сигналу. Протоколи TEEN і ARTEEN [1] ефективно працюють з подібного роду апаратурою.

*Спосіб позиціонування в БСМ.* Визначення місця розташування вузлів БСМ внутрішніми ресурсами вузла роблять ці мережі привабливими для використання в важкодоступних місцях. Відсутність необхідності використання додаткових модулів роблять вузол БСМ дешевшим, і зменшує енергоспоживання, а, отже, розгортання таких мереж значно спрощується. Після аналізу і порівняння всіх аспектів і особливостей роботи бездротових сенсорних мереж був зроблений висновок, що найбільш ефективним методом позиціонування є спосіб уточнення місця розташування на основі методу RSSI (Received Signal Strength Indication) з поєднаним експериментально-

аналітичним циклом. Суть даного методу полягає у взаємному позиціонуванні (NBS +1) базової станції (де NBS - мінімально необхідну кількість БС) за методом RSSI за допомогою підключення 4 додаткових (надлишкових) сенсорів і визначенні величини неточності (додаткового загасання) в порівнянні з більш точним методом. Для порівняння може бути використаний метод ToF (Time of Forwarding), який має високу точність для відкритого простору, але вимагає великої кількості енергоресурсу для численних ітерацій, тому його застосування недоцільно для позиціонування сенсорів. Визначивши величину додаткового загасання в базі даних сервера проводиться коригування відстані від кожного вузла до базових станцій по формулі:

$$d_k = d_l \frac{k-D}{k} \cdot \left( \frac{4\pi f}{c} \right)^{\frac{-D}{k}},$$

де  $d_k$  - коректуючи відстань по методу RSSI,  $d_l$  - локальна відстань,  $k$  - коефіцієнт ослаблення,  $D$  - додаткове затухання,  $f$  - частота сигналу,  $c$  - швидкість світла. Таким чином, оцінку розташування вузлів з порівняно високою точністю можна отримати вже на етапі ініціалізації мережі, що істотно знижує кількість службової інформації під час розгортання мережі, а, отже, і підвищується енергоефективність способу.

### Література

1. Иваненко В. А. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст] / В. А. Иваненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — 2/10(50). — С. 9—12.
2. Власова В. А. Проблемы ЖКХ и информационные технологии [Текст] / В. А. Власова, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — 2/2(56). — С. 48—53.
3. Иваненко В. А. Информационные аспекты при разработке сенсорных сетей (Часть 1) [Текст] / В. А. Иваненко, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — 3/4(51). — С. 46—49.
4. Иваненко В. А. Информационные аспекты при разработке сенсорных сетей (Часть 2) [Текст] / В. А. Иваненко, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — 4/2(52). — С. 11—13.
5. Зеленин А. Н. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей [Текст] / А. Н. Зеленин, В. А. Власова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — 3/9(57). — С. 13—17.
6. Зеленин А. Н. Фаза инициализации в беспроводных сенсорных сетях [Текст] / А. Н. Зеленин, В. А. Власова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2012. — № 26. — С. 55—61.

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

**Валуйський С.В., Горбатенков О.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КІІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: ALexs\_zet@mail.ru*

### **Analysis of clustering methods in Wireless Sensor Networks**

This paper provides comparison analysis of clustering methods in Wireless Sensor Networks such as LEACH, PEGASIS, HEED, TEEN, APTEEN. TEEN and APTEEN are optimal for networks with long intervals between data gathering. LEACH, HEED, PEGASIS provide longer life time of sensors.

Безпроводні сенсорні мережі – самоорганізуючі мережі, що складаються із  $n$ -ї кількості автономних сенсорів (сенсорних вузлів / nodes, надалі просто вузлів), об'єднаних через радіоканал. Метою мережі є моніторинг параметрів навколишнього середовища, таких як: температура, шум, тиск, рух тощо. Вузли мають обмежені технічні параметри: енергоресурс, діапазон передачі, можливості по передачі і обробці даних.

Всі вузли мережі діляться на кластери (групи). Кожним кластером управляє спеціальний вузол (головний вузол), що відповідає за координацію передачі та маршрутизації зібраних даних в своєму кластері. Об'єднання в кластери дозволяє продовжити «життя» мережі.

***Low energy adaptive clustering hierarchy (LEACH)[6]***. На початку роботи LEACH вузли самоорганізуються в кластери, кожен вузол пропонує себе як головний вузол кластера, але з деякою вірогідністю. Після вибору головного вузла кластера (ГВК), інші вузли починають передавати дані своєму ГВК. Таким чином утворюються кластери із головними вузлами що оброблюють і передають дані на базову станцію (сервер, ПК приймач). Періодично в LEACH проводить перевибір ГВК на основі енергетичних показників вузлів. В результаті чого відбувається процес перекластеризації, що необхідно для розподілення навантаження в мережі.

***Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)[1]***. PEGASIS це розширення протоколу LEACH, який формує ланцюжки із вузлів (рис. 1.) замість кластерів в LEACH так, щоб кожен вузол передавав і отримував інформацію від сусідів. При такому розподілі один з вузлів обирається для передачі інформації на базову станцію (сервер, ПК, приймач). Дані агрегуються і передаються від вузла до вузла поки не доходять до базової станції (сервера, ПК, приймача).



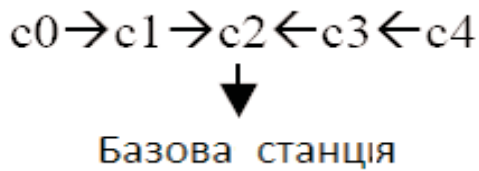


Рис. 1. Маршрутизація в PEGASIS.

**Hybrid, Energy Efficient Distributed Clustering (HEED) [2,3].** HEED розширяє протокол LEACH використовуючи енергію вузла або щільність в якості метрики для вибору кластера. У відповідності із алгоритмом в HEED, періодично проводить перевибір ГВК на основі комбінації двох параметрів кластеризації. Основний параметр - енергія кожного вузла, вираховується при вирахування присвоєння вузлу статусу ГВК і другий параметр – внутрішньо-кластерна вартість або рівень вузла (кількість безпосередніх сусідів, сусідніх вузлів). Основний параметр використовується для початкового вибору вузлів, а другий для того щоб розірвати зайві зв'язки із вузлами. Кластеризація HEED продовжує «життя» мережі краще ніж LEACH тому, що останній невпорядковано обирає ГВК, відповідно і розмір кластера що приводить до значного використання енергії.

**Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (TEEN)[5,7].** TEEN являється ієрархічним протоколом кластеризації, що групує сенсори в кластери із вибором ГВК. При цьому використовується декілька рівнів кластерів зі своїми ГВК відповідно (рис. 2). Кожен з яких агрегує і передає данні до ГВК вищого рівня. На останньому рівні ГВК передає інформацію на базову станцію (сервер, ПК, приймач). З особливостей TEEN – він не підходить для мереж де є необхідність в постійному оновленні даних, так як передача даних забирає більше енергії ніж процес збору інформації, користувач ризикує взагалі не отримати інформацію.

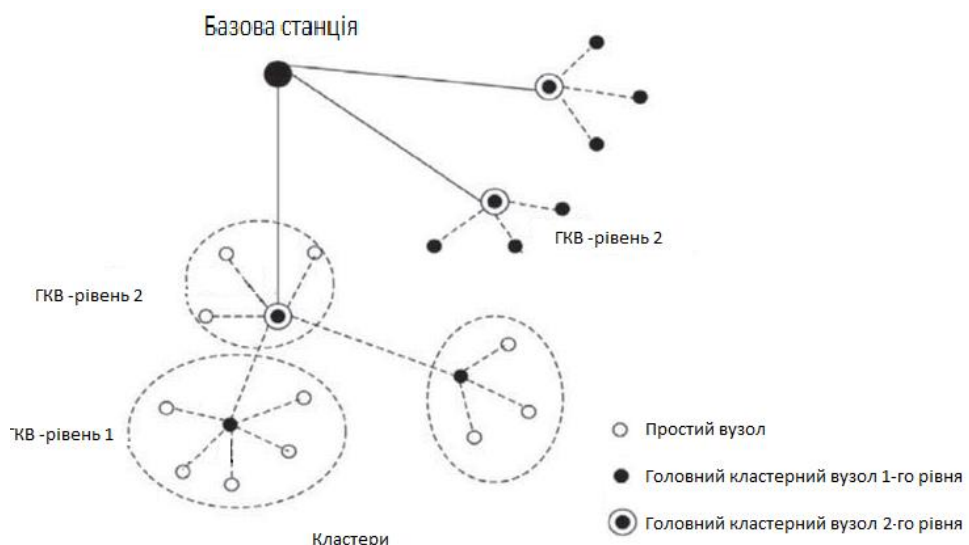


Рис. 2. Ієрархічна модель основана на кластеризації.

***Adaptive Periodic Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (APTEEN)***. APTEEN — гібридний, оснований на кластеризації протокол маршрутизації, що являє собою модернізовану версію протоколу TEEN. В протоколі вузли періодично передають свої данні й реагують на будь-яку раптову зміну вимірюваного параметра. Архітектура APTEEN така ж сама як і в TEEN, використовуючи концепцію ієрархічної кластеризації для забезпечення енергоефективного зв'язку між вузлами й приймачем (базовою станцією, сервером, ПК). APTEEN підтримує 3 різних запити, а саме: історичний – для аналізу попередніх значень даних; запит для забезпечення представлення мережі; постійні запити для моніторингу подій на заданому проміжку часу. APTEEN гарантує більш низьке енергоспоживання і більшу кількість діючих вузлів ніж TEEN [8].

Як підсумок, робимо висновок, що ієрархічні протоколи, такі як ***TEEN*** чи ***APTEEN***, краще використовувати для мереж, де збір даних відбувається у моменти часу з досить великими інтервалами часу або при значній зміні цих параметрів. В той час такі протоколи як ***LEAC***, ***HEED***, ***PEGASIS*** періодично змінюють кластери та ГВК, що дає найдовший «час життя» мережі навіть при постійному моніторингу параметрів.

#### Література

1. *W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan*, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks" in *IEEE Transactions on Wireless Communications* (October 2002), vol. 1(4). Pp. 660-670.
2. *S. Lindsey and C.S. Raghavendra*, "PEGASIS: Power-efficient Gathering in Sensor Information System", *Proceedings IEEE Aerospace Conference*, vol. 3, Big Sky, MT, Mar. 2002, Pp. 1125-1130.
3. *Ossama Younis and Sonia Fahmy*, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-efficient Approach", September 2002.
4. *Manjeshwar and D. P. Agrawal*, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks", in the *Proceedings of the 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile computing*, San Francisco CA, April 2001. Pp. 2009-1015.
5. *Manjeshwar and D. P. Agrawal*, "TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", in the *Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, San Francisco, CA, April 2001.
6. *W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan*, "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", in *IEEE Computer Society Proceedings of the Thirty Third Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00)*, Washington, DC, USA, Jan. 2000, vol. 8. Pp. 8020.
7. *Ossama Younis and Sonia Fahmy* "Heed: A hybrid, Energy\_efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, Oct.-Dec. 2004, pp.
8. *W. Lou*, "An Efficient N-to-1 Multipath Routing Protocol in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of IEEE MASS'05*, Washington DC, Nov. 2005. Pp. 1-8.

## **МЕТОД АДАПТАЦІЇ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ, ПОБУДОВАНИХ НА РГБ, В УМОВАХ ДЕСТРУКТИВНИХ ВПЛИВІВ**

**Кутельова О.С., Великий О.О., Лисенко О.І.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: olga.kuteleva@gmail.com*

### **Method of adaptation wireless sensor networks built on RSS under conditions of the destructive impact**

The present approach to improve detection of wide use on-synthesis. Illustrated approach to sensor network built on radio sonar sonobuoys. In particular, most aspects of correlation, aggregation network and distributed fusion used in other areas. Shown improvement in detection performance throughout the network to set bandwidth limitations. The results indicate sonar data modeling precision.

Проблема оптимізованого розподіленого виявлення в системі мережевих датчиків включає в себе ряд конструктивних аспектів, в тому числі балансування ймовірності пропущеного виявлення і помилкової тривоги, а також управління ресурсами зв'язку за допомогою належного інформаційного синтезу в мережі. Крім того, ряд компромісів має бути здійснено, наприклад, як між обчислювальними вимогами до інформації злиття і контролю датчика і вимогами до зв'язку для обміну інформацією. Таким чином, проектні рішення загальної системи найкраще зроблені спільно з урахуванням впливу конструктивних аспектів і компромісів на загальній продуктивності системи. Внутрішньо-мережеві злиття і пов'язані з ними мережеві алгоритми, які покращують ефективність виявлення та ефективність використання енергії для мультистатичного застосування гідролокатора. Це досягається шляхом обміну і сплаву контактів між гідроакустичними буями перед передачею з поля. Злиття в мережі використовує більш низьку вартість зв'язку між буями для більшості передачі даних і забезпечує зниження випадкових некорельованих помилкових тривог шляхом відправки тільки звітів виявлених з декількох буїв, які представляють достатню кореляцію. Скорочення контактних передач за полем дозволяє встановити більш низький поріг перевищення сигналу для кожного буя, що відповідає збільшенню ймовірності виявлення.

Метод грубої сили, що має корельовані виявлення, доступних у вузлі шлюзу повинен полягати в тому, щоб кожен вузол відправляв інформацію про виявлення на шлюз, де він отримує кореляцію. Такий підхід дуже неефективний в енергетичних і мережевих ресурсах. Дійсно, розглянемо дерево, складене з усіх шляхів між шлюзом і всіма вузлами в мережі датчиків. Якщо кожному вузлу потрібно відправити звіт до шлюзу після сонар-пінгу, тоді кожен вузол в дереві повинен буде перевідправляти стільки повідомлень, скільки вузлів в піддереві кореневих у цьому вузлі. Проте, у нашому підході агрегації мережі, тільки одне повідомлення

передається кожним вузлом в дереві, що дає значну економію ресурсів.

Приклад на рис.1 показує поле датчика з чотирма кластерами сонарних повернень сигналу, кожен з яких відповідає потенційній меті. Цей приклад показує область невизначеності(ОН) всіх приймачів наступних після пінгу гідролокатора, при цьому кожна ОН належить одному з чотирьох кластерів (область невизначеності в середині сітки тільки для цілей ілюстрації). Кожна ОН вносить частину інформації для звіту, що генерується вузлом, який належить ОН (вузол, який отримав відгук від сонара і оцінив його із відбивача ОН). Як приклад, відповідно до алгоритму Куна ОН в середині рис.1 вносить вклад у список точок сітки, який вона охоплює ( $g_1, g_2, g_3$ ), і при м'якій асоціації вона вносить вклад у список точок сітки разом з інтегралом щільності ОН в комірці точки сітки на діаграмі Вороного (ці комірки подані квадратами в цьому прикладі звичайної сітки). Якщо  $a_i$  це інтеграл пов'язаний з точкою сітки  $i$ , звіт вносить вклад  $\{(g_1, a_1), (g_2, a_2), (g_3, a_3), (g_4, a_4)\}$ . Так як звіт в алгоритмі Куна є окремим випадком звіту про м'яку асоціацію (покриті вузли сітки з рівною вагою  $a_i$ ). Метод агрегації мережі вимагає налаштування зв'язуючого дерева, впроваджений у вузлі шлюзу, з використанням протоколу встановлення зв'язуючого дерева. Після того, як дерево, налаштоване, і після відправки ехо-сигналу джерела з кожним вузлом-отримувачем, генеруючим його інформацію виявлення, вузол, який являється листовим вузлом у дереві, передає свої виявлення в повідомленні звіту до його батьківського вузла. Кожен батьківський вузол збирає інформацію виявлення від всіх своїх підлеглих вузлів і агрегує їх разом зі своїм власним перед відправленням його до батьківського вузла. Насправді батьківський вузол знає набір своїх підлеглих вузлів і буде виконувати агрегацію, коли він почує від них усіх (вузли, які не мають виявлень, як і раніше будуть відправляти коротке повідомлення «nodetection»).

У будь-якій точці дерева, звітне повідомлення містить список кластера точок сітки й ідентифікатори вузлів, які вносять вклад у кожний кластер (тобто вузли, які мають позитивні виявлення на деяких точках сітки в кластері). Кластер  $C$  описується трійкою  $(G, A, I)$ , де  $G$  являє собою набір ідентифікаторів вузлів сітки в кластері,  $A$  являє собою набір вагових  $a_i$ , відповідний кожній точці сітки  $g_i$  в  $G$ ,  $I$  це набір ідентифікаторів тих вузлів, які зробили виявлення в одній або кількох точках сітки  $G$ . Після того, як вузол в дереві отримує інформацію про кластер від своїх підлеглих вузлів він збирає їх разом зі своїми власними згенерованими кластерами наступним чином: Нехай  $C_1, C_2, \dots, C_k$  позначимо безліч кластерів, які повинні бути об'єднані.

Два кластера  $C_i = (G_i, A_i, I_i)$  і  $C_j = (G_j, A_j, I_j)$  перекриваються, якщо перетин  $G_i$  і  $G_j$  не порожній. Ці кластери зливаються в один кластер  $C$  з  $G = G_i \cup G_j, I = I_i \cup I_j$ , і для кожного  $g$  в  $G$  це вага  $a$  визначається сумою його ваги в  $A_i$  і  $A_j$ .

Оскільки цей процес агрегації відбувається, починаючи з кінцевих вузлів аж до вузла шлюзу по дереву, набір агрегованих кластерів у мережі буде доступний на шлюзі, коли він отримає повідомлення від своїх

підлеглих вузлів і агрегує їх (зі своїм власними якщо такі існують). На даному етапі, виявлення в межах кожного кластер  $C$  локалізуються в точці сітки кластера, що має найбільшу вагу, причому нова вага для цієї точки сітки, являє собою суму ваги  $a_i$  всіх точок сітки  $g_i$  в кластері  $C$ , дорівнює числу вузлів, що мають виявлення в кластері (рівній потужності множини  $I$ ).

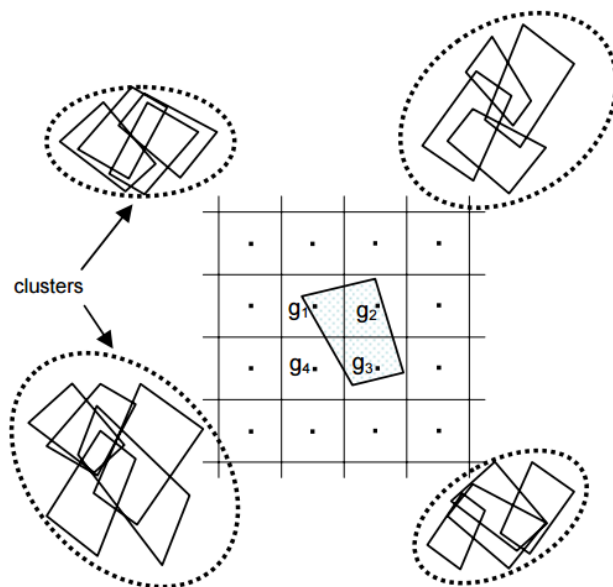


Рис.1 Сенсорне поле з чотирма кластерами датчиків в полі невизначеності.

У прикладі, показаному на рис.1, шлюз буде мати чотири кластери з виявленнями, локалізованих в одній точці сітки в межах кожного кластера. На останній стадії процесу злиття, коли шлюз локалізував виявлення в конкретних вузлах сітки  $g_i$  кожен з відповідним номером  $N_i$  приймачів, які зробили виявлення, ці точки сітки з  $N_i$ , які більші, ніж  $T$ , будуть відправлені на зовнішній центр прийняття рішення. Окрім того, якщо не опрацьовані данні акустичного сигналу необхідно відправити в центр прийняття рішення від деяких чи всіх приймачів, які зробили виявлення, ідентифікатори цих приймачів доступні на шлюзі, так як вони захоплені множиною  $I$ , пов'язані з кожним кластером.

Проілюстрований підхід до сенсорної мережі побудованих на РГБ, який може бути застосований до інших сенсорних мереж. Зокрема, представленні аспекти кореляції, агрегації мережі і розподілення злиття застосовуються для підвищення ефективності безпроводової сенсорної мережі побудованої на радіогідроакустичних буях.

#### Література

1. L. Benmohamed, P. Chimento, B. Doshi, B. Henrick, and I-J. Wang, "Sensor Network Design for Underwater Surveillance," in Proc. of IEEE Milcom, Washington, DC, Oct. 2006.
2. J.J. Liu, J. Reich, and F. Zhao, "Collaborative InNetwork Processing for Target Tracking," J. of Applied Signal Processing, April 2003.
3. F. Zhao, J. Liu, J. Liu, L. Guibas, and J. Reich, "Collaborative signal and information processing: and information-directed approach," Proceedings of IEEE, 2003.

## АЛГОРИТМ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

**Хоменко Є.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: katyn.katun@gmail.com*

### **Algorithm for emergency response using wireless sensor networks**

The use of wireless sensor networks for indoor navigation in emergencies and approaches for emergency response are considered. Direction of further development these algorithm is investigated.

Більшість алгоритмів навігації під час надзвичайних ситуацій в основному зосереджувались на знаходженні найкоротшого, найбезпечнішого шляху для кожної людини. Проте, на практиці, число людей, може бути набагато більше, ніж обчислювальна потужність машини. Це в свою чергу може привести до затору на шляхах евакуації, а також призводять до збільшення часу евакуації і навіть вірогідність нещасних випадків. Тому за приклад вирішення проблеми аварійної навігації в мережі, проблеми планування вирішено розглянути протокол навігації SOS.[1]

Основна ідея полягає в тому, щоб інтегрувати інформація про небезпечні зони і користувачів, для забезпечення кращого графіка аварійної навігації. SOS може обчислити оптимальний графік для всіх людей в залежності від їх місця розташування і ситуації в небезпечних районах.

При надзвичайних обставинах люди повинні переміщатися до безпечних зон / виходів як найшвидше. Рис. 1.1 показує такий приклад сценарію – коли люди переміщатися поза безпекою за допомогою сенсорної мережі.

Спочатку датчик виявляє небезпеку, він шукає безпечні шляхи, засновані на положенні надзвичайної ситуації і інформацію про людей. У той же час, протокол повинен адаптуватися до постійної мінливості небезпечних зон і статусу евакуації.

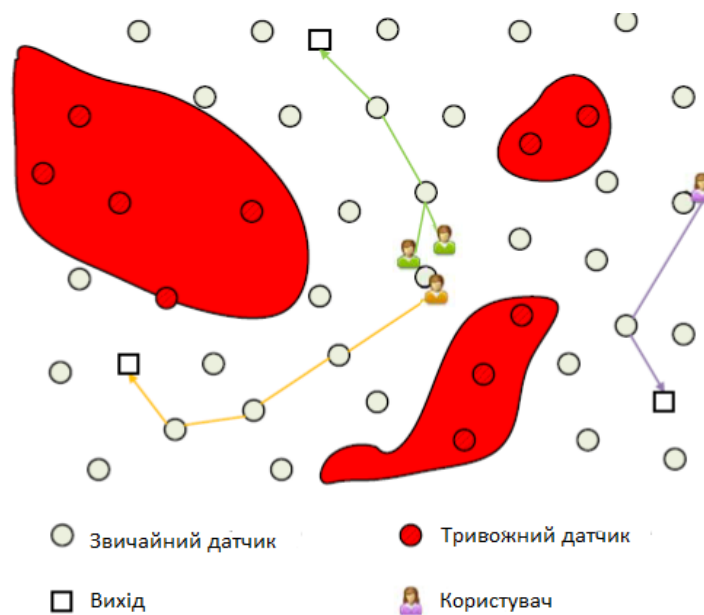


Рис. 1. Аварійна навігація за допомогою сенсорної мережі [1].

Якщо бездротова мережа датчиків виявить небезпечні області (червоні ділянки на рис. 1). Вузол запускає "Yes" сигнал тривоги, якщо він знаходиться в небезпечній зоні (червоні вузли). Або запускає "No" сигнал, якщо він знаходиться в безпечній зоні (сірі вузли). Для користувача, шлях навігації являє собою послідовність вузлів датчиків які є безпечними. Існуючі алгоритми ігнорують потенціал безпеки шлях, тобто, кількість людей, що проходять через нього безпечно за одиницю часу. Тому було запропоновано більш практичне визначення для безпечного шляху і його безпеки:

Визначення 1 (безпечний шлях): Шлях  $P = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  є безпечним шляхом, тоді і тільки тоді якщо  $\forall s_i \in P, d_i \geq d_T$ , де  $d_i$  є відстань між датчиком вузла  $s_i$  та його найближчого небезпечного сусіднього вузла, та  $d_T$  є гранична безпечна відстань.[2]

Таким чином,  $P$  може бути описаний як послідовність вузлів з  $s_1$  до  $s_n$ , та де  $d_T$  визначається за конкретним сценарієм.

Визначення 2 (Ємність безпеки): Для кожного датчика вузла  $s_i$  ємність безпеки рівна максимальній  $k$ -сті людей, що проходять через нього

благополучно за одиницю часу.

Ємність безпеки користувача для  $s_i$  вузла визначається відстанню  $d_i$  і властивістю зони біля  $s_i$  вузла. Для опису потенціалу безпеки вузла варто використовувати постійну і лінійну функції:

- Постійна функція:  $u_i = c$ , одна для всіх вузлів, наприклад, вузли в каналі.

- Лінійна функція:  $u_i = kd_i$ ,  $k > 0$ , лінійна відстань між  $s_i$  та її найближчого небезпечного сусіда вузла.[2]

В роботі розглянуто підходи реагування, що базуються на основі алгоритму швидкого реагування. Основна ціль даного алгоритму є:

- Всі шляхи евакуації, приведені алгоритмом навігації повинні бути безпечними шляхами.

- Усі користувачі повинні евакуювати із зони надзвичайних ситуацій без заторів.

- Алгоритм навігації повинен мінімізувати час загальної евакуації.

- Алгоритм навігації повинен бути ефективним і масштабованим, тобто, накладні витрати на зв'язок повинна бути невеликі.

На думку автора статі даний алгоритм є дуже перспективним і може заложити фундамент розвитку навігації під час надзвичайних ситуацій за допомогою сенсорних мереж.

## Література

1. Terrestrial ecology observing systems, center for embedded networked sensing. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://research.cens.ucla.edu/>.
2. Congestion-aware, loss-resilient bio-monitoring sensor networking for mobile health applications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications. // 27. – 2009. – №4. – С. 460–465.



## Секція 6. Засоби та пристрої телекомунікацій

Секцію 6 об'єднано з Секцією 2.

### SEMINAR

### Modern information and telecommunication trends

UDC 621.391:006

## ANALYSIS OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF MTIE FUNCTION

<sup>1</sup>Biryukov N.L., <sup>1</sup>Triska N.R., <sup>2</sup>Khudyntsev M.M.

<sup>1</sup>Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

<sup>2</sup>State Service of Special Communication and Information Protection of Ukraine

E-mail: nlbir@mail.ru, ntriska@ukr.net

### Исследование основных свойств функции MTIE

Рассмотрены основные свойства функции максимальной ошибки временного интервала МОВИ (MTIE) и возможности использования этих свойств для решения практических задач оценки качества сигналов в современных телекоммуникационных сетях. Проанализированы различные подходы к оценке МОВИ.

The research of accuracy and stability metrics is an actual issue now. The traditional approaches to evaluating and measuring of synchronization signals metrics should be adopted to the new packet networks, e.g., a Maximum Time Interval Error (MTIE) function. The MTIE is one of the main time-quantities for clock stability specification in telecommunications standards. The MTIE is a function of TIE (Time Interval Error) that is evaluated by the samples  $\{x_i=x(i\tau_0), i=1,2,\dots, N\}$  of the difference between a given timing signal and a reference signal within the measurement period ( $T=N\tau_0$ ), where  $\tau_0$  is the sampling interval and  $N$  is a sequence of equally spaced samples of  $x(t)$ . In general case, the  $TIE(\tau_0)$  is a function of systematic (i.e. initial frequency offset  $y_0$  and frequency drift  $D$ ) and random (i.e. phase/frequency modulated timing signal by white/flicker noise etc.) variables. We can add here measurement error (measurement uncertainty) and miscalculation, round-off error. So, in general case,  $TIE \equiv x_i$  is no stationary (time-dependent) random variable.

MTIE is the maximum peak-to-peak variation of the TIEs ( $x_i$ ) within an observation time ( $\tau=n\tau_0$ ) for all observation times. In practice MTIE is estimated by the following formula [1]:

$$MTIE(n\tau_0) = \max_{1 \leq k \leq N-n} \left[ \max_{k \leq i \leq k+n} x_i - \min_{k \leq i \leq k+n} x_i \right], \quad n = 1, 2, \dots, N-1, \quad (1)$$

where  $x_i$  and  $N$  are stated above,  $k$  – sequence number of the observation interval start and  $n$  – the number of samples at the  $k$ -th observation interval  $\tau_k = n\tau_0$ . If the  $x_{ppk}$  is the peak-to-peak  $x_i$  within  $k$ -th observation, that is  $x_{ppk}(\tau_k) = \left[ \max_{k \leq i \leq k+n} x_i - \min_{k \leq i \leq k+n} x_i \right]$ , then  $MTIE(\tau)$  is the maximum  $x_{ppk}(\tau_k)$  for all observation intervals of length within  $T$  and (1) may be presented in the shorted form:

$$MTIE(n\tau_0) = \max_{\substack{1 \leq k \leq N-n \\ k \leq i \leq k+n}} [x_{ppk}(\tau_k)], \quad n = 1, 2, \dots, N-1 \quad (2)$$

Note that  $x_{pp} = TIE_{pp}(\tau)$  and  $MTIE(\tau)$  is the maximum  $x_{pp}$  ( $TIE_{pp}(\tau)$ ) for all observations of length  $\tau$  within  $T$  [1]. The expressions (1) and (2) can be interpreted as well-known “sliding window” method for the review of TIE data files. Because of its peak-to-peak nature,  $MTIE(\tau)$  specifications are well suited to support the design of telecommunication equipment buffer size [1, 2].

The  $MTIE(\tau)$  features have been investigated several times. In particular, there is an approach which attempts to take into account MTIE dependence on measurement period  $T$  by studying the statistical properties of the peak-to-peak phase fluctuations based on the  $\beta$ -percentile MTIE concept [3, 4]. As a result of this research activity, ITU-T Recommendation G.810 [1] has redefined MTIE as a specified percentile  $\beta$  of the  $M$  sets ensemble  $\{X_1, X_2, \dots, X_M\}$  of measured data if measurements are made for multiple measurement periods  $M$ :

$$X_i = \max_{\substack{1 \leq k \leq N-n \\ k \leq i \leq k+ni}} [x_{ppi}], \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

while the estimator formula (1) has been left unchangeable. So, it was supposed that  $\beta$ -percentile MTIE concept allowed to estimate percentile MTIE values basing on the standard deviation of the underlying noise (in particular, under the assumption of Gaussian WPM noise). But applying the classical stationary process theory to MTIE estimation is quite questionable because MTIE is not a pure random function but rather a result of some processing of random (no stationary, in general case) variables obtained during the measurement or modeling. If measurement errors have Gaussian distribution, their upper and lower limits can be easily obtained from the Gaussian distribution percentiles. But these issues are rather in the scope of metrology.

The another approach to MTIE analysis is based on the general features of  $MTIE(\tau)$  function and use these features for identification of phase distortions deterministic components (initial offset  $y_0$ , line drift  $D$  and periodical components) on the  $MTIE(\tau)$  behavior [4, 5, 6]. The general features of MTIE function directly resulted from  $MTIE(\tau)$  general definition (1) are the following:

- a) an analog discrete time function of the continuous random sequence  $x_i$ ;
- b) a non-negative function ( $> 0$ );
- c) a non-decreasing function;
- d) a concave function:
  - if for  $k$ -th observation interval  $\tau$  the frequency offset  $\pm y_0$  predominates than:
    - $MTIE(\tau)$  is linearly increasing (irrespective of the offset sign), behaves as  $k\tau_0$ , and has the same slope as the original TIE function;
    - $MTIE(\tau)$  is a line function (so, is concave and convex),
- e) in the presence of line frequency drift (ageing) in set of  $TIE(\tau_0)$  the MTIE values are monotone increasing  $\sim(-\tau^2/2 + N \cdot \tau_0) \cdot D$  for all  $\tau \leq N \cdot \tau_0$  when “window” width  $\tau$  (or  $n$ ) is increasing and reach their maximum under  $N \cdot \tau_0$  (or  $n = N$ );
- f) the MTIE processing converts any convex function (convex data set) of  $TIE(\tau_0)$  into the concave function  $MTIE(\tau)$ ;
- g) joining of sets  $MTIE_1(TIE_1) + MTIE_2(TIE_2) + \dots + MTIE_n(TIE_n)$  equals MTIE of set sum  $TIE_1 + TIE_2 + \dots + TIE_n$ ;

- h) if there is phase jump  $\Delta x \leq \tau_0$ , then  $MTIE(\tau)$  gets up for all  $\tau \geq \tau_0$ ;
- i) if there is phase modulation of TIE by some periodical process only (with amplitude  $A$  and period  $T_p$ ), then  $MTIE(\tau)$  gets maximum pick-to-pick value  $x_{pp} = 2A$  in the observation interval  $\tau \cong T_p/2$ , and stays constant for all  $\tau \geq T_p/2$ ;

In addition, the  $MTIE(\tau)$  because of mentioned above (it appears from the feature “c”) has some features inherent in cumulative function after normalization to the global maximum  $MTIE$  value. For instance, the presentation of  $MTIE$  in the normalized form allows comparing the different  $MTIE$  functions behavior.

$MTIE$  calculation process may be shortened as it results from the listed above features. Specifically, the feature “g” permits to split TIE set into systematic and random parts for calculation and analysis and than combine them into complete full  $MTIE(\tau)$ . Such an approach can be applied to the new stability metrics calculation in packet network environment (for example, in packet selection and filtering process).

There are a lot of studies on this field. For example, in [7] the new metrics based on TIE are proposed for evaluation precise time messages using two-way network protocols (specifically, Precise Time Protocol – PTP). It is proposed to use the maximum likelihood estimation statistics to estimate TIE-based metrics. The close correlation between the new metrics for packet networks (e.g., MATIE, MAFE) and  $MTIE$  has been found [8], so the research of this phenomena will go on subject to the listed above  $MTIE$  general features.

### References

1. ITU-T Recommendation G.810 (08/96) Definitions and terminology for synchronization networks.
2. Bregni S. Synchronization of Digital Telecommunication Networks – John Wiley & Sons, ltd. – 2002, 395 pp. ISBN 0 471 61550 1.
3. Estimation of the Percentile Maximum Time Interval Error of Gaussian White Phase Noise/ S. Bregni, P. Tavella //IEEE ICC'97, Montreal, Canada, 8 –12 June 1997.
4. Н.Л. Бирюков, Н.Р. Триска Использование функции максимальной ошибки временного интервала для оценки состояния цифровых трактов. – Зв’язок. – 2004, № 1. – С. 50-54. (N. Biryukov, N. Triska Use of maximum time interval error function for estimation of digital paths condition. – Zvyazok. – 2004, no. 1, pp. 50-54).
5. Н.Л. Бирюков, Н.Р. Триска Свойства функций максимальной ошибки временного интервала (МОВИ). – “Вісник” УБЕНТЗ. – 2004, № 1 – С. 43-47. (N. Biryukov, N. Triska The features of maximum time interval error ( $MTIE$ ) function. – “Visnyk” UBENTZ. – 2004, no. 1, pp. 43-47).
6. The Synchronization of Telecommunication Networks. Oscilloquartz SA. Neuchâtel, The training course brochure. 2002.
7. М.Л. Бірюков Оцінювання якості двохстороннього обміну повідомленнями точного часу за функціями відхилення часового інтервалу. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ” № 1 – 2011 – с.24-29 /N. Biryukov Use of the time interval error metrics for the evaluation of two-way precise time stamp protocols – Proceedings of VITI, NTUU “KPI”. 2011, no. 1, pp. 24-29.
8. Н.Л. Бирюков, Н.Р. Триска, Н.Н. Худынцев Оценка стабильности сигналов синхронизации в современных пакетных сетях. – Матеріали 10-ї Міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми телекомунікацій” (ПТ-2016), с.46-148 /N. Biryukov, N. Triska, N. Khudinzev Evaluation of timing instability in up-to-date networks. – The materials of 10<sup>th</sup> International Scientific Conference “Modern Challenges in Telecommunications” (MCT-2016), pp.146-148.

## **PROBLEMS AND OPPORTUNITIES OF LTE IN THE UNLICENSED SPECTRUM BANDS**

**Pravylo V.V., Chernyavsky A.A.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
E-mail: ruskc2beat@gmail.com*

### **Проблемы и возможности LTE в нелицензированном спектре частот**

В работе рассматриваются возможности реализации LTE в нелицензированном спектре частот и преимущества данного выполнения. Также были описаны проблемы внедрения LTE систем в нелицензированный спектр частот и технологии, которые позволяют решить эти проблемы.

In this paper the possibilities of implementing LTE in the unlicensed spectrum bands and the advantages of this implementation are presented. Also, the problems of integrating LTE systems in the unlicensed spectrum bands and technologies that solve these problems are described.

Nowadays the amount of wireless mobile subscribers is rapidly growing and the data traffic is exponentially increasing, but the spectrum resources are limited and costly. The licensed spectrum for Long Term Evolution (LTE) is mostly from 700 MHz to 2.6 GHz. So, there are two problems with mobile data traffic: existing spectral resources are not enough to provide efficiently mobile communication and network capacity must be improved through existing wireless technologies and infrastructures. So LTE in the unlicensed spectrum bands at 5 GHz can help to improve the LTE service experience.

Thanks to the support of medium access technology in LTE, the unlicensed spectrum can be very effectively utilized. Moreover, the available unlicensed spectrum at 5 GHz is fairly broad. As a result, LTE-U has a lot of advantages: it will increase the network capacity and the amount of wireless users, improve system coverage, it can be easily integrated into the existing network without any additional network services. Also, using licensed and unlicensed spectrum, LTE-U can ensure a better user experience with the help of the carrier aggregation technique. Carrier aggregation can take over the licensed spectrum quickly to provide service quality when the unlicensed spectrum becomes inefficient.

But there are also some problems with implementing LTE-U. Many other radio access technologies also use the unlicensed spectrum. How to guarantee coexistence between LTE systems and other RATs operating at the same unlicensed spectrum becomes an important issue. Listen-before-talk (LBT) is used to support this coexistence, but there are still many unresolved problems.

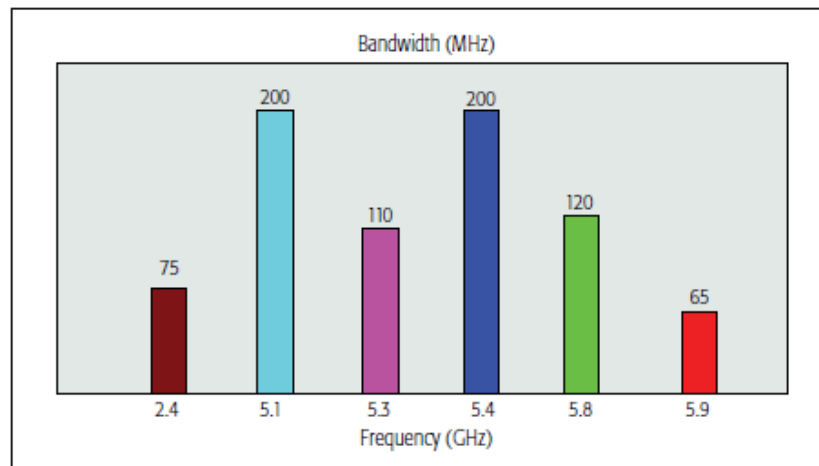


Fig. 1 Available unlicensed spectrum for shared bands

As illustrated in Fig. 1, most unlicensed spectrum bands for sharing 3GPP are around 5 GHz. The industrial, scientific and medical (ISM) radio band is currently hosting Wi-Fi, Bluetooth, UWB, ZigBee and U-NII within 2.4 GHz and 5 GHz bands. There is a task to choose such a band, which will allow LTE to be hosted in the unlicensed band and to cooperate properly with each system in the shared band. Also, the transmission power of the unlicensed spectrum varies because of the environments. The low transmission power, 200 mW or less, is usually used for indoor environments and the high transmission power, 1 W or more, is used in other ones.

To effectively utilize the unlicensed spectrum LTE-U should integrate with licensed spectrum techniques. LTE-U usually works in the areas where there is a coverage by the licensed LTE operation, but the additional capacity is needed, such as for public indoor or outdoor hotspots. Macro cells, small cells and Wi-Fi may access the shared unlicensed band, as shown in Fig. 2. Thus, LTE-U should cooperate with other systems to provide high capacity and efficiency. Also, it is important to work together with the existing LTE system for good coverage and reliable control transmission.

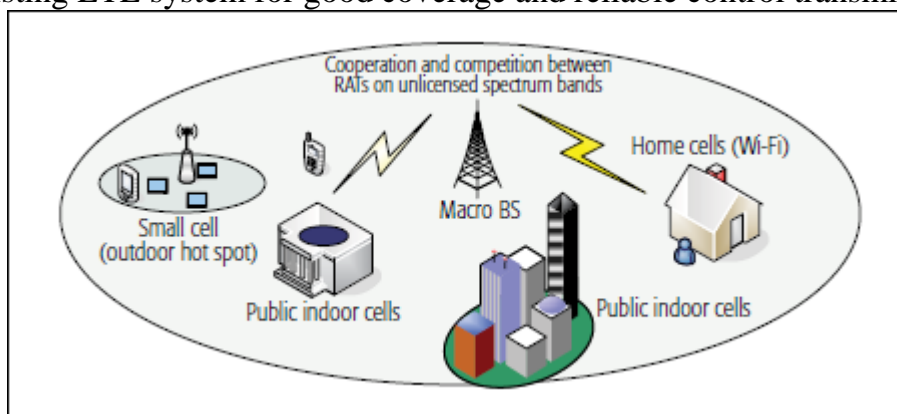


Fig. 2 RATs on unlicensed spectrum bands

The LTE-U medium access process include:

- Carrier Sensing Adaptive Transmission (CSAT). It sets a duty cycle when a small cell sends a part of the cycle and releases channel during the rest of the cycle. During the duty cycle for LTE-U, the channel is occupied by LTE and Wi-Fi needs to keep silent. During the rest of the cycle, Wi-Fi is working in that channel and the system will determine Wi-Fi medium utilization. Fig. 3

shows an example of usage CSAT.

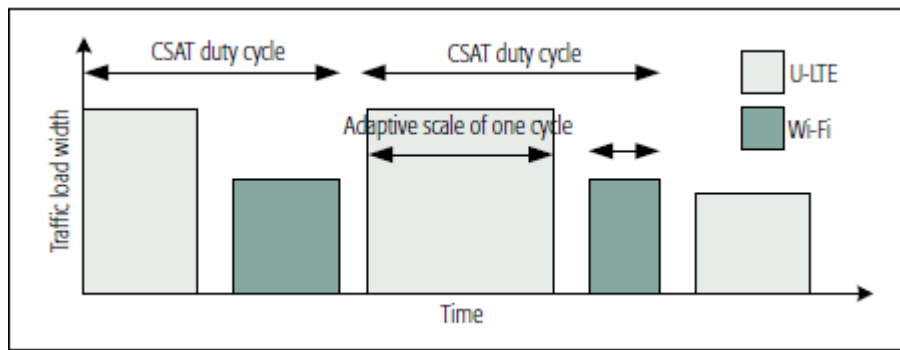


Fig. 3 CSAT duty cycles

- Listen Before Talk (LBT). It is a medium access mechanism through application of clear channel assessment (CCA) time for channel observation. CCA consists of carrier sense (CS) and energy detection (ED). CS means the ability of the receiver to detect and decode a Wi-Fi preamble and ED means the ability to operate channel and cancel data transmission according to energy level.
- Almost Blank Subframe (ABS). To coexist with Wi-Fi transmissions LTE systems can mute their own operations in certain subframes which are called almost blank subframes. They are called “almost blank” because LTE can still transmit some broadcast signals, control signals and synchronization signals over these subframes.

Different channel sensing mechanisms have been adopted in different RAT systems during transmission and reception of packets in the unlicensed band. Since licensed LTE focuses on increasing spectral efficiency and improving the user experience, LTE-U should be designed with less impact on existing Wi-Fi or other RATs. So, such parameters like bandwidth, latency jitter and others should be considered to ensure fair medium access and effective coexistence of all kinds of RATs.

As a result, different RATs will coexist with each other, providing mobile users fast wireless connection. Without implementing any additional network services and infrastructure, LTE-U can use the existing LTE infrastructure to guarantee authentication, security, mobility and quality of service.

### References

1. LTE-U: unlicensed spectrum utilization of LTE, Huawei White Paper, 2014.
2. A. Bhorkar, C. Ibars, and P. Zong, “Performance Analysis of LTE and WiFi in Unlicensed Band Using Stochastic Geometry,” Proc. IEEE PIMRC 2014, Sept. 2014, pp. 1310–14.
3. E. Almedia et al., “Enabling LTE/WiFi Coexistence by LTE Blank Subframe Allocation,” IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 11, 2014, pp. 54–61.
4. F. Liu et al., “Small Cell Traffic Balancing over Licensed and Unlicensed Bands,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 99, no. 99, 2015, pp. 1–16.

## PERFORMANCE ANALYSIS FOR THE QoS SUPPORT IN LTE

**Pravylo V.V., Yarosh B.Y.**

*Institute of Telecommunication Systems, National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

*E-mail: gdanyaro@gmail.com*

### Анализ производительности для поддержки QoS в LTE

В работе рассматриваются различные схемы и алгоритмы поддержки QoS в LTE сетях. Наводятся принципы их работы и приводится их сравнение. Рассматриваются возможности этих схем противостоять задержкам, фазовым и частотным отклонениям и потери пакетов.

In recent decades, staggering number of mobile applications has been developed in the wireless technology arena. The Long Term Evolution (LTE) has become one of the most common wireless technology used for those applications. Mobile applications are classified into Real-Time (RT) and Non Real-Time (NRT). The growth in the number of users burdens the network with more congestion which requires techniques to carry various types of traffic simultaneously in order to alleviate the problem. The most important trouble with the RT applications is that they are delay sensitive, and this is why created a scheme that enables LTE system to achieve reasonable values for delay, jitter, and packet loss.

The QoS in LTE is provided by means of a bearer that uniquely identifies a packet flow between the user and the Packet Data Network Gateway (PGW). It is also responsible for giving the priority to a packet transmission across the LTE network. After successful authentication and registration of a user on the LTE network, bearers are established.

The bearers are categorized into two types, namely the default and the dedicated bearers as shown in Figure 1.

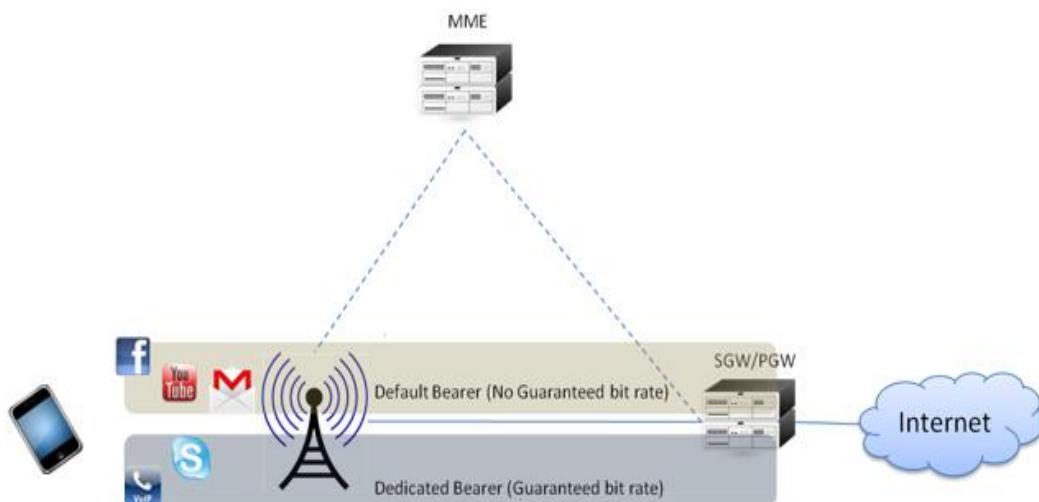


Figure 1. The two types of a bearer. (MME - Mobility Management Entity, SGW - Serving Gateway).

Default bearers are established when the PDN-GW allocates an IP address to the user. Default bearers are responsible for providing the basic IP connectivity to the LTE network. However, they do not provide any guaranteed QoS for the transmitted packets. Dedicated bearers are established based on the subscription profile of the user when there are specific services, such as voice, video streaming, etc.

The bearers are grouped as Guaranteed Bit Rate (GBR), and Non-Guaranteed Bit Rate (N-GBR). To specify the class of bearer, QoS class identifier (QCI) is assigned to it. Nine of QCIs are defined as five Non-GBR and four GBR classes, each one with specific QoS requirements as outlined in Table 1. The QCI equals a service which based on service priority, bearer type, packet loss rate, and delay budget.

Table 1. Values of multiple parameters for each type of QCI.

QCI	Bearer Type	Priority	Packet Delay	Packet Loss	Example
1	GBR	2	100 ms	$10^{-2}$	VoIP Call
2		4	150 ms	$10^{-3}$	Video Call
3		3	50 ms	$10^{-3}$	Online Gaming(Real Time)
4		5	300 ms	$10^{-6}$	Video Streaming
5	1	100 ms	IMS Signaling		
6	Non-GBR	6	300 ms	$10^{-6}$	Video, TCP based services e.g.email, Chat, ftp etc.
7		7	100 ms		$10^{-3}$
8		8	300 ms	$10^{-6}$	Video, TCP based services e.g.email, Chat, ftp etc.
9		9	300 ms		

QoS for VoIP was implemented in a router by applying different queuing algorithms, such as First-In-First-Out (FIFO), Priority Queuing (PQ), Weighted Fair Queuing (WFQ) and packet scheduling algorithms such as Maximum-Largest Weighted Delay First (M-LWDF). WFQ and PQ algorithms are the most appropriate to improve the QoS experience for VoIP. Their results show that the values of performance measurements are within acceptable range e.g. delay, jitter, and packet loss. The investigation of the performance of M-LWDF packet scheduling algorithms in the downlink path of LTE system shows that the M-LWDF algorithm overtakes other packet scheduling algorithms for the downlink path of LTE system when video streaming application is used. It provides higher system throughput, supports a higher number of users, and guarantees fairness at a suitable level.

There is also the QoS provisioning framework that simultaneously applies several queue algorithms and could be adopted by LTE. The goal of this framework is to achieve acceptable jitter and end-to-end delay, for the RT applications (Video and Voice) in LTE. This is done by separating the incoming traffic into RT and NRT, then using different queuing scheme in two stages:

- In the first stage Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ) and Round Robin Queuing (RRQ) are used for RT and NRT traffic respectively;
- Deficit Weighted Round Robin Queuing (DWRRQ) is used in the second stage to separate RT from NRT traffic classes as shown in Figure 2. CBWFQ is an enhanced version of WFQ used for processing a diverse set of traffic coming from several queues by assigning a weight for each queue in terms of the number of



processed packets and bandwidth ratio. DWRRQ, on the other hand is a modified version of RR used for processing various traffic coming from several queues by assigning a weight for each queue in terms of the number of processed bits.

Packets are classified into RT and NRT traffics based on their application types. For instance, if there are video or voice applications, they are forwarded to the RT Queue; otherwise they are classified under NRT. Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ) is used in the case of RT applications as a first stage to separate RT flows based on their respective classes to provide an appropriate ratio of bandwidth to voice and video applications. For example, a higher ratio of bandwidth could be allocated to Video Conferencing, and a lower ratio to VoIP since video applications require more bandwidth than voice application. Since the NRT applications (FTP, HTTP, etc.) are not sensitive to delay, RRQ is used in NRT traffic as the first stage to give parallel opportunity to all NRT flows to be scheduled regardless of priority. In the second stage, DWRRQ is used to schedule the RT and NRT queues by giving different weights in term of the number of bits based on the type of application. The flows are classified based on QCI value when the framework is implemented in LTE. For instance, the QCI 1 is allocated to VoIP call, and QCI 2 is specified for video Call.

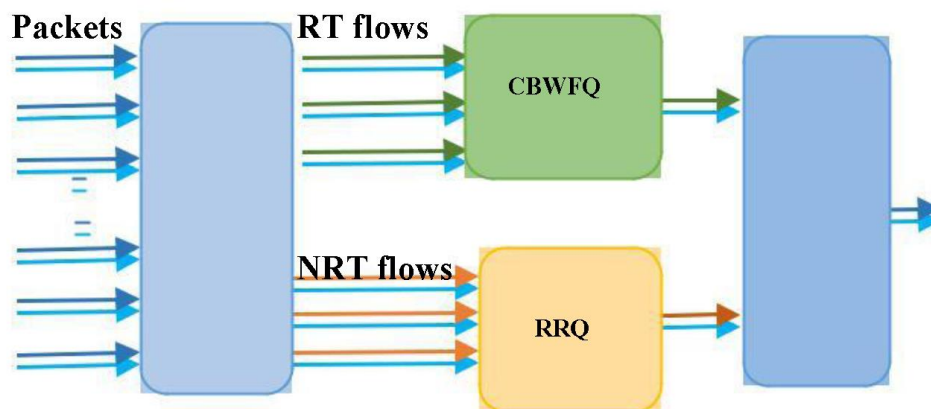


Figure 2: The two stages performed in the framework.

As a result, the purpose solution could deliver the QoS requirements of video and VoIP applications based on their strict delay bound.

Common QoS strategies can be adopted by multiple wireless network technologies such as LTE. This is a promising solution for integrated networks.

### References

1. Prasanna Gururaj Raghavendrarao. "Voice over LTE" M.A. thesis, Delft University of Technology, Netherlands, 2012.
2. 3GPP TS 23.203: "Policy and charging control architecture, Release 11.", 3rd Generation Partnership Project, available : <http://www.3gpp.org/DynaReport/23203.html>, Nov.1, 2015.
3. Yangyang Dong. "LTE-Advanced: Radio Access Network Resource Management" Master thesis, University of Bremen, German, 2013.
4. Fakhar Uddin Ahmed, Shikhar Kr. Sarma. "QoS and Admission Controller in IEEE 802.11e WLAN" 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, 2013, page 468.

**PERSPECTIVES OF ALGORITHMS TRANSFORMATION  
OF NOISE-IMMUNE SIGNALING OF DVB-T2 STANDARD  
INTO A DUPLEX COMMUNICATION SYSTEM**

**Uryvsky L.O., Shevchenko M.V.**

*National Technical University of Ukraine*

*“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”*

*E-mail: leonid\_uic@ukr.net, marshellka@gmail.com*

**ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ АЛГОРИТМОВ  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ СТАНДАРТА  
DVB-T2 В ПРОТОКОЛЫ ДУПЛЕКСНОЙ СВЯЗИ**

В данной работе рассматриваются новшества, внедренные в стандарт телевизионного вещания DVB-T2, с точки зрения переноса его особенностей из системы с односторонней передачей в дуплексные многопользовательские системы. Детально рассмотрены механизмы обеспечения устойчивости сигнала в пределах физического канала. Значительное внимание в статье уделено особенностям стандарта, отвечающим за мультисервисность системы.

The DVB-T2 standard is the latest standard for television broadcasting. The DVB-T2 standard is rated to improve the throughput of DVB-T2 networks at least 30% with the same infrastructure and frequency resources in comparison with DVB-T. DVB-T2 is fundamentally different as a system level architecture (MAC-layer - control of access to multimedia), as functions of the physical layer. A fundamental difference with the previous standard is the concept of the physical layer PLP (Physical Layer Pipe).

These innovations are a platform for transferring features of DVB-T2, as a system with one-way transmission, to an alternative multi-user and multi-service duplex system.

An important feature of the considered standard can be characterized by the multiservice system, i.e. orientation to several services. The DVB-T2 system is capable of transmitting several independent multimedia streams, each of which is processed in its backbone - a physical layer (PLP) channel.

Much attention in the algorithms of the standard is paid to ensuring the stability of information transfer. Streams are different in their structure, by the way each stream has an own modulation scheme, coding rate and time intervals.

The packets of each stream are combined into frames. The header of the frame contains information about the length of the packet and the position of the first packet, which allows reconstructing the frames on the receiving side. The size of each frame, that contains any content and/or internal signaling, is constant for PLP, but depends on the code rate of the LDPC and the length of the FEC blocks.

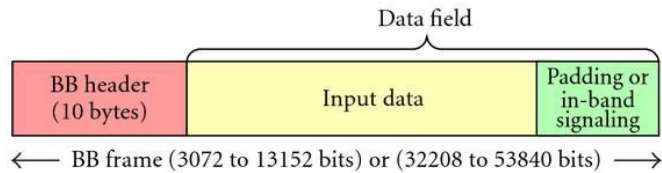


Fig.1. Streaming frame structure

In comparison to the duplex satellite communications system (SCS), where combination of convolutional codes and Reed Solomon codes are commonly used, encoding in DVB-T2 is more efficient, since convolutional codes are considered one of the least effective codes. Therefore, it is possible to propose more complex in calculating long-block LDPC for SCS, as in the DVB-T2 standard. A block LDPC code or a long BCH would provide the same encoding speed for the same communication parameters, thereby increasing the noise-immunity of the signal and the system capacity.

One of the innovations of DVB-T2 is the introduction of a modulation scheme with a "rotating" signal constellation. Literally, the generated modulation symbol rotates in a complex plane by a certain angle depending on the number of modulation levels ( $29^\circ$  for QPSK,  $16.8^\circ$  for 16-QAM,  $8.6^\circ$  for 64-QAM and  $\arctg(1/16)$  for 256-QAM). In addition, before starting the rotation, the symbol coordinate (Q) of each modulation symbol is cyclically shifted within the same code word.

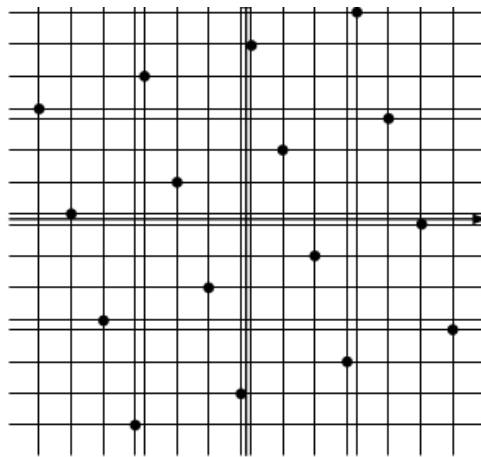


Fig.2. Signal constellation 16-QAM after turning

Such a turn can significantly improve the noise-immunity of the signal for typical ether problems. Turning the diagram to a precisely chosen angle, each point of the constellation receives unique coordinates (Q-coordinates and I-coordinates) that are not repeated by the remaining points. Thus, if one carrier or symbol lost as a result of interference, information about another coordinate would be preserve, this will allow the symbol to be restored but with a lower signal-to-noise level.

In a remarkable term of events the multi-user system is the factor that the DVB-T2 standard implements the OFDM technology. The OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) technology is a method for modulating a plurality of carriers,

i.e. distributing a multitude of flows, within its bandwidth with a frequency step. The modulation rate of an individual carrier is sufficiently small, which makes it possible to use effective noise-immune encoding and take measures to combat intersymbol interference (introduce special guard intervals in each OFDM symbol). This is an essential factor for increasing the stability of duplex radio relay communication.

An additional tool for combating the multipath and its duration is using three cascades of displacements in the DVB-T2 standard: bit, time and frequency interleaving. This allows the LDPC decoder to be free from the effect of grouping errors in fading.

In this case, bit interleaving is responsible for randomizing bits within FEC blocks.

The time interleaving redistributes the FEC block data by symbols within the frame of the DVB-T2 frame. This increases the resistance to impulse noise and the characteristics change of the transmission path.

Finally, frequency interleaving allows data to be randomized within the OFDM symbol in order to mitigate the effect of selective frequency fading. These circumstances make it possible to ensure that the distorted elements, including batch errors, in the decoder will be scattered over the LDPC FEC frame, which should allow the LDPC decoder to perform the reconstruction.

The structure of the streaming FEC frame with BCH & LDPC coding is shown in figure 3. The total length of the frame with superimposed noise protection encoding is 64800 bits.

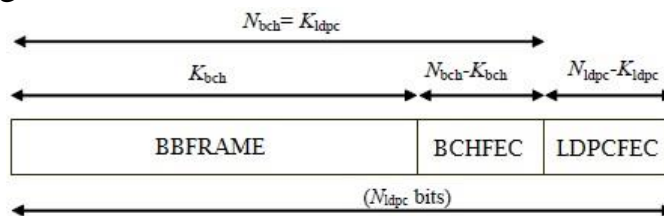


Fig. 3. Format of data with BCH & LDPC coding

In a conclusion paragraph, we can admit that the DVB-T2 standard contains many effective and advanced algorithms for noise-immune signaling that could be useful in duplex radio-relay and satellite communication systems.

### References

1. Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). – Draft ETSI EN 302 755 V1.4.1, February 2015.
2. Balyar V.B. Comparative characteristics of digital terrestrial television broadcasting standards of DVB-T/T2/V.B. Balyar, O.V. Gofaizen // Digital technology. - 2012. - Vol. 11. - P. 31-46.

## **FEATURES OF MULTISERVICE STREAMS TRANSMISSION IN DVB-T2 STANDARD**

**Uryvsky L.O., Solianikova V.Y.**  
*National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
E-mail: leonid\_uic@ukr.net, leka-br@mail.ru*

This article describes the transmission of multiservice streams in the DVB-T2 system. The multistreaming (M-PLP) of this system is explained and the basic transformations from information streams to building superframes are described.

## **ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ПОТОКІВ В СТАНДАРТІ DVB-T2**

В даній статті описується передача мультисервісних потоків в системі DVB-T2. Пояснюється багатопоточність цієї системи (M-PLP) та описуються основні перетворення від інформаційних потоків до побудови суперкадрів.

DVB-T2 is a digital terrestrial transmission system developed by the DVB Project. It is the most advanced system in the world and introduces the latest modulation and coding techniques to enable highly efficient use of terrestrial spectrum for the delivery of audio, video and data services to fixed, portable and mobile devices.

The DVB-T2 system is capable of transmitting several independent multimedia streams, each with its own modulation scheme, coding rate and time slots. The Physical Layer Pipes (PLP) in DVB-T2 as DVB-S2 are logical channels carrying one or more services with modulation scheme and robustness [1].

The M-PLP (Multistreams) feature of DVB-T2 opens a wide range of increasing the transmission efficiency by means of a services number, so the DVB-T2 standard is not a "simple" system for transporting packages of digital video content. This is a powerful multimedia broadcasting tool, which initially has huge opportunities to expand functionality.

Each input PLP may take one of the following formats: Transport Stream (TS), Generic Encapsulated Stream (GSE), Generic Continuous Stream (GCS), Generic Fixed-length Packetized Stream (GFPS).

The packets of each main stream are combine into Baseband frames (BB-frames) - separately for each stream. The distribution of streams by frames is handled by a special dispatcher at the stage of formation of BB-frames. The BB-frame contains the BB header (80 bits), the data field and the alignment field, see figure 1.

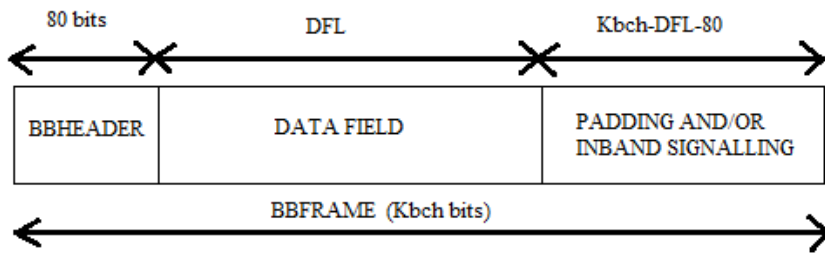


Figure 1. The structure of the Baseband frame.

The generated BB-frame is scrambled (randomized by multiplying by a pseudo-random sequence) and subjected to corrective coding. The corrective code is a cascading code. As an external code, the block coder Bose-Chowdhury-Hocquingham (BCH) is used in it. As internal - a low-density code with a parity check (LDPC). Depending on the encoding speed of the LDPC, the size of the input data block for the BCH coder may differ, however the output codeword size after the LDPC is always 64800 bits [2].

Before modulation (except for BPSK and QPSK), codewords are subjected to bit interleaving and distributed by modulation symbols. After the formation of the modulation symbols, they are interleaved within the codeword.

All the processes considered until then are performed at the same time for individual main stream. As a result, a sequence of modulation symbols is formed for each PLP.

In order to enable the reception of PLPs separately, physical layer (L1) signaling indicating how the PLP can be received is necessary. In DVB-T2 the L1 signaling is mainly transmitted in preambles located in the beginning of so called T2 frames. The T2 frame begins with preamble consisting of P1 and P2 symbols followed by data symbols. The structure of the T2 frame is depicted in Fig. 2.

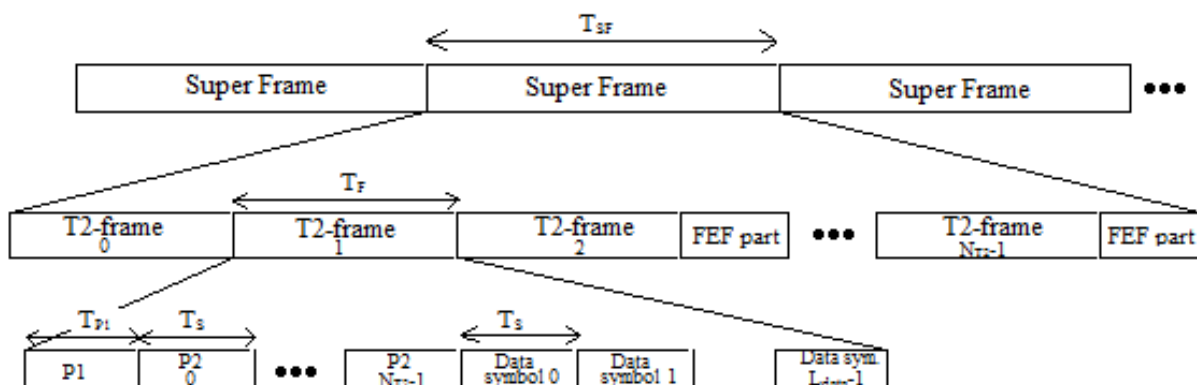


Figure 2. The DVB-T2 frame structure, showing the division into super-frames, T2-frames and OFDM symbols.

The physical layer signaling information L1 in DVB-T2 system is transmitted

mainly in preamble symbols P1 and P2. The P1 symbol conveys the most important system parameters in a very robust way and enables the reception of P2 symbols that carry the rest of the L1 signaling. With the L1 signaling information the receiver is able to decode the PLPs from the received signal.

The maximum duration T2 frame - 250 ms. The T2-frames are combined in superframe.

The number of T2-frames in a super-frame is a configurable parameter  $N_{T2}$  that is signalled in L1-pre signalling, . The T2-frames are numbered from 0 to  $N_{T2}-1$ . A super-frame can carry T2-frames and may also have FEF-parts – Future Extension Frame (see figure 2). FEF is used for reserving space for information that may appear in the future and be transmitted in OFDM. There may be several FEF parts in the super-frame [3].

The complexity of the task of transferring many services to many remote users makes it necessary to manage a variety of overhead and security transformations associated with the addition of signals stream and redundant symbols. Hence, the actual transmission speed of symbols in the ether of DVB-T2 standard is substantially greater than the actual data rate. This again provokes the system for redundancy of interference protection devices. This is the price of providing multiservice in the DVB-T2 standard.

In this way, the DVB-T2 standard is an example of the implementation of a modern multiservice multistream system with reliable transmission of information to many users, but in the mode of unidirectional communication. Perspective should consider the task of implementation of the formulated principles during creation of the innovation multiservice systems for double-sided (including duplex) communication.

### References

1. Омелянюк І.В. Цифрове ефірне телебачення. Практика, нові напрямки розвитку цифрового ефірного телебачення та створення цифрових ефірних телемереж / Посібник для фахівців телебачення. – К.: ЗАО «Телерадіокур'єр», 2009. – 192 с.
2. Живолович К.О. Цифрове телебачення в Україні та світі. Переваги, методи, проблеми та стандарти. – Науково-технічна конференція "Сучасні інфокомунікаційні технології"/ Збірник тез. – К.: ДУТ, 2014. – с.17-20.
3. Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). – Draft ETSI EN 302 755 V1.4.1, February 2015.

## COMPLEX SELECTION CRITERIA OF CLOUD GATEWAY

**Kurdecha V.V., Ishchenko I.O., Zakharchuk A.G.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
E-mail: ivanishchenkoo@gmail.com*

### КОМПЛЕКСНИЙ КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ХМАРНОГО ШЛЮЗУ

У даній статті описуються дві реалізації хмарних шлюзів, що надаються компаніями Microsoft і Amazon. Клієнти хочуть набагато більше, ніж збір даних з Інтернету кінця в кінець речей платформи. Microsoft і AWS містять різні компоненти для збору, зберігання і аналізу даних.

This article describes two implementations of the Cloud Gateways, provided by Microsoft and Amazon companies. Customers want much more than data collection from an end-to-end Internet of Things platform. Microsoft and AWS platforms contain different components for collecting, storing and analyzing data.

The Cloud Gateway is a very important part of every IoT system, because it handles a huge number of devices at scale and a lot of incoming messages per second into the system [1]. For this reason, big companies started to develop their solutions to provide such a gateway and simplify the ingestion and communication part of an IoT solution. Microsoft announced its Azure IoT Hub and Amazon replied with its AWS IoT platform. In this issue two Cloud Gateway implementations of Azure IoT Hub and AWS IoT platform were compared.

IoT Hub is the new entry in the Microsoft Azure offer; it's a service that enables bi-directional communication between devices and our business engine in the cloud. The communication channel is reliable and secure and the authentication is per-device using credentials and access control [2].

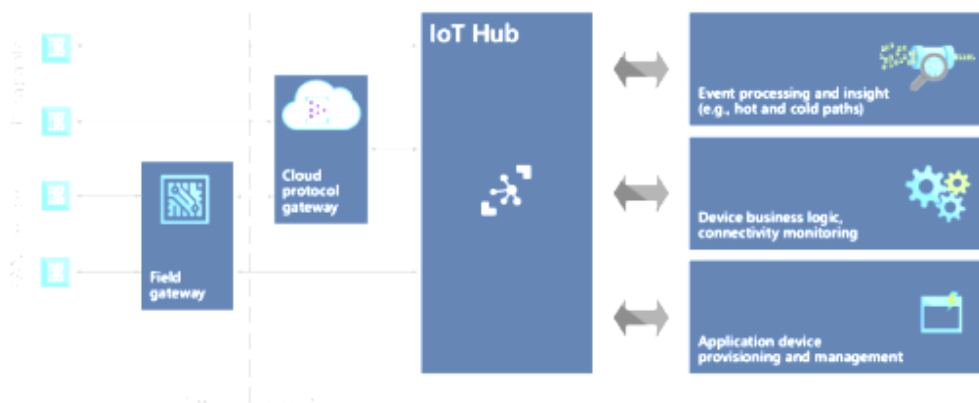


Fig. 1. IoT architecture with IoT Hub.



IoT Hub has an identity registry where it stores all information about provisioned devices. This information is not related to devices metadata (they are up to you in your IoT solution that uses IoT Hub, for example manufacturer and firmware/software version info) but it is related to identity and authentication. It provides monitoring information like connection status (connected/disconnected) and last activity time; you are also able to enable and disable the devices using this registry. Of course, IoT Hub exposes another endpoint (device identity management) to create, retrieve, update and delete devices.

AWS IoT has the same objectives as IoT Hub but reaches them in a different way.

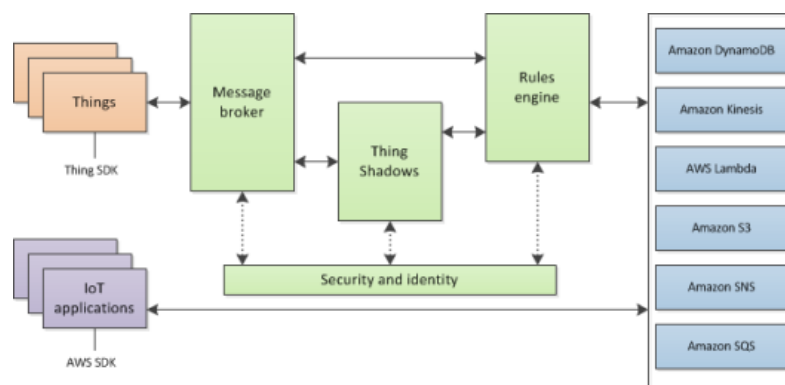


Fig. 2. AWS IoT data services

AWS IoT provides the telemetry data to the system publishing states from devices to cloud; the platform provides the command pattern changing the desired state for a thing shadow (of course changing the state for a device means to request an action). AWS IoT has a thing registry that contains devices related to information and allows adding custom attributes that are part of the devices metadata (for example manufacturer, serial number) [3]. The interaction with the thing registry to create, delete and update things is enabled with the AWS CLI (Command Line Interface) that provides all such operations.

The connection established between devices and IoT Hub is TLS (Transport Layer Security) based so that the communication is encrypted to guarantee data confidentiality; the server is authenticated thanks to its own X.509 certificate sent to the device during the TLS handshaking. The authentication is provided by IoT Hub verifying a token (sent from the device) against the shared access policies and device identity registry security credentials.

AWS IoT relies on TLS protocol so that the communication with the message broker is encrypted and the client is authenticated using the mutual authentication (so with X.509 client certificate too). The certificates can be created, activated and revoked using the AWS CLI or the AWS online console; of course we can also use a certificate that is already in our possession [4].

It is possible to support additional protocols using the Azure IoT Protocol Gateway framework that provides protocol adaptation from a different protocol

(MQTT or any other custom protocol) to AMQP with direct access to the IoT Hub. MQTT is the official supported protocol for AWS IoT that the message broker uses for publishing and subscribing messages on topics.

The IoT Hub price is defined starting from the IoT Hub unit concept related to the maximum number of device connected and the number of messages transmitted per day. Each unit allows handling up to 500 devices and we can allocate a maximum number of 200 units. Of course, the IoT Hub provides operation throttles for all types of operation like identity registry operations, device connection and finally device to cloud and cloud to device operations. To try out the IoT Hub for free, there is a free tier which enables to connect up to 10 devices with a maximum of 3,000 messages per day (from all devices). Pay attention that current price reflects a preview discount of 50%. The AWS IoT pricing is based on million messages exchanged quota. The total cost is evaluated both on publishing and delivering messages from/to devices and applications. A message is a 512-byte block of data processed by AWS IoT. To start trying the platform we can create an account and use the free tier which gets you started with 250,000 free messages (published or delivered) per month, for 12 months without limitations on the number of connected devices.

*Conclusion.* It is interesting to see how each provider is tackling the IoT problem space. Microsoft and Amazon developed their platforms with different choices starting from the underlying protocols used for communication : AMQP vs MQTT. Microsoft has already used AMQP for all services under Service Bus umbrella so it seems to be a logical choice for IoT Hub.

Pricing is completely different and it could be one reason for your choice depending on your IoT business.

### References

1. Globa L.S., Kurdecha V.V., Ishchenko I.O., Zakharchuk A.G. An approach to the Internet of Things system architecture. CADSM'2017.
2. R. Want, B. N. Schilit, and S. Jenson "Enabling the internet of things" Computer, vol. 48, no. 1, pp. 28–35, Jan 2015.
3. Hongki Cha, Wonsuk Lee, Jonghong Jeon "Standardization strategy for the Internet of wearable things", Republic of Korea, ICTC 2015.
4. Jorge E. Luzuriaga , Miguel Perez , Pablo Boronat , Juan Carlos Cano, Carlos Calafate , Pietro Manzoni "A comparative evaluation of AMQP and MQTT protocols over unstable and mobile networks", IEEE 12th Consumer Communications and Networking Conference, 2015.

## AN APPROACH TO DATA PROCESSING OPTIMIZATION CONSIDERING ENERGY EFFICIENCY AND PERFORMANCE PARAMETERS

**Gvozdetska N.A., Globa L.S.**

*Institute of Telecommunications of National Technical University  
of Ukraine Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
E-mail: n.gvozdetska@gmail.com*

### Підхід до оптимізації обробки даних з урахуванням параметрів енергоефективності та продуктивності

Запропоновано підхід до оптимізації обчислень у центрі обробки даних (ЦОД) за критеріями енергоефективності та продуктивності обчислень. Ефективність запропонованого підходу було перевірено за допомогою натурального експерименту та імітаційного моделювання у середовищі MATLAB.

New services that are going to be provided with the 4G and 5G technologies development require higher rates of data processing and its transmitting. Such services as IoT (Internet of Things) and M2M (Machine to Machine communication) produce big amounts of data that need to be processed as more efficiently as possible. Thus, data centers are consuming more and more power every year.

Servers' sources are used very inefficiently. Some statistics got by Google in 2013 shows that the servers' load is very unsteady. The average load ranges between 15% and 60% for one server and between 40% and 85% for another [1]. It means that the amount of the consumed power is much bigger, than it could be. It causes the challenge to develop a strategy of load balancing within the server cluster that would perform high processing rates and reduce power consumption at the same time [2].

In this paper, an approach to data processing optimization considering energy efficiency and performance parameters is proposed. It is aimed to increase server cluster's performance increasing at the same time its energy efficiency.

According to the proposed approach each node of the server cluster must be preliminary certified to determine its function  $P_j = f_j(CPU_j)$ . This information should be included into descriptive table of each unit with its RAM volume value, number of processing cores and performance (measured in number of floating point operations per time unit (FLOPS)).

The algorithm that presents an approach consists of 7 steps. It is described by fig.1.

<b>Step 1.</b>	Evaluate the state of the cluster at the moment $\tau_{k-1}$
<b>Step 2.</b>	Exclude all the inappropriate nodes (by RAM and cores available)
<b>Step 3.</b>	Find the set of summary consumptions $P_{\Sigma} = \{P_{\Sigma_j}\}$
<b>Step 4.</b>	Sort the set $N_j$ by theoretically inserted gain of the consumed power: $N_P = \{N_{P_j}\}$
<b>Step 5.</b>	Sort the set of leftover nodes by performance (FLOPS): $N_{FLOPS} = \{N_{FLOPS_j}\}$
<b>Step 6.</b>	Grant each node in sets $N_P$ and $N_{FLOPS}$ with the marks according to its position in these sets
<b>Step 7.</b>	Allocate the task to the node with maximal total mark

Fig. 1. General description of proposed approach

To evaluate the proposed approach performance in real environment an experiment was carried out. For comparison Round Robin algorithm was chosen as simple and widely used algorithm.

For the experiment five nodes were used. Server cluster topology that was used in experiment is presented on the fig.2.

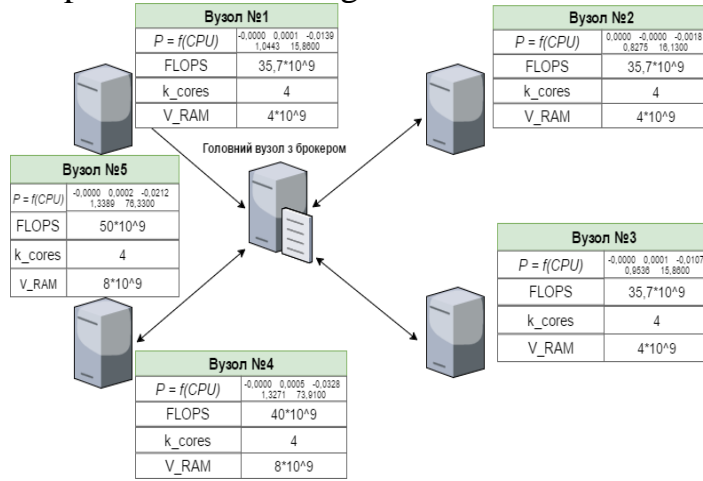


Fig. 2. Topology of cluster evaluated in experiment

On fig.2 each server has its description that must be formed according to the proposed approach within preliminary cluster analysis process. The first row of each descriptive table contains coefficients of polynomials that present  $P_j = f_j(CPU_j)$  functions. These functions were got with the help of wattmeter that is presented on the fig.3.1.  $P_j = f_j(CPU_j)$  functions in graphical form are presented on the fig.3.2.

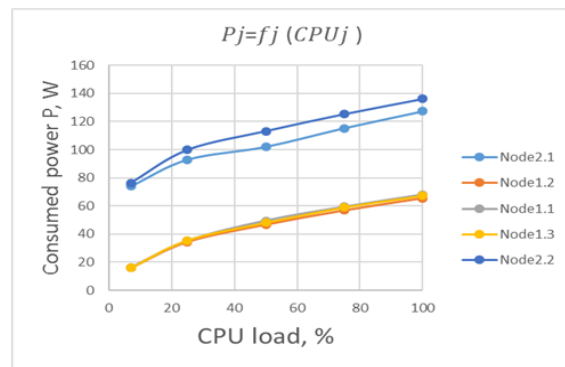


Fig. 3. Preliminary cluster evaluation: 1 – wattmeter for  $P_j = f_j(CPU_j)$  defining; 2 -  $P_j = f_j(CPU_j)$  functions got experimentally.

To compare the proposed approach with other algorithms, the most widely used and simple one was chosen. Round Robin schedules tasks to each server in the cluster one by one without any priorities. If there are no sources on the node chosen for current task processing, this task goes to a queue.

The scheduler coded in accordance to Round Robin was placed on the main node. The cluster was loaded with the  $\pi$  number to 1000, 5000, 10000, 25000, 50000, 75000, 100000 decimal places counting tasks.

To test the proposed approach the same set of tasks was used. To the main node new scheduler code was placed.

The results of experiment are presented in the table 1.

Table 1. Proposed approach experimental analysis results

Algorithm	Average time of 1 task processing (s)	Power consumed (W)	Gain (in comparison with Round Robin) (%)	
			in time	in power consumed
<b>Round Robin</b>	14.835	376.88	0%	0%
<b>Proposed approach</b>	13.324	365.8	<b>10,2%</b>	<b>3%</b>

It is possible to see from the table that proposed approach gives some gain in performance and power consumption as well. The gain is not high because of the small number of nodes in cluster and their homogeneity. To show approach's efficiency for bigger cluster MATLAB modeling was held.

The results of MATLAB modeling for cluster including 20 nodes processing typical day workload is presented in the table 2. The typical workload that was used is presented in [4].

Table 2. Modeling of 20 nodes in cluster working the whole day results

Algorithm	Average time of 1 task processing (s)	Power consumed (W)	Gain (in comparison with Round Robin) (%)	
			in time	in power consumed
<b>Round Robin</b>	15.76	30578	0%	0%
<b>Proposed approach</b>	10.07	28568	<b>36,1%</b>	<b>8,3%</b>

The results of modeling showed that proposed approach has some benefits in power consumption and in performance as well. The gain of proposed approach reached 36,1% in average processing time and 8,3% in power consumption.

So, in this paper new approach to the energy efficient load balancing in data center was proposed. The proposed approach was evaluated experimentally and with the help of MATLAB modeling. The results showed that the proposed approach gives benefit up to 8,3% in energy efficiency and 36,1% in performance (in case of 20 nodes in cluster).

### References

1. Natural Resources Defense Council (NRDC) "Data center efficiency assessment - scaling up energy efficiency across the data center industry: Evaluating key drivers and barriers", <http://www.nrdc.org/energy/files/data-center-efficiencyassessment-IP.pdf>, 2014.
2. Fermin Armenta-Cano, Andrei Tcherykh, Jorge M. Cortés-Mendoza, Ramin Yahyapour, Alexander Yu. Drozdov, Pascal Bouvry, Dzmitry Kliazovich, Arutyun Avetisyan "Min\_c: Heterogeneous Job Consolidation for Power Aware Scheduling with Quality of Service", Russian Supercomputing Days, Moscow, 2015.
3. W. Dargie and A. Schill "Analysis of the Power and Hardware Resource Consumption of Servers Under Different Load Balancing Policies," in Proc. IEEE 5th Int'l Conf. CLOUD, 2012, pp. 772- 778. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/CLOUD.2012.30>.
4. <http://www.osp.ru/os/2004/02/183912>.

## MONOPULSE DIRECTION FINDER FOR HARMONIC RADAR SYSTEM

**Tsukanov O.F., Pypko V. M.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
E-mail: vpipko1@gmail.com*

### Пеленгатор моноимпульса для гармонических радиолокационных систем

Эта работа представляет первые результаты экспериментального амплитудного пеленгатора моноимпульса для гармонического радара. Связанные с диафрагмой антенные решетки используются для работы в диапазоне 1.5 ГГц с 10%-й пропускной способностью. Антенны с листовой характеристикой включают сектор с азимутом в 50°. Проблемы с общей (круговой) поляризацией также были рассмотрены.

This paper introduces first results of experimental amplitude collation monopulse direction finder for harmonic radar. Aperture related patch antenna arrays are used for operation in 1.5 GHz range with 10% operation bandwidth. Antennas with leaf characterization enable 50° sector of operation in azimuth. Problems with common (circular) polarization are discussed.

Monopulse radar systems are able to obtain angle information on a single pulse [1]. While complete vector information has to be measured in phase-comparison systems, amplitude-comparison systems process only scalar information. This significantly simplifies direction of arrival estimation. Four antennas are used for true 3D measurement whereas two antennas suffice for measurement in a plane (Figure 1).

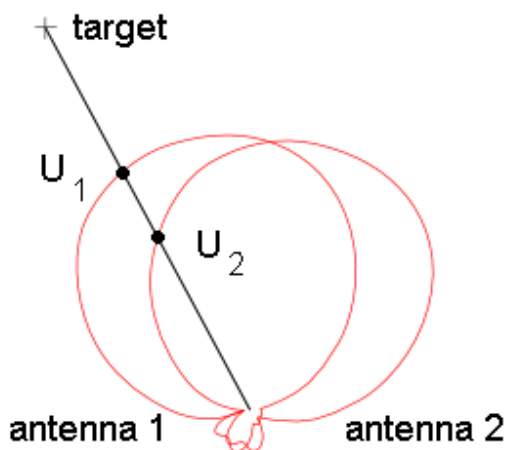


Figure 1. Monopulse tracking

Antenna beamwidth and mutual (relative) beamshift define monopulse System operation sector. Direction of arrival is taken from the monopulse system characteristic  $\xi(\phi)$

$$\xi(\phi) = \frac{\Delta(\phi)}{\Sigma(\phi)} = \frac{f\left(\phi - \frac{\Phi}{2}\right) - f\left(\phi + \frac{\Phi}{2}\right)}{f\left(\phi - \frac{\Phi}{2}\right) + f\left(\phi + \frac{\Phi}{2}\right)}$$

where  $\phi$  is angle of arrival,  $\Phi$  is monopulse antenna beamshift and  $f(\phi)$  is antenna radiation function.

Aperture coupled patch antenna array was chosen for operation in frequency band of 1.5 GHz with 10% bandwidth.

Double-layered (cascaded) antenna is printed on Rogers RT5880 and Arlon AD450 substrates with 10 mm air gap. Antenna's radiation patterns are in Figure 2. Antenna has 3dB beamwidth of  $80^\circ$  in the plane of azimuth and  $20^\circ$  in elevation.

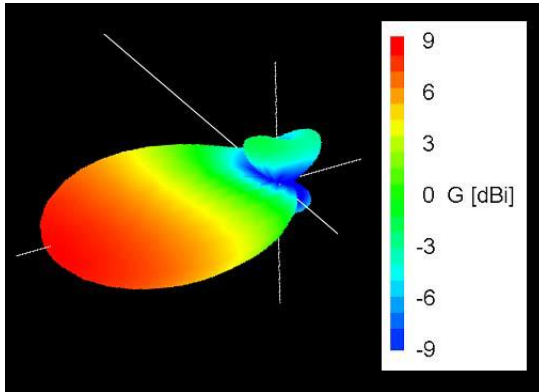


Figure 2. Antenna radiation characteristics

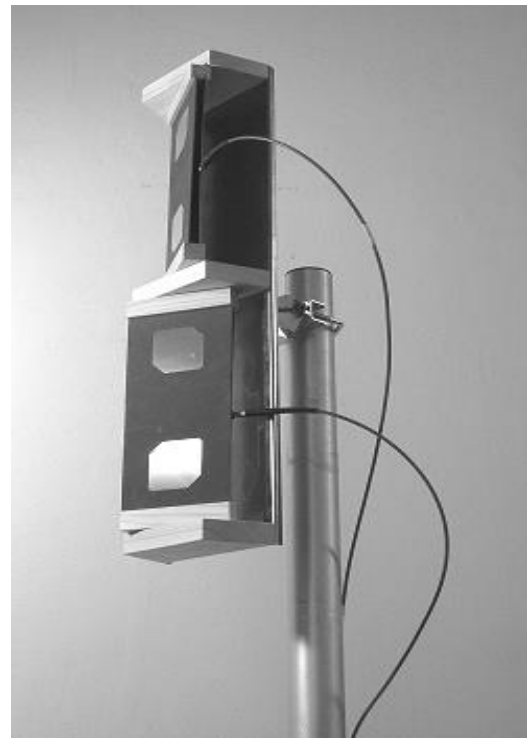


Figure 3. Monopulse tracking system antennas

The direction finder uses two arrays; both situated in the same vertical axis (Figure 3), which provide in-phase arrival of signal localized in the horizontal plane perpendicular to this axis. Reception out of this plane should be reduced – antennas must have leaf radiation characteristics.

Monopulse system characteristics for different mutual beamshift are in Figure 4. Antennas receive linearly polarized signal with horizontal polarization. With  $20^\circ$  beamshift system has the most wide operation sector while with the  $60^\circ$  beamshift system has the most linear characteristic within  $120^\circ$  sector.

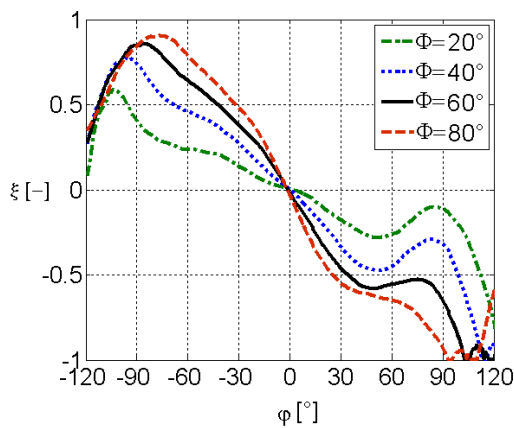


Figure 4. Monopulse characteristics for different beamshift (horizontal polarisation).

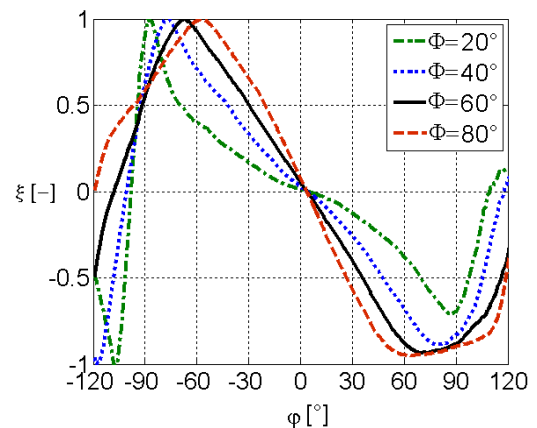


Figure 5. Monopulse characteristic for different beamshift (vertical polarisation).

Figure 5 shows system characteristics for the same beamshifts and vertically polarised incoming signal. System has the best performance (unique estimation) with  $80^\circ$  beamshift.

The requirement for common polarization reception limits the operation sector width the most. Unique prediction of the direction of arrival is the most important attribute of the system, therefore  $80^\circ$  mutual beamshift was chosen for

the realization. System characteristics with  $80^\circ$  beamshift and both polarizations are in Figure 6.

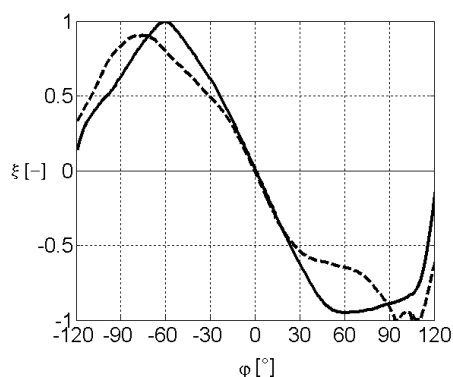


Figure 6. Monopulse characteristics both polarization,  $80^\circ$  beamshift.

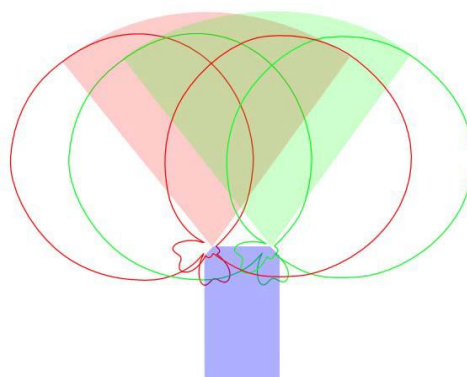


Figure 7. Dual unit monopulse direction finder.

Sector of operation is more than  $60^\circ$  wide with  $10^\circ$  error of permissible value and direction of arrival estimation is unique in the sector of  $120^\circ$ . This problem brings specific requirement on antennas to have ideal axial ratio (the same radiation characteristics) in the whole operation sector.

For compensation of direction of arrival error, dual unit (balanced) system is designed (Figure 7). The second system has axially symmetric antenna structure, which enables reception of signal with both circular polarizations. Monopulse system antennas have mutual beamshift  $80^\circ$  giving system operating sector of approximately  $60^\circ$ . Systems themselves have the same orientation, but can be shifted outwards or inwards.

Aperture coupled patch antenna arrays as a candidate for monopulse direction finder system was tested. Its circular polarization as well as broadband performance enables its operation at experimental harmonic radar system in 1.5 GHz band.

Monopulse amplitude comparison direction finder properties were investigated. Excellent axial ratio and the same shaped radiation characteristics for all polarizations are the major problems in antenna design. They can be partly overcome using dual unit device with post processing.

### References

1. M. Skolnik, Radar Handbook. McGraw-Hill, 2008.
2. Kim Hyungrak, Moo Byoung, Young Lee, Yoon Joong, "A single-feeding circularly polarized microstrip Antenna with the effect of hybrid Feeding", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 2, no. 1, pp. 74-77.
3. I. Hertl, M. Strýček, "Broadband, circularly polarized patch Antenna Arrays", in proceedings of "2009 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications ICEAA 09", pp. 384-387.





**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
НДІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**Дев'ята Міжнародна науково-технічна конференція  
студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ»**

**Присвячено Дню науки та Всесвітньому Дню телекомунікацій**

**18–21 квітня 2017 року**

**Тези конференції**

**м. Київ**

## ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРІТС-2016

(в дужках вказано номери напрямків, що формуються членами наглядового комітету)

### Співголови конференції:

- ІЛЬЧЕНКО М.Ю. – проректор з наукової роботи Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», академік НАНУ, д.т.н., професор;
- ЯКОРНОВ Є.А. – заступник директора інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н., професор;
- ГАВРИЛЮК В.В. – голова студентської ради інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського.

### Члени наглядового комітету:

- БУНІН С.Г. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ГЛОБА Л.С. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- КАТОК В.Б. - к.т.н., проф., ПАТ «Укртелеком», Київ;
- КРАВЧУК С.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ЛИСЕНКО О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- МАКСИМОВ В.В. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- МІНОЧКІН Д.А. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- МОШИНСЬКА А.В. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- НАРИТНІК Т.М. - к.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ПРАВИЛЮ В.В. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- РОМАНОВ О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- СКУЛИШ М.А. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ТЕРНОВОЙ М.Ю. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ТРУБАРОВ І.В. – к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ТРУБІН О.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- УРИВСЬКИЙ Л.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ШЕЛКОВНИКОВ Б.М. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
- ЯВІСЯ В.С. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

### Члени програмного комітету:

- Авдєєнко Г.Л., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Афанасьєва Л.О., асистент каф. ТК, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Валуйський С.В., к.т.н., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Курдеча В.В., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Новіков В.О., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Новогрудська Р.Л., к.т.н., КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Прищєпа Т.О., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
- Штогриня О.С., к.т.н., КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ.

## Засідання 1.

### **ТРЕХУРОВНЕВЫЙ МЕТОД ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ**

**Невзорова Е.С., Ильяшенко А.Е.**

Научный руководитель: **Лемешко А.В.**

*Кафедра инфокоммуникационной инженерии*

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина*

*E-mail: olena.nevzorova@nure.ua, andy.ilyashenko@gmail.com*

В работе предложен трехуровневый метод иерархическо-координационной маршрутизации в телекоммуникационной сети. Данный метод базируется на сочетании потоковой модели внутримоментной и междоментной маршрутизации. За основу метода положен принцип целевой координации с помощью которого удалось корректно определить задачи каждого иерархического уровня. Задача нулевого уровня сводится к расчету маршрутных переменных. На первом уровне предлагаемого метода происходит координация решений, полученных с нулевого уровня, с целью предотвращения перегрузок каналов связи в каждом отдельно взятом домене. Задача координатора второго уровня состоит в обеспечении выполнения условий междоментного взаимодействия для обеспечения связности междоментного маршрута.

### **THREE-LEVEL METHOD OF HIERARCHICAL ROUTING**

**Nevezorova Ye.S. Ilyashenko A.Ye.**

Scientific adviser: **Lemeshko A.V.**

*Department of Infocommunication Engineering,*

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*

*E-mail: olena.nevzorova@nure.ua, andy.ilyashenko@gmail.com*

In this paper, the three-level method of hierarchical coordination routing in the telecommunications network was proposed. This method built on a combination of a flow based model of intra-domain and inter-domain routing. The method based on the goal coordination principle with it usage it was possible to correctly determine the tasks of each hierarchical level. The task of the zero level is the calculation of the routing variables. At the first level of the proposed method, coordination of decisions taken from the zero level was occurs in order to prevent link overload in every separate area. The task of coordinator of the second level is to ensure the fulfillment of the conditions of inter-area interaction to ensure the connectivity of the cross-area route.

## МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ QOS В СЕТЯХ LTE

**Якименко С.И.**

Научный руководитель: **Ступак Г.В.**

*Донецкий национальный технический университет, Украина*

*E-mail: holmencolen@hotmail.com*

Проанализированы методы улучшения показателей QoS в сетях LTE на уровне управления радиоресурсом. Изучены методы минимизации времени адаптации к параметрам канала. Предложена модель оценки состояния канала индикации качества (CQI).

## THE METHODS FOR IMPROVEMENT OF QOS PERFORMANCES IN LTE NETWORKS

**Yakymenko S.I.**

Scientific adviser: **Stupak G.V.**

*Donetsk National Technical University, Ukraine*

*E-mail: holmencolen@hotmail.com*

The methods for improvement of QoS performances in LTE networks at the radio resource management level were analyzed. The methods of minimizing the adaptation time to the channel parameters were studied. The model for estimating the state of the Channel Quality Identifier (CQI) was proposed.

## МЕТОД ОБЩЕГО ЯВНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПРИ МНОГОАДРЕСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

**Мерсни А.**

Научный руководитель: **Поштаренко В.М.**

*Кафедра систем информации*

*Национальный технический университет*

*«Харьковский политехнический институт», Украина*

*E-mail: elmersniama1@gmail.com*

В данной работе предлагается математический метод общего явного резервирования при многоадресной маршрутизации. Метод основан на модели, состоящей из линейных выражений, которые отвечают за обеспечение связности рассчитанных маршрутов многоадресной передачи, а

також відсутності в них петель. Новизна метода заключається в використанні умовий предотвращення перевантаженості каналів зв'язу при реалізації загального явного резервування, що дозволяє розподіляти ресурси між декількома потоками, список яких строго визначено.

## **SHARED EXPLICIT RESERVATION METHOD OF MULTICAST ROUTING**

**Mersni A.**

Scientific adviser: **Poshtarenko V.M.**

*Systems of Information Department,*

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine*

*E-mail: elmersniamal@gmail.com*

In this paper the shared explicit reservation method of multicast routing is proposed. The method is based on model consisting of linear expressions, which are responsible for providing the connectivity of the calculated multicast paths and absence of loops in them also. The novelty of the method is using of conditions of prevention the congestion in communication links due to the implementation of the shared explicit reservation, which allows allocating the links resource between multiple flows, but the list of these flows is strictly defined.

## **РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ HUAWEI**

**Прокопець В.А.**

Науковий керівник: **Новіков В.І.**

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: vprokopets95@gmail.com*

Досліджено основні функції програмного забезпечення (ПЗ) Huawei eNSP (Enterprise Network Simulation Platform). Проаналізовані основні можливості застосування даного ПЗ у лабораторному практикумі. Розглянуто основні концепції побудови мереж з використанням Huawei eNSP.

## **DEVELOPMENT OF NETWORK TECHNOLOGIES VIRTUAL LABORATORY WORKS USING HUAWEI EQUIPMENT**

**Prokopets Volodymyr**

Scientific adviser: **Novikov Valeriy**  
*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
E-mail: vprokopets95@gmail.com*

Main functions of Huawei eNSP (Enterprise Network Simulation Platform) software were investigated. Basic functions of this software to be used within laboratory works were analyzed. Main concepts of networks designing using Huawei eNSP were researched.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКІВ QOS В LTE ВІД РІЗНИХ МЕТОДІВ ЇХ ПІДТРИМКИ**

**Ярош Б.Ю.**

Науковий керівник: **Правило В.В.**  
*Інститут телекомунікаційних систем,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: gdanyaro@gmail.com*

В роботі було розглянуто різні моделі підтримки QoS в LTE мережі. Виділено найбільш оптимальні з цих схем на основі порівняльної характеристики. Досліджено вплив цих методів на такі негативні показники QoS як втрата пакетів, фазові або частотні зрушення та затримки. Проведено аналіз варіантів їх покращення.

## **RESEARCHING THE DEPENDECE OF QOS INDEXES ON DIFFERENT METHODS OF THEIR SUPPORT**

**Yarosh B.Y.**

Scientific adviser: **Pravylo V.V.**  
*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
E-mail: gdanyaro@gmail.com*

In this paper, various models of QoS support in LTE networks where considered. The most appropriate schemes based on their comparative characteristics where chosen. The effect of these methods on such negative QoS parameters like packet loss, phase and frequency shift and delay was investigated. The analysis of ways of their improving was conducted.

# РЕАЛІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

**Романов І.А.**

Науковий керівник: к.т.н., доц. **Мошинська А.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: Romanov\_ilya@bigmir.net*

В роботі досліджуються сучасні стратегії передачі інформації в бездротових мережах LTE. Актуальною виступає задача ефективного використання можливостей мережі LTE для передачі різноманітних видів трафіку. Основну увагу направлено на такі особливі для LTE стратегії передачі інформації як OFDMA, CS-FDMA, MIMO та ін. Досліджується ефективність мереж LTE на основі інформаційних критеріїв та їх функції щодо вирішення завдання ефективною передачею інформації в даних мережах.

## REALIZATION OF INFORMATION TRANSFER STRATEGIES BASED ON LTE TECHNOLOGY

**Romanov I.A.**

Scientific adviser: PhD **Moshynska A.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine E-mail:*

*Romanov\_ilya@bigmir.net*

It analyzes the current strategy of transmitting information in wireless networks LTE. The actual task of acting effectively use of LTE network for transmitting various types of traffic. The main attention is directed to the following specific strategies for LTE transmission of information as OFDMA, CS-FDMA, MIMO and others. The efficiency of LTE networks, based on information criteria and their functions on the task of effective communication in data networks.

## **ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК РЕСУРСІВ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ**

**Баженов П. О.**

Науковий керівник: к.т.н., доцент Мошинська А. В.

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: pbazhenovo@gmail.com*

Досліджено залежність інформаційних можливостей мультисервісної мережі передачі інформації від ресурсів, якими оперує дана мережа, а також приведена оцінка інформаційних можливостей мультисервісної мережі на фізичному і каналному рівнях, на основі ефективного використання наданого ресурсу.

## **INTERRELATION OF RESOURCES OF THE MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORK AND ITS INFORMATION OPPORTUNITIES**

**Bazhenov P. O.**

Scientific adviser: Ph.D., docent Moshynskaya A. V.

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: pbazhenovo@gmail.com*

Are presented dependence of information opportunities of multiservice networks of information transfer on resources with which this network operates, and also the assessment of information opportunities of multiservice networks at the physical and channel levels on the basis of effective use of the provided resource.

## **НОМОГРАФІЧНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ УМОВ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАДАНОЮ ДОСТОВІРНІСТЮ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ МАНІПУЛЯЦІЇ**

**Постоєнко І.В.**

Науковий керівник: проф. Уривський Л.О.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: postoenkoilyha@gmail.com*

За допомогою номографічного відображення досліджено кількісні показники забезпечення передачі маніпульованих сигналів за різними умовами необхідної достовірності. Проаналізовано залежність вірогідності помилки при прийманні символів багатопозиційної маніпуляції та декодуванні бітів інформаційної послідовності від відношення сигнал/завада на виході каналу зв'язку.



## **NOMOGRAPHIC IMAGE OF THE CONDITIONS OF SIGNAL TRANSMISSION WITH REQUIRED ACCURACY USING VARIOUS KINDS OF MANIPULATION.**

**Postoienko I.V.**

*Scientific adviser: Prof. Uryvsky L.O.  
Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
E-mail: postoenkoilyha@gmail.com*

Quantitative indicators of transmitting different manipulated signals with required conditions using nomographic image are researched. Also, the dependence of symbol's error probability on reception of multi-manipulation signals and information bits decoding sequence of the signal / noise ratio at the output channel was analyzed.

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОПОРТУНІСТИЧНИХ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВОДНИХ АКУСТИЧНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

**Лейко А.О.**

*Науковий керівник: Явіся В.С.  
Інститут телекомунікаційних систем,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: leven1996@gmail.com*

В останні роки підводні бездротові сенсорні мережі використовуються у програмах для освоєння Світового океану, знаходження розливів нафти, виявлення підводних човнів. Велика кількість сенсорних вузлів розміщуються на різних глибинах океану для збору даних і зв'язку. Для ефективної роботи використовують динамічний підхід маршрутизації. Підводні сенсорні мережі не можуть використовувати більшість протоколів маршрутизації для традиційних сенсорних мереж через свої унікальні характеристики: висока енергія використання, динамічна топологія, обмежена пропускна здатність, підвищена затримка, т.і. Враховуючи це, ефективні протоколи маршрутизації призначені виключно для підводних сенсорних мереж. Останні опортуністичні протоколи маршрутизації для підводних сенсорних мереж показують дуже високу якість обслуговування. В цьому дослідженні оглядається і порівнюються всі останні протоколи опортуністичної маршрутизації, які були розроблені для підводних сенсорних мереж.

## **ANALYSIS OF OPPORTUNISTIC ROUTING PROTOCOLS FOR UNDERWATER ACOUSTIC SENSOR NETWORKS**

**Leiko A.O.**

Scientific adviser: **Yavisia V.S.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: leven1996@gmail.com*

In recent years, underwater wireless sensor networks are used in applications for ocean exploration, oil spills detection, submarine detection. A lot of sensor nodes are placed in different depths in the ocean for data collection and communication. Dynamic routing method is used for efficient communication. Underwater sensor networks cannot use most of the routing protocols for traditional sensor networks due to its unique characteristics: high energy utilization, dynamic topology, limited bandwidth, increased latency, etc. Considering these, efficient routing protocols are exclusively designed for underwater sensor networks. The latest opportunistic routing protocols for underwater sensor network shows very high Quality of Service. This research presents a survey and comparison of all the latest opportunistic routing protocols that has been designed for underwater sensor networks.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СУПУТНИКІВ**

**Лазоренко О.П.**

Науковий керівник: **Цуканов О.Ф.**

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: Sancho.poncho13@gmail.com*

Транспортний кадр використовує низько рівневі сервіси (такі як модуляцію і кодування) для того щоб передати це до прийомної апаратури. Якість цих сервісів залежить від багатьох факторів які включають у себе прийняте співвідношення сигнал\шум та схему кодування яка використовувалася, якщо кодування використовувалося для зменшення кількості помилок. Одначе, пакетні телеметричними системи можуть бути спроектовані щоб вони допускали шуми у каналі так само як традиційні системи , які були створені у минулому (тобто розташуванням інформації у кадрі у наперед визначеному порядку). Усі корисні властивості, такі як автоматична розпаковка телеметричних пакетів потребує високої якості каналу.

## **OPTIMIZATION OF TELECOMMUNICATION SATELLITES TELEMETRY DATA PROCESSING**

**Lazorenko O.P.**

Scientific adviser: **Tsukanov O.F.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: Sancho.poncho13@gmail.com*

The transport frame uses low-level services (such as modulation and coding) in order to transfer it to the receiving equipment. The quality of these services depends on many factors which include the signal passed \ noise and coding scheme used, if the encoding used to reduce the number of errors. However, packet telemetry systems can be designed so that they allow noise in the channel as well as the traditional systems that were created in the past (ie, location information in the frame predestined order). All nice features such as automatic unpacking telemetry packages require a high quality channel.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНОЇ MESH-МЕРЕЖІ НА БАЗІ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**Кузьміч М.Ю.**

Науковий керівник: **Кравчук С.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: kuzmichm.its@gmail.com*

Дослідження mesh-мережі на базі низько розташованих платформ(LAP), які формують між собою тимчасову мережу передачі даних. Вона побудована на основі дронів, що оснащені двоканальною точкою доступу Wi-Fi, яка сумісна з технологією ad hoc для формування mesh-мережі.

## **THE RESEARCH OF MOBILE MESH-NETWORK WHICH UTILIZE AERIAL VEHICLES**

**Kuzmich M.U.**

Scientific adviser: **Kravchuk S.O.**

*Institute of Telecommunication Systems, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

*E-mail: kuzmichm.its@gmail.com*

Research mesh-network which utilize low altitude platform (LAP) system to form a temporary communication network. The system consists of multiple autonomous drones equipped with dual-band Wi-Fi access points (APs) with ad hoc capabilities to form a mesh network.

## **РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОСМУЖКОВОГО ФІЛЬТРА СТАНДАРТУ UMTS**

**Зелепукіна Т.В.**

Науковий керівник: **Трубаров І.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: greenatan@gmail.com*

Розраховано мікрохвильовий фільтр на відрізках зв'язаних мікросмужкових ліній (parallel-coupled filter) для використання в системах мобільного зв'язку стандарту UMTS. Здійснено чисельний розрахунок отриманої структури фільтра за допомогою САПР. Моделювання розрахованого фільтра здійснено двома методами чисельної електродинаміки: методом моментів, та методом скінченних елементів. Здійснено порівняння результатів, отриманих різними методами.

## **DESIGN AND MODELING OF MICROSTRIP FILTER FOR UMTS STANDART**

**Zelepukina T.V.**

Scientific adviser: **Trubarov I.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: greenatan@gmail.com*

A microwave parallel-coupled microstrip filter for UMTS communication systems has been designed. Numerical analysis of the obtained filter structure using CAD software has been performed. The modelling has been done using two techniques of computational electrodynamics: method of moments (MoM) and finite element method (FEM). The results obtained by the different methods have been compared to each other.

## **РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОСМУЖКОВОГО ФІЛЬТРА СТАНДАРТУ DCS-1800**

**Немченко К.В.**

Науковий керівник: **Трубаров І.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: knemchenko@srs.kpi.ua*

Розраховано мікрохвильовий фільтр на зустрічних стрижнях у мікросмужковому виконанні для використання в системах мобільного зв'язку стандарту DCS-1800. Здійснено чисельний розрахунок отриманої структури фільтра за допомогою САПР. Моделювання розрахованого фільтра здійснено двома методами чисельної електродинаміки: методом моментів (Method of Moments – MoM), та методом скінченних елементів (Finite-element Method – FEM). Здійснено порівняння результатів, отриманих різними методами.

## **DESIGN AND MODELING OF MICROSTRIP FILTER FOR DCS-1800 STANDART**

**Nemchenko K.V.**

Scientific adviser: **Trubarov I.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: knemchenko@srs.kpi.ua*

A microwave interdigital microstrip filter for DCS-180 communication systems has been designed. Numerical analysis of the obtained filter structure using CAD software has been performed. The modeling has been done using two techniques of computational electrodynamics: method of moments (MoM) and finite element method (FEM). The results obtained by the different methods have been compared to each other.

## **РАЗМЕЩЕНИЕ УЗЛОВ РЕТРАНСЛЯЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

**Рябуха А.Т.**

Научный руководитель: **Прищепя Т.А.**  
*Институт телекоммуникационных систем,  
КПИ им. Игоря Сикорского, Украина  
E-mail: riabuhazp@gmail.com*

В предыдущие годы участились случаи применения беспроводных сенсорных сетей (WSNs). После развертывания сенсорные узлы создают сеть с целью совместного использования данных и синхронизации выполняемых действий. Чтобы облегчить такое сотрудничество, узлы должны быть доступны друг другу.

Передача на большие расстояния для узлов датчиков была бы дорогостоящей и очень быстро исчерпала бы их (поскольку передача энергии пропорциональна расстоянию). Проблема размещения минимального количества узлов ретрансляции в среде, чтобы вся сеть была взаимосвязанной, является NP-трудной проблемой и называется проблемой размещения ретрансляционных узлов (RNP).

Для решения данной проблемы рассматриваются две разные архитектуры, одноуровневая и двухуровневая WSN.

## **PLACEMENT OF RETRANSATION SITES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**Ryabukha O.T.**

Scientific adviser: **Pryshchepa T.O.**  
*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
E-mail: riabuhazp@gmail.com*

In previous years, cases of wireless sensor networks (WSNs) have become more frequent. After deployment, the sensory nodes create a network in order to share the data and synchronize the actions performed. To facilitate such cooperation, the nodes should be accessible to each other.

Transmission over long distances for sensor nodes would be costly and would very quickly exhaust them (since the energy transfer is proportional to the distance). The problem of allocating a minimum number of relay nodes in an environment so that the whole network is interconnected is an NP-difficult problem and is called the problem of the location of relay nodes (RNP).

To solve this problem, two different architectures are considered, one-level and two-tier WSN.

## Засідання 2.

### **СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО ДЛЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

**Лисенко О.А.**

Науковий керівник: Прищепя Т.О.

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: OLysenko@stud.its.kpi.ua*

Як відомо, традиційною системою зв'язку є система з однієї передавальної і однієї прийомної антенами. Така система в сучасній літературі отримала назву системи SISO (Single-Input-Single-Output). Також широко відомі системи зв'язку з однією передавальною антеною і декількома прийомними антенами SIMO (Single-Input-Multiple-Output). У цих системах кілька прийомних антен застосовується для реалізації відомого алгоритму рознесеного прийому сигналів в каналах зв'язку з завмираннями. Відносно недавно були запропоновані системи зв'язку з декількома передавальними антенами при одній приймальній антені. Такі системи отримали назву систем MISO (Multiple-Input-Single-Output). У цих системах, також як і в системах SIMO, реалізується ідея рознесення, але рознесення застосовується на передавальній стороні. Таким чином, в системах MISO реалізується алгоритм рознесеної передачі.

Природним узагальненням систем SIMO і MISO є системи зв'язку, в яких використовується кілька передавальних антен і кілька прийомних антен. Такі системи відомі під назвою MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output).

### **COMMUNICATION SYSTEM BASED ON MIMO TECHNOLOGY FOR SENSOR NETWORKS**

**Lysenko O.A.**

Scientific adviser: **Pryshchepa T.O.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: OLysenko@stud.its.kpi.ua*

As you know, the traditional communication system is a system with one transmitting and one receiving antenna. The system in modern literature called system SISO (Single-Input-Single-Output). Also widely known communication system with one transmitting antenna and multiple receiving antennas SIMO (Single-Input-Multiple-Output). In these systems, multiple receiving antennas used to implement the algorithm known diversity reception of signals in channels with fading. Relatively recently been proposed a communication system with multiple transmit antennas at one receiving antenna [1]. Such systems are called systems MISO (Multiple-Input-Single-Output). In these systems, as well as SIMO systems, implemented the idea of diversity, but diversity is applied to the transmitter side. Thus, in the MISO system implemented algorithm spaced gear.

The natural generalization SIMO and MISO systems are communication systems that use multiple transmit antennas and multiple receiving antennas. Such systems are known as MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output).

## ФУНКЦІ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗУМНИХ МІСТ

**П`янтковська Н. О.**

**Науковий керівник: Валуйський С.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: piantkosha@gmail.com*

«Smart City» термін, як правило, вже не викликає великого здивування у людей. Дослідження і розробки ведуться при створенні нової концепції мережі, що називається «нове покоління мереж» або «майбутнє Інтернету». Термін «мережа віртуалізації» означає роботу кількох мереж з різними характеристиками і функціями, об'єднані однією і тією ж фізичною мережею.

Нова технологія управління зв'язком має дві ключові особливості: оптимальний розподіл пропускної здатності віртуальної мережі на основі комунікаційного трафіку, а також оптимізація віртуальних мережевих маршрутів. Ця технологія дозволить підвищити ефективність використання мережі з точки зору передачі даних, швидкості і потужності, необхідних для кожного додатку, а також дозволить телекомунікаційним операторам надавати високошвидкісний зв'язок для великої кількості користувачів. Надійна передача високо пріоритетних даних може бути досягнуто за рахунок централізованого управління зв'язку та встановлення належної якості безпроводових і проводових мереж із динамічною маршрутизацією.

Телекомунікаційні системи відіграють дуже важливу роль в розвитку розумних міст. Вони повинні бути дуже надійними і доступними, а також мати гнучку, економічну і екологічну свідомість. Для того, щоб задовольнити ці важкі вимоги, розробка нових телекомунікаційних систем прискорюється для розвитку автоматизованого майбутнього.

## NETWORK FOR VIRTUALIZATION FEATURES SMART CITY

**P`yantkovska N.A.**

**Scientific adviser: Valuyskuy S.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: piantkosha@gmail.com*

«Smart City» term usually are not a big surprise to people. Research and development underway in creating a new concept of a network called "next generation networks" or "Future Internet". The term "network virtualization" refers to the work of several networks with different characteristics and functions, united by the same physical network.

The new technology of communication has two key features: the optimal allocation of bandwidth virtual network-based communications traffic, and optimize virtual network routes. This technology will increase the efficiency of the network in terms of data transmission speed and capacity required for each application, and allow telecommunications operators to provide high-speed communications for many users. Reliable transmission of high priority data can be achieved through centralized management of communications and the establishment of good quality wireless and wired networks with dynamic routing.

Telecommunication systems play a very important role in the development of smart cities. They must be very reliable and affordable, and have a flexible, economical and environmental awareness. To meet these challenging requirements, development of new telecommunications systems accelerated the development of automated future.



# МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ПОВТОРНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕХОДУ МІЖ 3G ТА WLAN НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ EAP-AKA

**Лашко А.Ю.**

Науковий керівник: **Курдеча В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: artemuio@gmail.com*

Протокол автентифікації впливає на затримку передачі обслуговування, яка впливає на QoS додатків, які використовує користувач. Пропонований спосіб повторної автентифікації є модифікованим методом EAP-AKA та зменшує затримку передачі обслуговування, використовуючи локальну повторну автентифікацію

Він не потребує нової інфраструктури для мереж 3G та WLAN. Запропонований метод перевершує існуючий протокол швидкої повторної автентифікації EAP-AKA, а кількість згенерованих ключів менше ніж у стандартному EAP-AKA.

## MODIFIED METHOD OF RE-AUTHENTICATION TO SWITCH BETWEEN THE 3G-WLAN INTERNETWORKING BASED ON EAP-AKA

**Lashko A.Y.**

Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: artemuio@gmail.com*

The authentication protocol has an impact on the handover delay, which affects the QoS of applications running on the UE. The proposed re-authentication modified method reduces the handover delay by using a local re-authentication and does not need a new 3G infrastructure to be used. The proposed method outperforms the existed EAP-AKA fast re-authentication protocol, and the number of generated keys is less than the standard EAP-AKA.

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖІ LTE В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ**

**Чернявський А.А.**

Науковий керівник: **Правило В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: ruskc2beat@gmail.com*

В роботі була досліджена пропускна здатність мережі LTE при зміні таких параметрів: метод дуплексування каналів, діапазон частот, вид модуляції, метод завадостійкого кодування даних, використання технологій MIMO, витрати ресурсів на управління та тривалість циклічних префіксів. Була дана оцінка швидкості передачі даних в низхідному каналі.

## **INCREASING THE BANDWIDTH OF LTE NETWORK DEPENDING ON DEFFERENT PARAMETERS**

**Chernyavsky A.A.**

Scientific adviser: **Pravylo V.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: ruskc2beat@gmail.com*

In this paper was researched the bandwidth of LTE network by changing the following parameters: channel duplexing, band, modulation type, method of error-correction coding of data, usage MIMO technology, resource consumption management and duration of cyclic prefix. Data transfer rate in the downlink was assessed.

## **МЕРЕЖА INTERNET OF THINGS НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ SOFTWARE DEFINED RADIO**

**Кругляк А.С.**

Науковий керівник: **Курдеча В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем,*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: andreykrugliak@gmail.com*

На сьогоднішній день Internet of Things - сфера, яка стрімко розвивається в світі і передбачає взаємодію об'єктів (речей), між собою і з навколишнім середовищем без втручання людини.

В даній роботі пропонується побудова мережі Internet of Things за рахунок використання технології Software Defined Radio. Це рішення збільшить зону покриття мережі Internet of Things та надасть можливість оперативної реконфігурації її структури, та зміни параметрів. У той же час, система підтримуватиме бездротовий міст між декількома спектрами, високошвидкісний бездротовий мобільний доступ з динамічними протоколами, що перемикаються, та енергоефективний доступ до даних. Запропонована система впровадить безперебійне переключення між протоколами у мережі, таким чином, частково вирішить проблеми у мережі Internet of Things.

## **INTERNET OF THINGS NETWORK BASED ON SOFTWARE DEFINED RADIO TECHNOLOGY**

**Kruhliak A.S.**

Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: andreykrugliak@gmail.com*

Today, the Internet of Things is an area that is rapidly developing in the world and involves the interaction of objects (things), among themselves and with the environment without human intervention. In this project building a network of Internet of Things through the use of technology Software Defined Radio is proposed. This decision will increase the coverage of the Internet of Things and provide the possibility of rapid reconfiguration of its structure, and parameters change. At the same time, the system maintains wireless bridge between several spectrums, high-speed wireless mobile access with dynamic switching protocol stack and energy data short-range access. This system will allow seamless connectivity backbone information network, thus partially solve the problems in the Internet of Things network.

## **МОДИФІКОВАНА ПРОЦЕДУРА ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРУ**

**Лопата Д. Г.**

Науковий керівник: **Курдеча В. В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: l\_dim@mail.ua*

Проведено аналіз процедури вертикального хендоверу та алгоритмів її реалізації в гетерогенних безпроводних мережах. Докладно розглянуті проблеми, які виникають при вирішенні даної задачі. Визначено критерії, за якими проводиться вибір мережі, для передачі з'єднання(хендовер) від одної базової станції(або точки доступу) до іншої. Поставлено задачу модифікації процедури вертикального хендоверу в гетерогенних безпроводних мережах. Запропоновано модифікацію процедури вертикального хендоверу за рахунок врахування критеріїв та налаштувань користувача мобільного вузла.

## **MODIFIED PROCEDURE OF VERTICAL HANDOVER**

**Lopata D. G.**

Scientific adviser: **Kurdecha V. V.**

Institute of Telecommunication Systems, Igor Sikorsky

Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

*E-mail: l\_dim@mail.ua*

The analysis of vertical handover procedures and algorithms for its implementation in heterogeneous wireless networks was carried out. Detailed the problems that may occur in solving this task. Handover decision criteria are defined in this work. The task of modification the procedure of vertical handover in heterogeneous wireless networks was taken. Modification of vertical handover procedure by taking into account the criteria and user preferences of mobile node.

## **РОЗШИРЕНИЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ПОДІЙ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

**Кузімович М. М.**

Науковий керівник: **Курдеча В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: kuzimovich8@gmail.com*

Досліджено існуючі протоколи кластеризації з точки зору різноманітних критеріїв, що використовуються, та врахування подій. Запропоновано модифікований метод кластеризації шляхом спільного використання декількох критеріїв вибору головного вузла, а також за рахунок подієво-залежного формування кластерів та їх наступної міграції.

## **EXTENDED EVENT-BASED CLUSTERING METHOD FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**Kuzimovich M. M.**

Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: kuzimovich8@gmail.com*

Investigated existing clustering protocols in terms of used various criteria and event consideration. Proposed modified clustering method through sharing of several criteria for cluster heads selection and event-dependent changeable clusters formation and their following migration.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІЖМАШИННОГО ОБМІНУ**

**Панькіна О.І.**

Науковий керівник: **Курдеча В.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: olenapankina@gmail.com*

Мережі міжмашинного обміну (M2M) спрямовані на сполучення пристроїв, які повинні працювати автономно протягом багатьох років (або

десятиліть) з дуже обмеженим доступом до джерел енергії. Тому енергоефективність має важливе значення при проектуванні M2M мереж.

Існують такі способи підвищення енергоефективності: застосування нового протоколу IEEE 802.11ah, нового MAC протоколу, алгоритм повторної передачі даних (HARQ), алгоритм дерева конкурентів (CTA), турбо-код, n-фазна CSMA/CA схема, синхронізація M2M пристроїв з LTE-M2M шлюзом енергозбереження циклу, NOMA, використання прозорих і гнучких графенових антен.

В роботі покращено метод застосування нового протоколу IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow) використанням двонаправлених даних.

## **IMPROVING ENERGY EFFICIENCY FOR MACHINE-TO-MACHINE NETWORKS**

**Pankina O.I.**

Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: olenapankina@gmail.com*

Machine-to-Machine (M2M) networks aim at connecting devices that must operate autonomously for years (or decades) with very limited access to energy sources. Therefore, energy efficiency is essential in the design of M2M networks.

There are some ways to increase energy efficiency: use of the new IEEE 802.11ah, new MAC protocol, Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ), the contention tree algorithm (CTA), turbo codes, n-phase CSMA/CA scheme, by synchronizing M2M devices with LTE-M2M gateway power save cycle, NOMA, using Transparent and Flexible Graphene Antennas.

In this paper improved the method of the new IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow) by using cases with bidirectional data traffic.

## **АДАПТАЦИЯ CISCO CCNA В ПРАКТИКУМ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

**Воров А.А.**

Научный руководитель: **Курдеча В.В.**

*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского,  
Украина*

*E-mail: temaprofit@gmail.com*

В данной работе представлен процесс создания лабораторного практикума по тематике создания компьютерных сетей. Практикум предназначен для студентов специальности телекоммуникаций. Практикум базируется на адаптивном учебном плане, в котором представлены две тематики - CISCO CCNA 3 (LAN Switching) и 4 (WAN Technologies). Данные работы учитывают возможности лабораторного оборудования и предыдущий теоретический и практический опыт студентов. Необходимость разработки подобного практикума диктуется различиями в учебных планах вузов и большой интенсивностью специализированных курсов, что не дает возможность применить их “напрямую”.

## **CISCO CCNA ADAPTATION PRACTICE FOR DESIGNING COMPUTER NETWORKS**

**Vorov A.A.**

Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**

*Institute of Telecommunication Systems, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,  
Ukraine*

*E-mail: temaprofit@gmail.com*

In this paper is the process of creating a laboratory workshop on the topic of creating computer networks. The workshop is intended for students specializing in telecommunications. The workshop is based on an adaptive curriculum, in which two themes are presented: CISCO CCNA 3 (LAN Switching) and 4 (WAN Technologies). These works take into account the possibilities of laboratory equipment and the previous theoretical and practical experience of students. The need to develop such a workshop is dictated by the differences in the curricula of higher education institutions and the high intensity of specialized courses, which does not make it possible to apply them "directly".

## **ВІРТУАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖНИХ ФУНКЦІЙ СИСТЕМ МІЖМАШИННОГО ОБМІНУ ДАНИМИ**

**Карабчук Д. Є.**

Науковий керівник: **Курдеча В. В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: d.e.karabchuk@gmail.com*

Віртуалізований доступ до M2M (машина-машина) пристроїв може запропонувати операторам різні переваги з точки зору апаратних засобів і витрат на управління. Однак часто це ускладнюється нездатністю ефективно обробляти трафік від пристроїв до серверів, які є придатними для використання в якості віртуальних хостів для даних пристроїв. У цьому документі буде представлено рішення, яке може бути застосоване у віртуальному Home Gateway середовищі і засноване на (i) кодуванні інформації про пристрій і технології його віртуалізації в заголовки пакетів TCP/IP, (ii) виборі віртуальних хостів на основі їх сумісності з певними технологіями віртуалізації і (iii) використанні програмно визначеної мережі для динамічного вибору цього віртуального хоста на мережевому рівні. Це рішення є єдиним серед аналогів, яке поєднує в собі адаптовану і недорогу серверну інфраструктуру з низькою складністю мережі.

## **NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION FOR M2M COMMUNICATION SYSTEMS**

**Karabchuk D. E.**

Scientific adviser: **Kurdecha V. V.**

*Institute of Telecommunication Systems, Igor Sikorsky*

*Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: d.e.karabchuk@gmail.com*

Virtualized access to M2M (Machine-to-Machine) devices can offer to operators various benefits in terms of hardware and management costs. However, it is often impeded by the inability to efficiently handle the traffic from the devices towards servers that are appropriate to serve as virtual hosts for the given devices. In this paper will be present a solution which can be applied in a virtual Home Gateway environment and is based on (i) encoding information about the device and its virtualization technology into TCP/IP packet headers, (ii) selecting virtual hosts based on their compatibility to certain virtualization technologies, and (iii) using Software-defined Networking to make this virtual host selection at the network level in a dynamic manner. This solution is the only one that combines a tailored and non-costly server infrastructure with low networking complexity.



# **DISTRIBUTED COMPUTING WITH MAPREDUCE MODEL ON MOBILE PLATFORM**

**Pavlenko V.M.**

Scientific adviser: **Alekseev N.O.**

*Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: ghostor2011@mail.ru*

Investigated the use of the newest programming model that allows big number operations calculating in parallel on mobile devices, where program runs in sandbox without specific needs and simulate mobile as powerful as PC.

This approach allows to exploit the potential of modern smartphones for the benefit of science or other corporate objectives.

The main advantages are portability, convenience, relative ease of distribution (using public services as Google Play and AppStore), a continuous Internet connection (WiFi, 3G).

## **РОЗПОДІЛЕНІ ОБРАХУНКИ МЕТОДОМ MAPREDUCE НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ**

**Павленко В.М.**

Науковий керівник: **Алексєєв М.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: ghostor2011@mail.ru*

Досліджено використання програмної моделі яка дозволяє виконувати обрахунки над великими числами паралельно на мобільних пристроях, де програми виконується у пісочниці без специфічних потреб і емулює мобільний пристрій як повноцінний ПК.

Цей підхід надає змогу використовувати потенціал сучасних смартфонів на благо науки або інших корпоративних завдань.

Основними перевагами є мобільність, зручність, відносна простота розповсюдження (за допомогою публічних сервісів Google Play та AppStore), наявність постійного з'єднання з мережею Інтернет (WiFi, 3G).

**ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ  
ПАРАМЕТРИЧНОГО ТА ПОВНОТЕКСТОВОГО ПОШУКУ  
НАУКОВИХ СТАТЕЙ КАФЕДРИ**

**Липко О.С.**

*Науковий керівник: Терновой М.Ю.  
Институт телекомунікаційних систем  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: lypko.alex@gmail.com*

Розглянуто особливості роботи платформи повнотекстового пошуку Solr. Запропоновано модель для індексації наукових статей. Розроблено прототип інформаційно-пошукової системи для зберігання та пошуку наукових статей викладачів кафедри.

**DESIGN APPROACH FOR SYSTEM OF PARAMETRIC AND FULL-  
TEXT SEARCH OF DEPARTMENT'S SCIENTIFIC ARTICLES**

**Lypko O.S.**

*Scientific adviser : Ternovoy M.Y.  
Institute of Telecommunication Systems,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
E-mail: lypko.alex@gmail.com*

The paper describes features of the platform for full-text search Solr. Model for scientific articles indexing is proposed. Prototype of information retrieval system for storing and search of scientific articles is developed.

## РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО КЛЮЧЕВЫМ ТОЧКАМ

**Хорунжий А. Е.**

Научный руководитель: **Штогрин Е. С.**

*Институт телекоммуникационных систем,*

*КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: alex.khorunzhii@gmail.com*

В наше время распознавание изображений значительно упрощает деятельность человека во многих сферах, однако остается ресурсоемким и не достаточно точным. В работе рассматривается метод распознавания образов по ключевым точкам в рамках системы распознавания, базирующегося на алгоритме SURF (Speeded Up Robust Features). Предложена модификация данного метода, за счет внесения изменений в изображение на основании коррекции значений каналов цветовой модели RGB. В работе проведены эксперименты и получена статистика, которая демонстрирует преимущества предложенного модифицированного метода распознавания. Показано, что он позволяет увеличить скорость и точность распознавания.

## IMAGE RECOGNITION BY KEY POINTS

**Khorunzhyi O. E.**

Scientific adviser: **Shtogrina O. S.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: alex.khorunzhii@gmail.com*

Nowadays, image recognition greatly simplifies human activities in many areas, but remains resource-intensive and it is not accurate enough. Considered the method of pattern recognition by key points within the recognition system based on the SURF (Speeded Up Robust Features) algorithm. Proposed method modification due to change images, which is based on the correction of channel values of the RGB color model. Experiments were conducted and statistics were obtained, which demonstrates the advantages of the proposed modified recognition method. These changes allow to increase recognition rate and accuracy.

## ВИКОРИСТАННЯ НЕРЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Плютка Б.С.**

Науковий керівник: **Курдеча В. В.**

*Інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: bplotka.1996@gmail.com*

Проведено аналіз сховищ, що використовуються для інтернету речей, та способів обробки даних. Розглянуто методи обробки та способи зберігання даних, що існують на даний час. Поставлено задачу модифікації існуючих систем зберігання та обробки даних для інтернету речей. Запропоновано архітектурні рекомендації з використанням не реляційних баз даних.

## USING NoSQL DATABASE FOR IoT

**Plotka B.S.**

Scientific adviser: **Kurdecha V. V.**

*Institute of Telecommunication Systems,*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine*

*E-mail: bplotka.1996@gmail.com*

The analysis of repositories used for the IoT and ways of handling data. The methods of processing and storage methods that exist at present. The task of modifying existing storage and processing of data for the Internet of things. A architectural guidance using NoSQL databases.