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

ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НДІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція " ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ" і Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ»

Присвячено Дню науки та Всесвітньому Дню телекомунікацій

15–19 квітня 2019 року

Матеріали конференції

м. Київ

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

INSTITUTE OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS
RESEARCH INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS

Thirteenth International Scientific Conference
"MODERN CHALLENGES IN TELECOMMUNICATIONS"

and

Eleventh 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 15-19, 2019

Conference proceedings

Kyiv

XIII Міжнародна науково-технічна конференція "**Перспективи телекомунікацій**" ПТ-2019: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – с.377.
ISSN (print) 2663-502X

XIII International Scientific Conference "**Modern Challenges in Telecommunications**" MCT-2019. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019 – p. 377.
ISSN (print) 2663-502X

XI Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2019: Збірник тез конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

Збірник містить матеріали пленарних і секційних доповідей, представлених на Дванадцятій міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи телекомунікацій" (ПТ 2019) та Одинадцятої міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» (ПРІТС 2019), які проводяться 15–19 квітня 2019 р. в м. Києві

Електрона версія Збірника матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи телекомунікацій" (кожна стаття має свою URL-адресу) 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 сигналів та інформації в телекомунікаційних системах.
2. Засоби телекомунікацій та кабельні системи і технології.
3. Технології транспортних телекомунікаційних систем та мережні технології.
4. Безпроводові телекомунікаційні системи та технології, системи 5G, Інтернет речей.
5. Інформаційні технології в телекомунікаціях.
6. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування телекомунікаційних технологій.
7. Системна й програмна інженерія інфокомунікацій.
8. Семінар: Modern information and telecommunication trends (спілкування виключно на англійській мові).

Секретар оргкомітету конференції *Іванова Т.Л.*
р. тел/факс. (044)204-98-21. E-mail: conf@its.kpi.ua

Співголови конференції "Перспективи телекомунікацій":

ІЛЬЧЕНКО М.Ю. – науковий керівник Інституту телекомунікаційних систем, проректор з наукової роботи Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», академік НАНУ, д.т.н., професор;

БАРАНОВ О.А. – керівник Центру теоретико-правових проблем інформаційної сфери Науково-дослідного інституту інформатики і права Національної академії правових наук України, д.ю.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 беруть участь в науково-інноваційній діяльності та в працевлаштуванні випускників ІТС, а також всі бажаючі.

Координатор Програмного комітету:

КРАВЧУК С.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

Члени Програмного комітету "Перспективи телекомунікацій":

БОГУШ В. М. - к.т.н., доц., НАУ, 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 С.В. . - 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., ХНУРЕ, Харків;
ЛИСЕНКО О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ЛУНТОВСЬКИЙ А.О. - Prof. at BA 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;
НАРИТНИК Т.М. - к.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ПОПОВ В.І. - д.м.-ф.н., проф., РТУ, м. Рига, Латвія;
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;
СЕРГІЄНКО М.І. – ст. викладач каф. ІЕ, ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
СКУЛИШ М.А. - к.т.н., с.н.с., 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., НУ ім. Т.Г.Щевченка, 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., НУХТ, Київ;
ШЕЛКОВНІКОВ Б.М. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ШПІЛЬНЕР Йозеф - Dr. at ZHAW School of Engineering, Цюріх, 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. Дуля Ю.А. – головний бухгалтер НДІ ТК, т. 236-95-04.
2. Березовська О.В. – реєстрація, забезпечення документообігу, т. 204-98-21.
3. Мікляєв О.В. – технічне обслуговування електронної техніки, т. 204-98-21.
4. Іванова Т.Л. – оформлення конференції на сайті ІТС, поселення т. 204-98-91.
5. Головай О.М. – технік І категорії.

Адреса для листування, телефони, e-mail:

03056, г. Київ, провулок Індустріальний, 2, корпус 30, секретарю оргкомітету конференції «ПТ» Івановій Т.Л., 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:

Уланов П.С. ІОТ СЬОГОДЕННЯ.....*

Осипчук С.О., Мошинська А.В., Кіращук В.В. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РІШЕНЬ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....17

Явіся В.С., Лисенко О.І., Алексеева І.В., Тачиніна О.М. ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ КОСМІЧНОГО СЕГМЕНТУ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ CLEAR SPASE.....22

Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Присяжный В.И., Капштык С.В., Матвиенко С.А. СПУТНИКОВАЯ НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ 27

Лабуткина Т.В., Саенко И.А. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ КЛАСТЕРНОГО ТИПА.....31

Яковлєв О.Є., Сергієнко М.І., Літвінов С.І., Антонов О.М. АНАЛІЗАТОРИ RIGEXPERT - НАДІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИМІРУ ПАРАМЕТРІВ І НАЛАШТУВАННЯ АНТЕННО-ФІДЕРНИХ СИСТЕМ, ФІЛЬТРІВ ТА КОАКСІАЛЬНИХ ЛІНІЙ. ІНОВАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ АНТЕННИХ АНАЛІЗАТОРІВ ВІД КОМПАНІЇ RIGEXPERT УКРАЇНА .....*

Trubin A.A. CALCULATION PARAMETERS OF ADD-DROP FILTERS ON OPTICAL MICRORESONATORS.....34

Ляшенко А.В., Бугаєнко Ю.М. МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ОБСЯГІВ ДАНИХ 37

Лісовський П.М. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КВАНТОЛОГІЇ У СИСТЕМІ ЦИФРОВИХ КОМУНІКАЦІЙ СУЧАСНОГО КІБЕРПРОСТОРУ: ФІЛОСОФСЬКО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ 40

Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О. ВІРТУАЛІЗАЦІЯ ЯК СПОСІБ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ.....43

* - статті до збірника не входять.

Секція 1. Достовірне передавання сигналів та 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:

Уривський Л.О., Шмігель Б.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. 46

Мошинська А.В., Ольховик Д.М. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ КАНАЛІВ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ 49

Наритник Т.М., Сайко В.Г., Корсун В.І. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО БЮДЖЕТУ РАДІОЛІНІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ 52

Вакуленко О.В., Фомін М.М. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ВІДОМЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ FTTx ТЕХНОЛОГІЙ 55

Носков В.І. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМ SHDSL EFM У РЕЖИМІ АГРЕГАЦІЇ ПАР КАБЕЛЮ 58

Романишин В.С., Бердников О.М. МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ 61

Максимов В.В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ КІЛЬКОСТІ БАГАТОТОЧКОВИХ РЕТРАНСЛЯТОРІВ ПРОТОКОЛУ OLSR 64

Новіков В.І. МЕТРИКА ВАРТОСТІ З'ЄДНАННЯ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ 67

Гаттуров В. К., Смолій Д.А. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ IMS ДЛЯ НАДАННЯ НОВИХ ПОСЛУГ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ FMC 71

Пчелінцев І.С., Григоренко О.Г. ЗАХОДИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД АТАК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЙ 74

SEMINAR Modern information and telecommunication trends

Співголови: Назаренко О.І., д.т.н., проф. Уривський Л.О.

Доповідачі:

Rybak O.O., Nazarenko O.I. LoRaWAN AS IoT TECHNOLOGY FOR CREATING SMART LEARNING 77

Trokhymenko D.V., Kurdecha V.V. SECURING INTERNET OF THINGS DATA 80

Minochkin D. A., Radchuk A.V. SECURITY ISSUES THAT WILL DOMINATE IN IOT CLOSEST FUTURE 83

Секція 2. Засоби телекомунікацій та кабельні системи і технології

Співголови:
д.т.н., проф. Трубін О.О., к.т.н., проф. Якорнов Є.А., к.т.н., доц. Шелковніков Б.М.

Доповідачі:

Сірик О. С., Вакуленко О. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ВІДОМЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ GPON 87

Огородник Д.О., Бердников О.М. УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ РАМАНІВСЬКИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ В ФОТОННИХ ЛІНІЙНИХ ТРАКТАХ..... 90

Квітка А.С., Трубін О.О. ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ПЕРЕДАЧІ ADD/DROP ФІЛЬТРА (ADF) НА ОПТИЧНИХ МІКРОРЕЗОНАТОРАХ..... 93

Живков А.П., Романов А.И., Камарали Р.В., Сайченко И.О., Лутчак А.В. РЕЗОНАНС ФАНО В МИКРОВОЛНОВЫХ ФИЛЬТРАХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ 96

Trubin A.A. EIGENOSCILLATIONS LATTICES OF DIFFERENT DIELECTRIC MICRORESONATORS 99

Trubin A.A. INTEGRATED ANTENNAS-FILTERS ON DIELECTRIC RESONATORS..... 103

Чліянц Г.А. АНТЕННІ ТЮНЕРИ З ЗАХИСТОМ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСИВЕРА..... *

Джулай В.М. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ’ЯЗКУ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ КОМПЛЕКСІВ SDR..... *

Радкевич О.І. НОВІТНІ РОЗРОБКИ В ГАЛУЗІ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ – ЗАСОБИ ЗВ’ЯЗКУ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ТРАКТІВ ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧ ..... *

Пащенко В.І. БЛИСКАВКО-ЗАХИСТ АНТЕНО – ФІДЕРНИХ СИСТЕМ ..... *

Сергієнко М.І., Ятченко М.А., Хомяк І.В. ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ КОНСТРУКТОРІВ РАДІОТЕХНІЧНОГО КЛУБУ “ПОЛІТЕХНІК” UT7UZA, КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ..... *

Бобров В.Л. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ЗВ’ЯЗКУ В МІЖНАРОДНИХ ЗМАГАННЯХ РАДІОАМАТОРІВ *(Збірна команда України з радіоспорту на чемпіонаті світу в Кореї)* ..... *

Єрмачков С.І. РОЗВИТОК СИСТЕМ ЗВ’ЯЗКУ ТА ТЕХНІКИ В СУЧАСНИХ ВІЙСЬКОВИХ СИЛАХ ..... *

Братчик Р.О. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВЯЗКУ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА ТЕХНІКА ТА АНТЕННО-ФІДЕРНІ СИСТЕМИ ПОЛЯРНОЇ СТАНЦІЇ “АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ» УКРАЇНИ..... *

***** - статті до збірника не входять.

Секція 3. Технології транспортних телекомунікаційних систем та мережні технології

Співголови:

д.т.н., проф. Романов О.І., д.т.н., проф. Лемешко О.В., д.т.н., проф. Чечельницький В.Я.

Доповідачі:

Шарко В.П., Цулая А.В. ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СИГНАЛА ОДНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА 106

Правило В.В. МОДЕЛЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАЯВОК НА ЕТАПІ ДОСТУПУ ДО ЦЕНТРУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОСЛУГ 109

Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Худынцев Н.Н. АНАЛИЗ ПОТОКА ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ В ПЛЕЗИОХРОННОМ СОЕДИНЕНИИ 112

Осокін М.Г., Романов О.І., Романов А.О. АНАЛІЗ УРАЗЛИВОСТІ МЕРЕЖІ WI-FI З ПРОТОКОЛОМ БЕЗПЕКИ WPA2 115

Маньківський В.Б., Єрмаков А.В. МЕТОД СЕКТОРНОГО АНАЛІЗА ОПТИМАЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛУ ТРАФІКА В МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ОПЕРАТОРА 119

Верес Л.А. Нестеренко М.М., Камаралі Р.В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ IMS ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ НОВИХ ПОСЛУГ 122

Тріска Н.Р. АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ПІДГОТОВКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ 5G 125

Романов О.І., Донг Т.Т., Сайченко І.О. ПЕРСПЕКТИВИ ПОБУДОВИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ LIFI 128

Харлай Л.О. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА 132

Лемешко О.В., Євдокименко М.О., Єременко О.С., Мерсні Амаль МОДЕЛЬ ШВИДКОЇ ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЇ ІЗ ЗАХИСТОМ РІВНЯ QOS У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ 135

Секція 4. Безпроводові телекомунікаційні системи та технології, системи 5G, Інтернет речей

Співголови: д.т.н., проф. Кравчук С.О., к.т.н., доц. Капштик С.В.

Доповідачі:

Сальник С.В. УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В БЕЗПРОВОДОВИХ САМООРГАНІЗУЮЧИХ МЕРЕЖАХ 138

Сушин І.О., Міночкін Д.А. ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЛІЦЕНЗОВАНОГО СПЕКТРУ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СМУГИ 141

Рибак О.О., Міночкін Д.А. АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ LORAWAN 144

Авдєєнко Г.Л. АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРИЙМАННЯ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ЕФІРНОГО РАДІОМОВЛЕННЯ СТАНДАРТУ DAB+ 147

Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є. А. МАКЕТ СИМПЛЕКСНОЇ ОДНОІНТЕРВАЛЬНОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ З ПРОСТОРОВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ 150

Солодовник В.І., Науменко М.І. МЕТОДИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО БЛОЧНОГО КОДУВАННЯ З ІНДЕКСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПІДНЕСУЧИХ OFDM ДЛЯ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНИХ ТА НЕСТАЦІОНАРНИХ КАНАЛІВ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ 153

Кременецька Я. А., Баришев Д.В., Дударєва Г. О. ГІБРИДНА АРХІТЕКТУРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ 156

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В ЗОНІ ФРЕНЕЛЯ 159

Волков С.Э. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ 162

Кравчук С.О., Шевченко І.І., Рисцова К.І., Чуб М.М. ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО МОЖУТЬ ПРИСКОРИТИ РОЗВИТОК ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ ТА СТАНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА 165

Кравчук С.О., Кравчук І.М. ПІДХОДИ ТА СТРАТЕГІЇ ЩОДО КОЛЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ РОЄМ ДРОНІВ 170

Кравчук С.О. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ M2M-ШЛЮЗИ ДЛЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ДОМЕНІВ ПРИЛАДІВ 175

Кравчук С.О. БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ В ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО M2M-ШЛЮЗУ ДЛЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ВСЕПРОНИКАЮЧИХ МЕРЕЖ 179

Бондаренко К.С., Кайденко М.М., Роскошний Д.В. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧУВАНИХ РАДІОСИСТЕМ НА БАЗІ SOC В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK 182

Літвінов Є.А., Авдєєнко Г.Л. ВИКОРИСТАННЯ SDR ТРАНСИВЕРА BLADERFx40 ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ СТАНДАРТІВ DVB-S ТА DVB-S2 186

Афанасьєва Л.О. ТЕХНОЛОГІЯ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО МНОЖИННОГО ДОСТУПУ 189

Афанасьєва Л. О., Кравчук С.О. ПРОТОКОЛ АДАПТИВНОЇ РЕТРАНСЛЯЦІЇ ДЛЯ КООПЕРАТИВНИХ МЕРЕЖ 192

Кайденко Н.Н., Роскошный Д.В. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ HPS И FPGA В УСТРОЙСТВАХ НА ПЛАТФОРМЕ SoC 195

Андріюк О.П., Чумаченко С.М., Андріюк І.В. СИСТЕМИ 5G 198

Міхненко Я.О., Курдеча В.В. ПОРІВНЯННЯ ВИДІВ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ В IoT 201

Давидюк А.М., Курдеча В.В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ДАНИХ В МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВОГО «ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ» 204

Гузов А.Г., Курдеча В.В. ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ MICROGRID 207

Свіржевська А. І., Правило В. В. ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖІ 5G 210

Дорогань К.С., Правило В. В. ПЕРЕНЕСЕННЯ ТРАФІКУ МОБІЛЬНИХ ДАНИХ З 3G НА WI-FI 213

Кичак В. М., Васильківський М.В. ТЕХНОЛОГІЇ НАДПРОВІДНИХ ПРИЙМАЧІВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ 216

Поддубна М.О., Міночкін Д.А. ЗВЯЗОК ТЕХНОЛОГІЇ «БЛОКЧЕЙН» ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ 219

Ніцович О.Т. ПЛАТФОРМА THINGWORX НА МЕЖІ РЕАЛЬНОГО ТА ЦИФРОВОГО СВІТУ 222

Секція 7. Системна й програмна інженерія інфокомунікацій

Співголови: к.т.н., доц. Міночкін Д.А., к.т.н., доц. Явіся В.С.

Доповідачі:

Мозговий С.О. ЖОРСТКА ПЕРЕДАЧА ОБСЛУГОВУВАННЯ У МЕРЕЖАХ LTE 224

Войнова К. К., Міночкін Д.А. ВИКОРИСТАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО МЕТОДУ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВЯ’ЗКУ 5G 227

Секція 5. Інформаційні технології в телекомунікаціях

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

Доповідачі:

Лавренюк А.М., Лавренюк С.І. ОПТИМІЗАЦІЯ ПІДБОРУ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ КОМПАНІЇ 230

Кущ В.С., Штогріна О.С. МЕТОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРОВОЇ ПРЕФЕРЕНЦІЇ ЛЮДИНИ..... 233

Мороз А.М., Глоба Л.С. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ DATA MINING В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 236

Черешня В.Р., Курдеча В.В. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕБ-СЕРВІСІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ БЕЗСЕРВЕРНИХ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ 239

Зайченко Ю.П., Васильев В.И. , Вишталь Д.М., Любашенко Н.Д. СТРУКТУРНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В КЛАССЕ БИНАРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ..... 242

Попова М. А., Юшко Н. А. ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ-ПОСТАЧАЛЬНИКА ІНТЕРНЕТ-ПОСУЛГ 245

Остапенко М.С., Штогріна О.С. ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПОВТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДЕЙ В ПРИМІЩЕННІ .. 249

Могильний С.Б., Миніч М.А. СИСТЕМА ВІДСТЕЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОМП'ЮТЕРА ТА БІБЛІОТЕКИ OPENCV 252

Савчук З.Р., Бугаєнко Ю.М. ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ ЛОГІЧНИХ СТРУКТУР 255

Гребініченко М.В. Бугаєнко Ю.М. КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ IOT 258

Хрищенюк Р.А. АЛГОРИТМ ОЧИСТКИ ТА ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАДАЧ..... 261

Пилипчук А.О., Правило В.В. ПРИСКОРЕННЯ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ РЕАЛІЗОВАНИХ НА ОСНОВІ ГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСОРІВ..... 264

Суліма С.В. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВ'ЯЗКИ ДО ВУЗЛІВ АГРЕГАЦІЇ ТРАФІКУ ВІРТУАЛІЗОВАНИХ СЕРВІСІВ..... 267

Немченко К.В., Міночкін Д.А. ВЕЛИКІ ДАНІ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНДУСТРІЇ..... 270

Секція 6. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування телекомунікаційних технологій

Співголови:
д.т.н., проф. Лисенко О.І., д.т.н., проф. Романюк В.А., д.т.н., проф. Жук С.Я.

Доповідачі:

Явіся В.С. ГІБРИДНА СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ 273

Явіся В.С. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ 276

Слободяник В.А., Лисенко О.І. ЗАДАЧА УПРАВЛІННЯ РУХОМИМИ ЗАСОБАМИ ДЛЯ РОЗВІДКИ ТА МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОЇ, ХІМІЧНОЇ, БІОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ..... 279

Явіся В.С., Лисенко О.І., Алексеева І.В., Тачиніна О.М. ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ТА РОЗМІЩЕННЯ КЛАСТЕРІВ НАНОСУПУТНИКІВ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ’ЯЗКУ CLEAR SPASE..... 282

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МАНЕВРУЮЧИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У МЕРЕЖАХ FANET 285

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. АЛГОРИТМИ РОЗПОДІЛУ УГРУПОВАННЯ З РІЗНОРІДНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАЗЕМНИХ ОБЕ'КТОВ..... 288

Квашенко Л.О., Кононова І.В. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ 291

Ковбаса А.О., Петрова В.М. МЕТОДИ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ..... 295

Sparavalo M.K., Lysenko O.I. MATHEMATICAL MODELS IN MOBILE SENSOR NETWORKS: BALANCE BETWEEN MUTUAL TOPOLOGICAL EQUIVALENCY AND QUALITATIVE-QUANTITATIVE ADEQUACY TO PHYSICAL PHENOMENA 298

Бобер А. С., Петрова В.М. РОЗВИТОК СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ 302

Borovskyi B. M. A COMPARISON BETWEEN OPEN-SOURCE PLATFORMS FOR CLOUD COMPUTING..... 305

Осинський А.К., Петрова В.М. РАЗВИТИЕ СПОСОБОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В МОБИЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ 308

Новіков В.І., Лисенко О.І. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО МЕТОДУ МОНІТОРИНГУ ЦІЛЕЙ У ЗОНАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ..... 311

Турейчук А.М., Чумаченко С.М., Прищепа Т.О. ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ..... 315

Жук О.В., Романюк В.А, Стрела Т.С. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ БЕСПРОВОДОВИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ 318

Гордійко Н.О., Томашевська Т.В. ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 321

Андріюк О.П., Чумаченко С.М., Андріюк І.В., Буряченко М.М. БІОМЕТРИЧНІ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ..... 324

Лисенко О.І., Романюк А.В., Стрела Т.С. МЕТОДИ ЗБОРУ ДАНИХ МОНІТОРІНГУ ВІД ВУЗЛІВ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ БпЛА 327

Романюк В.А., Степаненко Є.О. МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЄЮ НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНИХ РАДІОМЕРЕЖ 330

Zhivkov A.P., Tsukanov O.F., Shevtsov K.O., Krylach O.F. PHASE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF METAMATERIAL CELLS..... 333

Прищепа Т.О., Берестовенко О.О. АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ (КІС)..... 336

Прищепа Т.О., Бандушкін Д. А. АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МЕРЕЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ (БСМ) І МЕРЕЖІ ВЦІЛОМУ 339

Прищепа Т.О., Чайковський А.Р. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ PWA ДЛЯ ПОБУДОВИ СУЧАСНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА..... 342

Одинадцята 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;

ДОРОГАНЬ К.С. – голова студентського профкому інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Доповідачі:

Турчин Я. В. АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 5G В УКРАЇНІ 347

Свіржевська А.І. ПЕРСПЕКТИВИ І СКЛАДНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ 5G 348

Корман Н.А. ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ 349

Пчелінцев І.С. ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ 350

Смаглюк В.О. ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИВАТНОСТІ ТА ОСОБИСТИХ ДАНИХ ЛЮДИНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ 351

Грищук Д.М. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І СТАНІВ МАСШТАБУВАННЯ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ 352

Романюк І.П. ВИКОРИСТАННЯ КОРИСТУВАЦЬКОЇ РЕТРАНСЛЯЦІЇ В БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ 5G 353

Носкова Д.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ’ЯЗКУ В МЕЖАХ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» 354

Дьомін Р.В. АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ СЕРВІСУ VPN 355

Мартинова К.Г. АНАЛІЗ ДИСЦИПЛІН ОБСЛУГОВУВАННЯ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 356

Бондарець Я.Б. ОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ДОСТУПУ ПО МІДНОМУ КАБЕЛЮ 357

Тушич А.М. ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СТВОРЕННЯ IoT РІШЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ VPN ТРАФІКУ 358

Балкунов М.В. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ БЕЗПЕКИ КОРИСТУВАЧІВ В МЕРЕЖІ IoT 359

Марчук О.О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ В МЕРЕЖАХ IoT 360

Чупілко О.І. МІЖМАШИННИЙ ЗВ'ЯЗОК У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ 361

Яцишин О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ НАЗЕМНИМИ ВУЗЛАМИ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ 362

Дорогань К.С. РОЗВАНТАЖЕННЯ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI OFFLOAD 363

Миніч М.А. ВИКОРИСТАННЯ БІБЛІОТЕКИ OPENCV НА МІКРОКОМП'ЮТЕРІ RASPBERRYPI 364

Грицюк Р.Ю. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОДУВАННЯ МОВИ В СИСТЕМАХ IP-ТЕЛЕФОНІЇ 365

Поддубна М.О. ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ «БЛОКЧЕЙН» ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ 366

Міщенко Р.І. ОНТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ MICROGRID 367

Пилипчук А.О. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ CUDA ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ШИФРУВАННЯ 368

Панькіна О.І. МОДИФІКАЦІЯ МЕХАНІЗМУ ВІКНА НА БАЗІ СТАНДАРТУ IEEE 802.11AH ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ M2M ОБМІНУ 369

Блазнов В.М. МЕТОД МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАННИХ В МЕРЕЖІ MICROGRID 370

Максимчук М.Р., Грищенко О.С. РОЗРОБКА ЦИКЛУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ IEEE 802.11 371

Пам'ятні статті

Наритник Т.М.

До 90-річчя професора Ліпатова Анатолія Олексійовича. 372

Сергієнко М.І. Пам'яті Сергія Георгійовича Буніна. 375

УДК 621.391.6

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РІШЕНЬ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Осипчук С.О., Мошинська А.В., Кіращук В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського
E-mail: serg.osypchuk@gmail.com

The applied aspects of information transmission in the IoT technologies

The implementation state and IoT necessity analysis in Ukraine is shown in this paper. The key levels and IoT tasks are indicated. The architecture and practical implementation of the IoT solution based on the ESP8266 board is proposed for wide range applications usage. Integrated wireless IoT network with the transport and distribution components is developed based on use of the IEEE 802.11 wireless standards for serving mobile terminals or IoT sensors.

Інтернет речей (англ. IoT – Internet of Things, [1]) – відомий і прогресивний напрям розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. IoT – це мережа фізичних пристроїв, транспортних засобів, побутової техніки та інших предметів, оснащених електронікою, програмним забезпеченням, датчиками, технологіями зв'язку, які дозволяють цим речам підключатися до мережі передачі даних і обмінюватися даними, створюючи можливості для більш прямої інтеграції фізичного світу в комп'ютерні системи, що призводить до підвищення ефективності, економічним вигодам і скорочення людських навантажень.

Стан впровадження та аналіз необхідності впровадження IoT в Україні. Згідно [2], на законодавчому рівні в Україні необхідні мережі зв’язку для реагування в умовах надзвичайних ситуацій. Такі мережі можуть обслуговувати таких безпроводоих абонентів мережі як користувач з терміналом зв’язку, так і IoT пристрій. Потреба IoT для України схематично відображена на рис. 1. Як можна бачити, сфери застосування IoT в Україні найрізноманітніші, такі як транспорт, охорона здоров'я, медицина, виробництво, агропромисловість, розумні будинки і міста, природа, сільське господарство і багато інших. При цьому клієнтами можуть бути і є як фізичні, так і юридичні особи відповідно, в залежності від сфери реалізації IoT. Спостерігається також тенденція активного зростання кількості IoT пристроїв. Дана робота є **актуальною**, оскільки включає аналіз теоретично-практичного характеру застосунків і рішень IoT.

Важливо відзначити, що на сьогодні в Україні, як і в світі, немає жодного комплексного провайдера послуг IoT для будь-якого споживача, якого IoT провайдер зміг би задовольнити по всім запитам і надати комплексне рішення послуг на території України (і навіть ні в одному місті), не кажучи вже про гарантований супровід та надання сервісів провайдером IoT послуг або шляхом залучення третіх сторін при необхідності. Дані факти

показують те, що розвиток IoT в Україні знаходиться на дуже початковому етапі [3, 4] і багато ще не зроблено в напрямку якісного впровадження широкого спектру послуг IoT в Україні. Саме тому напрям IoT важливий і корисний для України.

У зв'язку з цим, в даній роботі виконано практичну частину з розробки універсального рішення для IoT, яке можна впроваджувати і оптимізовувати для різних сервісів і потреб.

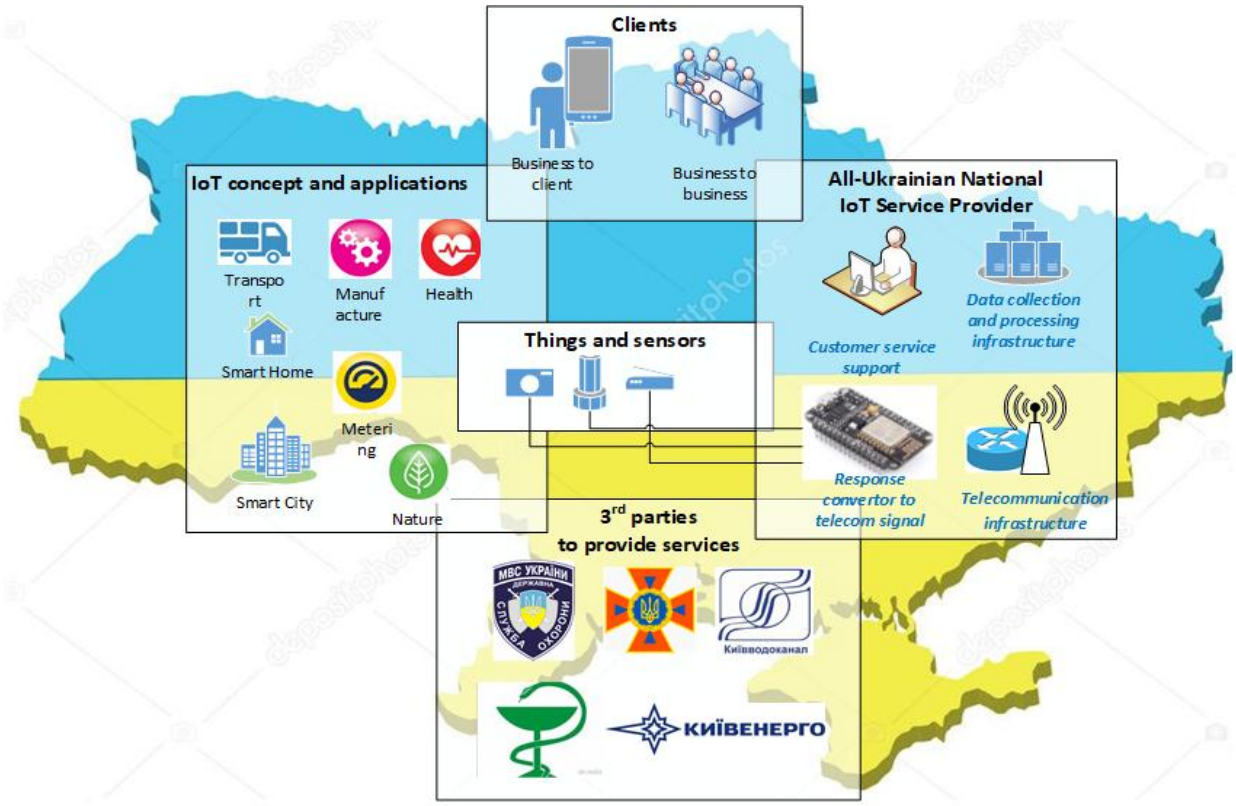


Рис. 1. Схематичне представлення потреб впровадження послуг IoT на території України

Практична імплементація IoT-рішення широкого застосування на базі плати ESP8266 та точки доступу Mikrotik RB951G стандарту IEEE 802.11n -[5-7]. Розглянувши компоненти пропонованих архітектур IoT, можна виділити ключові етапи і компоненти будь-якого IoT рішення (табл. 1).

Таблиця 1. Ключові рівні і завдання IoT

№	Телекомунікаційний рівень	Завдання, які вирішуються на рівні
1	Збір інформації від об'єктів IoT	- Перетворення відгуку датчика в сигнал - Передача сигналу до найближчого вузла транспортування (IoT hub, router, і ін.)
2	Транспортування інформації до пунктів прийняття рішення	- Передача інформації від вузла збору інформації (наприклад, IoT хаба) до Пукто централізованого збору інформації, її аналізу, статистичної обробки та прийняття рішення
3	Транспортування інформації після прийняття рішення	- Передача інформації зацікавленим або іншим релевантним особам або службам з метою інформування або керівництва до дії - реакції на відгук IoT пристрої

У разі реалізації системи IoT, зазначені три рівня покривають весь спектр завдань, від отримання відгуку на подію до реакції на нього залученими сторонами.

В рамках практичного експерименту, посталена і вирішена задача імплементації рішення IoT стосовно забезпечення роботи сфер діяльності людини на основі сполучення різноманітних сенсорівZ і новітніх телекомунікаційних рішень. На рис. 2 представлена узагальнена схема IoT рішення, а її реалізована частина виділена суцільною жирною лінією.

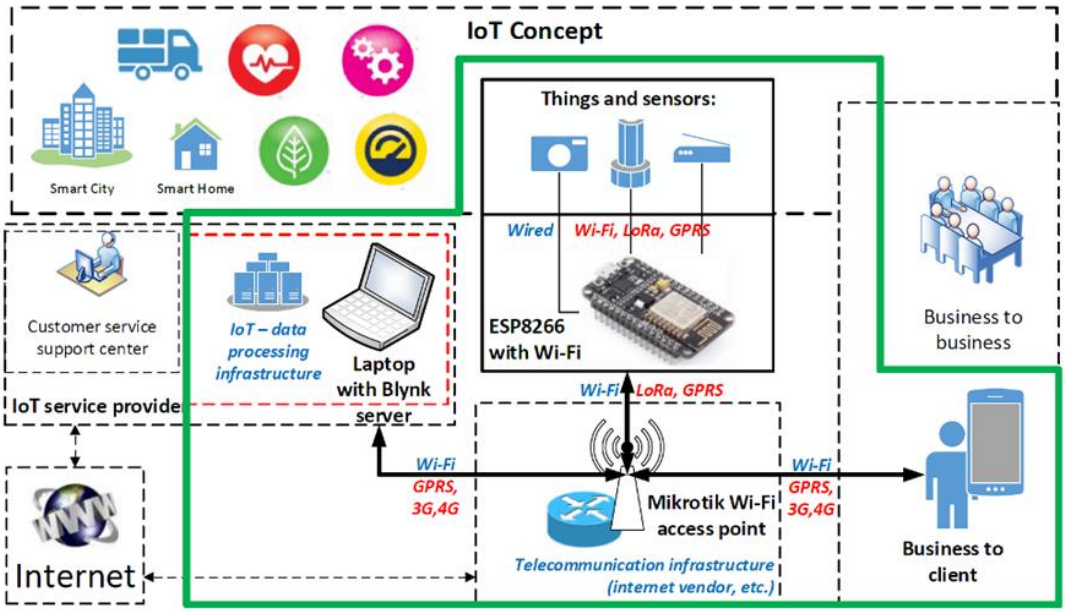


Рис. 2. Архітектура запропонованого і реалізованого IoT рішення.

Сфери застосування IoT, в яких може застосовуватися запропоноване рішення:

1) домашня (охорона, температура, вологість, відкриття/закриття, розетки);

2) комунальна (лічильники електрики, тепла);

3) промислова (контроль заряду батареї, наявності витоку газу, охорона, температура).

Дане рішення складається з **3-трьох частин:**

1. Серверної частини, яка представляє собою web-сервер, який встановлений на ПК, та має інтерфейс WiFi. На стороні сервера зберігається інформація, яка поступає від датчиків, а також використовується для доступу кінцевих користувачів до даних від сенсорів.

2. **Мережевої** частини, яка в даному прикладі являє собою точку бездротового доступу від виробника Mikrotik стандарту IEEE 802.11, модель RB951G.

3. Сенсорної частини, представленої контролером ESP8266, з підтримкою стандарту IEEE 802.11, для підключення до точки доступу і передавання даних від сенсорів.

Отже, в роботі розроблений, налаштований і реалізований можливий варіант вирішення IoT для інтелектуальної концепції будинку чи іншого

об’єкту. Розроблене рішення може бути модифіковано з використанням інших технологій зв'язку і архітектурних особливостей згідно вимог і необхідних сценаріїв використання.

У разі ж необхідності рішення для реалізації сенсорної **мережі IoT значних масштабів та на великій площі покриття**, наприклад, в разі надзвичайних ситуацій, то необхідно використовувати гнучку архітектуру безпроводової мережі, що буде викорувати всі необхідні функції безпроводового підключення абонентів мережі, а також передавання інформації і центр обробки даних та необхідним користувачам. Комплексна сенсорна система зв’язку повинна складатися з **транспортної** і **розподільчої** компонент, з метою **високошвидкісного** розподілу інформації з використанням стандартів **безпроводового** зв’язку IEEE 802.11xx, засобів цифрової комутації та **криптографічного** захисту інформації, для забезпечення своєчасного передавання великих **об’ємів** інформації з високою **швидкістю** та заданою **достовірністю** інформації, у заданій зоні виникнення НС та з можливістю організації зв’язку як на території НС, так і з можливістю здійснення зв’язку з центром керування мережі.

На рис. 3 наведено базову схему зазначеної і реалізованої експериментальної мережі, де буквами А, Б, В, Г позначено основні вузли мережі. Мережа рис. 3 має наступні показники та якісні характеристики: автономність; мобільність; комплексність; транспортна компонента: радіорелейні лінії виду точка-точка, та розподільча компонента виду точка-багатоточка; живучість; гнучкість; масштабованість; захищеність.

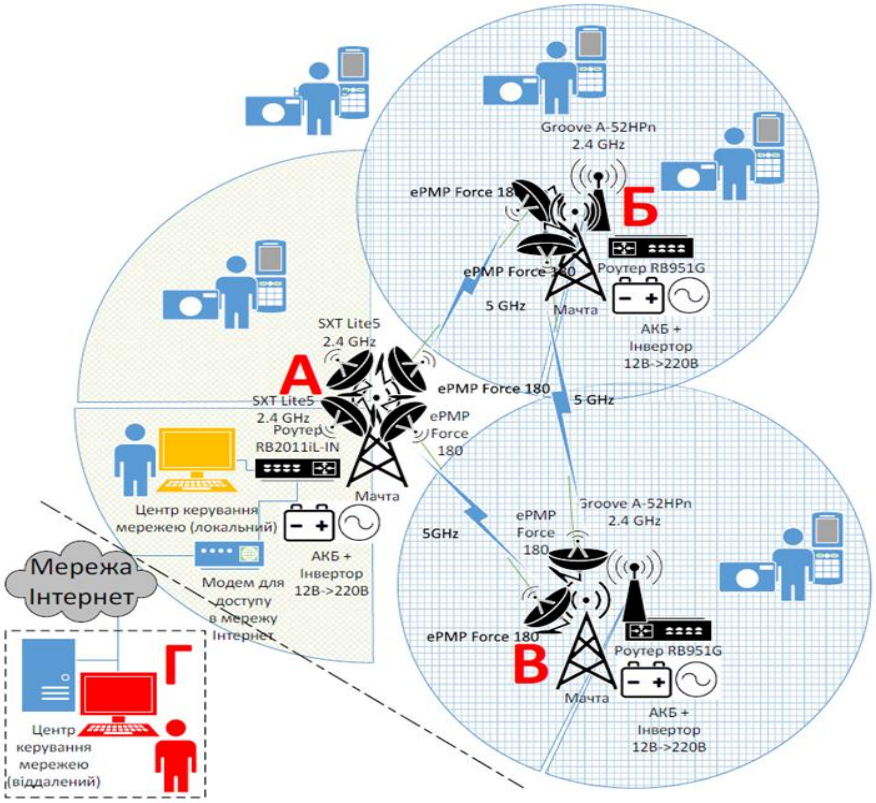


Рис. 3. Схема комплексної системи передавання інформації, з наявністю транспортної та розподільчої компонент на основі безпроводових засобів стандарту 802.11xx, та підключенням сенсорів та абонентів IoT.

Абоненти мережі рис. 3 представлені мобільними терміналами чи сенсорами на основі стандартів 802.11xx, та знаходяться в межах зони покриття мобільної мережі, або ж за її межами.

Висновки. Напрямок IoT бурхливо розвивається сьогодні в світі та Україні. Описано приклад реалізації інтегрального рішення для IoT на основі мікроконтролера ESP8266. Вирішена задача з побудови прикладного універсального застосування для IoT з датчиками температури, вологості, відкриття / закриття, освітлення з використанням комунікаційної технології Wi-Fi для передачі даних від сенсорів в автономний незалежний від мережі Інтернет центр обробки даних.

Роботу виконано **в рамках наукової держбюджетної теми** №2020-п «Методи та системи управління безпроводовими сенсорними мережами із мобільними сенсорами, телекомунікаційними наземними вузлами та аероплатформами у зоні надзвичайної ситуації», номер державної реєстрації – № 0117U004282.

Актуальним є питання відсутності засобів в державі для розгортання або використання захищених автономних сенсорних мереж передавання інформації для вирішення НС в тому числі, тому є необхідність в таких засобах і мережах згідно законодавства України, **на основі стандартів IEEE 802.11xx із мобільними абонентами і сенсорами**, що розгортаються **у зоні НС і діють в умовах невизначеності.**

В роботі **обгрунтувано необхідність побудови комплексної системи мобільного зв'язку** з наявністю **транспортної** та **розподільчої** компонент на основі безпроводових засобів стандарту 802.11xx, та проводових засобів для розподілу і маршрутизації потоків інформації. Також побудовано автономну експериментальну мережу для передавання інформації з використанням технологій інтернету речей.

Література

1. Gartner: The Internet of Things, report – http://www.gartner.com/technology/research/internet-of-things.
2. ПОСТАНОВА КАБІНЕТу МІНІСТРІВ УКРАЇНИ від 27 вересня 2017 р. N 733 "Про затвердження Положення про організацію оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій та зв'язку у сфері цивільного захисту". – https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2017 .
3. lifecell и IoT Ukraine начали создание первой сети Интернета вещей в Киеве – https://hi-tech.ua/lifecell-i-iot-ukraine-nachali-sozdanie-pervoy-seti-interneta-veshhey-v-kieve.
4. Первая комплексная система умного дома, созданная в Украине – http://clap.ua.
5. IEEE 802.11 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std., 2012 .
6. L. Uryvsky, S. Osypchuk, B. Shmigel. The 802.11 Protocols Usage for Wireless Systems Construction with Flexible Architecture. – IEEE TCSET'2016, February 23–26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine. pp. 918-921. (Scopus, IEEE)
7. M. Yu. Ilchenko, L. Uryvsky, A. Moshynska, S. Osypchuk. Empirical and analytical energy thresholds of Modulation-Coding Schemes research in IEEE 802.11n devices / 2018 14th International Conference on Advanced Trends in RadioElectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). Date of Conference: 20-24 Feb. 2018. Conference Location: Lviv-Slavske, Ukraine. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336361. - PP. 991-994.

УДК 621.396.946

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ КОСМІЧНОГО СЕГМЕНТУ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ CLEAR SPASE

[1]Явіся В.С., [1]Лисенко О.І., [1]Алексеева І.В., [2]Тачиніна О.М.
[1]Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya@bigmir.net
[2]Національний авіаційний університет
E-mail: tachinina5@gmail.com

Approach of construction of the space segment of the satellite communication system CLEAR SPASE

One of the possible uses of nanosatellites is their use to build a satellite communications system. To compare such a promising system with existing low-orbit and geostationary satellite systems, an efficiency indicator is proposed. It is shown that the value of this indicator for a nanosatellite system is several times better than for existing systems.

Останнім часом стрімкими темпами відбувається зростання кількості проектів, в яких пропонується використовувати наносупутники (НС). За їх допомогою можна здійснювати дослідження земної поверхні та верхніх шарів атмосфери, прогноз землетрусів, екологічний моніторинг, а також будувати системи супутникового зв'язку (ССЗ). Причому передбачається, що НС будуть знаходитись на низьких орбітах, що дозволить частково вирішити проблему космічного сміття.

Виходячи з цього, доцільно оцінити ефективність перспективної ССЗ на базі НС, та порівняти її з існуючими низькоорбітальними та геостаціонарними ССЗ. При цьому необхідно враховувати той факт, що основними перевагами низькоорбітальнихССЗ у порівнянні із системами, супутники яких знаходяться на геостаціонарній орбіті, є невелика затримка у проходженні сигналу та можливість покриття у глобальному масштабі.

У відомій системі *Iridium* функціонують понад 70 супутників, 66 з яких є активними, вони розміщуються на 6-ти приполярних орбітах. Розроблений для цієї мережі механізм між супутникових зв'язків дозволяє передавати сигнал з одного супутника на інший без ретрансляції цього сигналу на Землю. У наземний сегмент входять дві центральні станції управління і контролю. Вони здійснюють управління орбітальним угрупованням космічних апаратів, забезпечують синхронізацію ССЗ, організовують групові тракти передачі. Всього наземний сегмент включає 20 базових станцій сполучення і управління зв'язком. Супутники *Iridium* перебувають на висоті 780 км над поверхнею Землі. Їх термін служби становить 7-10 років [1, 2].

Останній запуск для поповнення угрупування системі *Iridium* відбувся 11.01.2019 року з космодрому База Ванденберг. За допомогою ракети-носія *Falcon* 9 було виведено десять супутників *Iridium NEXT*, вагою 860 кг кожен. Всього протягом 2017- 2019 років відбулось вісім запусків *Falcon* 9, що

дозволило здійснити виведення 75 апаратів. Таким чином, обіцянка компанії *Iridium CommunicationsInc* про повне оновлення космічного сегменту, про яку було заявлено ще 2010 року, виконана. Остаточна вартість супутника *Iridium NEXT* не розголошується, але за даними [3] вона складає близько 31 млн. доларів.

Антенні системи космічних апаратів *Iridium NEXT* формують 48 парціальних променів, які створюють загальну зону покриття діаметром понад 4000 км. Одна зона має діаметр близько 700 км [4].

Для виключення дублювання від сусідніх космічних апаратів частина променів виводиться з активного режиму роботи. Так, із загальної кількості 3168 променів в поточний момент часу активні лише 2150, тобто в середньому кожен апарат створює близько 32 парціальних променів (сот). При цьому потужність, що споживається одним апаратом становить близько 2,2 кВт [4, 5].

Середня пропускна здатність при використанні смуги частот 10,5 МГц для зв'язку між мобільним терміналом і супутником становить понад 110 каналів на одну соту поверхні Землі [5]. Для обслуговування абонентів можливості апарата дозволяють створити до 5700 телефонних каналів, але їх реальна кількість становить близько 3840.Враховуючи таке обмеження, в мережі на супутниках *Iridium NEXT* можливе одночасне обслуговування 253440 абонентів.

Для порівняння, система *Inmarsat* має парк з одинадцяти супутників (два з яких є резервними) на геостаціонарній орбіті на відстані близько 36000 кілометрів від Землі і включає супутники нового покоління, які являють собою певний еталон для систем мобільного супутникового зв'язку з точки зору їх енергетичних можливостей, пропускної спроможності і універсальності. Виведені на орбіту супутники забезпечують глобальне охоплення широкосмуговим зв'язком 98% земної поверхні, за винятком самих крайніх полярних регіонів [1, 2].

Останній запуск апаратів системи *Inmarsat* відбувся 15.05.2017 року з космодрому Мис Канаверал, також за допомогою ракети-носія *Falcon* 9. При цьому був виведений лише один супутник *Inmarsat* 5-*F*4 вагою 6070 кг. Заявлена вартість супутника складає 235 млн. доларів (для супутників попереднього покоління *Inmarsat* 4*A*-*F*4 вона складала 350 млн. доларів) [3].

Кожен із супутників *Inmarsat* 5-*F*4 генерує 89 фіксованих точкових сфокусованих променів, які можуть бути оперативно сконфігуровані для забезпечення необхідної пропускної здатності мережі в районах підвищеного попиту на послуги.

З'єднання всередині мережі в межах зони покриття здійснюється без використання наземних станції. Для з'єднання абонентських терміналів із іншими мережами передбачено три наземних станції.Термін служби супутників розрахований на 12-15 років [1].

Виділений для системи *Inmarsat* частотний діапазон із смугою 68 МГц дає можливість здійснити підключення до супутника *Inmarsat* 5-*F*4 майже 35000 телефонних каналів, але фактично їх кількість не перевищує 32000.

Живлення супутника здійснюється від сонячних батарей, потужність яких становить в середньому 14,5 кВт[1].

Мережа, що побудована на супутниках *Inmarsat* 5-*F*4, із урахуванням їх реальних характеристик, може забезпечити одночасне обслуговування до 288000 абонентів.

Ефективність супутникового сегменту систем *Iridium* та *Inmarsat* може бути оцінена за допомогою показника, що являє собою витрати на створення підключення для обслуговування одного абонента, які враховуютьяк вартість космічного апарату, так і вартість його запуску:

$$E = {}^{C}/_{V} \tag{1}$$

де C – вартість супутника з урахуванням витрат на його запуск; V– кількість одночасних підключень до супутника.

За останні роки пуск ракети-носія *Falcon* 9 в середньому обходився замовнику майже в 100 млн. доларів [3].

Оскільки ракетою носієм одразу було виведено десять супутників, то вартість одного супутника з урахуванням витрат на його запуск становить: $C_{Iridium} = 31 + 10 = 41$ млн. доларів. Попередній аналіз, наведений вище, дає можливість визначити кількість одночасних підключень до супутника *Iridium NEXT*:$V_{Iridium} = 3840$.

Для супутників *Inmarsat* 5-*F*4 відповідні характеристики, з урахуванням того, що при запуску ракети-носія *Falcon* 9 здійснюється виведення лише одного апарату, приймуть значення:$C_{Inmarsat} = 235 + 100 = 335$ млн. доларів, $V_{Inmarsat} = 32000$.

Запропонований показник, розрахований за формулою (1), для супутника *Iridium NEXT* становитиме $E_{Iridium} = 10677$ доларів за підключення, а для супутників *Inmarsat* 5-*F*4:$E_{Inmarsat} = 10469$ доларів за підключення. Звичайно ж меншому значенню показника E відповідає більша ефективність.

Незважаючи на майже однаковий показник ефективності, за рахунок таких основних недоліків систем геостаціонарного базування, як: значна затримка в проходженні сигналу, його високе загасання, перенасиченість геостаціонарної орбіти на багатьох ділянках та неможливість обслуговування приполярних областей [2], в перспективі перевага віддається низькоорбітальним ССЗ.

Створення будь якої ССЗ вимагає значних інвестицій. Тому для оператора супутникового зв’язку звичайним є прагнення до зменшення вартості як наземного, так і на космічного сегментів системи. Зазначимо, що для останнього основні витрати пов’язані із виведенням космічного апарату на задану орбіту та його створенням.

Для першої складової витрат на космічний сегмент суттєве значення має висота орбіти, на яку виводиться супутник – із збільшенням висоти вартість пуску при перерахунку на корисне навантаження (КН), що

виводиться носієм, зростає. Так, маса КН для *Falcon* 9 при виведенні на низьку опорну орбіту з висотою близько 200 км становить 22800кг, а маса КН при виведенні на геоперехідну орбіту – 8300 кг [3].

Крім того, на вартість пуску впливає принцип побудови ракети-носія. Тобто,якщо конструкція передбачає її багаторазове використання – вона може бути зменшена. Так, вартість пуску для *Falcon* 9 за рахунок повернення першої ступені може бути знижена майже на 24 млн. доларів [6]. Якщо врахувати той факт, що вартість першої ступені складає майже 50% вартості всієї *Falcon* 9, то багаторазова перша ступень дозволить проводити запуски за 50 млн. доларів. Однак при цьому маса КН с посадкою першої ступені для *Falcon* 9 при виведенні, наприклад, на геоперехідну орбіту знизиться до 5500 кг[3].

Альтернативний спосіб виведення супутників на орбіту – повітряний старт, який передбачає запуск космічних апаратів з повітряних суден горизонтального зльоту. Такі переваги, як зменшення маси, сили протидії та вартості ракети-носія, дозволяють у кілька разів знизити витрати на запуск.На сьогодні саме українські літаки АН-124-100 «Руслан» та Ан-225 «Мрія» можуть бути задіяні для виконання цієї місії) (див. рис.1, 2, 3) [7].

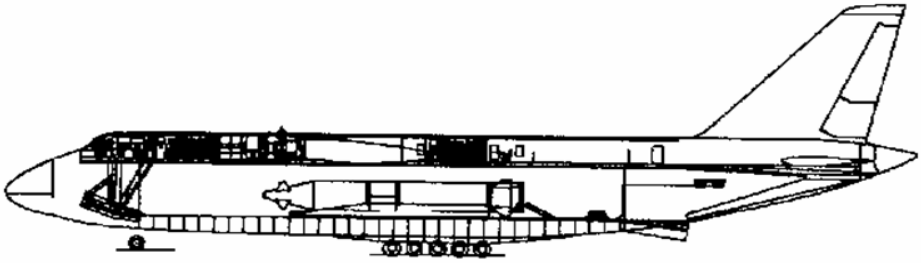


Рис. 1. Аерокосмічна система «Оріль» на базі літака АН-124-100 «Руслан»

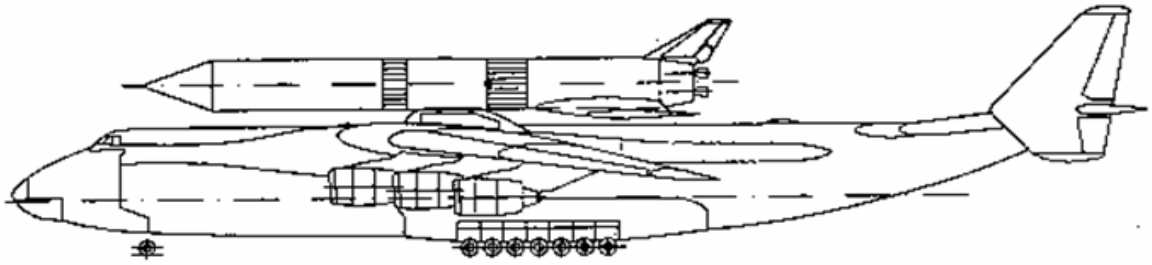


Рис. 2. Аерокосмічна система «Світязь» на базі літака АН-225 «Мрія»

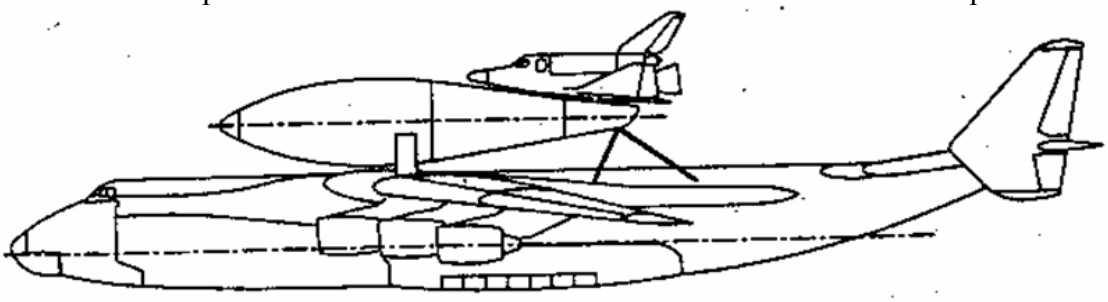


Рис. 3. Аерокосмічна система «MAKS» на базі літака АН-225 «Мрія».

Зменшення другої складової витрат на космічний сегмент, тобто вартості супутників зв'язку, можливе при їх масовому серійному виробництві. Саме з погляду на це досить привабливою є ідея використання НС формату *CubeSat* (див. рис. 4).

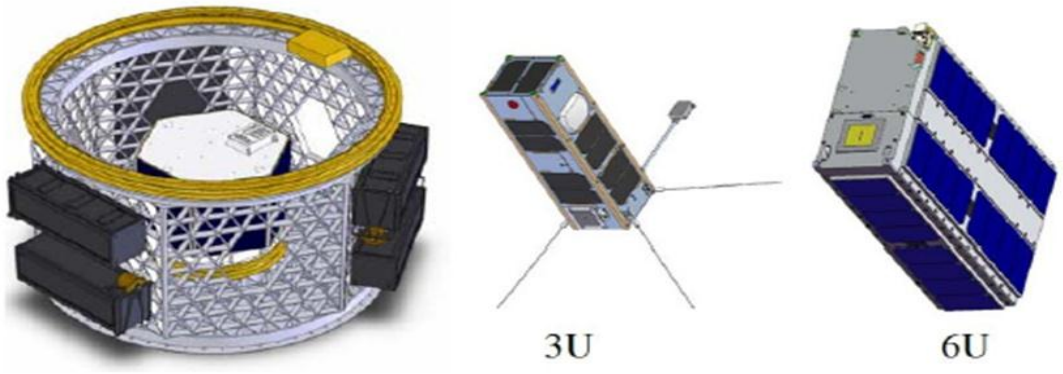


Рис. 4. Наносупутники компоновки CubeSAT 3U и 6U.

Таким чином, на сьогодні, ефективність супутникового сегменту системи зв'язку на НС виявляється значно вищою у порівнянні із існуючими ССЗ. Окрім того, запропоноване рішення в цілому підвищує надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики угрупування, а у випадку часткового резервування НС в кластері такі події можуть бути повністю нівельовані. Немаловажним є і той факт, що використання НС вирішить проблему космічного сміття, оскільки НС будуть знаходитись на низькій орбіті та по закінченні своєї місії будуть повністю згорати в земній атмосфері.

Література

1. Satcom D. V. Информация о системах спутниковой связи. /Электронный ресурс/ http://www.satcomdv.ru/informaciya_o_sistemah_ sputnikovoj_sa.
2. Явіся В.С., Вакуленко О.В. Аналіз способів побудови систем супутникового зв'язку //X Науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО». Збірник тез. – К.: ВІТІ. – 2017. – С. 274-275.
3. Все спутники связи. Каталог. /Электронный ресурс/ http://ecoruspace.me.
4. Wind-sail, сайт компании. Космический сегмент спутниковой связи Иридиум. /Электронный ресурс/ https://wind-sail.ru/equpment/svyaz/sistema-mobilnoj-sputnikovoj-svjazi-iridium/
5. Satlink. Технические характеристики спутниковой системы связи Iridium /Электронный ресурс/ http://www.satlink.ru/Spytnikovaia_sviaz/Iridium/ Tehnicheskie_ harakteristiki.html.
6. Космос Я. Расчет стоимости производства, обслуживания и запуска ракет Falcon 9 и Falcon Heavy компании Space X Электронный ресурс/ http://www.astronews.space/spacecrafts-2/252.
7. Tachinina O., Chekanova I., Lysenko O., Alekseeva I., Chumachenko S. The system of injection of subminiature satellites (NANOSATELLITES) to NEAR-EARTH orbit on the basis of AH-124-100 airplane. Десята міжнародна науково-технічна конференція: „Проблеми телекомунікацій", Київ, 19-22 квітня 2016, С. 477-479

УДК 621.396.946.2, 004.75

СПУТНИКОВАЯ НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

[1]Ильченко М.Е., [1]Нарытник Т.Н., [2]Присяжный В.И., [2]Капштык С.В., [3]Матвиенко С.А.

[1]Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»
[2] Национальный центр управления и испытания космических средств Государственное космическое агентство Украины
[3]Научно-производственный комплекс «Курс»

Satellite LEO computing network of the internet of things

The issues of development of a LEO Telecommunications Satellite System for the Internet of Things Services are considered. To build a Satellite Telecommunications System, the Architecture of a “Distributed Satellite” was chosen, which allows the use of Nanosatellite / CubSat form factor spacecraft. The implementation of the “Fog Computing” and “Edge Computing” concept for processing of Internet of Things unit information is a promising direction in the development of Telecommunications Systems designed for the Internet of Things. It was proposed to include into each “Distributed Satellite” a separate Satellite-Computer, and to develop the Orbital Distributed Computer Network on the basis of Satellite-Computers.

Рассмотрены вопросы построения низкоорбитальной телекоммуникационной спутниковой системы для предоставления услуг Интернета Вещей. Для построения спутниковой телекоммуникационной системы выбрана архитектура «распределенного спутника», которая позволяет применять космические аппараты форм-фактора нано-спутник/куб-сат. Перспективным направлением развития телекоммуникационных систем, предназначенных для Интернета Вещей, является реализация концепции «туманных вычислений» и «граничных вычислений» для обработки информации устройств Интернета Вещей. Предложено включение в состав каждого «распределенного спутника» отдельно спутника-вычислителя, и построение на основе спутников-вычислителей орбитальной распределенной вычислительной сети.

Введение. По прогнозам экспертов, в 2020 году Интернет вещей (IoT) станет основой инфраструктуры практически во всех областях деятельности [1]. Ожидается, что в 2022 году объем мирового рынка IoT и связанных с ним технологий достигнет 1,2трлн. дол. США с средним ростом 13,6% [2]. В 2023 году количество подключений устройств IoT к сотовым сетям составит 3,5 млрд. [2]. Развитие IoT неразрывно связано с ростом спроса на пропускную способность телекоммуникационных систем. Сегмент малых космических аппаратов все более привлекает внимание разработчиков спутниковых систем связи. В ближайшие десять лет ожидается запуск 2800 нано/микро-спутников (массой 1-50 кг) [3]. В 2019 году прогнозируется, что количество

запущенных космических аппаратов в этом сегменте рынка составит 294÷393.

«Туманные» и «граничные вычисления» рассматриваются как метод повышения эффективности систем IoT [4]. В этом случае обработка информации осуществляется на нижних и промежуточных иерархических уровнях информационной системы. Это позволяет оптимизировать трафика устройств IoT в системе связи. При «туманных» и «граничных вычислениях» на верхние уровни передаются результаты обработки информации, что сокращает объем и повышает «ценность» этой информации. Система связи, поддерживающая концепцию «туманных» и «граничных вычислений», должна обладать вычислительными мощностями для обработки информации IoT, расположенными ближе к границе сети.

Низкоорбитальная (LEO) система спутниковой связи для IoT должна учитывать эти особенности, т.е. предоставить вычислительные мощности для «туманных» и «граничных вычислений. В LEO системе спутниковой связи, на основе архитектуры «распределенного спутника» (см.рис.1) [5], размещение вычислительных мощностей решается включением спутника-вычислителя в состав «распределенного спутника».

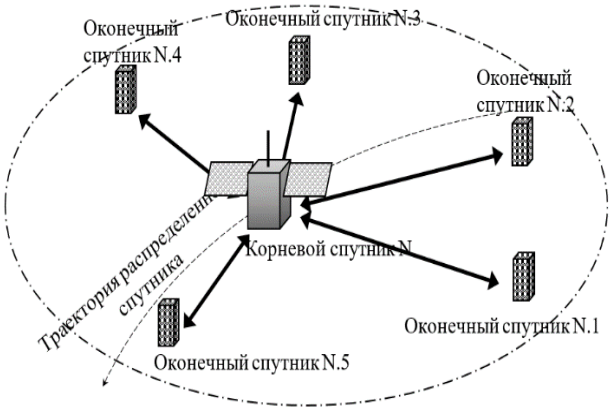


Рис.1 Архитектура «распределенного спутника». Централизованная конфигурация.

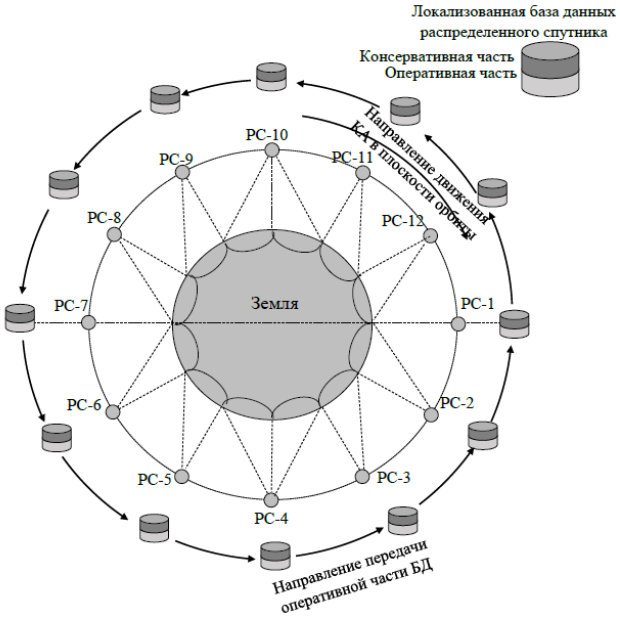


Рис.2. Распределенная база данных одной орбитальной плоскости низкоорбитальной системы IoT.

Спутник-вычислитель построен на платформе куб-сата. Его полезной нагрузкой является вычислительный модуль. Архитектура «распределенного спутника» позволяет перенаправить мощность бортовой системы энергоснабжения на полезную нагрузку – вычислительный модуль.

Вычислительный модуль куб-сата оборудован собственным процессором и памятью. Производительность вычислительного ядра модуля (вычислительная мощность) определяется на основе компромисса между следующими показателями:

- массово-габаритные показатели, потребляемая мощность, теполвыделение;
- количество устройств IoT в зоне обслуживания «распределенного спутника», объем и особенности трафика;
- сложность алгоритмов обработки информации IoT, объем программного обеспечения, ограничения по времени обработки информации IoT.

Спутники-вычислители формируют на орбите распределенную вычислительную сеть IoT. Устройства IoT на поверхности Земли используют спутник-вычислитель «распределенного спутника», предоставляющего услуги в районе нахождения устройства IoT в данный момент времени.

В памяти вычислительного модуля спутника-вычислителя хранится база данных, содержащая следующую информацию:

- данные по устройствам IoT (MAC и IP адреса, тип и метод адресации, конструктивные константы и коэффициенты), координаты устройств IoT (для стационарных устройств) и районы для мобильных устройств IoT, прочие данные;
- программное обеспечение IoT;
- результаты обработки информации IoT в реальном масштабе времени;
- прочая информация.

База данных учитывает локализацию устройств IoT на поверхности Земли, состоит из совокупности локализованных баз данных и делится на две части: консервативная и оперативная часть. Консервативная часть содержит информацию с длительным сроком хранения, актуальность которой превышает орбитальный период. Оперативная часть содержит результаты обработки информации IoT в режиме реального времени.

В LEO спутниковых системах, в зависимости от угла места антенны земной станции и высоты орбиты время «видимости» спутника составляет от единиц до 15-20 минут. После этого спутник «выходит» из зоны видимости земной станции и в зону видимости «входит» следующий спутник. Для обеспечения непрерывности обслуживания устройств IoT необходимо обеспечить передачу результатов предыдущих операций от «уходящего» к «приходящему» спутнику-вычислителю, т.е. локализовать оперативную часть базы данных. Для локализации базы данных «распределенные спутники» по линиям связи между спутниками производят передачу/обмен информацией о результатах обработки текущих запросов от устройств IoT в привязке к месту их размещения. На рис.2 показана схема передачи

информации в одной орбитальной плоскости для поддержания локализованной базы данных. Как видно из рис.2, информация передается в направлении, противоположном направлению движения спутников в орбитальной плоскости.

Важным достоинством распределенных вычислительных сетей является способность оперативно наращивать вычислительные мощности при возникновении пиковых нагрузок за счет перераспределения вычислительной нагрузки на не загруженные вычислительные модули. Орбитальная распределенная вычислительная сеть использует это свойство для предоставления услуг в районах с высокой плотностью устройств IoT. Когда нагрузка на спутник-вычислитель приближается к предельной, ее часть передается на спутники-вычислители других «распределенных спутников». Перераспределение вычислительной нагрузки производится с учетом особенностей трафика устройств IoT.

Выводы.

1. Спутниковая орбитальная распределенная вычислительная сеть является составной частью низкоорбитальной спутниковой системы связи для предоставления услуг IoT, отражающая особенности IoT и реализующая концепции «туманных вычислений» и «граничных вычислений».

2. Архитектура «распределенного спутника» позволяет оперативно наращивать вычислительные возможности космического сегмента системы и обеспечивать перераспределение вычислительной нагрузки, что позволяет использовать вычислительные средства с ограниченной вычислительной производительностью, и тем самым снизить стоимость таких устройств.

Литература

1. Никитин А.А. Интернет вещей – один из глобальных трендов //Электросвязь– 2018 - №1. с.30-39. Электросвязь [Электронный ресурс]: Научно-технический журнал .— М. : ИНФО-ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ, 1933 .— 2018 .— №1 .— 80 с. : ил. — Режим доступа: https://rucont.ru/efd/606018
2. 2018 Roundup of Internet of Things. Forecasts and Market Estimates / Louis Columbus / https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2018/12/13/2018-roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates/#4537a2537d83
3. 2800 microsatellites to launch over next five years: SpaceWorks// http://satelliteprome.com/news/2800-microsatellites-to-launch-over-next-five-years-spaceworks/
4. Проферансов Д.Ю., Сафонова И.Е. К вопросу о туманных вычислениях и интернете вещей // Образовательные ресурсы и технологии – 2017 - №4 (21) с.30-39.
5. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Рассомакин Б.М., Присяжный В.И., Капштык С.В. Создание архитектуры «распределенного сптуника» для низкоорбитальных информационно-телекоммуникационных систем на основе группировки микро- и наноспутников // Авиационно-космическая техника и технология - 2018, № 2(146) с.33-43.

УДК 681.3:629.783

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ КЛАСТЕРНОГО ТИПА

Лабуткина Т.В., Саенко И.А.
Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара
E-mail: tvlabut@ukr.net

Simulation model of a satellite cluster type network of packet switching

A simplified simulation model of a switching packets network of spacecrafts interacting clusters has been developed. A communication network of a hierarchical structure is modeled: an elementary structural unit is a cluster communication network; integrated structure is a communications network based on networks of cluster groups connected by communication lines between some spacecraft. When modeling, the types of cluster internal loads, network-wide loads and the loads of different users are different.

Все больше актуальных задач спутниковой связи, дистанционного зондирования Земли и наблюдения околоземного пространства требуют использования кластерных групп космических аппаратов [1-4]. В данной работе принято следующее определение кластера. Космические аппараты кластерной группы связанны решением общих функциональных задач, разбитых на подзадачи, реализуемые каждым из них. При организации функционирования кластера космических аппаратов он предполагается единой сложной системой. Для космических аппаратов кластера поддерживается их местоположение в относительно «компактной» группе. Управление кластером (централизованное или распределенное, в том числе − и на основе мультиагентных технологий) может быть автономным или полуавтономным. Между космическими аппаратами кластера поддерживаются коммуникации. Частный случай кластерной группировки космических аппаратов − «распределенные» космические аппараты [1,2]. Появляются проекты спутниковых систем на основе взаимодействующих кластерных группировок (при этом сети связи кластеров объединены в интегрированную сеть на основе коммуникаций между космическими аппаратами, входящими в различные кластеры). Перспективным вариантом сетей связи активно взаимодействующих космическими аппаратов являются сети с техникой коммутации пакетов. Для обеспечения начальных этапов анализа проектных решений по созданию систем взаимодействующих кластеров космических аппаратов разработана упрощенная имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов кластерного типа.

Предложенная имитационная модель реализует систему, для которой сохраняются следующие положения. Кластер космических аппаратов − элементарная структурная единица. Сеть связи кластера может быть создана на основе технологий «ненаправленной» или «направленной» связи. «Направленная» связь – программно-управляемые линии оптической связи или лучи фазированной антенной решетки. В общем случае космический аппарат устанавливает направленные линии с использованием устройств шести типов, каждое из которых применимо в одном из секторов с осью симметрии,

совпадающей с осью барицентрической орбитальной системы координат космического аппарата и развернутым в положительном или отрицательном направлении этой оси. Космический аппарат кластера поддерживает у себя глобальную информацию о текущем состоянии интегрированной сети (о топологии сети и о загруженности ее узлов). Топология сети рассчитывается на борту каждого космического аппарата на основе моделирования движения всех космических аппаратов взаимодействующих кластеров с использованием относительно несложных моделей орбитального движения. Обновляемая информация об эфемеридах передается в сеть и распространяется управляющими пакетами на основе волнового алгоритма. Альтернативным решением является обновление информации путем ее трансляции из специальной служебной системы (или сегмента единой системы) на основе технологий, аналогичных технологиям трансляции информации навигационных систем [5]. Накопитель узла разбит на уровни заполнения (объем накопителя и его уровни могут измеряться, например, в единицах измерения объема информации; объем одного уровня разбиения накопителя одинаков для всех узлов сети). При управлении функционированием сети учитывается информация о загруженности накопителя видами нагрузки различного типа (эти типы будут перечислены далее) и об общей загруженности накопителя. Потоки информации относительно загруженности узлов распространяются по сети волновым алгоритмом на основе высшего уровня приоритетности. Нагрузка, создаваемая потоком данных в накопителях узлов (в космических аппаратах) кластера, с точки зрения его включения в систему кластеров разбита на три вида. Во-первых, это внутрикластерная нагрузка. Во-вторых, это проходящая через кластер общесетевая нагрузка (управляющая нагрузка или нагрузка коммуникации кластеров через сеть). В-третьих, это потоки «чужой нагрузки» − «избыточной» внутрикластерной нагрузки близких кластеров (если сеть кластера перегружена, а загрузка близких кластеров невысокая, часть его внутрикластерной нагрузки будет проходить через сети этих кластеров, станет для них «чужой нагрузкой»). Уровень приоритетности чужой нагрузки ниже других видов внутрикластерной нагрузки. Пакеты данных внутрикластерной нагрузки и пакеты общесетевой нагрузки разделены по уровням приоритетности (в том числе, выделяется нагрузка управления сетевыми процессами, нагрузка управления взаимодействием космических аппаратов одного или различных кластеров, нагрузка, создаваемая большими объемами информации невысокой текущей актуальности). Задаются правила назначения сквозной иерархии уровней приоритетности внутрикластерной и общесетевой нагрузок. Иерархическая система разбиения нагрузки по уровням приоритетности может включать в себя учет видов пользовательской нагрузки разного уровня приоритетности.

Моделируются кластерные системы, построенных на основе кластеров постоянного или скользящего состава. В том числе − сеть связи кольцеобразно объединенных групп кластеров в охватывающей их трубовидной зоне. Орбиты космических аппаратов охватывающая трубовидная зона прецессируют, коррекция орбит по значению долготы восходящего узла обеспечивает поддержание орбит в трубовидной зоне. Частный случай − группировка

кластеров скользящего состава в трубовидной зоне (космические аппараты относительно симметрично разнесены на нескольких орбитах разных высот, набегающее рассогласование из-за разности высот не корректируется, и космические аппараты «переходят» из одного кластера в другой). Также моделируются системы кластеров скользящего состава на основе спутниковых группировок глобально охвата земной поверхности в заданной области широт. В этом случае набегающие рассогласования по долготе восходящего узла и вдоль орбиты не корректируются. Космические аппараты «переходят» из одного кластера в другой. Представляемая имитационная модель спутниковой сети базируется на принципах имитационного моделирования нагрузки спутниковой сети коммутации пакетов, описанная в работе [6]. Изменение состояние загруженности узлов сети моделируется как процесс размножение и гибели (под состоянием загруженности узла понимается число заполненных уровней его накопителя). Изменения состояния заполнения накопителя в большую или меньшую сторону, вызванные каждым видом нагрузки, моделируется для узла независимо, но учитывается, что параметры потоков переходов узлов в состояние большей или меньшей загруженности, вызванные каждым видом нагрузки, зависят от общих характеристик сети, и это «сшивает» модель процесса переходов между состояниями.

Література

1. Капштик С.В. Низькорбітальна супутникова система широкосмугового доступу для інтернету речей. / С.В. Капштик, М.Ю. Ільченко, Т.М. Наритник, В.І. Присяжний, С.А. Матвієнко // 18 Українська конференція з космічних досліджень, Київ, Україна, 17-20 вересня 2018. − С. 126.
2. Ильченко М.Е. Концепция создания архитектуры «распределенного спутника» для низкоорбитальных информационных и телекоммуникационных систем на основе группировки микро- и нано- спутников. / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, Б.М. Рассамакин, В.И. Присяжный, С.В. Капштык // Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій», 16-18 квітня 2018, Київ, Україна. − *http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/131323.*
3. Саллогуб А.В. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах дистанционного зондирования Земли/ А.В. Саллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.А. Жиляев, // Информационно-управляющие системы, № 1, 2013. − С. 16-26.
4. Лабуткина Т.В. Сети космических аппаратов наблюдения Земли и околоземного пространства на основе взаимодействующих кластеров/ Т.В. Лабуткина, И.А. Саенко, Н.М. Сотничек, А.В. Дымченко// 18 Українська конференція з космічних досліджень, Київ, Україна, 17-20 вересня 2018. − С. 133.
5. Лабуткин Т.В. Концепция спутниковой сети коммутации пакетов с наземным, авиационным и космическим пользовательскими сегментами. / Т.В. Лабуткина, А.В. Бабанина, Н.М. Сотничек, И.А. Саенко, А.В. Дымченко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2017. – Т. XXII. – С. 66-84. ISSN 2524-0188 Print , ISSN 2524-0196 OnLine).
6. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментами / Т.В. Лабуткина, В.А. Ларин, В.В. Беликов, А.В. Борщева, А.А. Тихонова, Д.И. Деревяшкин. // Науково-технічний журнал «Радіоелектронні і комп’ютерні системи». № 1 (75), 2016. С. 66-83.

UDC 621.396.946

CALCULATION PARAMETERS OF ADD-DROP FILTERS ON OPTICAL MICRORESONATORS

Trubin A. A.
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
E-mail: atrubin@ukrpost.net

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ADD-DROP ФІЛЬТРІВ НА ОПТИЧНИХ МІКРОРЕЗОНАТОРАХ

Розроблена електродинамічна теорія розрахунку параметрів матриці розсіювання add-drop фільтрів, побудованих на діелектричних мікрорезонаторах з хвилями шепочучей галереї.

The use of microresonators in the filters will allow us create optical communication and computation devices with channel separation by wavelength in the integral design, therefore the development of add-drop filters is an actual technical task. Today, the development of such filters relies on modeling based on the use of equivalent circuits, and in the case of using whispering gallery modes (WGM), on the theory of connected lines [1-8].

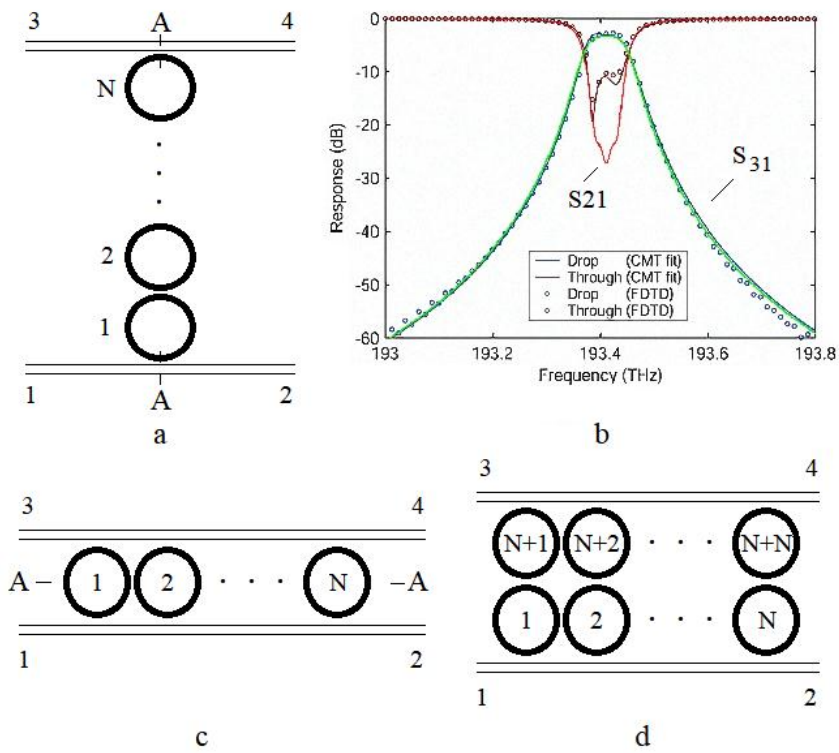


Fig. 1. Different add-drop filters (a, c, d) on microresonators. Comparison of S-matrix of the 3-microresonator filter from [4]; calculated by theory [9]: S_{21} - red; S_{31} - green curve

The purpose of this work is to apply the methods of electrodynamic modeling of scattering processes on systems of optical microresonators based on the results of work [9].

To build an electrodynamic models of the filters, the following assumptions were made. It was assumed that a pair of degenerate orthogonal WGM, characterized by a given parity relative to the plane of symmetry A – A of the structure (Fig.1, a, c), is excited in each microresonator. Such even and odd modes are not coupled.

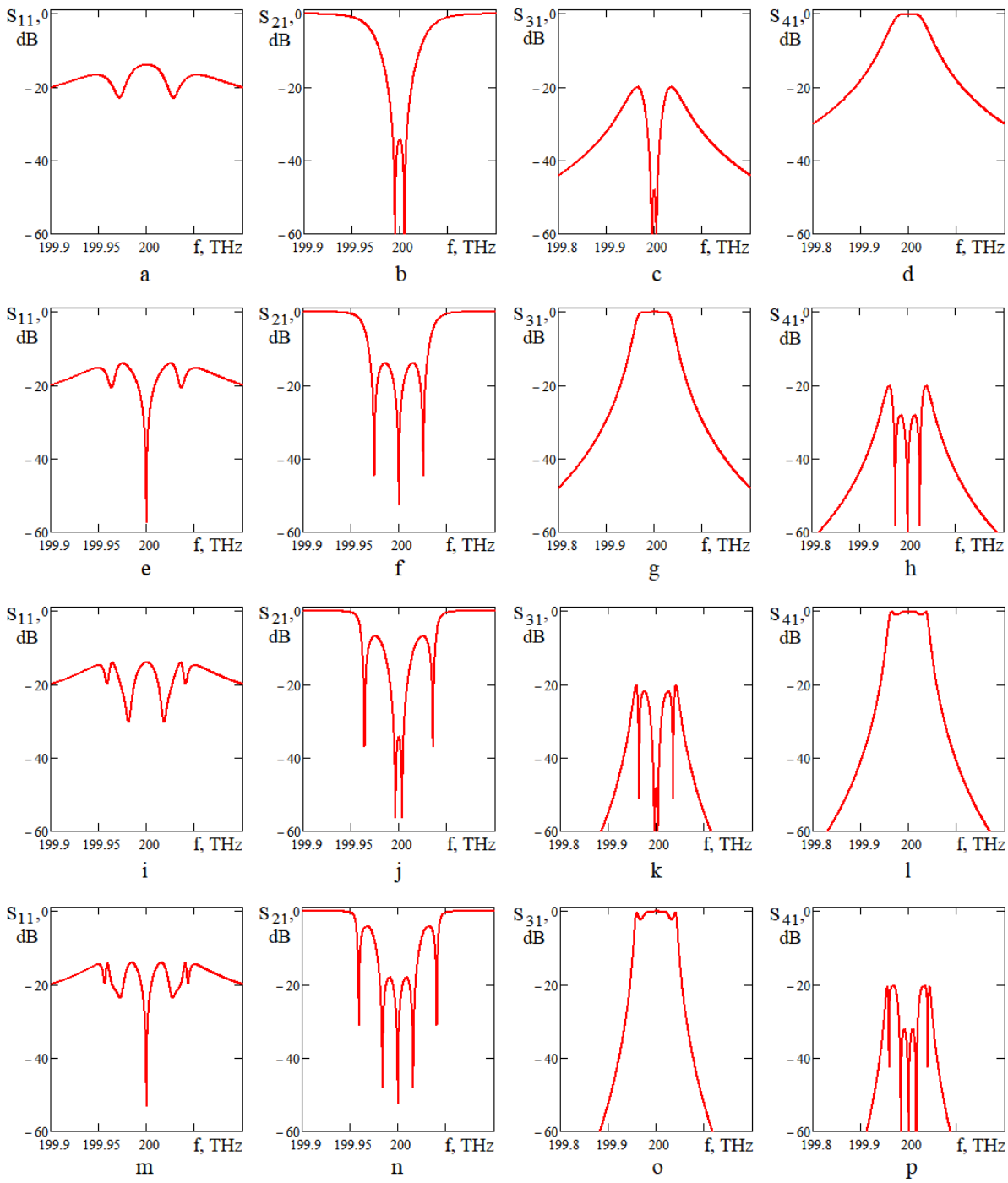


Fig. 2. Example of calculated dependences of scattering matrices of the Add-Drop Filters, shown in fig. 1, a, on 2 (a - d); 3 (e - h); 4 (i - l); 5 (m - p) microresonators.

All microresonators are coupled only with neighboring ones as well as can also radiate to an open space.

The results of the calculation of the dependence of S_{21} and S_{31} according to [9] as compared with the calculation data taken from [4] for 3 microresonator filter are shown in Fig. 1, b. Here the filter input port is 1; throughput port is 2; the drop port is 3 and the add port is 4.

The results of the calculation of the dependence of the scattering matrix on the frequency by the method [9] for 2 - 5 resonator add-drop filters are shown in Fig. 2. Where $f_0 = 200$ THz - is the natural oscillation frequency of isolated microresonators; open space microresonator coupling coefficient $\tilde{k}_{OS} = 10^{-7}$. The coupling coefficient of the 1-st and N-th microresonators with optical transmission lines for even oscillations $\tilde{k}^e = 3 \cdot 10^{-4}$; for odd oscillations $\tilde{k}^o = 2 \cdot 10^{-4}$. The coupling coefficient between adjacent microresonators for even oscillations $k_{12}^e = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$; for odd oscillations $k_{12}^o = -2{,}5 \cdot 10^{-4}$.

Similar S-matrix dependencies were also calculated for filters that shown on fig. 1, c, d.

As can be seen from the data obtained, filters of different orders give frequency dependences that are in good agreement with the observed scattering patterns without additional assumptions regarding the distribution of the field in the structure.

The optical filter model, based on the results of the electrodynamic theory of coupled resonators, allows us obtain results that are close in values compared with the data of numerical calculations and traveling wave approximations.

References

1. B.E. Little, S.T. Chu, H.A. Haus, J. Foresi, J.-P. Laine. Microring Resonator Chanel Dropping Filters // Jornal of Lightwave Techn., v. 15, No. 6, 1997, pp. 998-1005.
2. B.E. Little, S.T. Chu, W. Pan,D. Ripin, T. Kaneko, Y. Kokubun, E. Ippen. Vertically Coupled Glass Microring Resonator Channel Dropping Filters // IEEE Photonics Techn. Letters, v. 11,No 2, 1999, pp. 215-217.
3. C. Manolatou, M.J. Khan, S. Fan, P.R. Villeneuve, H.A. Haus, J.D. Joannopoulos. Coupling of Modes Analysis of Resonant Chanel Add-Drop Filters // IEEE Jornal of Quantum Electronics, v. 35, No. 9, 1999, pp. 1322-1331.
4. H.A. Haus, M.A. Popovic, M.R. Watts and C. Manolatou, B.E. Little, S.T. Chu. Optical Resonators and filters. Optical Microcavities. Edited By: Kerry Vahala (*California Institute of Technology, USA*) Ch. 00, 2004. 516 p.
5. S. Xiao, M.H. Khan. Silicon-on-Insulator Microring Add-Drop Filters With Free Spectral Ranges Over 30 nm // Jornal of Lightwave Techn. v. 26, No. 2, 2008, pp. 228-236.
6. Q. Xu, R. Soref. Reconfigurable optical directed-logic circuits using microresonator-based optical switches // Optics Express. Vol. 19. No. 9. 2011, pp. 5244-5259.
7. G. Chen, L. Chen, W. Ding, F. Sun, R. Feng. Polarization Rotators in Add-Drop Filter Systems With Double-Ring Resonators // IEEE Photonics Techn. Letters, v. 26, No. 10, 2014, pp.976-979.
8. N.A. Abujah, R. Letizia, F. Alwafie, S. Obayya. Time Domain Modeling of Optical Add-drop filter based on Microcavity Ring Resonators // IOSR Jornal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE). 2015, v. 10, Is. 6, Ver. 2, pp. 77-87.
9. Trubin A.A. Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland. Series in Advanced Microelectronics, – 2016, – vol. 53, 159 p.

УДК 621.391.3

МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ОБСЯГІВ ДАНИХ

Ляшенко А.В., Бугаєнко Ю.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: andrey.lyashenko44@gmail.com

Clustering method for processing of large data types

The article describes a description of the clustering algorithm for its application in the processing of large volumes of data and in the creation of fuzzy knowledge bases with sets of rules of fuzzy logic.

У статті наводиться опис алгоритму кластеризації для застосування його при обробці великих обсягів даних та при створенні нечітких баз знань з наборами правил нечіткої логіки.

Для великих телекомунікаційних компаній сьогодні постає завдання обробки великих обсягів даних. Потрібно класифікувати дані на різнорідні групи для аналізу даних. Різні види аналізу, для виявлення сучасних тенденцій та збору статистики, потребують математичних обчислень. Щоб вирішити задачу розрізнення об’єктів, використовують кластеризацію. Кластеризація призначена для розділення набору об'єктів на однорідні групи, і її метою є пошук існуючих структур. Цей процес використовується для класифікації трафіку, для побудови маркетингових стратегій оператора зв’язку, крім того в комп'ютерній графіці - для сегментації зображень, для класифікації результатів пошуку, для обробки таблиць і документів. У той же час кожна область даних має свої власні набори даних, наприклад, в системах збору технічних даних необхідно працювати з числовими характеристиками, які мають унікальну оцінку, і, наприклад, при роботі з даними користувача / підприємства дані мають абсолютно інший формат. На основі цього використовуються різні алгоритми кластеризації та обробки даних.

Алгоритми кластеризації оперують з об'єктами. З кожним об'єктом X ототожнюється вектор характеристик $X_i = (x_1, \dots, x_d)$. Компоненти X_i, $i = 1, \dots, d$ є окремими характеристиками об'єкта. Розмірність простору характеристик визначає кількість характеристик d. Що складається з усіх векторів характеристик об'єктів, безліч позначається $M = (X_1, \dots, X_n)$. Підмножина «близьких один до одного» об'єктів з М являє собою кластер. Відстань $D(X_i, X_j)$ між об'єктами X_i і X_j визначається в просторі характеристик на основі обраної метрики.

Часто об’єкти кластеризації мають вимоги до:

- Високої розмірності простору даних - об'єкти описуються великою кількістю атрибутів, отже, повинна бути пристосованість алгоритму до роботи в просторах даних високої розмірності.
- Великий обсяг даних.

- Кластеризація відбувається з метою отримання нечітких правил на основі побудованих кластерів.

Для задоволення цих вимог вибирають метод, який дозволяє кожному об'єкту із вибірки даних знаходитися в кожному кластері із різним ступенем приналежності та має меншу чутливість до викидів. Такий метод має вирішувати задачу визначення належності об'єкта до кластеру, якщо він знаходиться на границі декількох кластерів. До нечітких методів/алгоритмів кластеризації відносять алгоритм нечітких С-середніх *Fuzzy C-means algorithm [3]*.

Алгоритм.

Алгоритм нечітких С-середніх (FCM) схожий на алгоритм К-середніх, так як він порівнює значення об'єкта із вибірки даних із значенням центру кластера. Основна відмінність полягає в тому, що замість того, щоб приймати складне рішення про те, до якого кластеру повинен належати об'єкт, він привласнює значення від 0 до 1, яке описує «наскільки цей об'єкт належить цьому кластеру» для кожного кластера.

Критерії збіжності FCM-алгоритма:

1. Для кожного елемента вибірки вимірювань сума ступенів його приналежності всьому с кластерам повинна дорівнювати

$$\sum_{i=1}^{c} \mu_{ij} = 1, \qquad \forall j = 1, \ldots\ldots N,$$

2. Значення ступеня приналежності повинно бути обмежено інтервалом [0,1]:

$$\mu_{ij} \in [0,1], \forall i = 1, \ldots\ldots, c, \text{ і } \forall j = 1, \ldots\ldots N.$$

Нечітке правило говорить, що сума значення членства об'єкта для всіх кластерів повинна дорівнювати 1. Чим вище значення членства, тим більш імовірно, що об'єкт належить цьому кластеру. Кластеризація FCM здійснюється шляхом мінімізації цільової функції, показаної в рівнянні (1):

$$J = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{c} \mu_{ik}^{q} \, |x_i - v_k|^2 \quad (1),$$

Де:

J – цільова функція;

n – кількість об'єктів у виборці даних;

c – кількість кластерів;

μ – нечітке значення членства з таблиці;

q – коефіцієнт нечіткості (значення > 1);

x_i – значення і-ого об'єкта із виборки;

v_k – центр кластера ;

$|x_i - v_k|$ – Евклідова відстань, яка визначається рівнянням (2):

$$|x_i - v_k| = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - v_k)^2}$$

Розрахунок центра кластера визначається за допомогою рівняння (3):

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_{ik}^{q} x_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_{ik}^{q}}$$

Таблиця нечіткого членства розраховується за допомогою рівняння (4):

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{l=1}^{c} \left(\frac{|x_i - v_k|}{|x_i - v_l|}\right)^{\frac{2}{q-1}}}$$

Кроки реалізації:

Крок 1: Встановити кількість кластерів та нечіткий параметр (константне значення > 1) і параметр зупинки

Крок 2: Ініціалізація матриці степенів приналежності

Крок 3: Встановити лічильник циклів $k = 0$

Крок 4: Обчислити центроїди кластера, обчислити значення цільової функції J

Крок 5: Для кожного об'єкта та для кожного кластера обчислити значення членства в матриці

Крок 6: Якщо значення J між послідовними ітераціями менше, ніж умова зупинки, то зупинка; інакше встановіть $k = k + 1$ та перейти до кроку 4.

Крок 7: Отримання матриці приналежності та кінець алгоритму

Виходячи з цього алгоритму можна зробити висновок, що такий підхід дозволяє визначити належність об'єкта з вибірки даних до кластерів із різним ступенем приналежності. Це дозволяє не втрачати наявні логічні зв'язки на границі кластерів.

Висновки. В даній статті був запропонований покращений спосіб обробки даних, який базується на алгоритмі кластеризації, який має назву алгоритм нечітких С-середніх (*Fuzzy C-means algorithm).* Цей алгоритм дозволяє належати кожному об'єкту з вибірки даних одразу декільком кластерам, що дозволяє ще більш точно(«м'яко») розділити об'єкти, які мають велику розмірність простору даних (багато атрибутів) і також великий обсяг даних, між різними групами, в залежності від предметної області кластеризації.

Література

1. Approach to determining the number of clusters in a data set. Ivan Ishchenko, Larysa Globa, Yurii Buhaienko, Andrii Liashenko National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Kyiv.
2. Нечеткое моделирование и управление. А. Пегат с. [520-530].
3. Fuzzy C-means Algorithms for very large data. Timothy C. Havens, James C. Bezdek, Cristopher Leckie, Lawrence O. Hall, Marimuthu Palaniswami. IEEE Transactions on Fuzzy Systems 2012.

УДК 1:316.4:130.121

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КВАНТОЛОГІЇ У СИСТЕМІ ЦИФРОВИХ КОМУНІКАЦІЙ СУЧАСНОГО КІБЕРПРОСТОРУ: ФІЛОСОФСЬКО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ

Лісовський П.М.
Кафедра конституційного права, теорії та історії держави і права Міжрегіональної академії управління персоналом, м. Київ, Україна
E-mail: Liovsky-pm@i.ua

Prospects of the quantumology development in the system of digital communications in current cyber space: philosophy-law aspect

In modern conditions of a rapidly changing interpolar world, there is a modern interdisciplinary science, such as quantum science. This fundamental science includes modern achievements and developments in the field of not only nanotechnology, but also mental-valuable attitudes of wisdom in relation to the individual, the state and society.

У сучасних умовах інтерполярного світу, який стрімко змінюється, актуального значення набуває така молода міжгалузева наука як квантологія. Ця фундаментальна наука містить у собі сучасні досягнення та розробки в сфері не лише нанотехнологій, а й ментально-ціннісних настанов мудрості щодо особи, держави та суспільства.

З огляду на це, сучасне здійснення фундаментальних і прикладних досліджень, зокрема у сфері квантових наукових розробок, має відповідати критеріям, визначеним у статті 1 Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» [2]. Адже відповідно до норм статті 1 означеного Закону саме інтелектуальна творча діяльність цілеспрямована на одержання інноваційних знань у сучасну квантову епоху як докорінних перетворень у науково-технологічному прогресі.

За таких обставин мають бути неодмінні прикладні дослідження, наприклад, ефективне втілення в телемедицині можливостей квантової комп’ютеризації, які оперативно оптимізують нейроенергетичні розрахунки у міжнародно-економічному процесі. Важливими формами такої інтелектуально-ноосферної діяльності як вияв квантової свідомості (шляхетної, гуманної, доброчесної), що розширює лексико-семантичне навантаження не лише лінгвістичного поля, а й метафізичного, антропологічного, історичного полів діяльності людини, є проектно-конструкторські, технологічні, пошуково-креативні роботи. Саме феноменологія мудрості на рівні особи, держави та суспільства, як фундаментальна якість переосмислення життєвих процесів, цілісно (багатовекторно) розглядає феноменальну пам’ять (квантово обумовлену) у вигляді кубобітів, що мають корпускулярно-хвильову структуру.

На цьому шляху креативних пошуків варто відзначити Інститут телекомунікаційних систем НТУУ («КПІ») імені Ігоря Сікорського, що є

основним запотребуваним осередком організації науки, який очолює доктор технічних наук, академік НАН України М.Ю. Ільченко. На наш погляд, специфіка діяльності Інституту телекомунікаційних систем,- це розробка та втілення у життя сучасних цифрових телекомунікаційних технологій, що варто використовувати у координатах людинокосмізму та людиноцентризму. Саме це і формує нові багатовимірні світоглядні координати, що ставить квантово виражений духовний капітал людства на більш розвинений щабель самоусвідомлення.

При цьому, ентропія як фізична величина, що характерна температурним режимом, часом та простором, відіграє важливу роль у квантології. Адже ентропія визначає якісно новий семантичний стан особи, держави та суспільства в процесі їх самоздійснення. Це може бути кризовий стан, воєнний стан, надзвичайний стан тощо в процесі людської діяльності.

Крім того, постійно діюча енантіодромія певних форм страху (імператив модернізації) квантується та затверджується в ментально-психічних установках спільнот, націй, класів, груп тощо, оскільки є культурною межею усвідомлення своєї ідентичності у світовому часо-просторі. Все це відбувається на квантовому (стрибковому, флуктуаційному переходах) тлі особливого історичного досвіду мінімізації та трансформації страху, починаючи з розщеплення квантової свідомості (шляхетної конституції особистості) з метою спонукання на сакральне преклоніння.

У цьому відношенні освіта, наука та виховання як кодифіковано-пізнавальний алгоритм системи знань у квантології є тим ментально-ціннісним продуктом, що духовно передається від покоління до покоління. В свою чергу, квантова свідомість людини саме сьогодні потребує негайних перетворень як постійний вихід за межі себе у пошуках реалізації своєї екзистенції. Це, насамперед, мають бути багатовимірні координати Часу, Простору та Розвитку в гіпотетичній картині «множинності світів». Тому форми страху людини, що відтворюють певний час та простір, як категорії свободи в онтології духовного капіталу, дихотомічно поступаються одна одній з позасвідомо-невизначеної сфери трансцендентного в предметній формі. І, навпаки, такі форми страху спонукають людину до креаційної творчості на атомно-молекулярному рівні, що властиво для квантології.

Адже покоління як майбутнє соціуму, в якому людина постає в усій повноті свого існування, має здійснювати саме фундаментальні розробки, що відбуваються:

- за широкої участі наукового колективу;
- шляхом складання, затвердження, виконання планів науково-дослідних робіт;
- в результаті аналізу та узагальнення досягнень світової науки за світовим профілем;
- реалізацією міжнародних програм;
- прогнозуванням нових напрямків науки і техніки;
- проведенням конкурсів щодо наукових робіт;
- шляхом підготовки наукових кадрів через аспірантуру та

докторантуру.

Для підтримки та розвитку фундаментальних досліджень на світовому рівні, нових перспективних міждисциплінарних напрямів, наукових досліджень і науково-технічних розробок, координації спільної діяльності та ефективного використання фінансових, матеріально-технічних та кадрових ресурсів за визначеним науковим напрямом, наукова група відповідної навчально-наукової інституції може входити до державної ключової лабораторії, як об'єднання наукових груп наукових установ та вищих навчальних закладів на основі договору про спільну наукову діяльність, у порядку, визначеному Законом України [2].

Таким чином, згідно чинного законодавства України, нормативно-правовими актами, навчально-науковій установі надано право в межах наявних коштів самостійно розробляти і затверджувати її структуру і штатний розпис; вирішувати питання використання колективних договорів і конкретних форм оплати праці та елементів внутрішнього інститутського господарського розрахунку, а також преміювати працівників відповідно до положення про преміювання; здійснювати інші види стимулювання праці співробітників. Відповідно до Кодексу Законів про працю України, Законів України «Про колективні договори і угоди» [1], «Про оплату праці» [3] та інших нормативно-правових актів трудового законодавства дирекція навчально-наукової установи з її профспілковою організацією укладає колективний договір, що має регламентувати взаємовідносини між трудовим колективом і роботодавцем. Тому сучасні наукові дослідження міжвідомчого / міждисциплінарного характеру мають бути системними в єдиному сумарному транскордонному полі правового забезпечення.

Література

1. Закон України «Про колективні договори і угоди» від 1 липня 1993 року № 3356-XII.
2. Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність» від 26 листопада 2015 року № 848-VIII.
3. Закон України «Про оплату праці» від 24 березня 1995 року № 108/95-ВР.
4. Лісовський П.М. Феноменологія мудрості: духовні пріоритети та імперативи (соціально-філософський контекст): монографія / П.М. Лісовський – Київ : Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2016. – 351 с.
5. Лісовський П.М. Інформологія: Людина і Всесвіт : навч. посіб. – К. : Видавничий дім «Кондор», 2018. – 152 с.
6. Лісовська Ю.П., Лісовський П.М., Подоляка С.А. Правова держава: історія, теорія, методологія: навч. посіб. / Ю.П. Лісовська, П.М. Лісовський, С.А. Подоляка. – К. : Видавничий дім «Кондор», 2018. – 348 с.
7. Лісовська Ю.П., Подоляка С.А., Лісовський П.М. Сучасне фінансове право: навч. посіб. / Ю.П.Лісовська, С.А.Подоляка, П.М.Лісовський. – К. : Видавничий дім «КОНДОР», 2018. –224 с.
8. Антикорупційне право: навч. посібник / В.І. Литвиненко, Ю.П. Лісовська, П.М. Лісовський. – К. : Видавничий дім «Кондор», 2019. – 240 с.

УДК 621.391

ВІРТУАЛІЗАЦІЯ ЯК СПОСІБ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут
E- mail: a_i_romanov@gmail.com, nikolaiy.nesterenko@gmail.com, nadya_viti@i.ua

Virtualization as the method of organization of infrastructure of information and telecommunication networks

The modern stage of the development of information services provision requires the creation of a flexible IT infrastructure of the operator (provider), which allows the rapid implementation of new services and ensures the stability of their operation in different operating modes.

Сучасний етап розвитку надання інформаційних послуг вимагає створення гнучкої ІТ-інфраструктури оператора (провайдера), яка дозволяє здійснити швидке впровадження нових сервісів та забезпечує стабільність їх роботи в різних режимах експлуатації. Це зумовлено складністю розміщення, обслуговування фізичних ресурсів (серверного, мережевого та термінального обладнання) для повноцінного функціонування компонентів сучасної інформаційно-телекомунікаційної мережі великих установ (організацій).

В свою чергу перед будь-якою ІТ-інфраструктурою постає ряд завдань: оптимізація розподілу корисного навантаження між наявними серверами організації; необхідність роботи різних операційних систем на одній апаратній базі з одночасною роботою багатьох абонентів; управління центрами обробки даних та маніпулювання великими об’ємами інформації; гарантоване виділення ресурсів для особливо важливих додатків; динамічний перерозподіл ресурсів між додатками; забезпечення використання наявних фізичних пристроїв різними додатками, емуляція необхідного серверного та мережевого обладнання; міграція додатків між різними фізичними серверами [1].

Одним із перспективних напрямків, що дозволяє вирішити вище приведені задачі та має широке використання в сучасних інформаційно-телекомунікаційних мережах (ІТМ) провідних країн світу, є використання технологій віртуалізації обчислювальних систем.

Серед широкого спектру запропонованих рішень по віртуалізації, найбільший розвиток в комерційному застосуванні знайшли:

- віртуалізація представлень;
- віртуалізація операційної системи;
- віртуалізація додатків.

Віртуалізація представлень передбачає емуляцію інтерфейсу користувача. Тобто користувач бачить додаток і працює з ним на своєму терміналі, хоча додаток виконується на віддаленому сервері, а користувачеві передається лише картинка віддаленого додатку (рис. 1).

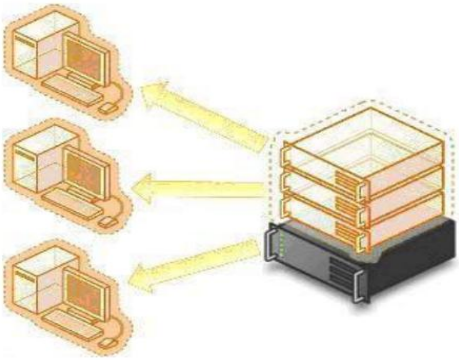


Рис. 1. Віртуалізація робочих місць.

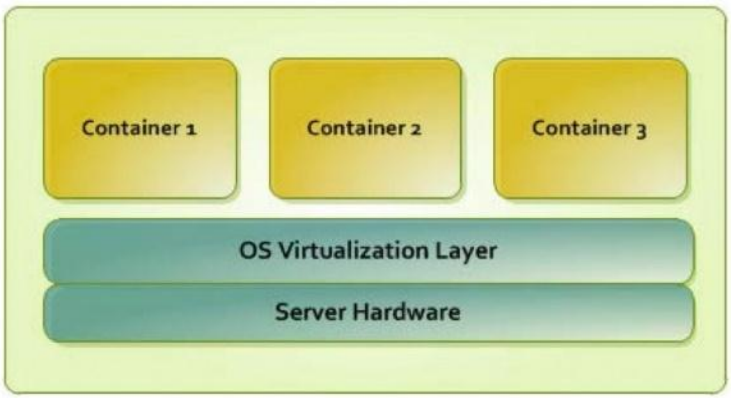


Рис. 2. Віртуалізація рівня ОС.

Віртуалізація на рівні ОС дозволяє віртуалізувати фізичні сервери на рівні ядра операційної системи (рис. 2). Шар віртуалізації ОС забезпечує ізоляцію і безпеку ресурсів між різними контейнерами. Шар віртуалізації робить кожен контейнер схожим на фізичний сервер. Кожен контейнер обслуговує додатки в ньому і робоче навантаження [2].

Віртуалізація додатків передбачає (рис. 3) застосування моделі значної ізоляції прикладних програм з керованим взаємодією з ОС, при якій віртуалізується кожен екземпляр додатків, всі його основні компоненти: файли (включаючи системні), реєстр, шрифти, INI-файли, COM-об'єкти, служби [3].

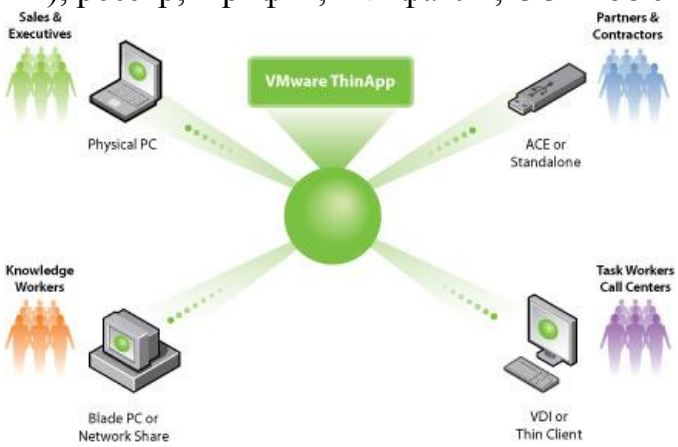


Рис. 3. Віртуалізація додатків.

Також необхідно відмити, що одним із пріоритетних напрямків розвитку мережевої інфраструктури є технологій віртуалізації мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV). NFV - віртуалізація мережевих функцій, яка дозволяє переглянути підходи до створення архітектури мережі і дає можливість перенести мережеві функції в віртуальний простір на базі стандартних серверів, розміщених в центрах обробки даних, мережевих вузлах або офісах корпоративних клієнтів [4]. Архітектура віртуалізації мережевих функцій (NFV) виглядає наступним чином рис. 4.

Ідея технології NFV з’явилася в результаті прагнення знизити витрати на створення і обслуговування мереж зв’язку, а також через бажання зробити життєві цикли програмного і апаратного забезпечення незалежними один від одного. Також дана технологія має можливість підвищувати ефективність

ІТ за рахунок запуску додатків на віртуальних машинах.

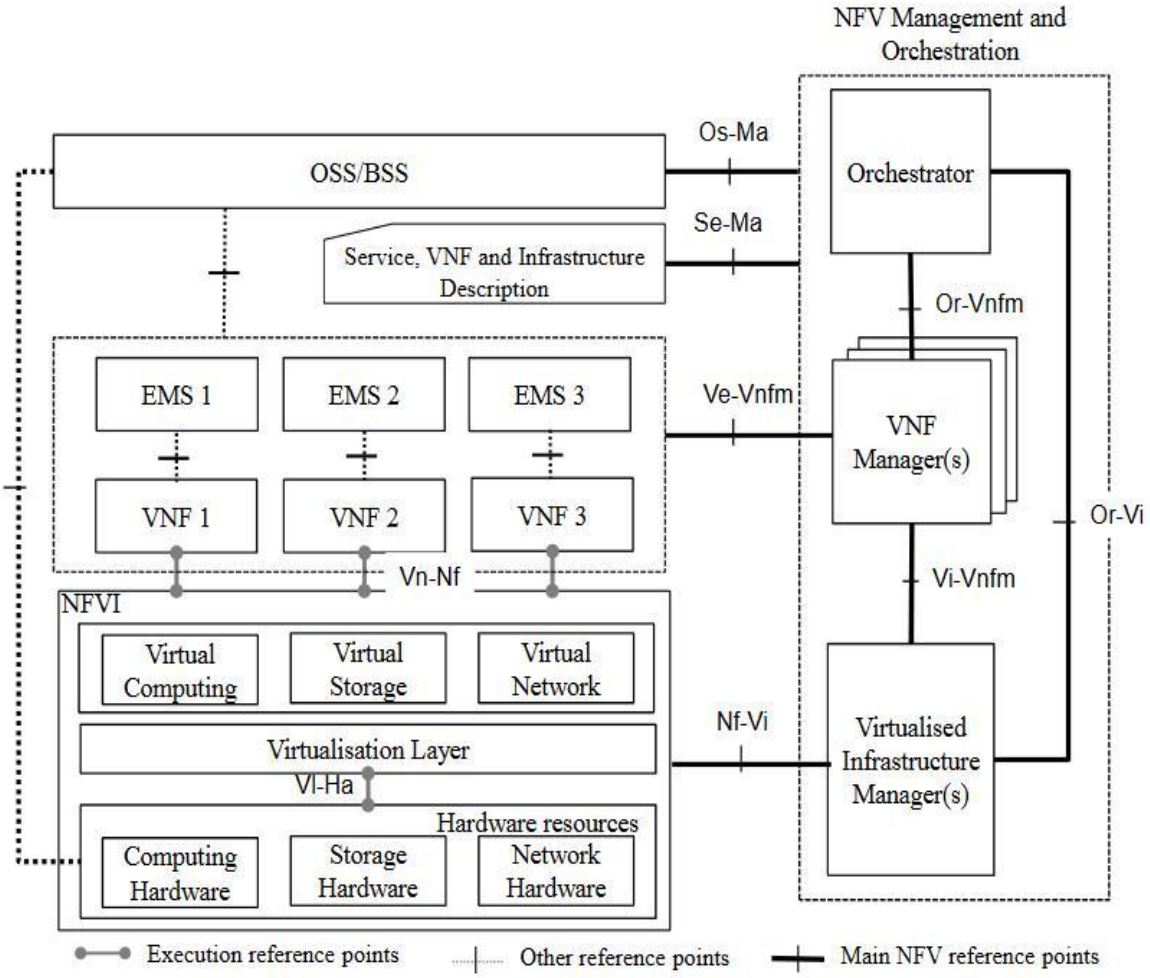


Рис. 4. Архітектура віртуалізації мережевих функцій.

Висновок. Проведений аналіз показав, що ефективність використання технологій віртуалізації в ІТМ дозволить отримати: ефективне використання обчислювальних ресурсів за рахунок об’єднання стандартних ресурсів інфраструктури в єдиний; скорочення витрат на інфраструктуру; зниження витрат на програмне забезпечення; підвищення доступності додатків і забезпечення безперервності роботи підприємства. Найбільш пріоритетним напрямком для виробників платформ віртуалізації є віртуалізація серверів.

Використання технології Network Function Virtualization дозволяє впровадити гнучку, стабільно працюючу і економічну архітектуру мережі, яку можна легко і швидко підлаштовувати зі збільшенням або зменшенням обсягів переданого трафіку.

Література

1. Ящук А.А. Грід-системи та технології хмарних обчислень / Ящук А.А., Саварин П.В. – Луцьк : Луцький НТУ, 2016. – 28 с.
2. Использование виртуальных серверов с Windows Server 2008 [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.osp.ru/winitpro/2008/04/5280124.
3. Возможности виртуальных приложений [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://smoff.ru/news/chto-takoe-virtualizaciya-prilozheniy.
4. Скулиш М.А. Романов О.І., Нестеренко М.М. Принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу хмарної системи для оператора мобільного зв’язку // Збірник наукових праць ВІТІ. – Київ, 2018. – Вип. №2 – С. 113 – 119.

УДК 621.391

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Уривський Л.О., Шмігель Б.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: leonid_uic@ukr.net, bshmigel@gmail.com

Analysis of properties of the wideband signals in the low energy conditions

In this paper considered a comparative analysis of the noise immunity of wideband and narrowband signals. The properties of broadband signals in low energy conditions are analyzed.

З літератури [1-3] відомо, що одним із запропонованих методів підвищення завадостійкості є застосування систем з широкосмуговими сигналами (ШСС).

В багатьох випадках зручно представити ШСС як сигнальну конструкцію, що складається із певної кількості n «елементів» $S_e(t)$, кожен з яких може розглядатися як простий сигнал тривалістю T з власним значенням амплітуди, фази або частоти.

Якщо джерело повідомлень формує символи тривалістю τ_S , відповідно, із швидкістю $V_S = 1/\tau_S$, то при заданій потужності сигналу в точці прийому P_C енергетичний фактор h^2 для вузькосмугового сигналу (ВСС) складає:

$$h^2 = \frac{E_S}{N_0} = \frac{P_C * \tau_S}{N_0}. \quad (1)$$

Відповідно, такий сигнал займає смугу частот $\Delta F_C \approx V_S$.

Якщо енергію ВСС поділити між n елементами ШСС з такою ж потужністю, то тривалість елемента складатиме: $T = \tau_S / n$, а смуга частот сигналу:

$$\Delta F \approx 1/T = n * (1/\tau_S) \approx n * \Delta F_C. \quad (2)$$

Добуток $\Delta F\ T = B$ має назву бази ШСС и чисельно співпадає з $n = B$. Результуюча енергія всіх n «елементів» $S_e(t)$ дорівнює енергії ВСС E_S.

Широкосмуговими сигналами (ШСС) називають такі сигнали, у яких добуток ширини спектра F на тривалість елементу сигнала T багато більше одиниці, тобто база сигналу B:

$$B = FT >> 1. \quad (3)$$

Для широкосмугових сигналів характерним база сигнала **значно більше одиниці** (частіше значення B досягає 1000 і більше).

Отже, широкосмугові сигнали можна розглядати як похідні від відповідних вузькосмугових сигналів з рівною еквівалентною енергією. Відношення сигнал-шум h^2 для вузькосмугового сигналу ділиться на B для кожного окремого символу ШСС $S_e(t)$: $h_e^2 = h^2/ B$. Саме це є фактором скритності ШСС.

Розглянемо показники завадостійкості системи ШСС з активною паузою і протилежними сигналами, як одну із найбільш завадостійких [1]. Будемо вважати, що генератор шуму передавального пристрою генерує нормальний шум з рівномірним спектром в полосі частот F, а на вхід приймального пристрою, крім корисного сигналу, поступає адитивна завада в виді нормального білого шуму в смузі частот корисного сигналу.

Тоді вираз для залежності ймовірності помилки інформаційного біта p_b від відношення потужності сигнал/шум (параметра h^2) у автокореляційній системі з активною паузою і протилежними сигналами має вигляд [1]:

$$P_b\,(h^2) = \frac{1}{2}\left[1 - \Phi\left(\frac{h^2}{\sqrt{\frac{5h^4}{2FT} + 4h^2 + 2FT}}\right)\right]. \qquad (4)$$

Для порівняння показників ШСС з показниками достовірності ВСС при побудови графіків для сигналу з фазовою маніпуляцією, скористаємося співвідношенням [4]:

$$P_{b\ PSK}(h^2) = \frac{1}{2}\left[1 - \Phi(\sqrt{2h^2})\right]. \qquad (5)$$

Відповідно до формул, побудуємо графіки залежності ймовірності бітової помилки p_b від енергетичного потенціалу в радіолінії h^2.

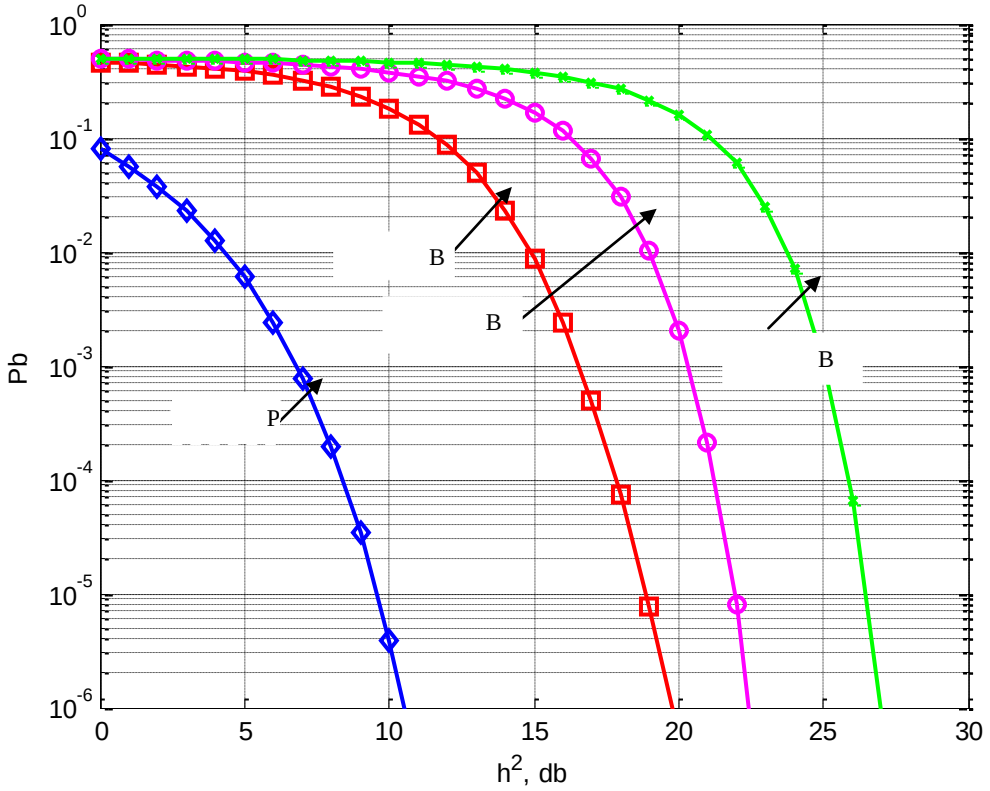


Рис 1. Порівняння завадостійкості широкосмугового сигналу з активною паузою і протилежними сигналами та вузькосмугового сигналу ФМ з еквівалентною потужністю.

Порівнюючи завадостійкість ШСС та ВСС, бачимо, що при однакових значеннях h^2 вузькосмугові сигнали мають кращу завадостійкість в

порівнянні з широкосмуговими. Наприклад, для забезпечення достовірності 10^{-6} для ФМ достатньо значення h^2=10.5 дБ.

Одночасно, із графіків (рис.1) видно, що при зростанні бази В, необхідно збільшувати h^2 для досягнення еквівалентної достовірності сигналу.

Для широкосмугового сигналу для забезпечення достовірності 10^{-6} при В=100 необхідно забезпечити h^2 = 19.8 дБ, при В=1000 – h^2 = 22.4 дБ, а при В=10000 – h^2= 27 дБ. Це пояснюється тим, що потужність завад в смузі частот F при використанні ШСС накопичується, в цієї смузі в В раз більше шумів в порівнянні зі смугою вузькосмугового сигналу. Поряд з цим, ця закономірність витікає також із виразу (4).

Отже, системи з розширенням спектру не дають виграшу в завадостійкості при однакових значеннях енергії сигналу. Оскільки смуга частот є обмеженою і витратною, то розширювати її недоцільно при звичайному функціонуванні телекомунікаційної системи. У випадку, коли частоти регламентовані і регулюються, то не може йти річ про взаємні перешкоди в заданій смузі частот.

Використання ШСС доцільне тільки у випадку неорганізованої чи вразливої телекомунікаційної системи (наприклад, при загрозі дії потужних вузькосмугових завад). Тому використання ШСС має сенс з точки зору або досягнення підвищеної скритності (за рахунок зниження в В раз відношення сигнал/завада), або протидії потужній вузькосмуговій заваді. Прикладом такого використання є військова сфера, щоб отримати зв'язок в умовах перешкод з боку противника, а також забезпечити скритність електромагнітних сигналів при невеликій кількості випромінювачів.

Висновки: широкосмуговість не забезпечує кращої достовірності в порівнянні з вузькосмуговими сигналами при однаковій потужності випрмінювання та способі обробки. При розширенні спектру сигналу накопичується в В раз більше шумів в порівнянні з вузькосмуговими сигналами. Системи з розширенням спектру не дають виграшу в завадостійкості, а являються інструментом забезпечення функціонування системи зв’язку в особливих умовах. Використання широкосмугових сигналів доцільне тільки для протидії вузькосмуговим завадам, які займають тільки частину смуги частот і для забезпечення скритності електромагнітних сигналів у спеціальних сферах використаня.

Література

1. Семенов А.М., Сикарев А.А. Широкополосная радиосвязь. - М.: Воениздат, 1970. - 280 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи. - Одесса: Наука и техника, 2009, 344 с.
4. Основи теорії телекомунікацій / Підручник / Під заг. ред. Ільченка М.Ю. — К.: ІССЗІ НТУУ «КПІ», 2010. — 786 с.

УДК 621.396

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ КАНАЛІВ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Мошинська А.В., Ольховик Д.М.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: dmytro.olhovik@gmail.com

Methodology of quality assessment of digital channels in multiservice communication systems

In the classical theory of telecommunications reliability index serves probability of error bits of information. In modern international standards and recommendations has its own hierarchy of quality indicators link is not related to the classical theory of immunity.

У класичній теорії телекомунікацій показником достовірності виступає ймовірність помилки інформаційного біта. У сучасних міжнародних стандартах і рекомендаціях існує своя ієрархія показників якості каналу зв'язку, заснована на вимірюваннях, яка не пов'язана з класичною теорією завадостійкості. Існує потреба в методології оцінки якості цифрових каналів в мультисервісних системах зв'язку.

Одним з параметрів оцінки цифрових каналів зв'язку є коефіцієнт бітових помилок (Bit Error Ratio, BER). Типова схема вимірювання BER припускає наявність генератора випробувальних бітових (символьних) послідовностей тестера BER, випробуваного об'єкта (регенератора, ділянки ЦСП) та детектора помилок тестера BER. Генератор тестера BER формує випробувальні сигнали, які подаються на вхід каналу, що перевіряється. Генератор сигналу є також джерелом сигналу для детектора помилок тестера BER. Головним недоліком показника BER є практична неможливість його

використання для оцінки якості цифровий лінії.

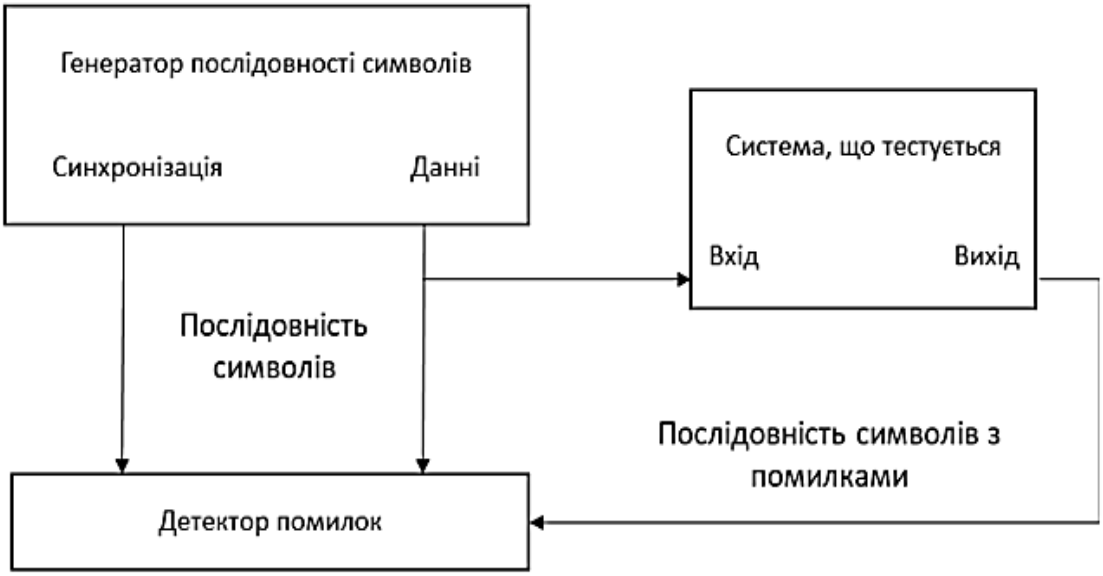


Рис. 1. Схема підключення установки для вимірювання коефіцієнта помилок.

Рекомендація G.826 «Параметри і норми помилок міжнародних цифрових з'єднань на швидкості вище первинної», схвалена ITU-T в 1993, забезпечила рішення трьох головних завдань по організації тестування помилок цифрових з'єднань:

• під час нормальної експлуатації;

• на швидкостях 1544 Кбіт / с, 2048 Кбіт / с і вище;

• в мережах з використанням технологій SDH і ATM.

Для оцінки якості сеансу зв'язку в цифровому каналі або тракті логічно використовувати відносне число помилок передачі за фіксовані інтервали часу – за секунду або за період передачі фіксованої групи бітів, яку називають блоком. Контроль блоків виконується за допомогою вбудованих в системи передачі спеціальних пристроїв, застосування яких гарантує виявлення помилки з надійністю не нижче 90%.

Таким чином, в стандарті G.826 використовується спосіб нормування, при якому норма містить два види складових: постійну і залежну від довжини ділянки тракту. Це відхилення від постійної частини оцінюваного тракту в розрахунку на 1 км було введено на основі практичного досвіду.

Тому норма помилок ділянки передачі визначається не тільки його протяжністю, а й складністю (наприклад, з урахуванням накопичення помилок мультиплексорів). З метою систематизації співвідношень між різними параметрами якості цифрового сигналу пропонується ієрархія параметрів якості цифрового сигналу, відображена на схемі рис. 2.

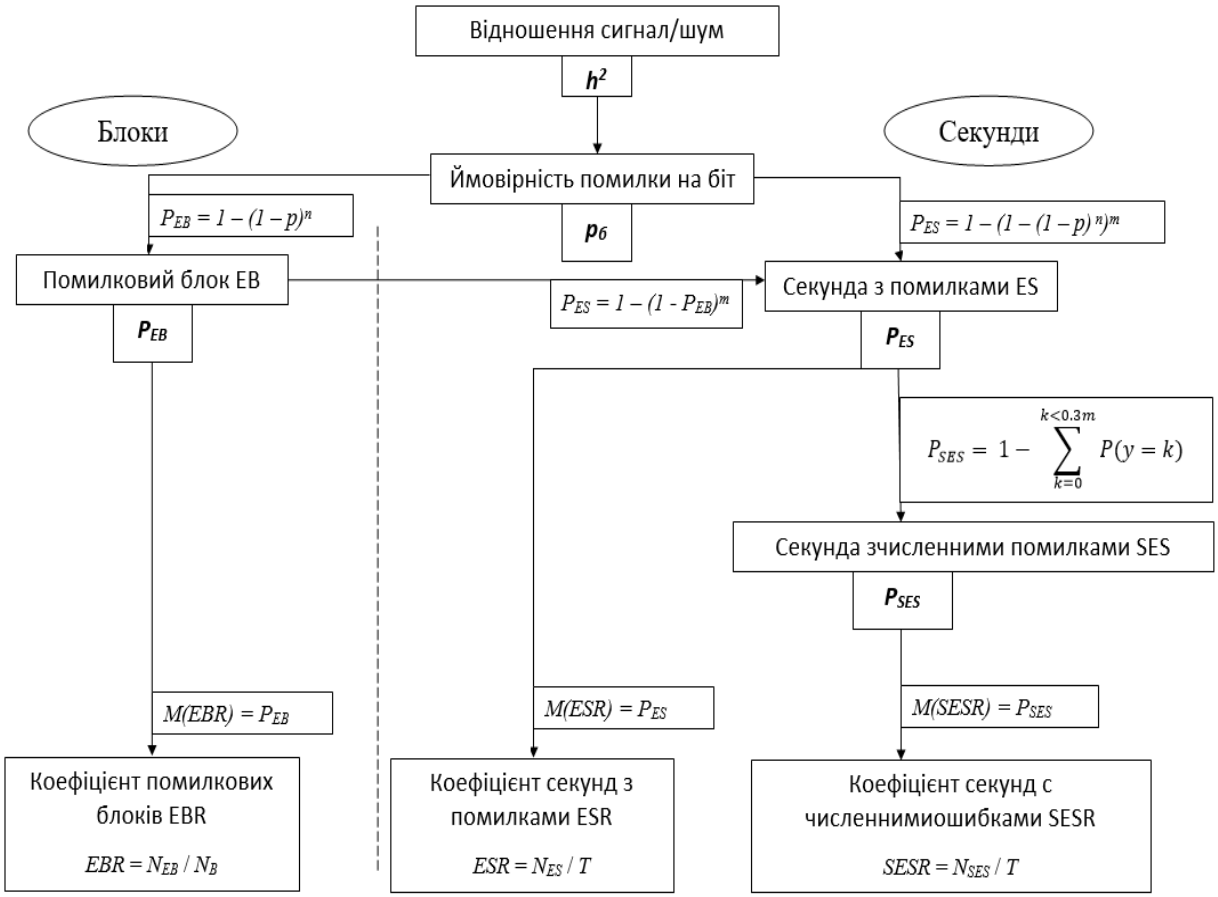


Рис. 2. Ієрархія параметрів якості цифрового сигналу.

Література

1. Основи теорії телекомунікацій: підручник / Л.О. Уривський, О.В. Корнейко, О.В. Кувшинов [та ін.]; за аг. Ред.. М.Ю. Ільченка. – К. Вид-во ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2010. – 786с. : іл..;
2. Конспект лекцій з дисципліни «Прикладна теорія інформації для телекомунікацій» для студ. спец. 8.092401 "Телекомунікаційні системи та мережі" / ІТС, НТУУ «КПІ»; вик. А.В. Мошинська. – Київ, 2015-2016;
3. Слепов, Н. Н. Оценка показателей ошибок цифровых линий связи // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2002. – № 5. – С. 22-31;

УДК 621.396.96

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО БЮДЖЕТУ РАДІОЛІНІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ

Наритник Т.М[1]., Сайко В.Г[2]., Корсун В.І[3].

[1]Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: director@mitris.com, vgsaiko@gmail.com, korsun@ucrf.gov.ua

[2]Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Україна

[3]Український державний центр радіочастот Київ, 03179, пр. Перемоги, 151

Calculation of the energy budget of radiolinia of the telecommunication system of the therapeutic range

The energy calculation of the radio communication line in the terahertz frequency range is carried out, which is based on the developed method and on the results obtained in the conducted researches and created domestic means of transfer of the terahertz range.

На даний момент, у зв’язку з перевантаженим ліцензійним спектром частот, у телекомунікаційних операторів виникає проблема у використанні широкосмугових сигналів для передачі даних, яка полягає у відсутності вільних ділянок радіочастотного ресурсу. Виходячи з цього, виникає потреба в практичному освоєнні більш високого спектру частот, що не є зайнятим, а саме неліцензійного терагерцового діапазону. Переходом в терагерцовий діапазон (ТГД) також вирішується питання збільшення швидкості передачі інформації за рахунок використання більш широких спектрів частот [1-7]. В свою чергу, у багатьох роботах, присвячених застосуванню IR-UWB сигналів в системах радіозв'язку, на основі теорії Шеннона стверджується можливість передачі інформації з дуже високими швидкостями. Але при цьому необхідно розробити новітні методи формування та обробки модульованих IR-UWB сигналів з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки, щоб забезпечить високу швидкість передачі даних терагерцовим каналом при оптимальних значеннях енергетичного ресурсу лінії радіозв’язку.

Однак на поточний момент в світовій практиці не існує універсального методу, що забезпечуватиме надійне прогнозування якісних показників безпроводової телекомунікаційної системи (БТС) типу «точка-точка». Це призводить до великого розкиду результатів розрахунку енергетичного потенціалу таких радіоліній за методами різних фірм, що використовують різні підходи в оцінці впливу факторів розповсюдження радіохвиль на стійкість роботи БТС. Велика кількість матеріалів, стосовно методики розрахунку роботи БТС ТГД розглядається в різних рекомендаціях МСЕ [6], але до єдиного виду вони так і не зведені.

Проведений в [7] аналіз показав, що в діапазоні частот 30-300 ГГц з відомих типів замирань найбільш вагомі, які слід враховувати при проектуванні БТС ТГД, є завмирання внаслідок послаблення сигналу гідрометеорами та поглинання радіосигналу в газах. Відмітимо також, що

через застосування в таких телекомунікаційних системах антен з високим коефіцієнтом підсилення, інтерференційними завмираннями на вході приймальної антени, що обумовлені ефектом багатопроменевого поширення радіохвиль, можна знехтувати [1]. Крім того, аналіз показав, що перехід на використання у БТС терагерцового діапазону дозволяє значно зменшити радіус першої зони Френеля, що в свою чергу дозволяє зменшити висоту антено-щоглових споруд, на яких розташовані кореспондуючі станції.

У зв'язку з тим, що параметри трас ТГД мають велику різноманітність, а середовище поширення радіохвиль випадкові параметри, основою розрахунку енергетичного потенціалу таких радіоліній є статистичні характеристики, отримані емпіричним шляхом. Таким чином, розрахункові значення енергетичних характеристик ліній ТГД є наближеною оцінкою очікуваних характеристик зв'язку. Тому в роботі розрахунок енергетичного бюджету радіолінії ТГД виконано для трьох можливих варіантів в залежності від виду умов: ідеальні умови (враховуються лише затухання вільного простору); умови наближені до реальних (враховуються затухання в атмосфері та затухання у вільному просторі); несприятливі умови (до реальних умов додається затухання в дощі).

Розрахунок проведено для різних центральних частот двох діапазонів від 110 до 170 ГГц та від 220 до 310 ГГц, коли смуга частот сигналу ТГД дорівнює Δf = 30 ГГц. При розрахунку дальності зв’язку незмінним залишається відношення енергії біту до спектральної щільності шуму E_b/N_0 (або пов’язаний з ним параметр відношення потужності сигналу до потужності шуму) у приймальній антенні, при якому на виході демодулятора приймача забезпечуватиметься необхідна ймовірність виникнення помилки (BER) при обраному типі модуляції та виді прийому.

Бітові помилки є основним джерелом погіршення якості зв'язку, яке проявляється в спотворенні мови в телефонних каналах, недостовірності передачі інформації або зниженні пропускної здатності передачі даних. Прийнято відповідно [2], що BER = 10^{-6}.

При передаванні IR-UWB сигналів, можуть бути використані наступні види модуляції OOK, BPSK, PPM, PAM. Наведено результати визначення відношення SNR для різних видів модуляції.

При побудові моделі розрахунку енергетичного бюджету радіолінії ТГД було використано та враховано наступні припущення.

– Формулу Г. Фрііса, яка визначає потужність, одержувану однією антеною за ідеальних умов від іншої антени, що знаходиться на певній відстані, при відомій потужності, ідеальних умовах. При цьому антени лінії зв’язку співнаправлені одна до одної та узгоджені по поляризації.

– Для розрахунку проходження радіосигналу під час дощу; також враховано – відповідно Рекомендації ITU-R P.838 – послаблення у дощах різної інтенсивності.

– Згідно з рекомендацією ITU-R P.676 при побудові наземних безпроводових ліній зв’язку, що працюють на частотах до 1000 ГГц, враховано втрати потужності у атмосферних газах – водяних парах (H_2O) та

сухому повітрі.

Розроблена модель розрахунку енергетичного бюджету радіолінії БТС ТГД дозволила визначити максимальну протяжність інтервалу між кореспондуючими станціями при різних видах модуляції сигналу, при яких забезпечується необхідна ймовірність бітової помилки (приклад див. рис.1).

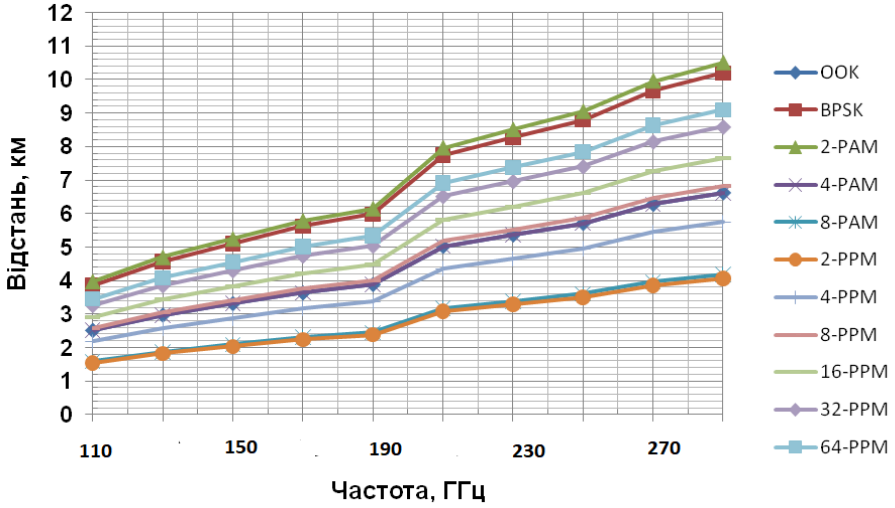


Рис. 1 – Графіки залежності дальності прольоту безпроводової телекомунікаційної системи від частоти та різних типах модуляції при потужності передавача 50 мкВт для ідеального випадку поширення ЕМХ [4].

Висновок. Проведено розрахунок енергетичного бюджету радіолінії терагерцового діапазону для різних видів модуляції імпульсного надширокосмугового сигналу, який дозволив оцінити протяжність інтервалу між кореспондуючими станціями при різних станах середовища поширення радіохвиль.

Література

1. Нарытник Т.Н, Волков В.В., Уткин Ю.В. Радиорелейные и тропосферные системы передачи. – Учебное пособие. – Издательство «Основа». – К:. 2009. – 696 с.
2. Рек. МСЭ-Т М.2100 Нормы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и соединений PDH многих операторов [Электронный документ] – режим доступу до ресурсу: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-M.2100-200304-I!!PDF-R&type=items.
3. Экологически безопасная линия связи с мощностью СШП излучения 70 нановатт для беспроводных локальных сетей / Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Калинин В.И., Черепенин В.А. Материалы 21-ой Международной Крымской конференции КрыМиКо'2о11. -С.355-35.
4. Transceiver for 130-134 GHZ band and digital radiorelay system. / M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, S.Ye. Kuzmin, A.I. Fisun, O.I. Belous, V.N. Radzikhovsky/ Telecommunications and Radio Engineering, Volume 72, Number 17, 2013.-P.1623-1638.
5. Clifford algebra in multipleaccess noise-signal communication systems. / M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, R.M. Didkovsky. / Telecommunications and Radio Engineering, Volume 72, Number 18, 2013.-P.1651-1663.
6. ECC Report 282. Point-to-Point radio Link in the frequency ranges 92-114.2 GHz and 130-174.8 GHz. Approved 14 September 2018. 51 pages.
7. Авдєєнко Г.Л. Дослідження поширення терагерцових хвиль в атмосфері для проектування телекомунікаційних систем терагерцового діапазону/ Авдєєнко Г.Л., Бунін С.Г., Наритник Т.М. // Цифрові технології – 2017. - № 21. – с. 17-24.

УДК 621.395

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ВІДОМЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ FTTx ТЕХНОЛОГІЙ

[1]Вакуленко О.В., [2]Фомін М.М.
[1]*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*
[2]*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут*
E-mail: av31@bigmir.net

METHODOLOGY OF DESIGNING ACCESS NETWORKS FOR DEPARTMENTAL APPOINTMENT BASED ON FTTx TECHNOLOGIES

This technique provides the opportunity to use a pragmatic approach to designing access networks for the departmental appointment based on FTTx technologies.

В наш час проектування – це невід'ємна складова частина процесу побудови ІТ-інфраструктури відомчого призначення. Від закладених, під час проектування, рішень залежить майбутній стан та перспектива застосування відомчих мереж в умовах впровадження нових послуг, які необхідні на даний час та які з’являться у майбутньому.

Мета розробки методики проектування відомчої телекомунікаційної мережі доступу на основі технології FTTx полягає в забезпеченні ефективності прийняття управлінських рішень відомствами при розгортанні та подальшої експлуатації сучасних мереж доступу.

Постановка задачі:

Задано:

- призначення та основні варіанти застосування волоконно-оптичних мереж доступу;
- вимоги до характеристик мережі та критерії її окремих складових;
- перелік існуючого мережевого обладнання;
- програмне забезпечення (склад і характеристики).

Необхідно:

- розробити алгоритм проектування сучасної відомчої телекомунікаційної мережі доступу на основі технології FTTx.

Обмеження:

- характеристики мережі доступу розраховуються на основі існуючого телекомунікаційного обладнання відомих фірм виробників та згідно вимог керівних документів;
- час на розробку проекту та розрахунки техніко-економічних показників визначає замовник.

Основні етапи реалізації методики (див. рис. 1):

1. Вихідні дані.

2. Огляд місцевості та приміщень.

3. Вибір розміру і структури мережі.

4. Вибір технології FTTx.

5. Рішення на базі пасивних оптичних мереж (PON).

6. Рішення на базі активної оптичної мережі (AON Ethernet)/

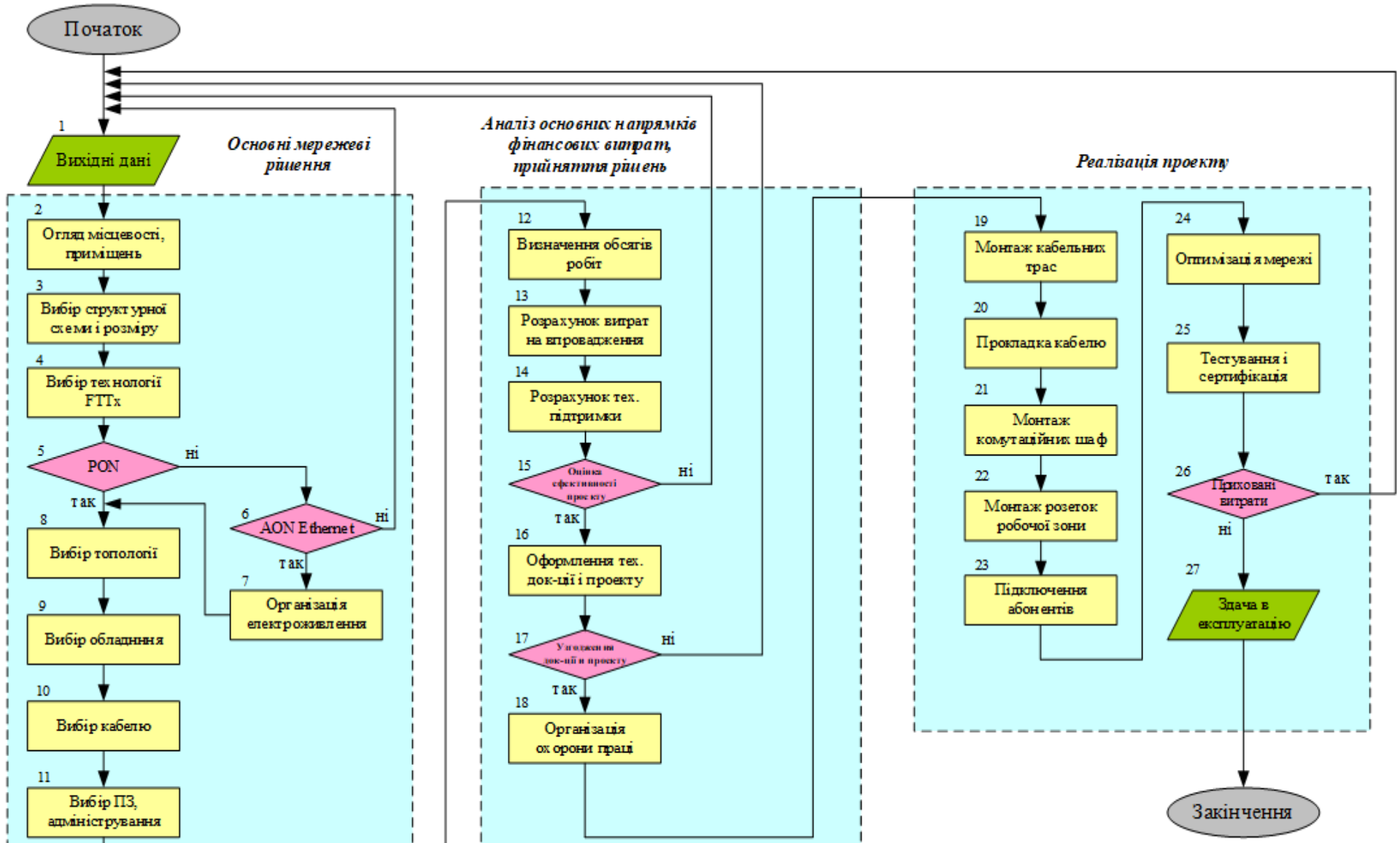


Рис. 1. Алгоритм проектування мереж доступу відомчого призначення на основі FTTx технологій

7. Організація електроживлення.
8. Вибір топології.
9. Вибір обладнання.
10. Вибір кабелю.
11. Вибір програмного забезпечення, адміністрування.
12. Визначення обсягів робіт.
13. Розрахунок витрат на впровадження.
14. Розрахунок технічної підтримки.
15. Оцінка ефективності проекту.
16. Оформлення технічної документації і проекту.
17. Узгодження документації и проекту.
18. Організація охорони праці.
19. Монтаж кабельних трас.
20. Прокладка кабелю.
21. Монтаж комутаційних шаф.
22. Монтаж розеток робочої зони.
23. Підключення абонентів.
24. Оптимізація мережі.
25. Тестування і сертифікація.
26. Приховані витрати.
27. Здача в експлуатацію.

Таким чином в пропонованій методиці враховані основні та необхідні етапи побудови сучасної мережі доступу відомчого призначення на основі волоконно-оптичних технологій та технічних вимог до створення технологічної інфраструктури телекомунікаційних мереж доступу.

Дана методика надає можливість використовувати прагматичний підхід щодо проектування мереж доступу відомчого призначення на основі FTTx технологій з урахуванням вимог до відомчих мереж.

Література

1. IEEE 802.3ah Ethernet First Mile Task Force, http://www.ieee802.org/3/efm/.
2. IEEE 802.3ah OAM Helps Bridge Ethernet Management Gap.
3. МСЭ-Т G.983.1 Оптические системы широкополосного доступа, базирующиеся на пассивной оптической сети (PON).
4. Алексеев Е.Б. Оптические сети доступа: учеб. пособ. – М: ИПК при МТУ СИ, 2005 г. – 140 с.
5. Балашов В.О. та ін. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу: навч. посібник − Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. − 240 с.
6. «Пассивные оптические сети PON Часть 2. Ethernet на первой миле»/WDM и оптические сети связи, И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев, к.ф.-м.н., 2014.
7. Технічні вимоги до створення технологічної інфраструктури телекомунікаційних мереж доступу. ДССЗЗІ України. 2013.

УДК 391.39

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМ SHDSL EFM У РЕЖИМІ АГРЕГАЦІЇ ПАР КАБЕЛЮ

Носков В.І.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: nvi2010@ukr.net

SHDSL EFM systems bandwidth investigation in cable pairs aggregation mode

In modern access networks based on copper cable, EFM is widely used. This technology, using the PAF function, allows you to unevenly distribute data flow between pairs of cables depending on their quality. However, the function of PAF due to the additional fields in data frame leads to decrease the throughput of the transmission system. In addition, there are transitional interference between pairs, which also reduces the throughput of the connection. This report is devoted to researching of impact these two factors on EFM transmission system throughput.

У сучасних мережах доступу, побудованих на основі мідного кабелю, активно використовується технологія EFM (Ethernet in First Mile – Ethernet на першій милі), яка описана в стандарті IEEE 802.3 та носить назву 2Base-TL. Цей стандарт представляє собою модифіковану широко відому технологію G.SHDSL (MCE-T G.991.2). Для роботи у багатопарному режимі G.SHDSL з EFM, замість рівномірного розподілу цифрового потоку по парам кабелю, використовує алгоритм PAF (PME Aggregation Function – функція агрегації трансиверів SHDSL). При використанні протоколу PAF є декілька факторів, що впливають на перепускну здатність системи G.SHDSL з EFM. По перше, це сам протокол PME, який у своєму форматі даних має службові поля. По-друге, при багатопарному режимі спостерігаються взаємні завади між парами, які можуть суттєво знизити перепускну здатність системи G.SHDSL з EFM. Тому дослідження одночасного впливу цих двох факторів на перепускну здатність є актуальною задачею, рішення якою дозволить підвищити точність проектування мереж доступу на основі мідного кабелю та прискорить діагностику ліній.

Для кількісної оцінки зниження перепускної здатності під впливом протоколу PAF та перехідних завад використовується коефіцієнт $K_{\sum} = K_{PAF} * K_{ПЗ}$.

Спочатку розглянемо вплив власне протоколу PAF на перепускну здатність системи G.SHDSL з EFM.

Протокол PAF передбачає сегментацію кадрів Ethernet, за виключенням преамбули та IPG (Inter Packet Gap), на фрагменти довжиною від 64 до 512 байтів у залежності від розміру фрейму Ethernet. До цих фрагментів додаються службові поля загальним розміром 6 байт. За рахунок додавання службових полів при використанні PAF перепускна здатність G.SHDSL-лінії буде знижуватись по відношенню до однопарного режиму відповідно до коефіцієнту $K_{PAF} = 0{,}91\ldots0{,}98$.

Оцінка впливу перехідних завад через коефіцієнт $\mathbf{K_{ПЗ}}$ проводилась

наступним чином.

Коефіцієнт зниження перепускної здатності системи G.SHDSL внаслідок перехідних завад можливо визначити як:

$$К_{ПЗ} = h^2_{ПЗ}/h^2_0, \text{ або } К_{ПЗ,\,дБ} = h^2_{ПЗ} - h^2_0$$

де: $h^2_{ПЗ}$ – відношення енергії сигналу в точці прийому, що переносить 1 біт даних, до спектральної щільності теплового шуму та перехідних завад; h^2_0 - відношення енергії сигналу в точці прийому, що переносить 1 біт даних, до спектральної щільності тільки теплового шуму.

Таким чином, перепускна здатність однієї пари лінії SHDSL EFM буде визначатися:

$$C = C_{m=1}*K_{\sum},$$

де: $C_{m=1}$ – перепускна спроможність однієї пари у відсутності перехідних завад. Співвідношення h^2_0 можна записати наступним чином:

$$h^2_0 = Pc/(R*N_0), \text{ або } h^2_{0,\,дБ} = Pc – R - N_0,$$

де: Pc – потужність сигналу у точці прийому; R – швидкість передачі даних; N_0 – спектральна щільність теплових шумів у точці прийому.

Спектральна щільність теплових шумів відповідно до прийнятої моделі теплових шумів у системі G.SHDSL не залежить від частоти та дорівнює N_0 = -120 дБм/Гц, або 10^{-12} мВт/Гц.

Потужність сигналу у точці прийому визначається як:

$$Pc = \int_{F1}^{F2} (PSDtx(f)/L(f))df\ ,$$

де: *PSDtx(f)* – спектральна щільність сигналу на виході передавача; *L(f)* – згасання сигналу у кабельній лінії; F1 = 5 кГц – мінімальна частота спектру лінійного сигналу TC-PAM16/32/64/128; F2 = $f_{sym}/2$ – максимальна частота спектру лінійного сигналу TC-PAM; f_{sym}=(R+8000)/K – символьна швидкість модуляції; K – кількість інформаційних символів у модуляційному блоці. Спектральна щільність сигналу на виході передавача визначається як [3,4]:

$$PSDtx\ (f),\ дБм/Гц\ = \frac{PSHDSL}{135} \text{ x } \frac{1}{fsym} \text{ x } \left(\frac{\sin(\frac{\pi f}{fsym})}{\frac{\pi f}{fsym}}\right)^2 \text{ x } \frac{1}{1+\left(\frac{f}{F2}\right)^{2\ \text{x}\ order}} \text{ x } \frac{f2}{f^2{}_{+\,F1^2}},$$

де: *PSHDSL* = 7,86 (R<2048 кбіт/с) та 9,90 (R≥2048 кбіт/с) – масштабний коефіцієнт; *order* = 6 – порядок згладжувального фільтру на виході передавача.

Згасання сигналу у кабельній лінії визначається наступним чином [5]:

$$L\ (f), дБ = D\text{x}8{,}69\text{x}\ \sqrt{\frac{1}{2}\left(rg - lc(2\pi f)^2 + \sqrt{(r^2 + l^2(2\pi f)^2)(g^2 + c^2(2\pi f)^2)}\right)}$$

де: *r,g,c,l* – погонні опір, провідність ізоляції, ємність та індуктивність пари кабелю, відповідно; D, км – довжина лінії.

Співвідношення $h^2_{ПЗ}$, що враховує перехідні завади виглядає наступним чином:

$$h^2_{пз} = Pc/R(N_0 + N_{пз}),$$

де: $N_{пз}$ – середня спектральна щільність перехідних завад як на ближньому кінці, так і на дальньому кінці кабелю.

З урахування, що перехідні завади на дальньому кінці кабелю на порядок менші ніж на ближньому кінці, то є сенс враховувати тільки останні.

У цьому випадку можна записати:

$$Nпз = \frac{1}{F2-F1}\int_{F1}^{F2}\frac{\sum_{i=1}^{m-1} PSDtxi(f)}{NEXTi(f)},$$

де: *NEXTi (f), дБ =NEXT$_i$(f=1000 кГц) – 15lg (f/1000)*– перехідне ослаблення сигналу між парами; m – кількість пар, що використовуються.

За наведеними формулами та з урахуванням втрат, що створює сам алгоритм PAF, виконані розрахунки перепускної спроможності однієї пари лінії SHDSL EFM, побудованій на кабелі ТПП 50x2x0,5, у залежності від довжини лінії. Вихідні дані: лінійний сигнал TC-PAM128, NEXT=60 дБ на частоті 1000 кГц, запас завадостійкості 4 дБ. Результати наведені на рис. 1.

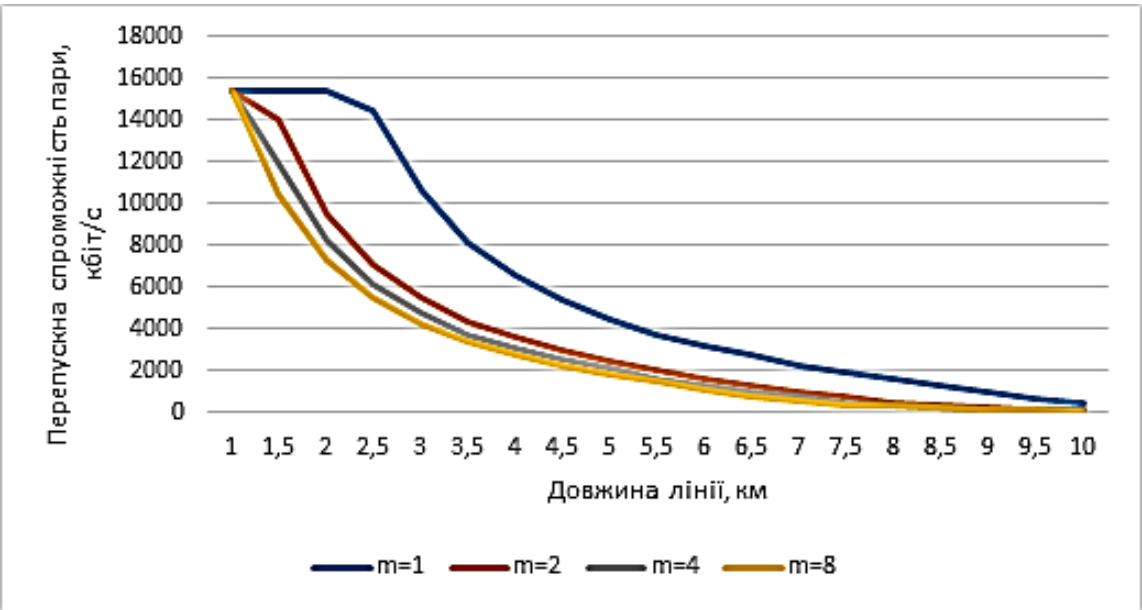


Рис. 1. Перепускна спроможність однієї пари SHDSL EFM.

Висновки:

1. Протокол PAF знижує перепускну здатність лінії на 2…9% у залежності від розміру Ethernet-фреймів.

2. Перехідні завади знижують перепускну здатність лінії на 30…50% навіть при використанню кабелю з паспортними характеристиками.

3. Для зниження втрат перепускної здатності лінії необхідно підтримувати параметри кабелю у нормі та підбирати для роботи пари з мінімальним взаємним впливом.

Література

1. Стандарт IEEE 802.3, part 3, section 5, clause 61, 2010.
2. Watson SHDSL EFM Plug-in. Operating manual.: Schmid Telecom, 2014.
3. ITU-T Recommendation G.991.2, 2003.
4. В.А. Балашов и др.. Технологии широкополосного доступа xDSL – М.: Эко-Трэндз,2009. 256с.: ил.
5. Cable reference models for simulating metallic access networks. ETSI STC TM6.

УДК 621.391.63/621.316.5

МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

Романишин В.С., Бердников О.М.
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: romanyshynvasyl@ukr.net

Considered efficient modulation format optical signals in high-speed coherent

The intensive development of new types of modulation of optical signals creates the preconditions for increasing the efficiency of modulation formats in fiber-optic transmission systems, increasing the noise immunity of optical channels, and increasing the throughput of fiber-optic linear paths, which ultimately leads to lower cost of telecommunication services. The urgency of the research is the need to upgrade existing technologies that allow the maximum use of the bandwidth of existing fiber optic communication lines (FOCL) and require lower payback periods compared with the construction of new fiber optics with higher data rates.

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

Реалізація цих процесів вимагає різкого збільшення пропускної спроможності телекомунікаційних транспортних мереж (ТТМ) та мереж доступу, підвищення їхньої гнучкості, забезпечення ефективної маршрутизації при передачі текстової та мовної інформації, рухомих і нерухомих зображень, інших мультимедійних послуг.

Волоконно-оптичні лінії зв’язку (ВОЛЗ) є основою ТТМ, що в першу чергу, пов’язано з високою пропускною здатністю таких ліній. Послідовне впровадження за останні декілька десятилетій на ТТМ волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП) розширило швидкість передачі мережі от десятків – сотень мегабіт за секунду (ВОСП *PDH*) до десятків гігабіт за секунду (ВОСП *SDH*), а з застосування технології хвильового мультиплексування (ХМ), або *WDM* (*Wavelength Division Multiplexing*) до сотень – тисяч гігабіт за секунду [1, 2, 3].

Існуючі одномодові оптичні волокна (ООВ) мають робочий діапазон довжин хвиль від 1280 до 1625 нм, що відповідає діапазону частот від 234,375 ТГц до 184,615 ТГц, тобто робоча смуга частот дорівнює 234,375...184,615 = 49,76 ТГц або біля 50000 ГГц. І ця гігантська смуга частот при роботі ВОСП по ООВ, використовується недостатньо ефективно, що стримує різке збільшення пропускної спроможності таких мереж [3, 4].

Метод модуляції сигналів за інтенсивністю (бінарна амплітудна маніпуляція), що використовують у ВОСП, не дозволяють використати весь потенціал ВОЛЗ, тому в останні декілька років запропоновано обладнання та пристрої телекомунікаційних транспортних систем (ТТС), що побудовані з

використанням більш ефективних методів модуляції. Особливої уваги заслуговують методи когерентного передавання оптичних сигналів, що базуються на використанні фазової маніпуляції. У когерентних ВОСП такі сигнали передаються за допомогою фазової маніпуляції лінійно поляризованої оптичної хвилі.

При побудові ВОЛЗ для таких ТТС застосовують волокна зі збереженням поляризації оптичної хвилі. У зв’язку з активним впровадженням методів когерентного передавання актуальним є дослідження, покликані підвищити швидкість передавання оптичних сигналів при допустимому рівні ймовірності помилки, а також забезпечити збільшення довжини підсилювальної ділянки (ПД) волоконно-оптичного лінійного тракту (ВОЛТ).

Основною перевагою на користь переходу від ВОСП з МИ до систем з когерентним прийомом оптичних сигналів є можливість використання різних видів багаторівневої модуляції: амплітудної (АМ), фазової (ФМ), частотної (ЧМ) і поляризаційної, а також їх комбінацій, наприклад, квадратурної амплітудної модуляції (КАМ) [5, 6].

Когерентний фотоприймач (ФП) є оптичним аналогом супергетеродинного радіоприймача. Всі когерентні ВОСП використовують висококогерентні, квазімонохроматичні джерела випромінювання, одномодові оптичні волокна (ООВ) гетеродинні або гомодині приймачі. Використання когерентного прийому дозволяє значно підвищити чутливість фотоприймального пристрою.

У зв'язку з появою оптичних волокон, які зберігають стан поляризації (*Polarization Maintaining Fibers*), подальший розвиток отримала відносна фазова модуляція (*QPSK – Quadrature Phase-Shift Keying*), що призвело до появи квадратурної фазової модуляції з подвійною поляризацією (*DP-QPSK – Dual-Polarization QPSK*) сутність якої пояснює рис. 1.

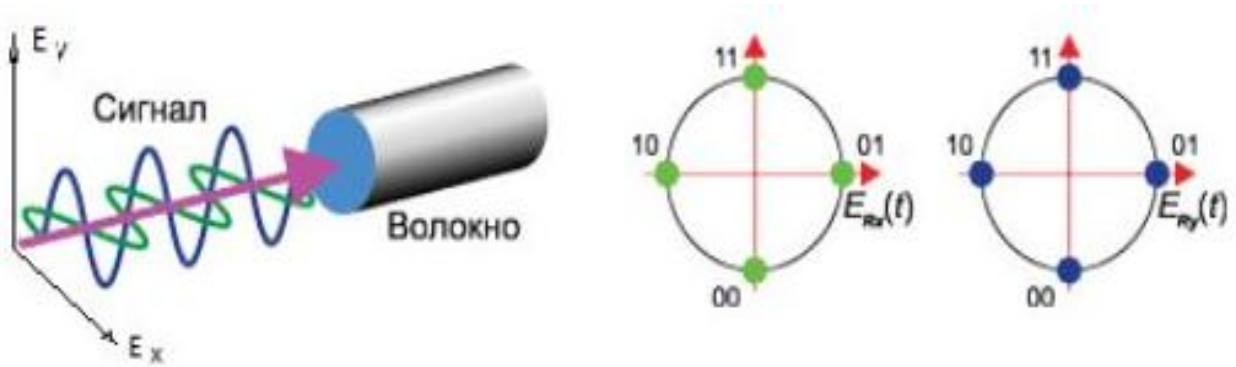


Рис. 1. Структура оптичного сигналу при використанні *DP-QPSK*.

При *DP-QPSK* використовуються два види поляризації і чотири значення фази сигналу, при якій фаза високочастотного коливання може приймати 4 різних значення з кроком кратним $\pi / 2$, що пояснює рис. 1. З нього видно, що відповідність між значеннями символів і фазою сигналу встановлено таким чином, що в сусідніх точках сигнального сузір'я значення відповідних символів відрізняються лише в одному біті. При передачі в умовах шуму найбільш вірогідною помилкою буде визначення фази сусідньої точки сузір'я. При зазначеному кодуванні, незважаючи на те, що сталася помилка в визначенні значення символу, це буде відповідати помилці в одному (а не двох) біті

інформації. Таким чином, досягається зниження ймовірності помилки на біт. Зазначений спосіб кодування називається кодом Грея.

Ключовим елементом рішень на базі *DP-QPSK* є когерентні приймачі, які мають більш високу чутливість. Такі приймачі (рис. 2) налаштовуються на певну частоту і фазу і здатні ефективно демодулировать сигнали *DP-QPSK*.

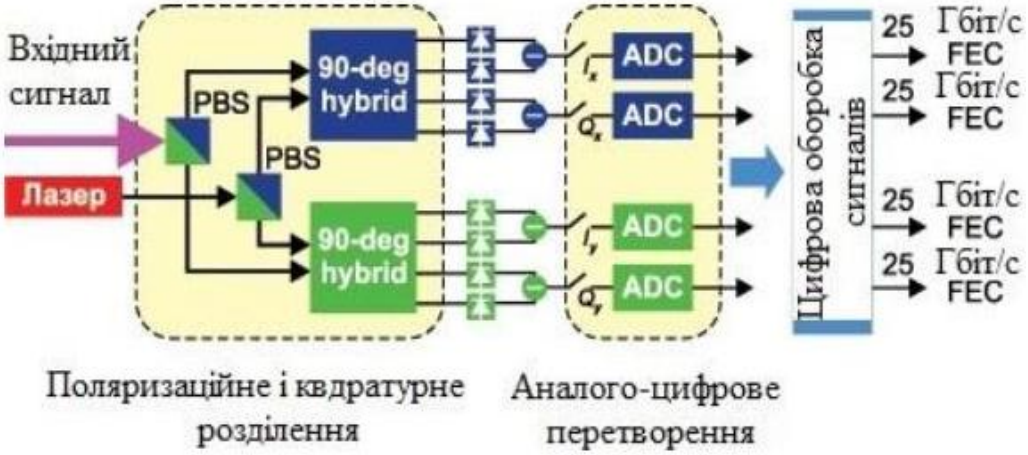


Рис. 2. Узагальнена структурна схема когерентного приймача *DP-QPSK*.

В волоконно-оптичних системах передачі всі фазові формати модуляції використовують диференціальні фазові методи, так як в оптичному діапазоні з практичної точки зору не доцільно виділяти абсолютне значення фази несівної хвилі оптичного сигналу. Тому інформація закладається у відносних змінах фази несівних двох послідовних імпульсів. Ефективність використання оптичних трактів та завадостійкість ВОСП в значній мірі залежить від виду форматів оптичної модуляції [2, 5, 6].

Когерентне детектування оптичного *DP-QPSK* сигналу створили високонадійну технологічну та ефективну платформу для побудови ТТС *DWDM* з трактовою швидкістю 100 Гбіт/с, де протяжність ВОЛТ становить 3000 км з продуктивністю в *C*–діапазоні (роздільний спектр) 8 Тбіт/с, а продуктивність в *C*–діапазоні (гнучка схема частот) – 10 Тбіт/с. Застосування *DP-QPSK* формату модуляції дозволяє збільшити в 4 рази спектральну ефективність, але при цьому зменшується протяжність ВОЛТ за рахунок певного укорочення довжини підсилювальних дільниць.

Література

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2003. – 440 с.
2. Каток В.Б., Руденко І.Е., Ранський Є.Г., Однорог П.М. Волоконно – оптичний зв'язок / Під ред. Катка В.Б. – Київ: Логос, 2015. – 380 с.
3. Хмелев К.Ф. Основы фотонного транспорта. – Киев: Техніка. 2008. – 680 с.
4. Бердников О.М., Хмельов К.П. Застосування технології *WDM* на телекомунікаційних мережах / Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 3. – С. 5…11.
5. Фокин В.Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи: учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск: СГУ ТИ, 2016. – 162 с.
6. Бортник Г.Г. Цифровий метод спектрального оцінювання випадкових сигналів. Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 108…114.

УДК 621.382

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ КІЛЬКОСТІ БАГАТОТОЧКОВИХ РЕТРАНСЛЯТОРІВ ПРОТОКОЛУ OLSR

Максимов В.В.
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: maksimov46@ukr.net

Experimental study of the upper limit of the nodes-repeaters amount in the OLSR protocol

In this article the probability of the location of nodes with two jumps on the boundary of a circle of radius 2R is determined. Proved that, regardless of the network density, each two-hop node that is on the border of a 2R circle requires its own MPR node.

В даній роботі дослідження проводилось над протоколом Link State Routing Protocol (OLSR), що був розроблений для мереж ad hoc спеціально як проактивний протокол, заснований на понятті багатоточкової ретрансляції MPR (MultiPoint Relay) [1]. Воно означає, що кожен вузол мережі m вибирає декілька вузлів з числа своїх сусідів (вузлів, з якими у нього встановлено з'єднання). У підсумку в мережі формується набір вузлів MPR(m) таким чином, що всі вузли, що знаходяться в сфері з радіусом 2 кроки від вузла m (сусіди сусідів), мають симетричні канали з MPR(m). Для кожного MPR формується список сусідніх вузлів, що вибрали його в якості MPR, – список MPR Selectors (MPRS). У мережу у TC-пакетах передається тільки інформація про стан з'єднань між MPR і його MPRSs, що дозволяє істотно знизити число передач службових пакетів в порівнянні з лавинною розсилкою. З сказаного випливає, що кількість службової інформації, яка передається разом з корисним трафіком, в протоколі OLSR на пряму залежить від кількості MPR вузлів.

В [2, 3] наведена теорема, що дозволяє визначити верхню межу D_N кількості MPR вузлів для мережі. Враховуючи, що щільність мережі $D = \frac{N}{L^2}$, N – кількість вузлів в мережі на площі, обмеженій сторонами квадрату $L = 4R$, $R = 1$ – максимальний радіус дії одного вузла, дану теорему можна записати наступним чином:

<u>Теорема 1а</u>. Якщо L фіксовано та N росте, то верхня межа кількості MPR вузлів

$$D_N \text{ при } \theta \le \frac{2\pi}{3} \text{ менше, ніж } D_N < \frac{3\pi}{2}\left(\frac{N}{6}\right)^{\frac{1}{3}}, \tag{1}$$

$$\text{а при } \theta > \frac{2\pi}{3} \text{ менше, ніж } D_N < 3\pi\frac{N}{16} + 3\pi\left(\frac{N}{48}\right)^{\frac{1}{3}}\left(1 - \pi\frac{N}{16}\right)^{\frac{2}{3}}, \tag{2}$$

де θ – кут між сусідніми MPR вузлами.

Результати моделювання. Для перевірки працездатності теореми в Network Simulator 2 (NS-2) розглядались три типи мереж з різною кількістю вузлів: «сітка», «стрічка» і «довільна». Вузли розміщувались в межах площі, обмеженої ребрами квадрата з L=80 м. Для кожного варіанту мережі було знайдено верхню межу кількості MPR вузлів за формулами (1), (2) і згідно NS-2. Результати моделювання підтверджують працездатність теореми: у всіх розглянутих випадках реальна кількість MPR вузлів завжди менша максимальної кількості MPR вузлів, що визначається згідно теореми про верхню межу. За результатами моделювання теорему можна записати в наступному вигляді:

Теорема 1б. Якщо L фіксовано та N росте, то верхня межа кількості MPR вузлів

D_N при $\theta \leq \frac{2\pi}{3}$ менше ніж $\frac{3\pi}{2}\left(\frac{N}{6}\right)^{\frac{1}{3}}$, а при $\theta > \frac{2\pi}{3}$ дорівнює 2. (3)

Доказ. На колі в 360° не можливо розмістити більше двох MPR вузлів, кут між якими був би більшим 120°, інакше випадок описується формулою (1) для $\theta \leq \frac{2\pi}{3}$ ■ .

Відхилення від теоретичних розрахунків. Знайдено випадки, коли розрахунки за формулою (1) дають результат, який не співпадає з результатами моделювання. Це справедливо для мереж з топологією, в якій кожний односкачковий вузол відносно центрального вузла є MPR вузлом для двоскачкового вузла відносно центрального. Відхилення результатів моделювання від теоретичних розрахунків пояснюється тим, що доказ теореми проводився при інших умовах, а саме: процес вибору MPR вузлів складається з вибору вузлів, які знаходяться на відстані прийому сигналів, тобто ближче до границі кола R. MPR вузли покривають більшість сусідів на відстані двох сачків (тобто в кільці з радіусами R і $2R$; щільність мережі висока і MPR вузли знаходяться фактично на межі R. За результатами моделювання можна сформулювати наступне доповнення до теореми:

Теорема 1в. Незалежно від щільності мережі кожен двоскачковий вузол, що знаходиться на межі кола $2R$, потребує свого MPR вузла, який повинен знаходитися на перетині кола радіусом R і лінії радіуса $2R$, що проходить через центральний вузол і даний двоскачковий вузол.

Доказ. Двоскачковий вузол, який знаходиться на межі кола $2R$, може перебувати в зоні прийому MPR вузла, який знаходиться на межі кола R, лише в одному випадку: коли MPR вузол знаходитися на перетині кола радіусом R і лінії радіуса $2R$, що проходить через центральний вузол і даний двоскачковий вузол. Лише в цьому випадку зона дії MPR вузла дотична до кола $2R$ в єдиній точці, а саме в точці, де знаходиться двоскачковий вузол ■ .

Наслідок. Для даної топології мереж кількість MPR вузлів в точності дорівнює кількості двоскачкових вузлів, які знаходяться точно на межі кола $2R$.

Імовірність знаходження двоскачкових вузлів на межі кола 2R. Дану імовірність знайдемо як геометричну імовірність попадання

двоскачкових вузлів в непокриту площу прийому сигналів односкачкових MPR вузлів при прагненні непокритої площі до нуля, тобто до виродження її в коло радіуса 2R.

Для розглянутих випадків імовірність запишемо як $p = \frac{S_{непокр}}{S_{кільця}}$, де для одного MPR вузла $S_{непокр} = S(\theta) = R^2(\theta - \sin\theta)$, $\theta \leq \frac{2\pi}{N_{MPR1}}$; N_{MPR1} – кількість односкачкових MPR вузлів, $S_{кільця}$ – площа кільця, обмеженого радіусами R і 2R, яка дорівнює $S_{кільця} = \pi(4R^2 - R^2) = 3\pi R^2$. Тоді імовірність знаходження двоскачкових вузлів на межі кола 2R запишемо як

$$p = \frac{N_{MPR1}}{3\pi}\left(\frac{2\pi}{N_{MPR1}} - \sin\frac{2\pi}{N_{MPR1}}\right). \quad (4)$$

Розрахунки показують, що імовірність розташування двоскачкових вузлів на межі кола радіусом 2*R* швидко зменшується: Так для 17 вузлів (8 MPR вузлів) можливі 7 випадків зі 100, для 33 вузлів (16 MPR) - 2 випадки зі 100, для 65 (32 MPR) – 5 випадків з 1000. При цьому внутрішній радіус еквівалентного кільця для 17 вузлів відрізняється від зовнішнього на 0,0053 (ε =0,26%) , для 33 вузлів – на 0,0013 (ε =0,07%), для 65 – на 0,0003 (ε =0,02%).

Висновки.

1. Результати моделювання показали, що реальна кількість MPR вузлів завжди менша її верхньої межі і дозволили спростити теорему про верхню межу MPR вузлів.

2. Відхилення результатів моделювання від теоретичних розрахунків пояснюється тим, що умови доказу теореми не враховували розташування двоскачкових вузлів точно на межі кола 2R. Доведено відповідну теорему.

3. Знайдено аналітичний вираз імовірності розташування двоскачкових вузлів точно на межі кола радіусом 2R. Показано, що вона швидко зменшується: так для 8 MPR вузлів імовірність складає 7%, 16 MPR – 2%, 32 MPR – 0,5%.

Література

1. T. Clausen, P. Jacquet , Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), // Institute national de recherche en informatique et en automatique, Request for Comments: 3626, Projet HIPERCOM,– October 2003– 75 pages.
2. Laouti Anis, Mühlethaler Paul, Najid Abdellah, Plakoo Epiphane. Simulation Results of the OLSR Routing Protocol for Wireless Network // Institute national de recherche en informatique et en automatique, Theme 1 – Reseaux et systemes, Projet HIPERCOM, Rapport de recherché № 4414 –Mars 2002, 24 pages.
3. Максимов В. В. Розрахунок верхньої межі кількості MPR вузлів у протоколі OLSR / В. В. Максимов, В. В. Полісніченко, Л. І. Потьомкіна // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2012. – № 1. – С.82-88.

УДК 621.396.946

МЕТРИКА ВАРТОСТІ З'ЄДНАННЯ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Новіков В.І.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: novikov1967@ukr.net

Connection cost metric for routing in wireless sensor networks

Proposed connection cost metric for routing in wireless sensor networks. Developed metric to more accurately evaluate the overhead caused by packet loss in real-world radio channels.

Задача пошуку оптимальних маршрутів в безпроводових сенсорних мережах (БСМ) полягає у виявленні шляхів доставки пакетів з мінімальною вартістю, яка визначається як сума вартостей з'єднань, через які цей шлях проходить [1]. Як правило, оптимальним вважається маршрут з мінімальною кількістю переходів між вузлами, що розглядаються. В цьому випадку всім з'єднанням присвоюється однакова вартість $M_{const} = 1$. Але безпроводові з'єднання в БСМ можуть значно відрізнятися надійністю, що ніяк не враховується метрикою M_{const}, тому при її використанні можуть бути обрані маршрути з низькою якістю зв'язку, що згодом призведе до зниження точності рішення задач пошуку оптимальних маршрутів.

Таким чином бажано, щоб метрика вартості з'єднання використовувала інформацію про поточну якість зв'язку в конкретних умовах експлуатації. Тому пропонується модифікований варіант існуючій метрики вартості з'єднання ETX, який більш адекватно відображає особливості застосовуваних в БСМ малопотужних радіоканалів при ненадійних каналах зв'язку.

В роботі [2] запропонована метрика «очікувана кількість передач» *ETX* (Expected Transmission Count), що присвоює в якості вартості з'єднання математичне сподівання кількості переданих пакетів даних, включаючи повторні передачі через втрату пакетів.

Розглянемо модель передавання пакетів в БСМ з підтвердженням успішного прийому. Схема передачі пакетів даних з позитивним підтвердженням прийому є відомим способом підвищення надійності пакетної передачі даних і використовується у багатьох алгоритмах множинного доступу до середовища в БСМ. Відповідно до цієї схеми - вузол-відправник *v* передає пакет даних сусідньому вузлу-одержувачу *w*, який у разі успішного прийому пакета без помилок відправляє пакет підтвердження, в іншому випадку прийнятий пакет ігнорується. Якщо після закінчення зумовленого проміжку часу (тайм-ауту) вузол-відправник *v* не отримує пакет підтвердження, пакет даних передається повторно. Описані операції виконуються доти, поки вузол-відправник не отримає пакет підтвердження без помилок, чи не буде перевищено допустиму кількість спроб доставки

пакета. Для опису якості зв'язку між вузлами *v* та *w* використовують два наступні параметри:

– $p_{tx,vw}(L)$- ймовірність безпомилкової передачі від вузла *v* до вузла *w* пакета довжиною L байт;

– $p_{rx,vw}(L)$ - ймовірність безпомилкового прийому вузлом *v* від вузла *w* пакета довжиною L байт.

Вузол *w* аналогічним чином характеризує з'єднання з вузлом *v*. При цьому

$$p_{tx,vw}(L) = p_{rx,vw}(L), \tag{1}$$

але в загальному випадку

$$p_{tx,vw}(L) \neq p_{rx,vw}(L),$$

оскільки можлива асиметрія якості зв'язку.

Пакет даних вважається успішно доставленим, якщо він був прийнятий вузлом-одержувачем *w* без помилок і вузол-відправник *v* отримав відповідний пакет підтвердження також без помилок, тому ймовірність втрати пакета даних дорівнює

$$p_{l,vw} = 1 - p_{tx,wv}(L_d)\, p_{rx,vw}(L_a),$$

де L_d - довжина пакету даних, байт; L_a- довжина пакету підтвердження, байт.

Використовуючи тотожність (1) і прибираючи для зручності індекс «*vw*», отримуємо вираз для ймовірності втрати пакету даних при його передачі від вузла *v* до вузла *w*

$$p_l = 1 - p_{tx}(L_d)\, p_{rx}(L_a),$$

в якому використовуються показники надійності з'єднання з боку вузла *v*, передаючого пакет даних.

Ймовірність виконання рівна *k* спроб доставки пакета даних дорівнює

$$P_r(X = k) = \begin{cases} p_l^{k-1}(1 - p_l), \text{ при } 1 \leq k < N \\ p_l^{k-1}, \text{ при } k = N \end{cases},$$

де *N* - максимально допустима кількість спроб передачі пакета даних.

Тоді математичне сподівання кількості переданих пакетів даних визначається виразом

$$\mu_d(N) == \frac{1 - p_l^N}{1 - p_l}. \tag{2}$$

Для спрощення подальших розрахунків будемо розглядати граничний випадок $\mu_d = \lim_{N\to\infty} \mu_d(N)$. Таким чином, середня кількість пакетів даних, переданих у рамках однієї транзакції, дорівнює

$$\mu_d = \frac{1}{p_{tx}(L_d)\, p_{rx}(L_a)} = \frac{1}{\psi(\beta_{tx}, L_d)\psi(\beta_{rx}, L_a)}. \tag{3}$$

На кожен прийнятий без помилок пакет даних вузол-одержувач відправляє пакет підтвердження. Отже, математичне сподівання кількості переданих пакетів підтвердження дорівнює

$$\mu_a = p_{tx}(L_d)\mu_d = \frac{1}{p_{rx}(L_a)} = \frac{1}{\psi(\beta_{rx}, L_a)}. \quad (4)$$

Метрика *ETX* обчислюється за виразом (3), але замість істинних ймовірностей $p_{tx}(L_d)$ та $p_{rx}(L_a)$ використовуються їх оцінки $\hat{p}_{tx}$ і $\hat{p}_{rx}$ відповідно, тобто

$$ETX = \frac{1}{\hat{p}_{tx}\hat{p}_{rx}}. \quad (5)$$

В [2] показано, що в статичній мережі метрика *ETX* забезпечує більшу пропускну здатність у порівнянні з традиційною метрикою M_{const} за рахунок використання з'єднань з більшою надійністю і, отже, меншою кількістю втрат пакетів. Для обчислення оцінок якості вхідного $\hat{p}_{rx}$ та вихідного зв'язків $\hat{p}_{tx}$ вузли періодично передають спеціальні широкомовні сигнальні пакети фіксованого розміру або використовують пасивну схему вимірювання. Однак недолік даної метрики полягає в тому, що при її розрахунку за формулою (5) не враховується розмір переданого пакета даних і розмір пакету підтвердження, які можуть значно відрізнятися від розміру сигнальних пакетів. Тому у цій роботі пропонується модифікований варіант метрики *ETX*, в якому усувається зазначений недолік.

Нехай для оцінки якості зв'язку використовуються широкомовні сигнальні пакети довжиною L_p байт, тобто отримані величини $\hat{p}_{tx}$ і $\hat{p}_{rx}$ є оцінками ймовірностей успішної передачі і прийому пакетів довжиною L_p. Тоді за допомогою функції зворотної до $\psi(\beta,L)$ можна обчислити оцінки ймовірностей бітової помилки при передачі та прийомі:

$$\hat{\beta}_{tx} = \psi^{-1}(\hat{p}_{tx}, L_p),$$
$$\hat{\beta}_{rx} = \psi^{-1}(\hat{p}_{rx}, L_p).$$

Зокрема, для виразу

$$\psi(\beta, L) = (1-\beta)^{8L}, \quad (6)$$

зворотна функція має вигляд

$$\beta = \psi^{-1}(p, L) = 1 - \sqrt[8L]{p}. \quad (7)$$

В результаті, використовуючи (3), отримуємо формулу модифікованої метрики «очікувана кількість передач» METX (Modified expected transmission count):

$$M_{METX} = \frac{1}{\psi(\hat{\beta}_{tx}, L_d)\,\psi(\hat{\beta}_{rx}, L_a)}. \quad (8)$$

Зауважимо, що на відміну від (5) запропонована метрика (8) відображає вплив асиметрії якості зв'язку на вартість з'єднання. Дійсно, згідно (8) «ціна» передачі пакету даних від вузла *v* до вузла *w* дорівнює

$$M_{METX}(vw) = \frac{1}{\psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d)\,\psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_a)},$$

а витрати на передачу у зворотному напрямку (від *w* до *v*)

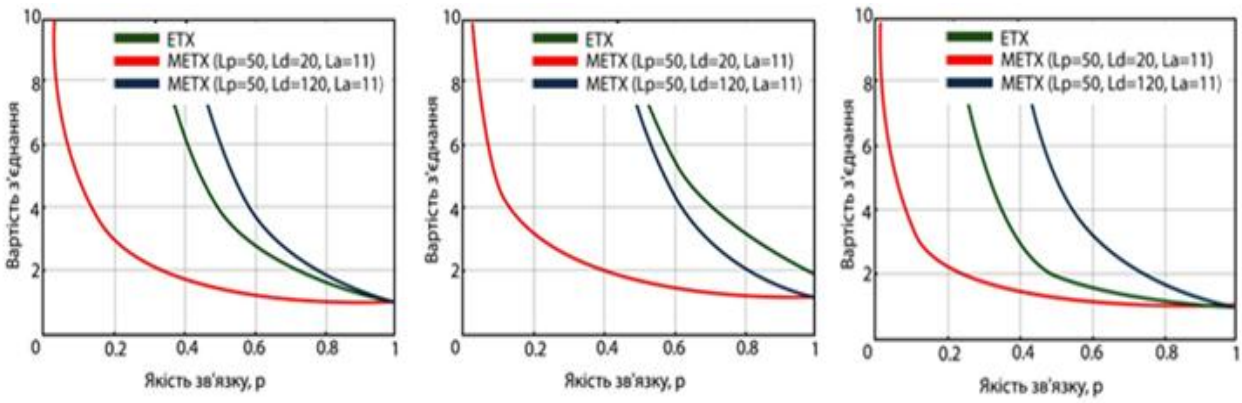
$$M_{METX}(wv) = \frac{1}{\psi(\hat{\beta}_{tx,wv}, L_d)\,\psi(\hat{\beta}_{rx,wv}, L_a)}.$$

Використовуючи (6) і (7) і враховуючи, що за визначенням мають місце рівності $\hat{\beta}_{tx,vw} = \hat{\beta}_{rx,wv}$ та $\hat{\beta}_{rx,vw} = \hat{\beta}_{tx,wv}$ можна записати вираз для відношення цих величин:

$$\frac{M_{METX}(vw)}{M_{METX}(wv)} = \left(\frac{1-\hat{\beta}_{rx,vw}}{1-\hat{\beta}_{tx,vw}}\right)^{8(L_d-L_a)} = \left(\frac{1-\hat{\beta}_{tx,wv}}{1-\hat{\beta}_{rx,wv}}\right)^{8(L_d-L_a)}. \quad (9)$$

Звичайна метрика *ETX* (6) еквівалента випадку $L_p = L_d = L_a$, тому співвідношення (9) приймає значення 1 при будь-яких показниках якості безпроводових з'єднань. Але , якщо, $L_d > L_a$, то з (9) випливає, що для вузла *v* надійність вихідного з'єднання вище надійності вхідного $(\hat{\beta}_{tx,vw} < \hat{\beta}_{rx,vw})$ і витрати на передачу пакету даних від нього до вузла *w* будуть нижчі, ніж при доставці в зворотному напрямку. При цьому різниця вартості буде сильніше проявлятися із збільшенням різниці довжин пакетів даних і підтвердження, так як ймовірність втрати пакета експоненціально залежить від його розміру.

На рис. 1 показані приклади залежності M_{METX} від розмірів пакетів при каналі з симетричною якістю зв'язку та за наявності асиметрії. Видно, що вартості з'єднання , розраховані за модифікованою метрикою (8) і за звичайною (6), значно відрізняються. Величина різниці визначається співвідношенням розмірів сигнальних пакетів L_p, пакетів даних L_d і пакетів підтвердження L_a.



(а) $\widehat{p_{tx}} = \widehat{p_{rx}} = p$ (б) $\widehat{p_{tx}} = \widehat{p_{rx}} = 0.5\,p$ (в) $\widehat{p_{tx}} = p$ $\widehat{p_{rx}} = min\,(2p, 1)$

Рис. 1. Порівняння звичайної та модифікованої метрик ETX.

Запропонована метрика вартості з'єднання M_{METX} більш точно оцінює накладні витрати, викликані втратами пакетів у реальних радіоканалах. Вона може бути використана в географічній маршрутизації, реактивній маршрутизації та інших методах пошуку маршрутів в безпроводових сенсорних мережах передачі інформації різного типу.

Література

1. Бунин С.Г.. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин , А.П. Войтер , М.Е. Ильченко , В.А. Романюк // К.: НПП «Издательство «Наукова думка» НАН Украины». – 2012. 444 с.
2. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing / D. De Couto [et al.] // Proceedings of the 9th ACM international conference on mobile computing and networking. San Diego (USA), 2003. P. 134-146.

УДК 621.39

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ IMS ДЛЯ НАДАННЯ НОВИХ ПОСЛУГ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ FMC

Гаттуров В. К., Смолій Д.А.
Інститут телекомунікаційних систем,
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: smolii.dmytro@gmail.com

Investigation of IMS opportunities for the provision of new services in infocommunication networks in the implementation of the concept of FMC

This article shows prerequisites for the use of new technologies for providing voice communication by operators and, as a result, the introduction of the IMS concept in a mobile network, which has led to the emergence of fundamentally new voice services.

Розглядаються передумови до використання операторами зв'язку нових технологій забезпечення голосового зв'язку і, як результат, впровадження концепції IMS в мережі мобільного зв'язку, що призвело до виникнення принципово нових послуг передачі голосу.

У сучасному світі, де оператори зв'язку надають велику кількість різних послуг, голосовий зв'язок все ще приносить для них більшу частину доходів. Але в той же час між провайдерами йде активна боротьба за користувачів, так як ринок послуг мобільного зв'язку поступово переходить в стан насичення, темпи зростання абонентської бази операторів значно знижуються, тобто подальше залучення абонентів можливе тільки за рахунок переходу абонентів від одного оператора до іншого, але не за рахунок підключення нових. Кількість клієнтів і отримання від них прибутку безпосередньо залежить від якості послуг, що надаються, а це означає, що провайдерам необхідно шукати нові шляхи для вирішення даного завдання.

Підсумовуючи вище сказане, можна стверджувати, що різке зростання споживання мобільного трафіку даних, гостра конкуренція і високий попит на послуги мобільного широкосмугового доступу вимагає впровадження нових і дорогих технологій, таких як LTE (Long-Term Evolution) і LTE Advanced. Розвиток мереж 4G, в свою чергу, стимулює операторів до впровадження концепції IMS (IP Multimedia Subsystem), оскільки вона дає можливість впроваджувати нові голосові послуги на мережах LTE: VoLTE (Voice over Long-Term Evolution), VoWiFi (Voice over Wireless Fidelity).

При використанні сучасних послуг зв'язку ми можемо бачити, що смартфон при вхідних та вихідних дзвінках переходить в мережі попереднього покоління (2G / 3G), а на саме з'єднання йде досить багато часу. На рис. 1 показано, як верхньорівнево виглядає мережа оператора мобільного зв'язку.

З рис. 1 видно, що мережа радіо-доступу другого (2G, або GERAN) і третього (3G, або UTRAN) поколінь підключається як до ядра канальної комутації (CS Core) для здійснення голосових викликів, так і до ядра пакетної комутації (PS Core) для доступу до IP-мереж і для виходу в мережу Internet. Щоб прийняти голосовий дзвінок, LTE-термінал підвішує пакетну сесію і тимчасово переходить в 2G / 3G

мережі (процедура має назву Circuit Switched FallBack). На те, щоб виконати цей перехід і повернутися назад в мережу LTE після закінчення розмови, потрібен час - до декількох секунд. Таким чином, в такій мережі передача голосу не може здійснюватися по IP мережі, що призводить до появи концепції IMS в рамках мережі мобільного зв'язку.

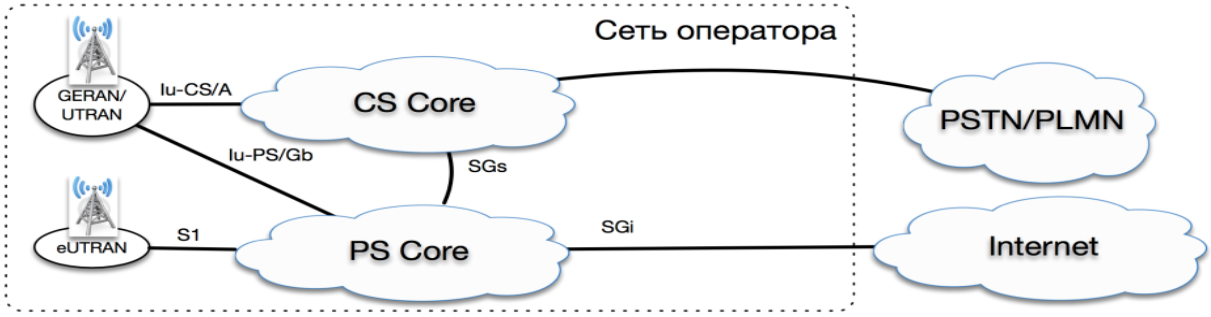


Рис. 1. Верхньорівнева архітектура мережі оператора мобільного зв'язку.

На рис. 2 показано верхньорівневу архітектуру мережі оператора мобільного зв'язку при впровадженні концепції IMS.

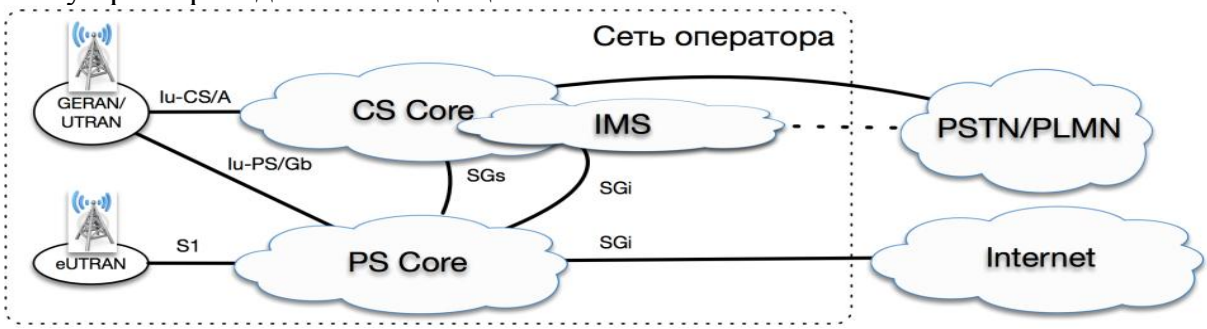


Рис. 2. Верхньорівнева архітектура мережі оператора мобільного зв'язку при впровадженні концепції IMS.

Для реалізації передачі голосу по пакетній мережі в якості ядра для підтримки голосових викликів було обрано концепцію IMS.

Тепер при здійсненні дзвінка мобільний пристрій має переконатися, що мережа оператора підтримує передачу голосу поверх IP в конкретній зоні радіопокриття. Якщо це так, то смартфон намагається активувати bearer (канал зв'язку по IP) зі спеціальним APN-ом (Access Point Name) і зі спеціально виділеним класом обслуговування QCI-5 (QoS Class Identifier), який зарезервований і оптимізований для передачі сигнальної інформації. По завершенню процесу активації bearer-а у мобільного пристрою є IP адреса, і мережа повідомила IP адресу для P-CSCF (Proxy Call Session Control Function), який вже є першим елементом ядра IMS. Саме з ним смартфон по протоколу SIP встановлює сесію і здійснює реєстрацію в IMS. Далі IMS-ядро через PCRF (Policy and Charging Rules Function) і ядро пакетної комутації запитує додатковий виділений радіо-ресурс (dedicated bearer) з гарантованим бітрейтом і з підтримкою QCI-1 (клас забезпечення телефонії в реальному часі), для того, щоб в ньому передавався RTP (Real-time Transport Protocol) потік з обраним кодеком. Після завершення цієї процедури може передаватися голосовий ресурс з найвищим пріоритетом, що в сукупності з технічними можливостями пакетних мереж забезпечує необхідну якість мови і мінімальні затримки при встановленні з'єднань.

Але головним недоліком мереж 4G/LTE є те, що вони сильно поступаються мережам 2G/3G в масштабах покриття територій, що ставить перед операторами нову проблему з раціональністю введення послуги VoLTE. Але, використання

концепції IMS в LTE мережах дозволяє реалізувати технологію VoWiFi, яка забезпечує передачу голосової інформації незалежно від покриття базових станцій оператора зв'язку. Для здійснення дзвінка в мережі LTE зі смартфона абонента досить підключитися до будь-якої WiFi точки доступу. (Рис. 3)

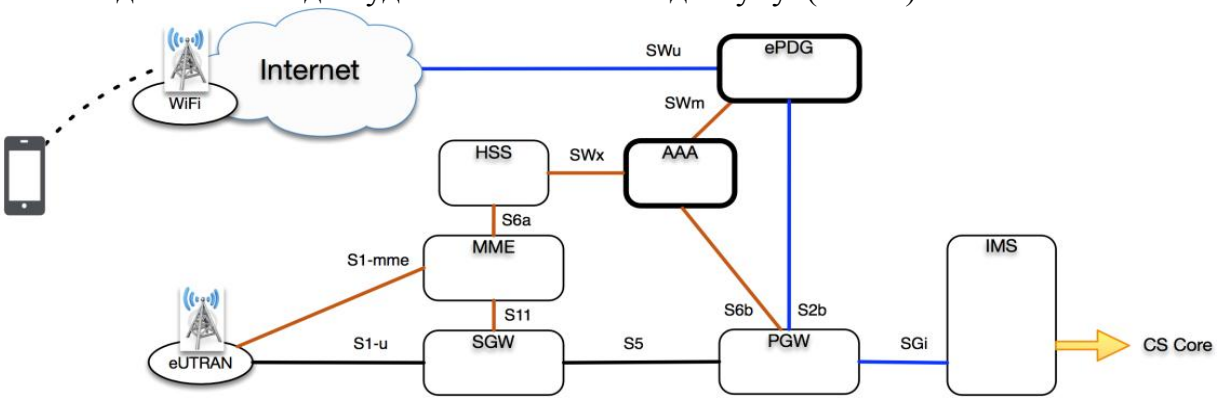


Рис. 3. Структура мережі оператора мобільного зв'язку при здійсненні дзвінка за допомогою WiFi точки.

На відміну від VoLTE, в VoWiFi зміни торкнулися шляху проходження трафіку від мобільного пристрою до ядра пакетної комутації. Дану задачу тепер виконує пристрій ePDG (evolved Packet Data Gateway). Саме він має прямий вихід в мережу Internet, і саме до нього, в першу чергу, підключаються телефони з використанням протоколу IPSec (IP Security). Перш ніж розпочнеться реєстрація в IMS-ядрі, необхідно успішно зареєструватися в ядрі пакетної комутації, яка проводиться не від MME, а від ePDG. Для цього використовується інтерфейс SWm. Особливістю вузла AAA (Authentication, Authorization and Accounting), який бере участь в процесі реєстрації з untrusted WiFi, тобто з мережі Internet, є те, що він працює не за звичним багатьом протоколом Radius, а по модернізованій його версії - протоколу Diameter. Далі, як і в мережі LTE, аутентифікація і звірка наявності відповідних послуг проводиться все в тому ж HSS (Home Subscriber Server). Після проходження реєстрації в пакетному ядрі і подальшої реєстрації в IMS Core, дзвінки здійснюються так само, як це відбувається і з VoLTE.

Для того, щоб голосові виклики не уривалися при втраті мережі WiFi, мобільний пристрій постійно проводить моніторинг рівня сигналу, і. якщо він стає нижчим порогового рівня, проводиться перехід в мережу LTE. При переході в LTE-мережу абонент залишається на тому ж PGW, що використовувався і для VoWiFi. Даний процес забезпечує інтерфейс S6b, який з використанням AAA сервера повідомляє HSS адресу PGW, на якому було проведено реєстрацію з мережі WiFi. При такому переході зберігається сесія на PGW все з тією ж IP-адресою, що була виділена при реєстрації через WiFi мережу. Як наслідок, здійснюється практично безшовний Handover VoWiFi -> VoLTE. Зворотний перехід здійснюється за тими ж правилами.

Література

1. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С., SoftSwitch СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006. – 368 с.: ил.
2. VoLTE/ViLTE + Wi-Fi-Calling — просто о сложном //[Електронний ресурс] – режим доступу: https://habr.com/ru/company/ru_mts/blog/415551/
3. Voice over LTE (VoLTE) //[Електронний ресурс] – режим доступу: https://itechinfo.ru/content/voice-over-lte-volte

УДК 621.39

ЗАХОДИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД АТАК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЙ

Пчелінцев І.С., Григоренко О.Г.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: olenagri@ukr.net

Activities for protection from the attack to ensure cybersecurity of organizations

The main types of attacks on network infrastructures of organizations and their consequences are given. These activities to protect against attacks to provide cyber security of organizations.

В роботі наведено основні типи атак на мережні інфраструктури організацій та їх наслідки. Зазначені заходи для захисту від атак для забезпечення кібербезпеки організацій.

Однією з ознак сучасного суспільства є його цифровізація на основі постійно зростаючого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій. Згідно прогнозів Cisco, опублікованих в звіті Cisco Visual Networking Index ™ Complete Forecast, Cisco VNI, в період з 2016 по 2021 рр. число інтернет-користувачів зросте з 3,3 до 4,6 млрд, тобто 58% світового населення, світовий обсяг IP-трафіку збільшиться в 3 рази і до 2021 р досягне 3,3 зеттабайт (в 2016 р аналогічний показник становив 1,2 зеттабайт) [1]. Велика кількість даних, що передаються і зберігаються, є привабливою для кіберзлочинців, які намагаються використати кібервразливості для отримання інформації з метою особистої або фінансової вигоди. Тому забезпечення кібербезпеки в державі є стратегічним завданням.

Метою Стратегії кібербезпеки України є створення умов для безпечного функціонування кіберпростору, його використання в інтересах особи, суспільства і держави [2].

Згідно Закону «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» [3] кібербезпека - захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства та держави під час використання кіберпростору, за якої забезпечуються сталий розвиток інформаційного суспільства та цифрового комунікативного середовища, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних і потенційних загроз національній безпеці України у кіберпросторі. Кіберпростір - середовище (віртуальний простір), яке надає можливості для здійснення комунікацій та/або реалізації суспільних відносин, утворене в результаті функціонування сумісних (з’єднаних) комунікаційних систем та забезпечення електронних комунікацій з використанням мережі Інтернет та/або інших глобальних мереж передачі даних [3].

Дедалі частіше об'єктами кібератак та кіберзлочинів стають інформаційні ресурси фінансових установ, підприємств транспорту та енергозабезпечення, державних органів, які гарантують безпеку, оборону,

захист від надзвичайних ситуацій. Новітні технології застосовуються не лише для скоєння традиційних видів злочинів, але і для скоєння принципово нових видів злочинів, притаманних суспільству з високим рівнем інформатизації. [2]

Основними типами атак на мережну інфраструктуру організацій [4,5], підприємств є встановлення шкідливого програмного забезпечення, атаки через браузер та електронну пошту, атаки DoS та DDoS, Sniffing, Spoofing, Man-in-the-middle.

Шкідливе програмне забезпечення (ПЗ) порушує роботу комп'ютерів або отримує до них доступ без відому або дозволу користувача. До шкідливого програмного коду відносяться комп'ютерні віруси, черв'яки, троянські коні, програми-вимагачі, шпигунські програми, рекламне ПЗ, псевдоантивіруси та ін. Деяке шкідливе ПЗ виявити легко, проте дію іншого виявити практично неможливо.

Атака типу "Відмова в обслуговуванні" (DoS) перериває доступ користувачів, пристроїв або додатків до мережних сервісів. Така атака реалізується або через перевантаження мережі, хоста чи додатка великою кількістю трафіку, або через надсилання пакетів даних неправильного формату хосту або додатку. В першому випадку результатом є аварійне завершення роботи пристрою чи сервісу, в другому - програма не може ідентифікувати пакети, що містять помилки або неналежним чином відформатовані, і приймач припиняє роботу.

Розподілена DoS атака (DDoS) походить з декількох скоординованих джерел. Кіберзлочинець створює мережу заражених хостів – ботнет, які заражають інші хости. За допомогою спеціальної керуючої системи ботнет виконує DDoS атаку.

Аналіз трафіку (Sniffing) виконується, коли весь мережний трафік, який проходить через мережну інтерфейсну карту (NIC), аналізується кіберзлочинцями за допомогою програмного забезпечення, апаратного пристрою або їх комбінації.

Атака типу підміна (Spoofing) відбувається за рахунок використання довірчих відносин між двома системами, якщо дві системи підтримують єдину аутентифікацію. Підміна MAC-адреси відбувається, коли один комп'ютер приймає пакети даних, адресовані на MAC-адресу іншого комп'ютера. Надсилання IP-пакетів з підробленої IP-адреси джерела для маскування своєї справжньої адреси – це IP-spoofing. При ARP підміні зловмисник розсилає підроблені ARP повідомлення мережею для того, щоб зв'язати свою MAC-адресу з IP-адресою авторизованого користувача мережі. При підміні системи DNS відбувається модифікація DNS-сервера для перенаправлення певного доменного імені на іншу IP-адресу, контрольовану кіберзлочинцем.

Атака «людина посередині» Man-in-the-middle (MitM) полягає в перехопленні кіберзлочинцем повідомлень, якими обмінюються комп'ютери, щоб викрасти інформацію, яка проходить мережею. Зловмисник також може передавати підставні дані між хостами, оскільки вузли не усвідомлюють, що

відбулася модифікація повідомлень. MitM дозволяє злочинцю контролювати пристрій без відому користувача.

Для забезпечення кібербезпеки в організації [4,5] потрібно запровадити наступні першочергові заходи для захисту від різноманітних атак:

Регулярне оновлення програмного забезпечення та антивірусних програм.

Налаштування міжмережних екранів для заборони будь-яких пакетів, що надходять ззовні мережі, але мають адреси, які вказують на їх походження з внутрішньої мережі. Така ситуація є незвичайною, і це вказує на те, що кіберзлочинець спробував здійснити атаку з підміною адреси.

Для запобігання DoS та DDoS атакам патчі та оновлення повинні бути актуальними, навантаження між серверними системами треба розподілити, зовнішні ICMP пакети на межі периметру треба заборонити.

Запровадження шифрування трафіку та файлів, що зберігаються, використання криптографічної аутентифікації, включення часових міток до кожної частини повідомлення.

Для запобігання встановленню аналізаторів трафіку у внутрішній мережі організації забезпечити фізичну безпеку.

Для боротьби зі спамом потрібно включення фільтрації електронної пошти, навчання користувачів щодо обережного ставлення до підозрілих електронних листів і перевірки вкладень електронної пошти перед тим, як їх відкрити, також використання фільтрів на хостах/серверах.

Для запобігання подальших атак необхідно здійснювати регулярний аналіз ризиків.

Окрім вище зазначених заходів потрібно запровадити політику безпеки організації та ознайомити з нею працівників. Важливо також пам'ятати, що забезпечення кібербезпеки – це не одноразова акція, а постійний процес, що потребує постійного вдосконалення заходів захисту, використовуючи нові розробки в галузі кібербезпеки, відстежуючи вразливості та навчаючи співробітників.

Література

1. Звіт Cisco Visual Networking Index ™ Complete Forecast/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/06-09b.html.
2. Стратегія кібербезпеки України/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016.
3. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України»/ Із змінами, внесеними згідно із Законом № 2469-VIII від 21.06.2018, ВВР, 2018, № 31, ст.241 / [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19.
4. Внимание, это кибератака: как понять, что ваша компания в зоне риска, и защититься/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://delo.ua/special/vnimanie-eto-kiberataka-kak-ponjat-chto-vasha-k-348941/.
5. Палаева Л.В. Основные виды кибератак на автоматизированные системы управления технологическим процессом и средства защиты от них/ Л.В.Палаева, А.М.Хафизов, А.М.Гилязетдинова, А.Р.Вахитова, К.Н.Давыдова, Е.Р.Сиротина // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10-3. – С. 507-511. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41866.

UDC 621.391.3

LoRaWAN AS IoT TECHNOLOGY FOR CREATING SMART LEARNING

Rybak O.O., Nazarenko O.I.
National Technical University of Ukraine
“ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ”
E-mail: alex96.rybak@gmail.com, nazarenkoits@gmail.com

LoRaWAN як технологія інтернету речей для створення smart навчання

У роботі представлено модель використання технології LoRaWAN в Інтернеті Речей, щоб створити smart середовище для навчання студентів в інституті телекомунікаційних систем. Описана мережева архітектура LoRaWAN, її специфікації та властивості створювати комфортні умови та підвищувати продуктивність навчання студентів.

The real challenge for educators is finding the effective ways to prepare specialists for such a high-tech industry as Telecoms: how to integrate modern technologies into learning sciences and professional training?; how to create immersive and meaningful experiences taking into account interests and needs of today’s students who are considered to be Net Generation or Digital-age learners?

Future Telecoms professionals use the Internet, different tools and devices to collect information for scientific researches, collaborate or communicate. It is crucial for them to be able to gather and analyze data utilizing inquiry and visualization tools, to simulate or design specialism-related processes using graphical or modeling applications, etc. For educators it is very important to create active learning and student-centered environment where learners could be deeply engaged in their specialist fields in face-to-face mode of study as well as remotely, feel comfortable, flexible and motivated to acquire necessary knowledge and gain skills.

The new trend in education, the Internet of Things (IoT) technology, enables creating smartly designed environment to enhance students’ learning possibilities. IoT provides any wireless technology (WiFi, BT, RF, NFC, Zigbee, Cellular, LPWAN etc.) to exchange data between people and things demonstrating their status, allowing them to control remotely actions of things, analyze data by means of machine learning, big data, artificial intelligence, virtual reality in order to optimize any process in different areas of activity.

Since beginning of 2019 the IoT wireless technology based on LoRaWAN is becoming more and more popular, and over 100 large operators have deployed it for different purposes (Telecompaper, 2019).

LoRaWAN is a low-power network protocol (LPWA) designed for the Internet of Things which can connect various LoRa things on batteries to regional, national or global networks (LoRa Alliance, 2018). This is a new technology that does not require SIM cards in things, thanks to the principle of operation of this technology the battery life of sensors increases up to 10 years, and in a short time it has gained great

popularity in the world. The coverage of the LoRaWAN network allows creating in hard-to-reach places and working frequency of the technology of 868 MHz. Since it is not a licensed range it makes possible to deploy a private network without any problems. This technology does not always occupy a radio channel, but the longest transmission time is a few seconds for data transmission, the number of seconds or mili seconds depends on the amount of transmitted data on maximum size packet (256 kilobyte), data speed rate of 50 kilobyte/s.

To create smart learning environment pico gateway is going to be installed in the classrooms, that will create a private LoRaWaN network. For testing, The Things Network (free network server) is to be used in the future to create our own network server and an Application Server.

Smart solutions for the learning needs include: 1) sensors: Temperature, Humidity, Light Sensor, Desktop Sensors (identify Student's Activity and Presence), Environmental Sensors (Pollution, Solar Radiation Levels (Research how polluted air affects material perception)), smoke detectors, sensors for windows and doors (security); 2) smart watches for measuring the pulse, transferring information to the teacher about the state of students' health (within the audience) and using other technologies to improve the learning process; 3) a database where all information about students and their achievements will be stored (based on these data, an individual approach to each student will be created for more efficient learning).

Figure 1 demonstrates the LoRaWAN Network architecture**.**

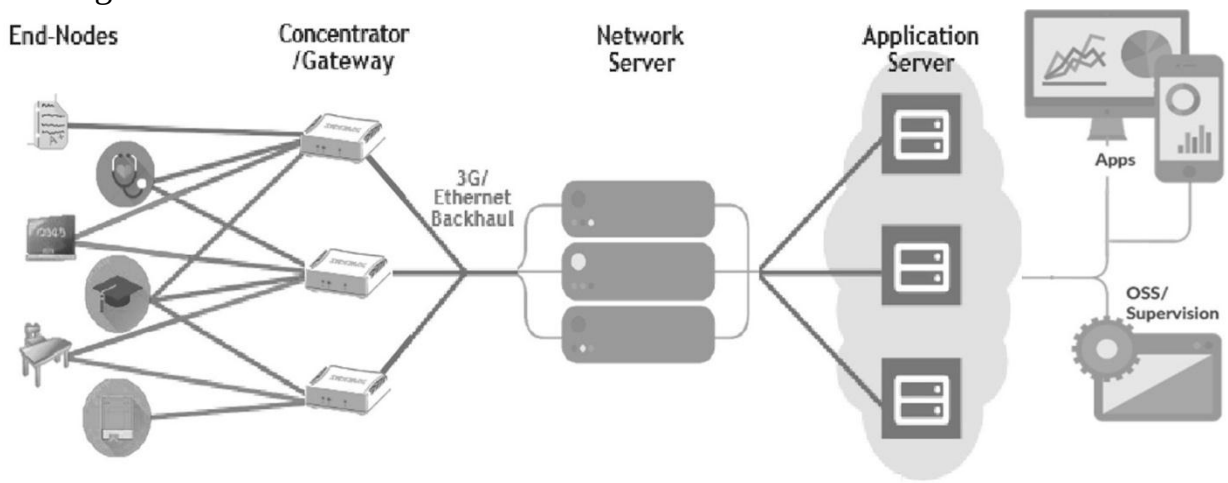


Figure 1: LoRaWAN «Star» Network Topology

The LoRaWAN network is always implemented in the star topology (LoRa Alliance, 2018). Unlike the grid topology, the star topology is ideal for end nodes (sensors) with limited power consumption (battery-powered), because only their own messages are transmitted, and there is no need to waste battery time on retransmitting messages from end nodes. A LoRaWAN network consists of one or more LoRaWAN gateways that are connected to one central network, a so-called network server (NS). Each LoRa gateway receives messages from all LoRaWAN end nodes in the radio link. Gateways are connected to a network server via Wi-Fi, Ethernet, or even cellular. Macro gateway provides coverage of the entire city (Pico gateways can be ideal where there is no need to have a large coverage, can be used for underground premises). LoRa can transmit with lower distribution coefficients that requires shorter

broadcast times.

Network Server manages the LoRaWAN network (Ram, 2018). It monitors messages (LoRaWAN frames) from all sensors.

The main management functions implemented in NS are (LoRa Alliance, 2018):

- NS controls and monitors all requests from sensors for connection requests, NS informs each sensor on which channel to operate and what spreading factor (SF) to use and what power level is needed for transmission.

- The network server determines the most optimal base station for connecting the sensor and transmitting messages.

- The network server has general administrative functions, the establishment of base station reporting and sensors operation.

LoRaWAN defines three different end-node types or classes:

Class A: Battery Powered Sensors:

- Most energy efficient; - Must be supported by all devices; - Downlink available only after sensor TX; - Report status a few times per day; - No planned actuation required; - Extremely low energy.

Class B: Battery Powered Actuators:

- Adding scheduled receive windows for downlink messages; - Turn valves on or off with a few minute latency.

Class C: Mains Powered Actuators:

- Devices which can afford to listen continuously; - No latency for downlink communication; - Constantly listens to network ping for low-latency actuation.

Conclusion. The foregoing IoT model is able to provide the basis for creating environment for smart learning in the Institute of Telecommunication Systems. For further implementation a set of tasks has to be solved: to provide open study programs, design web applications and set up a data exchange system for smart classes and install Web-based applications on devices.

The use of modern technology brings a lot of benefits creating comfortable environment and providing different possibilities to **enhance students' learning capabilities,** increase **their interests and** motivation. Students get the opportunity to acquire necessary knowledge and gain important skills while studying at the university.

In our future articles it will be shown how the data are collected and analyzed from sensors and interactions between students and lecturers in the smart learning environment, and how the Blockchain technology is used to ensure data security.

References

1. LoRa Alliance passes 100 operator milestone with coverage in 100 countries. (2019). Telecompaper. Retrieved from https://www.telecompaper.com/news/lora-alliance-passes-100-operator-milestone-with-coverage-in-100-countries--1277154.
2. Migrating an Internet of Things (IoT) Sensor Design to LoRaWAN. (2018). LoRa Alliance. Semtech Corporation, Camarillo, CA.
3. Ram, P., (2018). LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things:PART I – Understanding the LPWAN, LoRa and LoRaWAN technology. Retrieved from https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d.

UDC 004.62

SECURING INTERNET OF THINGS DATA

Trokhymenko D.V., Kurdecha V.V.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: theelico@gmail.com

Захист даних в мережах "Інтернету речей"

Безпека в мережах Інтернету речей завжди була дуже серйозною проблемою, тому що дані, що подорожують через мережу часто гетерогенних джерел, йдуть через різні пристрої, які можуть мати якусь вразливість безпеки. Ці дані можуть бути використані хакерами, як в вигляді крадіжки, так і у вигляді зловмисної маніпуляції, що може призвести до негативних наслідків. В роботі було досліджено різні підходи та методи формування надійної системи безпеки в контексті хмари та "речей" мережі Інтернету речей.

In recent years, the Internet of Things (IoT) concepts such as smart devices, smart cars, smart cities, and smart homes have received great interest in different research communities. The IoT encompasses both static and dynamic objects of the physical world and the information world, which can be identified and integrated into communication networks (See Fig. 1). Data provided by things are often personal. It can contain our environment, the status of our homes and cities, or our personal health and activities. That is why mechanisms for providing and guaranteeing the security and privacy of data are crucial issues in IoT. However, because of its nature protecting the Internet of Things is a complex and difficult task. This opens up exciting new business opportunities and a trail for economic growth.

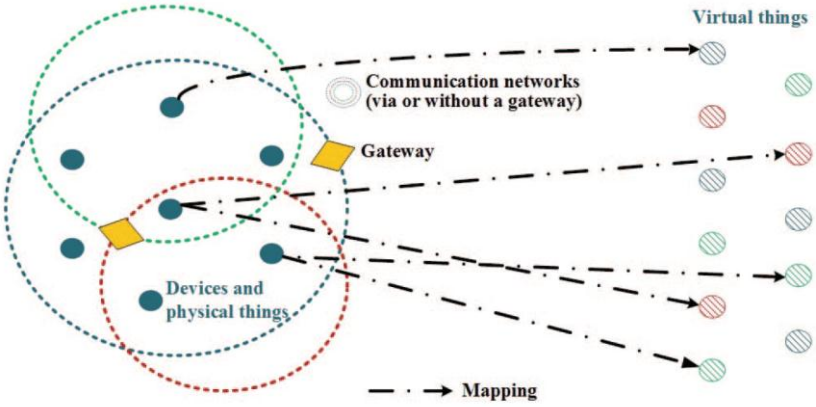


Fig.1 Technical mapping of the IoT

Threats to the security in the Internet of Things. Potential threats to the IoT have basically endless vectors and possibilities. Generally, they are roughly divided by their initial attack target: Attacks Against IoT Devices For an attacker, it is possible that an IoT device with pre-sets is an easy and valuable prey for many reasons. Attacks Against Communications Monitoring and altering the messages while they are being communicated can be a method to endanger the security of IoT. Attacks Against the Master of Devices. The masters including manufacturers, CSPs, and IoT solution providers – when attacked can be inflicted with severe damage. Attacks on Perception Layer Security issues can be found in physical sensing devices and collection of

information. Security attacks on WSN, which sense and control the environment can be Secrecy and authentication, service integrity and network availability. Attacks on Physical Layer Selection and generation of carrier frequency are performed by this layer. Attacks on Network Layer Illegal access, eavesdropping of confidential data, virus etc. are done in network layer. Attacks in Application Layer Eavesdropping and tampering are major security issues in application layer. Traffic management is done in this layer.

The current technologies for IoT security primarily come from the concepts of traditional network security. Most of them focus on identity authentication, access control, privacy protection, encryption, security protocol, and etc. For example, let's look at OAuth 2.0 and oneM2M security frameworks. OAuth 2.0 framework is used to provide authentication and authorization, and Fig. 1 shows general OAuth 2.0 flow.

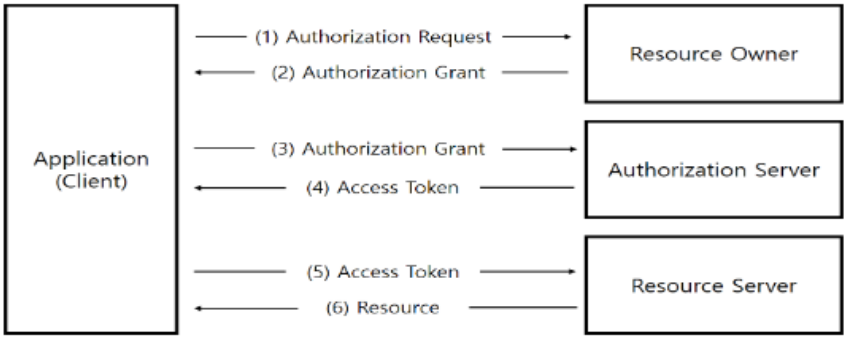


Fig.2 General OAuth 2.0 Flow

The oneM2M security architecture is divided into three layers: Security Functions Layer provides security functions. Secure Environment Abstraction Layer provides key distribution, encryption/decryption, and creation and validation of certificate, Secure Environments Layer contains one or more security environments that provide various security services.

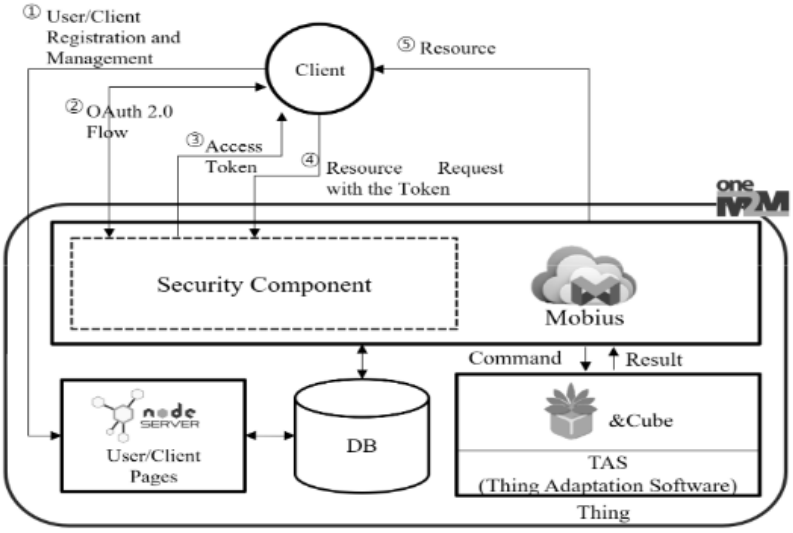


Fig.3 Connectivity Structure of Mobius with oneM2M Security Component

Fig. 3 depicts a basic example of using oneM2M in IoT networks. There are various data encryption techniques which can be different. The level of security for the stored data has been increased that thereby assures content integrity, authenticity, and the availability. Standard and commercial organizations realize the guarantee strategy of network security through the aspects of management and technology. However, the

traditional security architectures emphasize simple protection measures and do not make full use of the other links of network security system. They cannot be copied blindly to construct the IoT security system because of the special attributes of IoT. In the interest of resolving the problems of information security, researchers introduced Artificial Immune System (AIS) which imitates the mechanisms of Biological Immune System. AIS has attributes such as self-learning, self-adaptation, robustness, distribution, etc., it is valuable to use bionics principles of AIS. This approach captures original data from IoT traffic and analyzes the data to judge whether it contains security threats. It simulates the principles and mechanisms of AIS to detect security threats in the original data. The principles and mechanisms have the attributes of self-learning, self-adaptation, etc. They make the approach adapt the dynamic IoT security environments and discover mutated security threats. The approach simulates the following principles and mechanisms: antigen simulation, detector simulation, match mechanism, evolution mechanism, self-tolerance. In the immune systems, antigen is the original data to be recognized. Detectors and the simulative immune mechanisms are used to recognize abnormal antigens from real-time antigens. Danger computation link, the quantitative danger caused by security threats is computed. It needs the elements of harmfulness of security threats, asset cost and memory detectors' thickness which is generated in the previous link. The danger computation process can be summarized in formulas below:

$$A_{harm} = \{a \mid \forall a \in A, \exists d \in D; \cap f_{matching}(d, a) = true\} \quad (1)$$

$$f_{danger}(r) = f(r.t, r.h, c) \quad (2)$$

Where A_{harm} is a recognized data set, D is a known harmful data, $f_{matching}$ – matching function (matching methods include Hamming, Euclidean, *r*-Contiguous, etc.), f_{danger} – danger calculating function, r.t, r.h is harmfulness, c is a cost of IoT asset. The approach then produces security response grades and chooses according to security response polices.

The IoT is expected to integrate advanced technologies of communication, networking, cloud computing, sensing and actuation, and pave the way for groundbreaking applications in a variety of areas, that will affect many aspects of people's lives and bring about many conveniences. Nevertheless, given the enormous number of connected devices which are potentially vulnerable, highly significant risks emerge around the issues of security, privacy, and governance in IoT. The solutions covered in this paper are an important step towards this goal. However, they still require further analyzing and comparing the benefits of using these systems or their combinations onto various IoT network infrastructures, both existing and future.

References

1. Choudhury, T., Gupta, A., Pradhan, S., Kumar, P., & Rathore, Y. S. (2017). Privacy and Security of Cloud-Based Internet of Things (IoT). 2017 *3rd International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE).* doi:10.1109/cine.2017.28.
2. Liu, C., Zhang, Y., & Zhang, H. (2013). A Novel Approach to IoT Security Based on Immunology. 2013 *Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security.* doi:10.1109/cis.2013.168.
3. Oracevic, A., Dilek, S., & Ozdemir, S. (2017). *Security in internet of things: A survey. 2017 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC).* doi:10.1109/isncc.2017.8072001.
4. Oh, S.-R., & Kim, Y.-G. (2017). Development of IoT security component for interoperability. 2017 13th International Computer Engineering Conference (ICENCO). doi:10.1109/icenco.2017.8289760.

UDC 621.391.3

SECURITY ISSUES THAT WILL DOMINATE IN IOT NEAREST FUTURE

Minochkin D. A., Radchuk A.V.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: radchyk9696@gmail.com

Питання безпеки, які домінуватимуть у найближчому майбутньому в IoT

The Internet of Things (IoT) will face multiple threats over the next few years. Due to Given large amount of private information, providing information security on the shared data is an important issue that cannot be neglected. In this article, we present with general information about the topics related to new DNS issue, insufficient certification in public-key and cryptosystems.

The main challenge of object identification is to ensure the integrity of records used in the naming architecture. Although the Domain Name System (DNS) provides name translation services to Internet users, it is an insecure naming system. It remains vulnerable to various attacks, such as DNS cache poisoning attack, and man-in-the-middle attack. This poisoning attack injects counterfeit DNS records into victims' cache and directly compromises the resolution mapping between naming architecture and addressing architecture. Therefore, without the integrity protection of the records, the entire naming architecture is insecure. Domain Name Service Security Extension (DNSSEC, IETF RFC4033) is deployed as the security extensions of DNS. DNSSEC can ensure the integrity and authenticity of a Resource Record (RR), and at the same time serve as a vehicle for the distribution of cryptographic public keys. Although DNSSEC seems to be a remedy for naming services, it is still challenging to deploy DNSSEC properly in IoT. DNSSEC incurs high computation and communication overhead and may not be suitable for IoT devices. A new naming service is desirable [1].

Although public-key cryptosystems have advantage for constructing authentication schemes or authorization systems, the lack of a global root certificate authority (global root CA) hinders many theoretically feasible schemes from actually being deployed. Without the global root CA, it becomes very challenging to design an authentication system for IoT. Furthermore, it may be infeasible to issue a certificate to an object in IoT since the total number of objects

is often huge. Therefore, the concept of delegated authentication and delegated authorization must be taken into consideration for IoT [1].

Wearable gadgets take measurement and report it to mobile APPs. These collected data are then passed on to smart furniture and/or appliance in smart home/office to make adjustment accordingly. This is a common IoT application demonstrated in CES 2015. [2] The communication scenario of information exchange can be broken into two categories according to the distance range, that is, domestic and foreign. Typical domestic communication is done locally without access to the public network (a.k.a. the Internet). Foreign communication, on the other hand, relies on the public network to distribute data to distant objects.

Heterogeneity of objects is expected in IoT where objects have limited resources, computing power and communication capability. With the nature of lightweight and portability, the communication capability of wearable devices is mostly in a short distance. Short-range wireless communication (i.e. domestic communication), such as Bluetooth, relies on pairing objects prior to data exchange. For wearable devices to extend the communication range (i.e. foreign communication), a delegator is required to relay the data traffic. Delegator is normally referred to as the gateway of communication. For wearable devices made for mobility, the handheld device such as mobile phone is a suitable gateway to relay data. On the other hand, for home/office appliances, a hotspot such as wireless AP (Access Point) is a suitable candidate to relay data. Figure 1 [3] illustrates the typical topology configuration for both long distance and short distance communication. For domestic communication authentication, e.g. Bluetooth, basic security is provided in the link layer during object pairing where password is required. Once the object is paired, encryption is applied when data has been exchanged wirelessly. On the other hand, foreign communication authentication, will enumerate a number of applicable authentication models.

Since IoT comes at a massive scale of objects, naming of the objects becomes more complex. Due to the heterogeneity of the objects and the network, conventional Internet naming and identification will not be applicable. Uniquely naming the objects is one of the main challenges in IoT to be resolved before addressing object authentication. GS1 suggested that the DNS naming scheme can be the naming basis of IoT given that IoT is to be deployed on the Internet. Object Naming Service (ONS) is part of GS1 EPCglobal architecture framework [2] that leverages DNS to locate authoritative metadata and services with given Electronic Product Code (EPC). The EPC is designed for the purpose of providing universal unique identity. ONS can also be integrated into DNS as a sub-domain of DNS. Therefore, the Internet becomes the communication medium for the devicenaming domains.

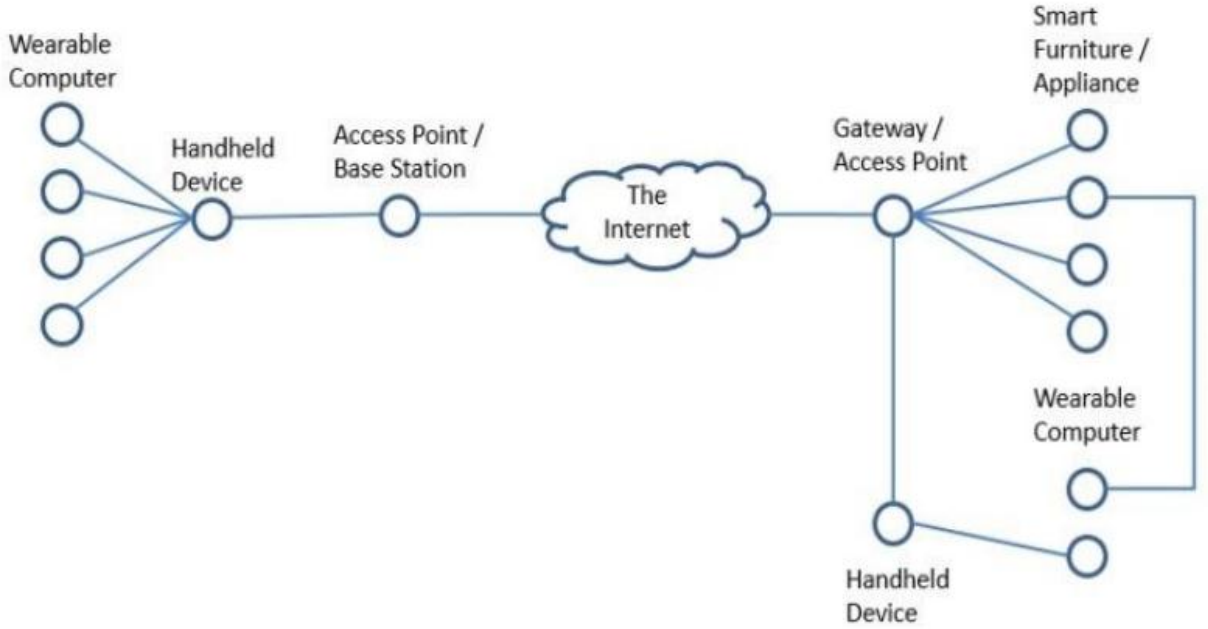


Fig. 1. A typical IoT topology [3].

As an illustrator of the future Internet architecture, US NSF launched Future Internet Architecture Project (FIA Project). As a core sub-project of FIA Project, L. Zhang et al. proposed novel "Named Data Networking (NDN)" [3] which moves the network architecture from host-centric to data-centric. According to NDN, the identification and network routing are based on the name of the object instead of using conventional IP address. Naming in NDN is in a hierarchical structure, and is applicable to hierarchical nature of the current computer network structures. NDN has great impact, but is still in its infancy. There are still many new challenges, such as efficiency, name validation, signing key management, object authentication, and other security issues. These challenges remain unsolved and raise concerns.

In this part, we will depict the challenges to IoT deployment on preserving privacy. The challenges can be divided into two categories: data collection policy and data anonymization. Data collection policy describes the policy during data collection where it enforces the type of collectable data and the access control of a “Thing” to the data. Through the data collection policy, the type and amount of information to be collected is restricted in the data collection phase. Since the collection and storage of private information is restricted, privacy preservation can be ensured. The second challenge is data anonymization. To ensure data anonymity, both cryptographic protection and concealment of data relations are desirable. Given the diversity of the “Things”, different cryptographic schemes may be adopted. For example, lightweight cryptographic schemes are more suitable to devices that have resource-constraints. The second category,

concealment of data relation, investigates the removal of direct relations between the data and its owner. This also can be achieved by applying data encryption where scrambled data have resistance against data analysis. However, information needs to be shared amongst “Things” in IoT; therefore, computation on encrypted data is another challenge for data anonymization. To cope with the problem, some of research works in homomorphic encryption may be applicable. Lightweight Cryptosystems and Security Protocols. Compared with symmetric-key cryptosystems, public-key cryptosystems generally provide more security features but suffer from high computational overhead. However, public-key cryptosystems are often desirable when data integrity and authenticity are needed. Therefore, computation overhead reduction for public-key cryptosystems as well as complex security protocols remains a major challenge for IoT security. [1]

CONCLUSION. The main features that differentiate IoT security issues from the traditional ones are the heterogeneous and large-scale objects and networks. These two factors, heterogeneity and complexity, make IoT security much more difficult to deal with. This article is aimed at ongoing challenges and research opportunities in IoT security. New research topics and their possible solutions are also discussed.

References

1. Zhi-Kai Zhang, Michael Cheng Yi Cho, Chia-Wei Wang, Chia-Wei Hsu, Chong-Kuan Chen, Shiuhpyng Shieh, “IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities”, 2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, (DOI: 10.1109/SOCA.2014.58), 17-19 Nov. 2014, p.5.

2. Zhi-Kai Zhang, Michael Cheng Yi Cho, Shiuhpyng Shieh “Emerging Security Threats and Countermeasures in IoT ”. Proceedings of the 10th ACM Symposium on Information, Computer and Communications Security Feb. 2015, Pages 1-6.

3. Mung Chiang “Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities”, IEEE Internet of Things Journal, Volume: 3, Issue: 6, Dec. 2016, pp. 854 – 864.

УДК 621.382

МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ВІДОМЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ GPON

Сірик О. С., Вакуленко О. В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: lena.siryk2013@gmail.com

Modernization of access networks networks for departmental appointment based on GPON technology

This technique provides the opportunity to use a pragmatic approach to designing access networks for the departmental appointment based on GPON technologies.

Проектування в телекомунікаціях грає велику роль. Це впливає на подальшу роботу системи та її працездатність. Тому саме від рішень, прийнятих під час проектування, залежить перспектива застосування мереж та необхідність впровадження для них нових послуг в майбутньому.

Мета розробки методики проектування телекомунікаційної мережі доступу на основі технології GPON полягає в забезпеченні ефективності прийняття управлінських рішень відомствами при розгортанні та подальшої експлуатації сучасних мереж доступу. Особливості технології GPON полягають у забезпеченні високої якості послуг та швидкості, мультисервісності та економічній ефективності.

Постановка задачі:

Задано:

- основні технічні характеристики волоконно-оптичних мереж доступу ;
- вимоги до параметрів мережі та характеристики її складових;
- перелік наявного мережевого устаткування;
- характеристики програмного забезпечення.

Необхідно:

- розробити алгоритм проектування сучасної відомчої телекомунікаційної мережі доступу на основі технології GPON.

Обмеження:

- параметри мережі доступу розраховуться на базі вже наявного телекомунікаційного обладнання та повинні відповідати вимогам керівних документів;
- час виконання даного проекту та розрахунки техніко-економічних показників визначаються замовником.

Основні етапи реалізації методики (див. рис. 1):

1. Вихідні дані.
2. Огляд місцевості та приміщень.
3. Вибір розміру і структури мережі.
4. Вибір технології .
5. Рішення на базі пасивних оптичних мереж (PON), переваги та недоліки.

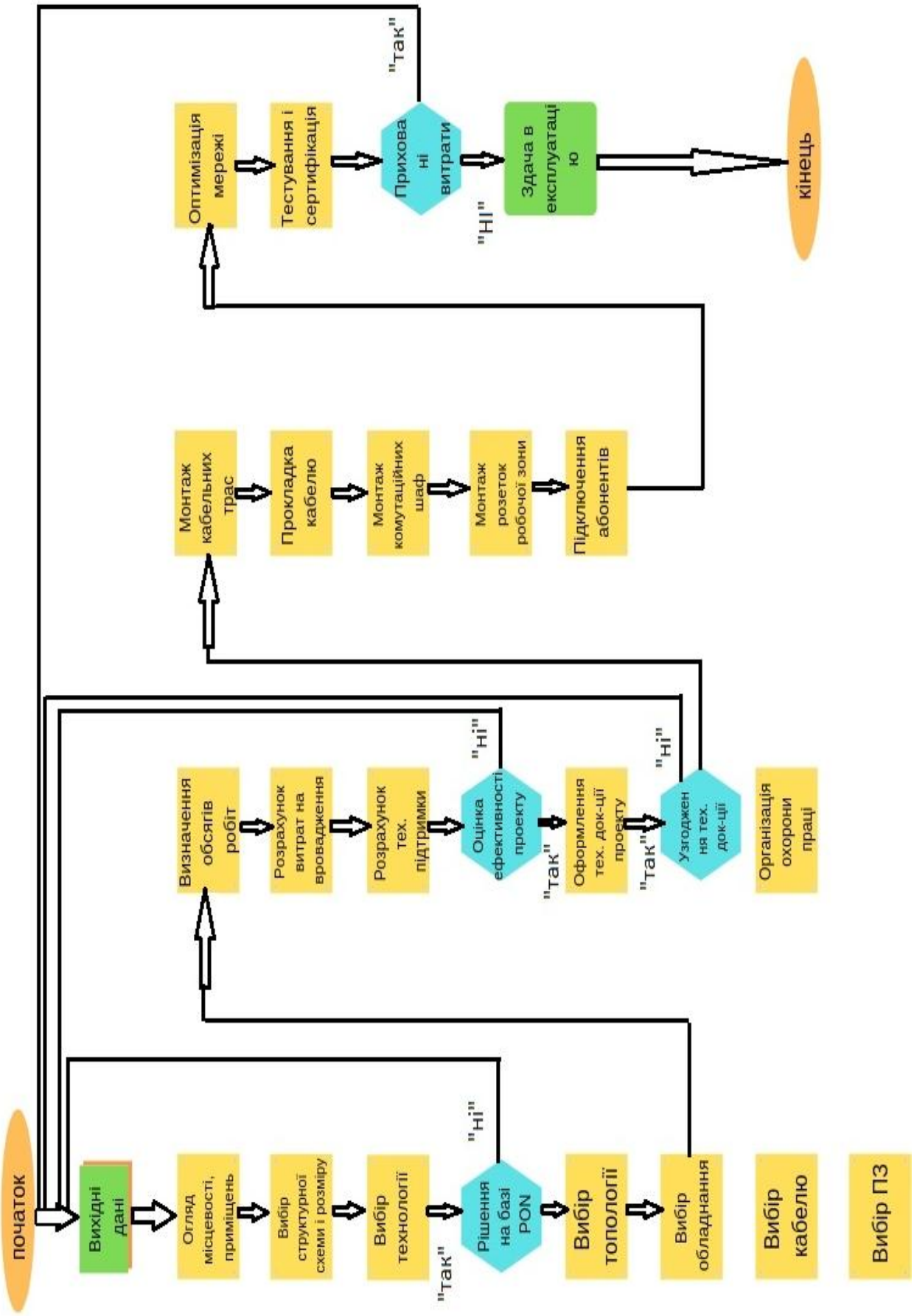


Рис. 1. Алгоритм проектування мереж доступу
відомчого призначення на основі технології GPON

6. Вибір топології.
7. Вибір обладнання.
8. Вибір кабелю.
9. Вибір програмного забезпечення, адміністрування.
10. Визначення обсягів робіт.
11. Розрахунок витрат на впровадження.
12. Розрахунок технічної підтримки.
13. Оцінка ефективності проекту.
14. Оформлення технічної документації і проекту.
15. Узгодження документації і проекту.
16. Організація охорони праці.
17. Монтаж кабельних трас.
18. Прокладка кабелю.
19. Монтаж комутаційних шаф.
20. Монтаж розеток робочої зони.
21. Підключення абонентів.
22. Оптимізація мережі.
23. Тестування і сертифікація.
24. Приховані витрати.
25. Здача в експлуатацію.

Таким чином, в пропонованій методиці було враховано усі основні стадії побудови сучасної мережі доступу на основі волоконно-оптичних технологій та технічних вимог до створення технологічної інфраструктури телекомунікаційних мереж доступу.

Дана методика надає можливість використовувати прагматичний підхід щодо проектування мереж доступу, в тому числі, технологію GPON. Ця мережа абонентського доступу дозволяє надавати широкосмуговий доступ такі сервіси як: VoIP сервіси, сервіси з врахуванням місцезнаходження і присутності в мережі, мультимедійні сервіси та можливість роботи в реальному часі(collaboration). Ця технологія є дуже перспективною для провайдера, так як дозволяє представляти широкий спектр послуг користувачеві.

Література

1. «Пассивные оптические сети PON Часть 2. Ethernet на первой миле»/WDM и оптические сети связи, И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев, к.ф.-м.н., 2014.
2. Технічні вимоги до створення технологічної інфраструктури телекомунікаційних мереж доступу. ДССЗЗІ України. 2013
3. H. Shinohara, ‘‘Broadband access in Japan: rapidly growing FTTH market,’’ IEEE, Commun. Mag., Sept. 2005.
4. Lam, Cedric F., Passive optical networks : principles and practice, Academic Press, 2007.
5. IEEE 802.3ah Ethernet First Mile Task Force http://www.ieee802.org/3/efm/.
6. Connect! Мир Связи, №7, 2007,Технология PON – эффективная сеть доступа, Андрей Леонов, Вадим Конышев.
7. Волоконно-оптическая техника. Современное состояние и новые перспективы, 3-е изд., перераб.и доп./ Сб. статей под. ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н., М.:Техносфера, 2010. - 608 с.

УДК 621.391.63/621.316.5

УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ РАМАНІВСЬКИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ В ФОТОННИХ ЛІНІЙНИХ ТРАКТАХ

Огородник Д.О., Бердников О.М.
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: dimaogorodink@gmail.com

Terms of use Distributed Raman Amplifier in Photon Line Path

The principle of Distributed Raman Amplifier (DRA) is analyzed. The diagrams of levels of multiplex signals are described and illustrate.

Компенсації втрат оптичних сигналів, що вносяться пасивними елементами фотонних лінійних трактів (*PLP– Photon Line Path*) телекомунікаційних транспортних систем (ТТС): мультиплексорами, демультиплексорами, компенсаторами хроматичної дисперсії тощо, а також втрат, що вносяться одномодовими оптичними волокнами (ООВ) підсилювальних ділянок (ПД) *PLP*, здійснюються волоконно-оптичними підсилювачами (ВОП) проміжних пунктів.

Перши ВОП, наприклад, для *C*-діапазону довжин хвиль, будувалися на спеціальних ООВ довжиною кілька десятків метрів, серцевина яких була легірована позитивними іонами активного елементу – ербію (*Er*З +), отримали позначення ВОП *EDFA* (*Erbium Doped Fiber Amplifier*). В подальшому, з метою збільшення пропускної спроможності ТТС, були розширені, ліворуч й праворуч, межі *C*-діапазону довжин хвиль, за рахунок застосування розподілених Раманівських ВОП (РРП). Такі РРП або *DRA* (*Distribute Raman Amplifiers*), застосовані в *PLP*, мають смугу пропускання понад 170 нм, що забезпечує можливість розподіленого раманівського підсилення мультиплексних сигналів у всьому сумарному ($S + C + L$)–діапазоні довжин хвиль. Таким чином, виникли задачі визначення потужності оптичного випромінювання лазерів накачки (ЛН) РРП та місця їх розташування в лінійному тракті.

Принцип роботи розподілених Раманівських підсилювачів *DRA* заснований на використанні виникаючого в ООВ нелінійного оптичного явища такого як вимушене комбінаційне розсіювання (ВКР), або стимульоване Раманівське розсіювання *SRS* (*Stimulated Raman Scattering*) [1, 3].

Одномодове волокно підсилювальної ділянки *PLP* при накачці його серцевини оптичним випромінюванням на одній або декількох довжинах хвиль від одного (рис. 1) або декількох лазерів перетворюється при цьому в *DRA*.

Відомо [1], що при проходженні оптичного випромінювання, тобто фотонів через тверду речовину, в ньому (в тому числі і кварці) відбувається два види розсіювання: Релеївське і Раманівське.

При Раманівському розсіюванні фотони, стикаючись з мікрочастинками

кварцу серцевини волокна, не тільки змінюють траєкторію руху, а й віддають частину своєї енергії. Число молекул в 1 $см^3$ речовини (кварца) дуже велике – біля 10^{23}, тобто щільність кварца дуже висока, це обумовлює взаємодію між молекулами [1, 2].

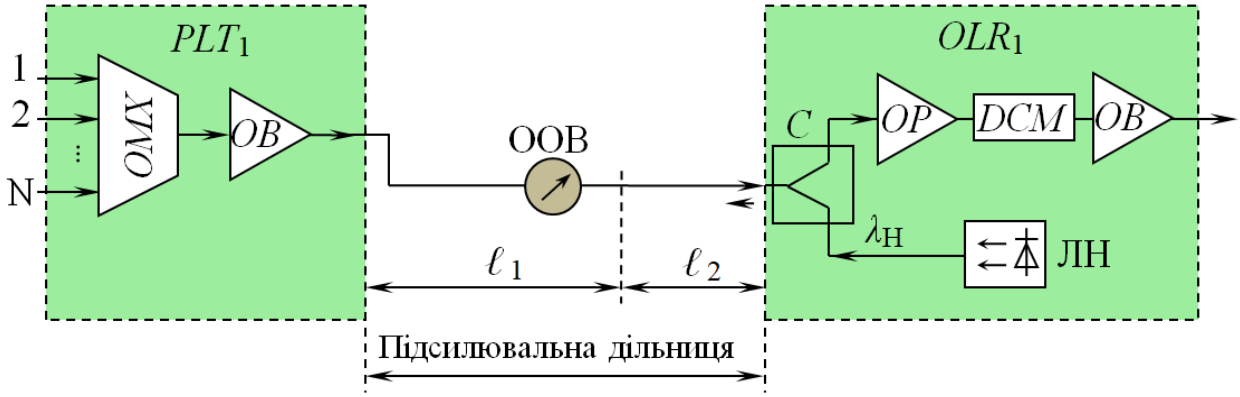


Рис. 1. Схема включення одного лазера накачки.

При аналізі значень оптичного випромінювання ЛН розглядався варіант включення накачки тільки зі сторони прийому оптичного сигналу, що можуть розташовуватися як на кінцевих станціях в *PLT (Photon Line Terminal* – фотонный линейный терминал*)*, або в проміжних пунктах *OLA* (*Optical Line Amplifier* – оптические линейные усилители).

Отримавши імпульс енергії від фотона накачки і збільшивши рівень коливальної енергії, мікрочастинка передає імпульс сусіднім молекулам, тим самим збуджуючи направлену гіперзвукову хвилю. Енергія цієї хвилі також квантована. Кванти цієї енергії називаються фононами. При деякому рівні потужності оптичного випромінювання накачки майже вся енергія переходить в енергію стоксового випромінювання. Цей процес отримав назву *SRS*-стимульованого Раманівського розсіювання, завдяки *SRS*-процесу в серцевині оптичного волокна створюється направлене підсилююче середовище.

Визначення граничних значень оптичного випромінювання ЛН здійснювалась за допомогою діаграми рівнів оптичної потужності мультиплексного сигналу. Аналіз такої діаграми на підсилювальної дільниці *PLP* надає три варіанта довжини ПД (рис. 2). Варіант 1 відповідає діаграмі рівнів оптичної потужності мультиплексного сигналу (пунктирна лінія) при його розповсюдженні по волокну деякої ділянки, що підсилюється, наприклад, ℓ_1, котрий не має *DRA*-підсилювача, тобто до волокна підсилювальної ділянки не підключені лазери Раманівської накачки. Варіант 2 відповідає другій по протяжності підсилювальній ділянці $\ell_{ПД} = \ell_1 + \ell_2$, до якої підключені лазери раманівської накачки з деяким сумарним значенням оптичної потужності накачки. Варіант 3 відповідає до третьої по протяжності підсилювальній ділянці $\ell_{ПД} = \ell_1 + \ell_3$. Це досягається підвищенням сумарної оптичної потужності випромінювання накачки на виході лазерів ЛН до значення $P_{Н3} > P_{Н2}$.

Коли потужність джерел накачування $P_Н$ перевищує деяке порогове

значення, в серцевині робочого ООВ виникає вимушене комбінаційне розсіювання, середовище з рівноважного перетворюється в інверсне, тобто підсилююче. Величина посилення такого середовища визначається співвідношенням кількості збуджених і незбуджених мікрочастинок, або Раманівським коефіцієнтом – g_R.

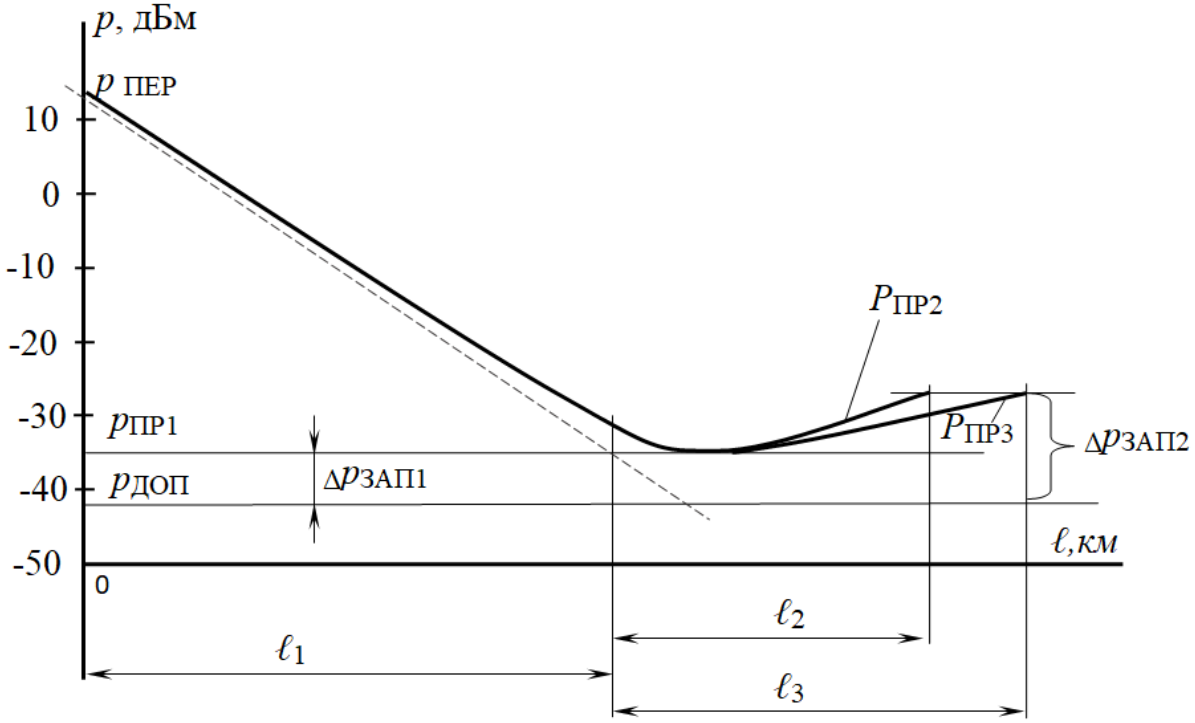


Рис. 2. Діаграма рівнів оптичної потужності мультиплексного сигналу на підсилювальної дільниці *PLP* з включенням РРП (суцільна лінія) та без РРП (пунктирна лінія).

Коефіцієнт передачі ООВ з Раманівським накачуванням, або коефіцієнт підсилення РРП G_R визначається як $G_R = \exp(g_R P_{\text{Н}} \ell_{\text{ПД}} / A_{\text{ЕФ}})$, де: $P_{\text{Н}}$ – потужність оптичного випромінювання накачування, Вт; $\ell_{\text{ПД}}$ – довжина ООВ ПД, км; $A_{\text{ЕФ}}$ – ефективна площа поперечного перерізу серцевини ООВ, мкм^2; g_R – Раманівський коефіцієнт, км/Вт [2, 4].

Отримані результати визначають діапазони змін потужності накачування РРП ЛН з метою збільшення протяжність підсилюючої ділянки *PLP*.

Література

1. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. Москва, Солон-Пресс, 2004, 272 с.
2. Хмелёв К.Ф. Основы фотонного транспорта. Київ, Техніка, 2008, 680 с.
3. Макаров Н.С. Оптические волоконные усилители информационных сигналов. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского университета информационных технологий, механики и оптики. Выпуск 6. Информационные, вычислительные и управляющие системы. СПб: СПбУИТМО (ТУ), 2002, с. 191…199.
4. Бердников О.М. Умови визначення потужності лазерів накачування раманівських розподільчих підсилювачів фотонних лінійних трактів. IX науково-практична конференція "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв’язку та автоматизації в АТО" 25 листопада 2016 року (Тези доповідей). − Київ : ВІТІ, 2016. – С. 64.

УДК 621.396.946

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ПЕРЕДАЧІ ADD/DROP ФІЛЬТРА (ADF) НА ОПТИЧНИХ МІКРОРЕЗОНАТОРАХ

Квітка А.С., Трубін О.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: invariant17@gmail.com

The study of the scattering coefficients of Add / Drop filter on optical microresonators

This publication is about an alternative and universal method for calculating the transmission coefficients of an Add / Drop filter based on an optical micro-resonator.

Розвиток інтегральної та волоконної оптики стимулював розробку широкої гамми малогабаритних оптичних приладів, невід'ємним елементом майже кожного з яких є мікрорезонатор. Високодобротні мікрорезонатори активно використовуються в діапазоні частот від 10^9 до 10^{15} для звуження і стабілізації лінії генерації лазерів, а також у якості фільтрів і дискримінаторів [1, 2]. У цій роботі показаний альтернативний спосіб розрахунку параметрів розсіювання add/drop фільтрів на оптичних мікрорезонаторах. Він дозволяє набагато легше отримати та оцінити необхідні параметри фільтра і є універсальним для будь-якого з видів мікрорезонаторів.

Розглянемо спрощену структуру фільтра з оптичним мікрорезонатором (на цьому етапі і впродовж усіх розрахунків форма резонатора не впливатиме на результат).

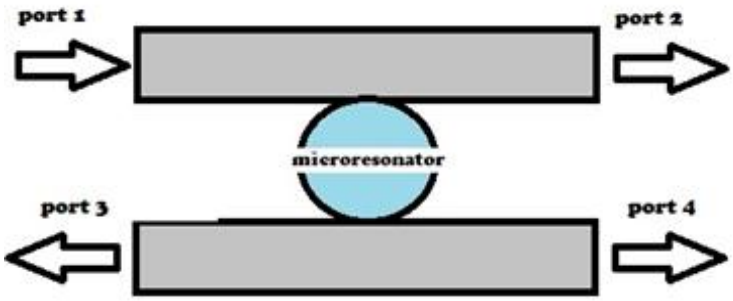


Рис. 1. Спрощена структура ADF на оптичних мікрорезонаторах.

З рис. 1 бачимо, що структура AD має чотири порти; порти 1 і 2 є вхідними і вихідними терміналами, в той час як порти 3 і 4 є прямими і зворотними терміналами, відповідно. Результат розрахунків має вигляд:

$$T_{11} = \frac{Q}{Q_1} k_{12o} - \frac{Q}{Q_2} k_{12e} \tag{1}$$

$$T_{12} = 1 - \frac{Q}{Q_1} k_{12o} - \frac{Q}{Q_2} k_{12e} \tag{2}$$

$$T_{13} = -\frac{Q}{Q_1} \sqrt{k_{12o} \cdot k_{34o}} - \frac{Q}{Q_2} \sqrt{k_{12e} \cdot k_{34e}} \tag{3}$$

$$T_{14} = \frac{Q}{Q_1} \sqrt{k_{12o} \cdot k_{34o}} - \frac{Q}{Q_2} \sqrt{k_{12e} \cdot k_{34e}} \tag{4}$$

$$Q_1 = \frac{\omega}{\omega_0} + 2iQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1 - \frac{\lambda k1}{2} \right) \tag{5}$$

$$Q_2 = \frac{\omega}{\omega_0} + 2iQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1 - \frac{\lambda k2}{2} \right) \tag{6}$$

$$\lambda k2 = i(k_{12e} + k_{34e} + k_{os}) \tag{7}$$

$$\lambda k1 = i(k_{12o} + k_{34o} + k_{os}) \tag{8}$$

де $Q = 10^6$- добротність діелектрика; k_{34n} та k_{12n} - коефіцієнти зв’язку мікрорезонатора з лінією передачі 12 і 34 (відповідно) для парних і непарних коливань; k_{os} - коефіцієнт зв’язку з середовищем;

В результаті розрахунків отримаємо залежності параметрів розсіювання від частоти. Для того щоб перевірити вірність, запропонованого у дослідженні, підходу до розрахунку порівняємо його із знайденими вже розрахованими залежностями із [1]. Для цього підберемо максимально схожі коефіцієнти зв’язку.

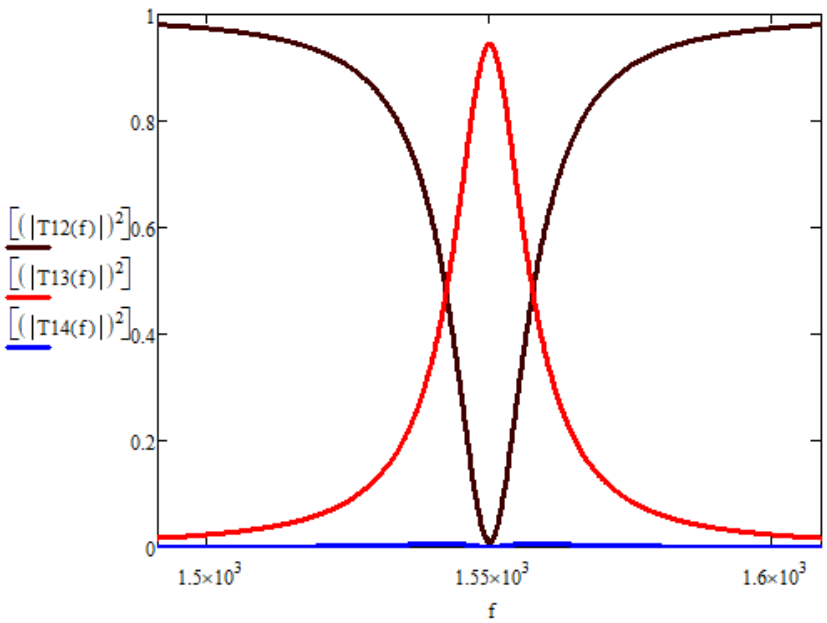


Рис. 2. Графіки залежностей коефіцієнтів передачі
отримані після підбору коефіцієнтів зв'язку.

$(k_{12e=}35 \cdot 10^{-4}\,;\, k_{12o} = 60 \cdot 10^{-4}\,;\, k_{34o} = 57 \cdot 10^{-4};\, k_{34e} = 50 \cdot 10^{-4};\;\; k_{os} = 0{,}0002\,)$

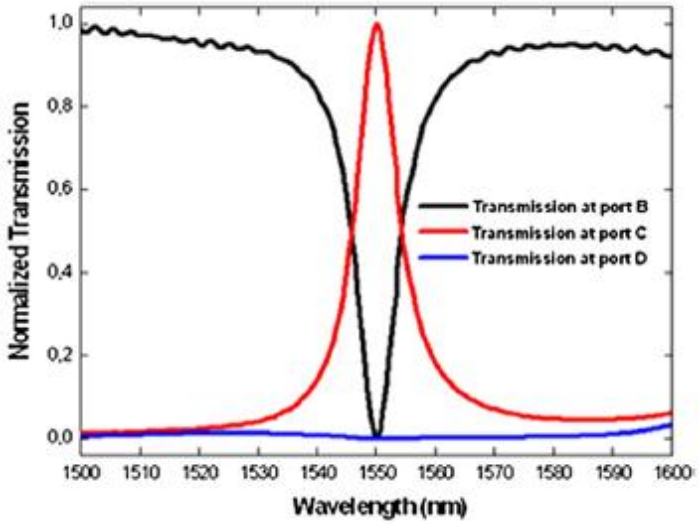


Рис. 3. Графіки залежностей коефіцієнтів передачі, які були обранні для перевірки [1].

Порівнявши їх, можна побачити, що характери зміни параметрів розсіювання є аналогічним. Тому запропонована модель розрахунку є коректною.

Література

1. "Photonic crystal ring resonator-based add drop filters: a review" Savarimuthu Robinson Rangaswamy Nakkeeran // Optical Engineering 52(6), 060901 (June 2013), pp. 060901-1 - 060901-11.
2. *Городецкий М.*Л. Основы теории оптических микрорезонаторов. Москва //Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. — 204 с.
3. *Ильченко М.Е.* Электродинамика диэлектрических резонаторов / М.Е. Ильченко, А.А. Трубин. - К.: Наук. думка, 2004. — 264 с.

УДК 621.391.3

РЕЗОНАНС ФАНО В МИКРОВОЛНОВЫХ ФИЛЬТРАХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Живков А.П., Романов А.И., Камарали Р.В., Сайченко И.О., Лутчак А.В.
Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского
E-mail: zhivkovalex@gmail.com, theromarioagro@gmail.com

Fano resonance in microwave filters with parallel channels of energy transmission

The report discusses the characteristics of bandpass and bandstop filters with parallel energy transmission channels. The characteristics of individual energy transmission channels and total characteristics with parameters corresponding to Fano resonance are presented.

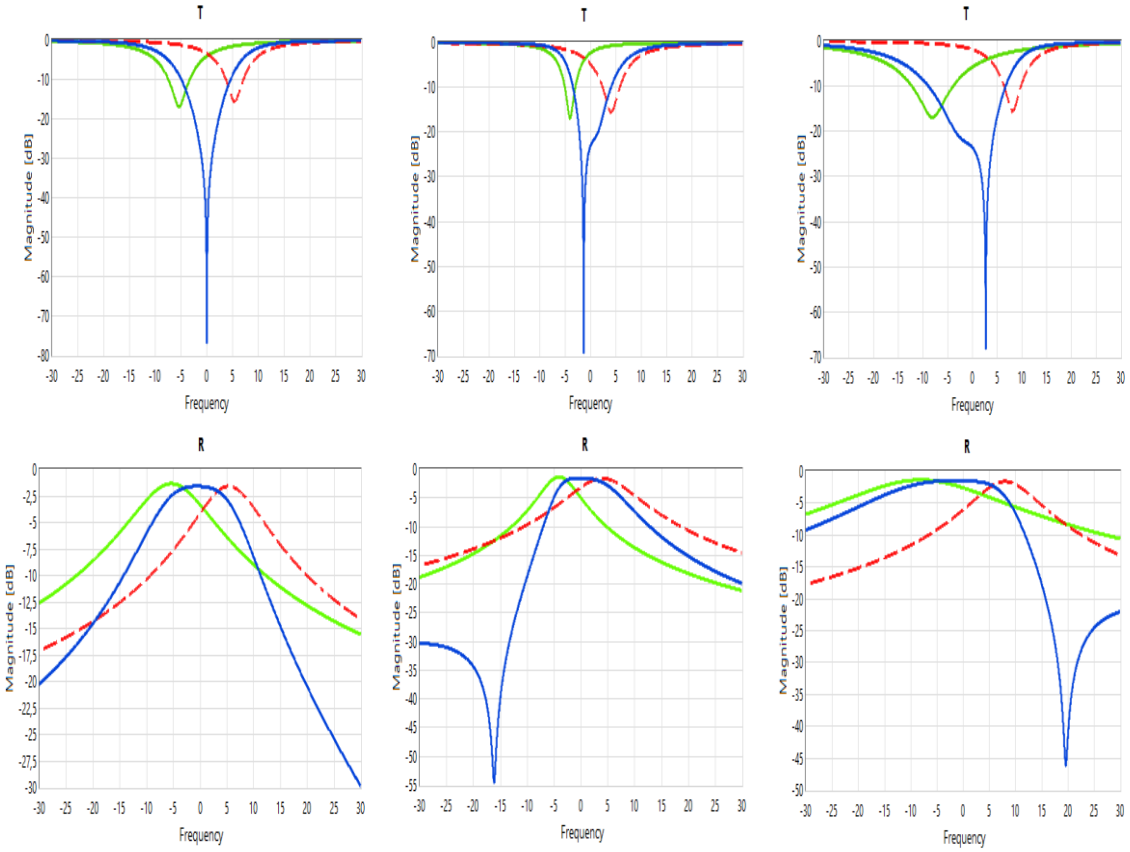
В докладе рассмотрены характеристики полосовых и режекторных фильтров с параллельными каналами передачи энергии. Представлены характеристики отдельных каналов передачи энергии и суммарные характеристики с параметрами, соответствующими резонансу Фано.

Резонанс Фано и его основные свойства и характеристики в соответствии с можно классифицировать следующим образом [1]:

- Асимметрия резонансной кривой;
- Несколько независимых каналов передачи энергии;
- «Ноль» передачи (бесконечное затухание) в точке «резонанса Фано»;
- Резонансная частота «резонанса Фано» расположена между резонансными частотами двух других колебаний;
- Разные добротности резонаторов.

Исследование амплитудно-частотных характеристик двухрехонаторных микрополосковых фильтров с параллельными каналами передачи энергии [2] позволило выявить проявление этих свойств резонанса Фано при формировании амлитудно-частотных характеристик (АЧХ) режекторных фильтров и полюсов затухания полосовых фильтров. Рассмотрим представленные на рис. 1 характеристики подобных фильтров с учетом того, что в подобных структурах коэффициенты передачи и отражения ПФ и РФ дуальны [2]. На рис 1. представлены рассчитанные по формулам из [2], дополненным параметром «в» (соотношение между добротностями парциальных колебаний) АЧХ полосовых и режекторных фильтров. Зеленым цветом представлены парциальные АЧХ «противофазных» резонаторов, красным пунктирным – «синфазных» резонаторов, синим – суммарные АЧХ фильтра в целом. Расстройки между «парциальными» резонансами выбраны таким образом, чтобы сформировать АЧХ типа «резонанса Фано» - «ноль» передачи (бесконечное затухание) в точке резонанса.

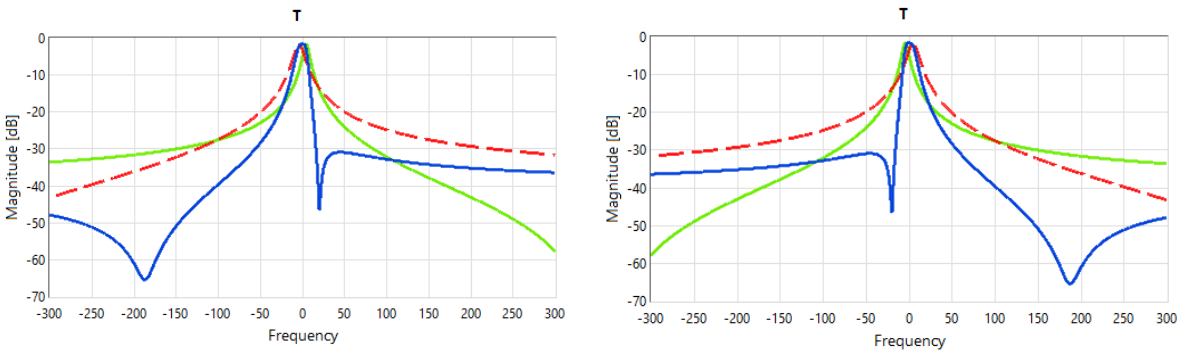
Строго говоря, резонанс Фано определяется для режекторных микроволновых фильтров (верхний ряд характеристик рис. 1). Однако и в полосовых микроволновых фильтрах он проявляется в виде полюсов затухания за пределами полосы пропускания (нижний ряд характеристик рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Коэффициенты передачи и отражения двухрезонаторных микроволновых фильтров при разных соотношениях добротностей резонаторов. Рис а) в=1, б) в=2, в) в= 0,5.

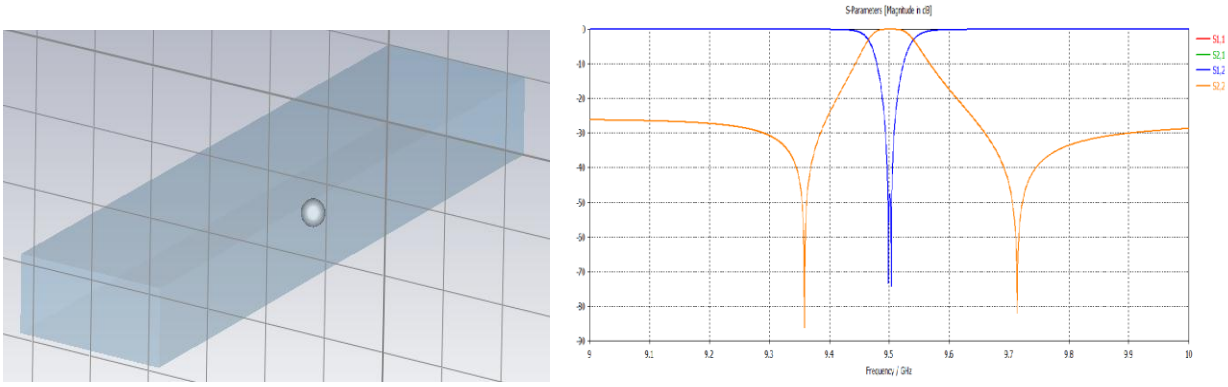
То, что в реальных полосовых фильтрах затухания в области полюсов не равны бесконечности (рис. 2) объясняется наличием третьего, нерезонансного канала передачи энергии [2]. При этом более «острые» полюса связаны с резонансом Фано», а менее острые – с влиянием нерезонансных каналов прохождения энергии и их типом реактивности («индуктивный» или «емкостной»). В зависимости от типа рективности нерезонансного канала и сооношения добротностей «синфазного» и «противофазного» колебаний разного рода полюса могут формироватися на низкочастотном и высокочастотном склонах АЧХ фильтра для оптимального выполнения требований технического задания.



а) б)

Рис. 2. «Парциальные» (зеленая и красная пунктирные линии) и суммарная АЧХ ПФ при различных значениях внеполосной развязки и соотношениях добротностей резонаторов.

В [3] отмечено, что диэлектрический резонатор (ДР) в виде куба или сферы в области круговой поляризации волновода (Рис. 3 а)) имеет АЧХ в виде двугорбой кривой (синяя кривая). Интересно отметить наличие двух “полюсов” на АЧХ коэффициента отрвaжения (красная кривая). «Высокочастотный» полюс связан с резонансом Фано, а «низкочастотный» - с нерезонансной диэлектрической неоднородностью в волноводе



а) б)

Рис. 3. а) – сферический ДР в области круговой поляризации,
б) коэффициенты передачи (синяя кривая) и отражения (красная кривая) фильтра.

References

1. E. Kamenetskii, A. Sadreev, A. Miroshnichenko. Fano Resonances in Optics and Microwaves. Springer, 2018.
2. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, “Microwave Filter based on the Structures with Resonators in parallel Channels as metamaterial Cells”, Naukovi Visti NTUU “KPI”, vol. 122, no. 6, pp. 7—21, 2018
3. Ilchenko, M.E., Zhivkov, A.P., Orlov, A.T. (2016). Filters based on resonators with frequency-like modes as metamaterial cells. Naukovi Visti NTUU “KPI” (1), 7— 14.

UDC 621.396.946

EIGENOSCILLATIONS LATTICES OF DIFFERENT DIELECTRIC MICRORESONATORS

Trubin A. A.
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
E-mail: atrubin@ukrpost.net

Власні коливання різних діелектричних резонаторів

Досліджуються особливості розподілу амплітуд та частот власних коливань в системах зв'язаних між собою, відмінних за розмірами та діелектричної проникністю діелектричних мікрорезонаторів. Запропоновані нові структури мікрорезонаторів та види їх зв'язаних коливань. Вперше встановлено наявність квазі незалежних коливань між підсистемами різних резонаторів.

Dielectric microresonator gratings can be used in a variety of passive infrared and visible wavelength communication devices. [1 - 4, 7]. At that various microresonators can significantly improve parameters of the devices. In this report, we study the natural oscillations of the gratings constructed on different types of microresonators with basic modes.

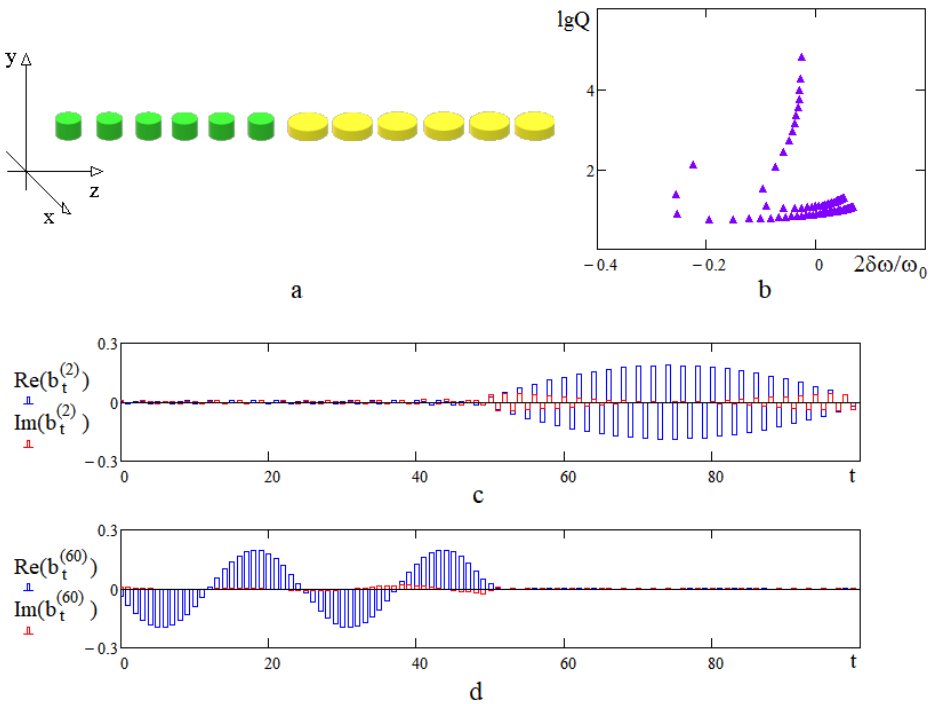


Fig. 1. One-dimensional lattice of different cylindrical microresonators with azimuthally symmetric magnetic modes H_{101} (a). Q-factors as functions of resonance frequencies (b) of the lattice (a) of 100 microresonators: ($\varepsilon_{1r} = 25$; $\varepsilon_{2r} = 16$; $\Delta_1 = 0,8$; $\Delta_2 = 0,3$). The real part of some amplitudes of the partial microresonators, localized in the sublattices regions.

Using the relations obtained earlier for the coupling coefficients [5, 6], we constructed the electrodynamic models [7] of the lattices, for example, shown in Fig. 1 - 4, a.

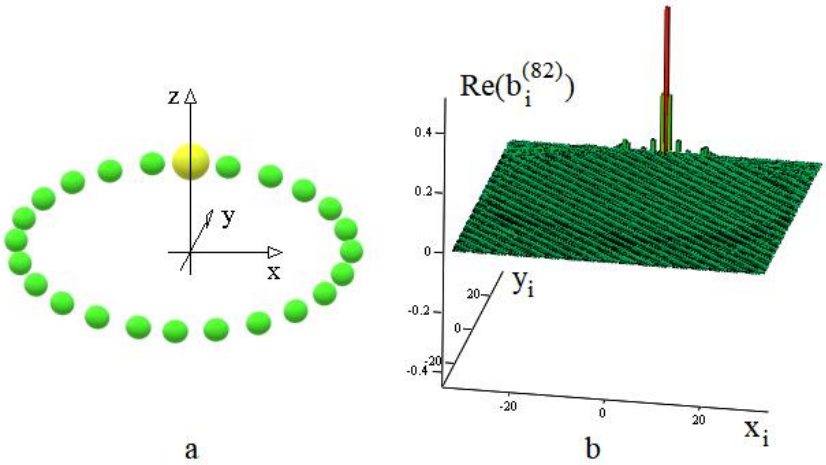


Fig. 2. Ring structure of 100 different spherical microresonators with magnetic modes H_{101} (a). ($\varepsilon_{1r} = 25;\ \varepsilon_{2r} = 16$). The real part of amplitudes of the partial microresonators, localized in the region of second microresonator (b).

It`s proposed that all microresonators are exited on azimuthally symmetric magnetic modes H_{101}. The relative dielectric permittivity of the resonators are $\varepsilon_{1r} = 25;\ \varepsilon_{2r} = 16$. The relative sizes of cylindrical microresonators are equal $\Delta_1 = L_1 / 2r_1 = 0,8$; $\Delta_2 = L_2 / 2r_2 = 0,3$, where L_s - is the height, r_s - is the radius of the microresonator ($s = 1,2$).

Despite the fact that all isolated microresonators have the same frequency of the lower mode, they can form quasi-independent substructures in the lattices, the characteristic frequencies of which are grouped in different ways, which is noticeable on the Q-plane-relative detuning shown in fig. 1, 3, 4, b (here $\delta\omega = \omega - \omega_0$; ω - is the frequency of the coupled eigenoscillation of the microresonator system).

The indicated properties of natural oscillations of the lattices consisting of different type microresonators should be considered when designing various devices based on them. In particular, gratings with different microresonators can be used to more effectively concentrate the field in a given spatial region (fig.1, 3, 5, c, d; fig. 2, b; fig. 4, c-e). Where $b_s^{(t)}$ - is the complex amplitude of the field of the s-th microresonator in the lattice with t-th coupled oscillation [5]; (x_i, y_i) - is the coordinate of the i-th microresonator center.

It was found that eigenoscillations are possible in one and two-dimensional structures, whose amplitudes are noticeably different for microresonators of various types (Fig. 1, 3, c-d; fig. 2, b; fig.4, c-e).

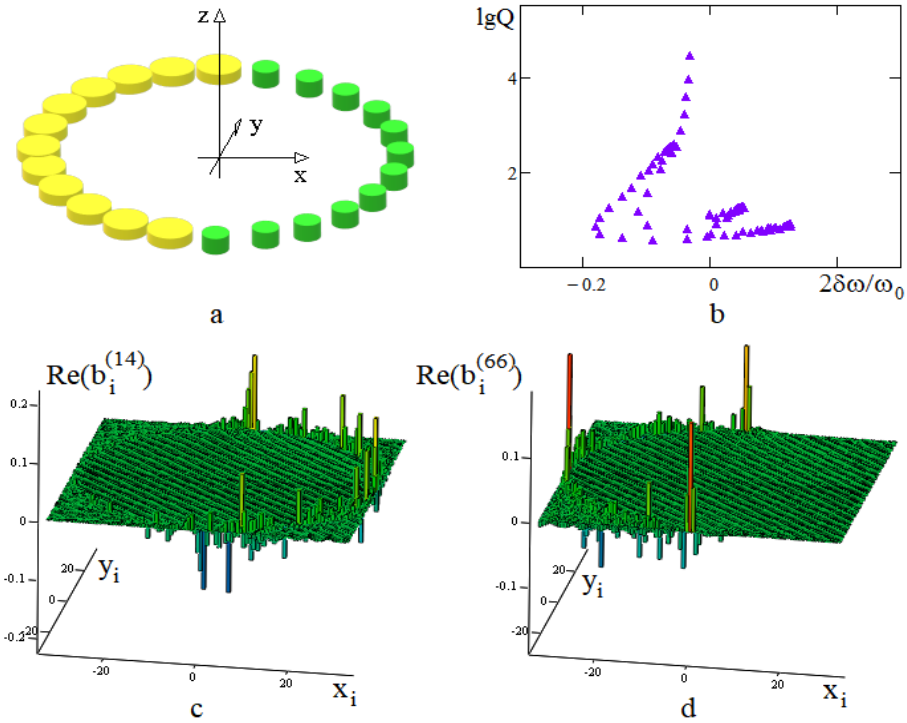


Fig. 3. Ring structure of 100 different cylindrical microresonators (a). Q-factors as functions of resonance frequencies of 100 microresonators (b). Some amplitudes of the partial microresonators, localized in the sublettices regions (c, d).

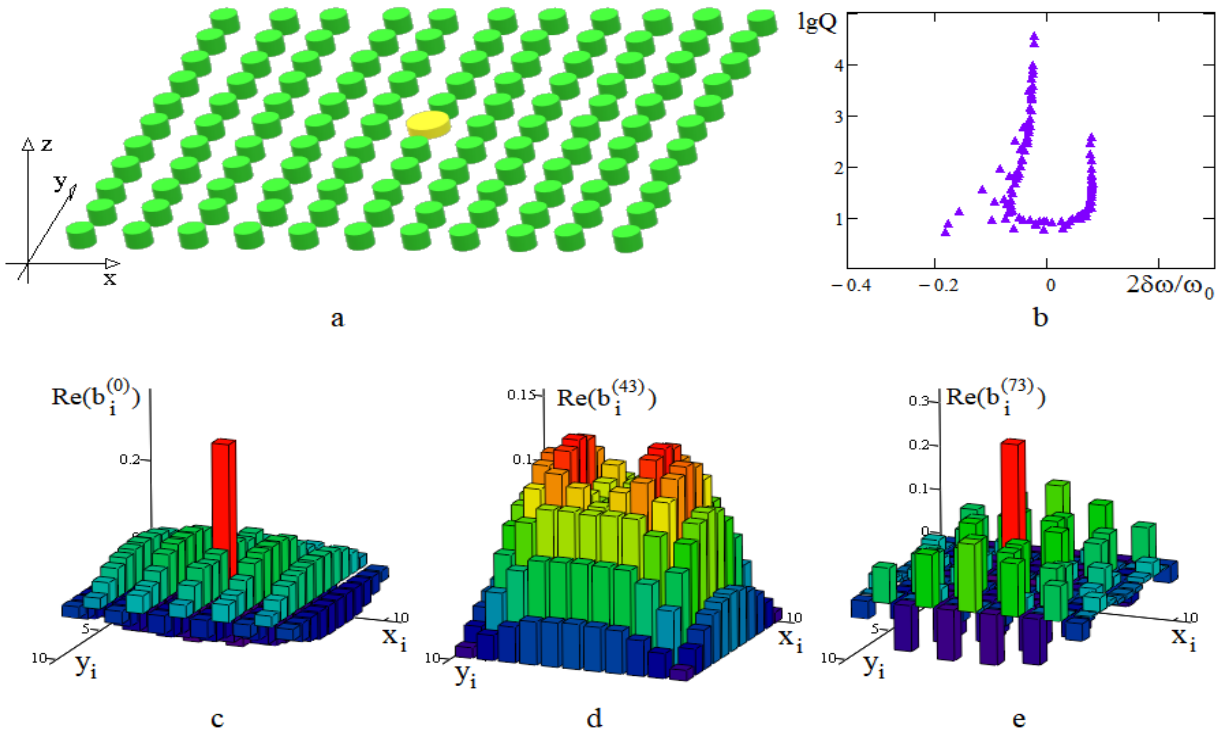


Fig. 4. The square lattice of 121 microresonators (a). Q-factors as functions of resonance frequencies of the microresonators (b). Some amplitudes of the partial microresonators (c, d, e).

$b_s^{(t)}$ - is the complex amplitude of the field of the s-th microresonator;

(x_i, y_i) - is the coordinate of the i-th microresonator center.

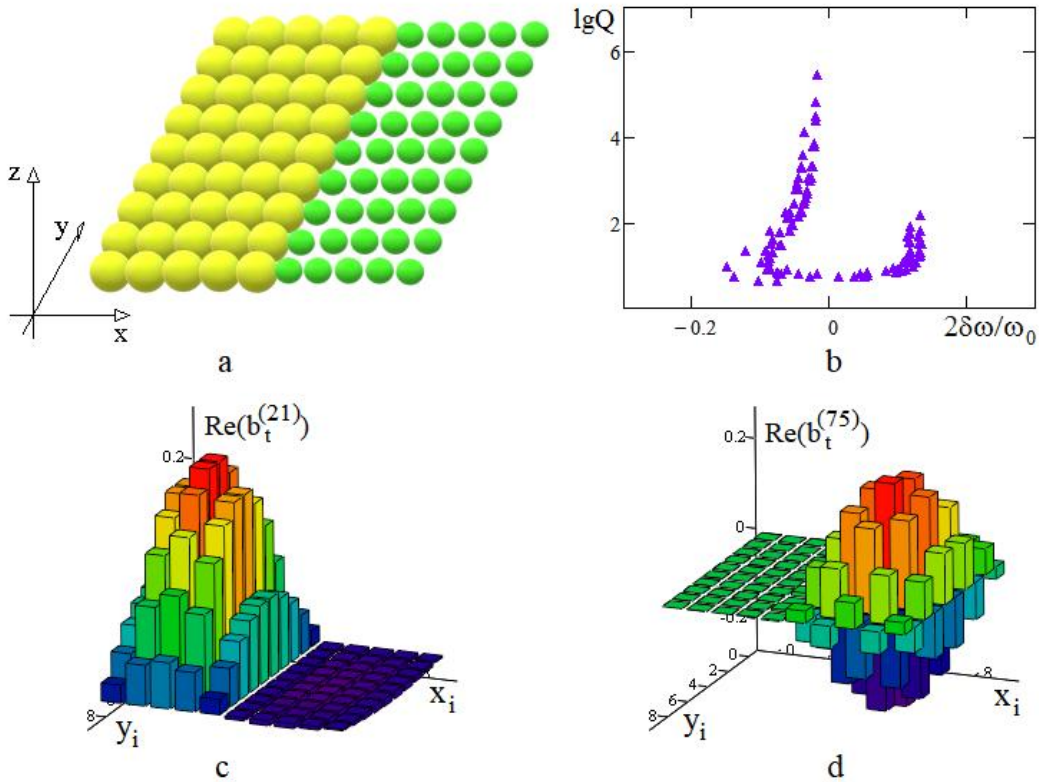


Fig. 5. The square lattice of 100 spherical microresonators (a). Q-factors as functions of resonance frequencies of the microresonators (b). Some amplitudes of the microresonators, localized in the region of different ones (c, d, e).

The conducted studies demonstrate new properties of lattices made on the basis of different microresonators. Possible distributions of the amplitudes of the field of coupled oscillations in such lattices should be taken into account when designing optical and quantum communication devices, as well as optical filters, antennas, sensors, etc.

References

1. G. Chen, A. Taflove, V. Backman, Highly efficient optical coupling and transport phenomena in chains of dielectric microspheres. Optics Letters, 2006, vol. 31, N. 3, pp. 389 - 391.
2. J. Gopalakrishnan, S. Moskow, F. Santosa, Asymptotic and numerical techniques for resonances of thin photonic structures. SIAM Journal on Applied Mathematics. January 2008, pp. 1-27.
3. L.Y.M. Tobing, P. Dumon, R. Baets, M.-K. Chin, Demonstration of defect modes in coupled microresonator arrays fabricated in silicon-on-insulator technology. Optics Letters, 2008, vol. 33, No. 17, pp. 1939 - 1941.
4. L.Y.M. Tobing, L. Tjahjana, D.H. Zhang, Characteristics of defect modes in side-coupled and mutually coupled microresonators arrays. J. Opt. Soc. Am. B, 2012, vol. 29, No. 4, pp. 738 - 747.
5. A.A. Trubin, Coupling coefficients of different Spherical Dielectric Microresonators, 12th International Scientific and Technical Conference “Modern Challenges in Telecommunications” (MCT-2018), Kyiv 2018, pp. 426 -428.
6. A.A. Trubin, Coupling coefficients of different cylindrical dielectric resonators in the open space. Bull. of NTUU "KPI" ser. Radiotechnique, Radioaparatus Building, 2016. N. 66, pp. 37-45.
7. A.A. Trubin Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland. Series in Advanced Microelectronics, – 2016, – vol. 53, 159 p.

UDC 621.396.946

INTEGRATED ANTENNAS-FILTERS ON DIELECTRIC RESONATORS

Trubin A. A.
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
E-mail: atrubin@ukrpost.net

Інтегровані антенни-фільтри на діелектричних резонаторах

Досліджуються характеристики розсіювання нового класу пристроїв, одночасно виконуючих функції смугових фільтрів та антен, побудованих на діелектричних резонаторах циліндричної форми.

Currently, most of the developed antennas on dielectric resonators have a number of flaws, such as narrow frequency bands, the presence of parasitic oscillations, etc. [1-3]. The actual task in this area is to find new structures that will get rid of these shortcomings.

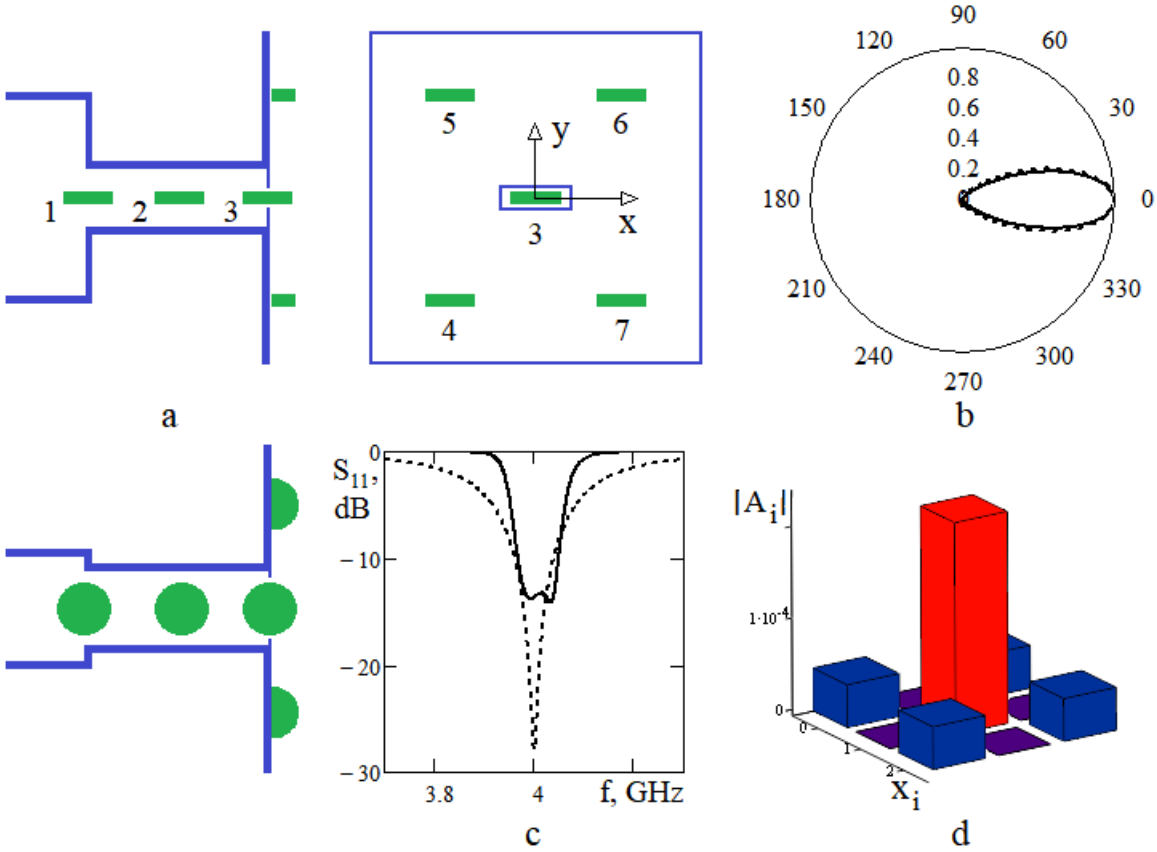


Fig. 1. Band-pass filter (1-3) and antenna (3-7) on cylindrical DRs with azimuthally symmetric magnetic modes H^{+}_{101} (a) ($\varepsilon_{1r} = 36;\ Q^{D} = 2\cdot 10^{3};\ \Delta = 0,25$). Far-field radiation pattern in the E-plane - continuous curve; in the H-plane - dotted curve (b). Reflection coefficient as a functions of the frequency (c). Module amplitude distribution of the DR 3-7 field (d).

The purpose of this report is to develop a new class of devices that combine the properties of antennas and band-pass filters made on dielectric resonators, allowing to expand the frequency bands, reduce losses, and also effectively combat parasitic oscillations.

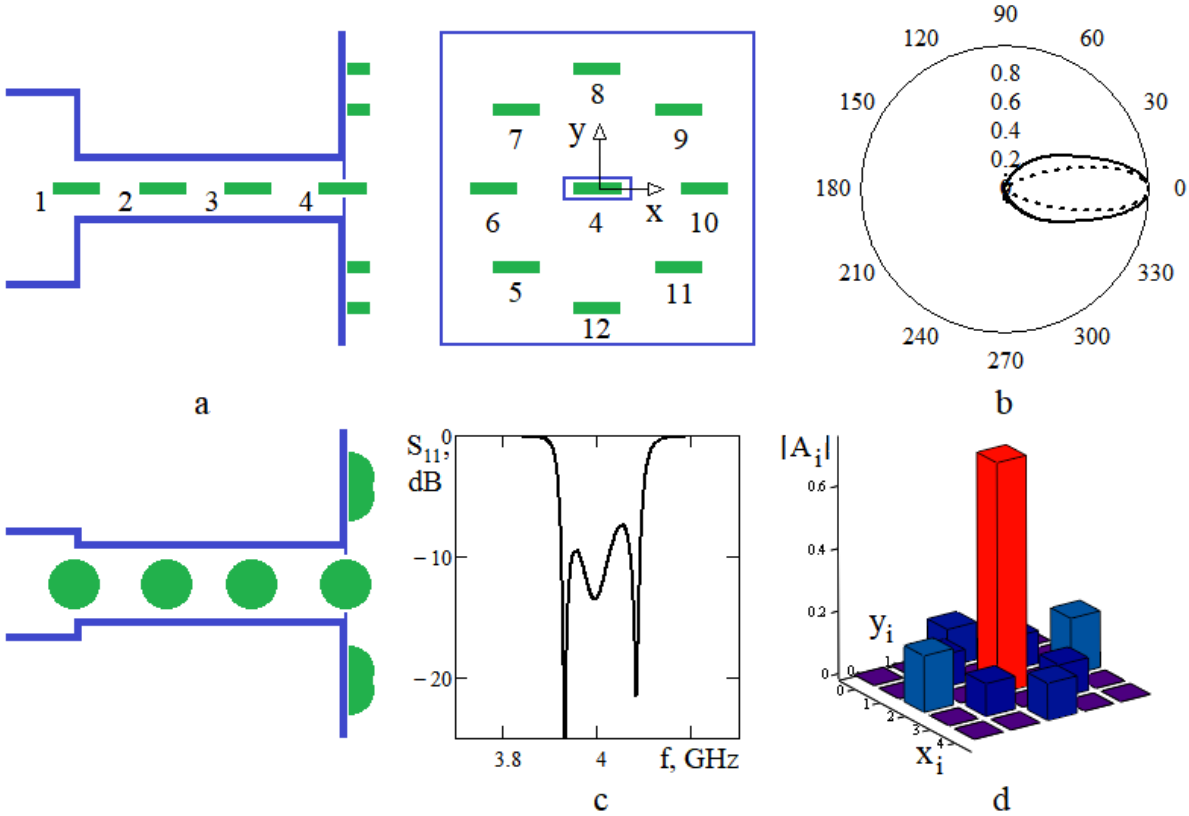


Fig. 2. Band-pass filter (1-4) and antenna (4-12) on cylindrical DRs with azimuthally symmetric magnetic modes H^{+}_{101} (a). Far-field radiation pattern in the E-plane - continuous curve; in the H-plane - dotted curve (b). Reflection coefficient as functions of the frequency (c). Module amplitude distribution of the 4-12 DR field (d).

The solution to this problem can be a structure consisting of coupled DRs, located at the same time in the beyond the cut-off waveguide and open space. In fig. 1 - 3, a shows the design of devices that simultaneously combine the capabilities of filters and antennas. Part of the resonators is located in the cut-off waveguide (fig. 1, DR 1-3; fig.2, DR 1-4, fig. 3, DR 1-3) and another part of resonators is located in the open space (fig. 1, DR 3-7; fig.2, DR 4-12; fig.3, DR 3-7). First subsystems performs the functions bandpass filter and second functions antenna. Both subsystems have at least one common DR (fig. 1, 3, DR 3; fig. 2, DR 4) are coupled together and were calculated as one complex system.

The radiation characteristics of the devices, calculated on basis of model [4], are shown in Fig. 1-3, b. The dependences of the reflection coefficient at the input of devices are in Fig. 1-3, c show a good responsiveness of the systems for the expansion of the frequency band. The distribution of the amplitude modules of the resonators in open space is shown in Fig.1-3, d.

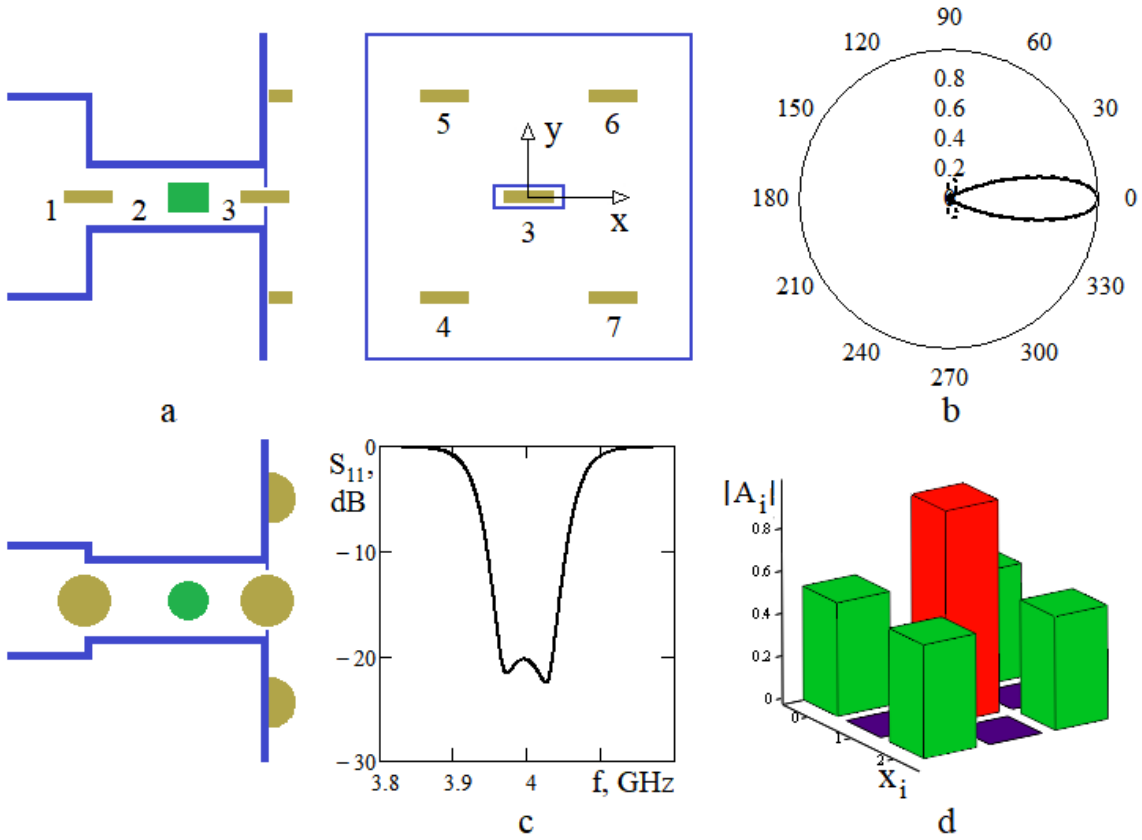


Fig. 3. Bandpass filter - antenna on different cylindrical DRs ($\varepsilon_{1r} = 36$; $\Delta_1 = 0,2$; $Q_1^D = 3 \cdot 10^3$; $\varepsilon_{2r} = 82$; $\Delta_2 = 0,5$; $Q_2^D = 1 \cdot 10^3$). Far-field radiation pattern (b). Reflection coefficient as a functions of the frequency (c). Module amplitude distribution of the 3-7 DR field (d).

As follows from the above data, the proposed design allows us effectively extend the operating frequency bands of the antennas, significantly improve their selectivity and allow to reduce losses and total dimensions. The antenna shown in fig. 3, in addition, will can also have a more sparse frequency spectrum of spurious oscillations. The compact dimensions of the proposed antenna filters make them convenient for use in base stations of wireless communication systems as well as other microwave devices.

References

1. A. Petosa, A. Ittipiboon. Dielectric Resonator Antennas: A Historical Review and the Current State of the Art. IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 52, No.5, October 2010. PP. 91-116.
2. N. Michishita, A. Lai, T. Ueda, T. Itoh. Tunable Dielectric Resonator-Based Left-Handed Leaky Wave Antenna. IEEE Trans. on MTT, Vol. 56, No. 10, 2008. PP. 2259-2269.
3. Trubin A.A. Microwave antenna based on a linear array of coupled dielectric resonators in a waveguide. Bull. of NTUU "KPI" ser. Radiotechnique, Radioaparatus Building. 2009. Iss. 38, PP. 78-83.
4. Trubin A.A. Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland. Series in Advanced Microelectronics, – 2016, – vol. 53, 159 p.

УДК 621.396.98

ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СИГНАЛА ОДНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Шарко В.П., Цулая А.В.
НЦ «Альмадавир», ул. Деловая 5а, Киев 03150, Украина
Email: vadim.vegov@almadavir.com

Precise Estimation of Mobile Ground Station Coordinates from a Single Satellite Signal

Spatial wave front estimation of signals emitted by global navigation satellite systems (GNSS) may provide accurate geo – positioning even when only one or two satellites are located in the receiver's field of view. The paper studies the maximum achievable precision of the coordinate estimation by a navigation receiver based on statistical methods used in radiolocation.

Использование характеристик пространственно-временного сигнала (ПВС) космического аппарата (КА) спутниковой навигационной системы (СНС) может расширить функциональные возможности аппаратуры потребителя (АП). Оценки параметров фазового фронта (ФФ) ПВС могут быть источником дополнительных данных для, например, определения координат, скорости и времени АП по 1-му или 2-м КА, решения навигационной задачи в условиях активных преднамеренных помех, определения ориентации АП, исследования атмосферных явлений фазовыми системами с большой базой, и, вероятно, других задач [1, 2].

В основе идеи определения координат АП с оцениванием параметров ПВС 1-го или 2-х КА лежат следующие рассуждения. Пусть в евклидовом пространстве E^3 определены глобальная система координат (ГСК) с началом О в центре Земли, ортонормированным базисом $\left(\mathbf{e}_X, \mathbf{e}_Y, \mathbf{e}_Z\right)$, и локальная система координат (ЛСК) с началом в произвольной точке А и ортонормированным базисом $\left(\mathbf{e}_X^a, \mathbf{e}_Y^a, \mathbf{e}_Z^a\right)$, заданным так, что

$$\mathbf{e}_X^a = \mathbf{M}\mathbf{e}_X,\ \mathbf{e}_Y^a = \mathbf{M}\mathbf{e}_Y,\ \mathbf{e}_Z^a = \mathbf{M}\mathbf{e}_Z,$$

где $\mathbf{M}$ - матрица поворота базиса ЛСК относительно ГСК. Пусть также в этом пространстве радиус-вектор $\mathbf{R}_1$ характеризует местоположение КА в ГСК, радиус-вектор $\mathbf{R}_a$ характеризует местоположение АП в ГСК, и радиус-вектор $\mathbf{R}_1^a$ характеризует местоположение КА в ЛСК. Тогда, учитывая свойства произвольного евклидового пространства, можно записать, что

$$\mathbf{R}_a = \left(X_1 - X_1^a\mathbf{M}\right)\mathbf{e}_X + \left(Y_1 - Y_1^a\mathbf{M}\right)\mathbf{e}_Y + \left(Z_1 - Z_1^a\mathbf{M}\right)\mathbf{e}_Z. \qquad (1)$$

Значения X_1, Y_1, Z_1 считаются известными, так как эти данные извлекаются АП из навигационного сообщения, передаваемого КА [2].

Полагая, что ориентация АП, задаваемая матрицей $\mathbf{M}$, однозначно определена, из выражения (1) следует теоретическая возможность вычисления координат АП X_a, Y_a, Z_a при условии, что координаты X_1^a, Y_1^a, Z_1^a известны. Задача определения координат КА в ЛСК может быть решена с использованием измерителя параметров ПВС КА, а точность определения координат АП будет определяться точностью оценки координат КА в ЛСК. Рассмотрим подробней.

Пусть $\mathbf{x}(\mathbf{R})$ - вектор, описывающий аддитивную смесь ПВС КА, принимаемого АП, и помехи, порождённой внутренними и внешними шумами, $\mathbf{R} = \left(X_1^a, Y_1^a, Z_1^a\right) \equiv (X, Y, Z)$ - вектор неизвестных координат КА в ЛСК, являющийся непрерывной случайной величиной (СВ) с известной плотностью распределения $p(\mathbf{R})$. Пусть $\hat{\mathbf{R}}$ - оценка неизвестного параметра $\mathbf{R}$. В статистическом смысле $\hat{\mathbf{R}}$ является СВ, и оптимальный измеритель обеспечивает наилучшее качество оценки по выбранному критерию. В теории радиолокации часто используют критерий минимального среднего риска [3], на основе которого с использованием теоремы Байеса при условии регулярности модели можно получить матрицу точности при известной функции правдоподобия (ФП) $p(\mathbf{x}/\mathbf{R})$

$$\mathbf{C}_E \equiv \mathbf{C}^{-1} = \left\| -\frac{d^2}{dR_i dR_k} \ln p\left(\mathbf{x}/\mathbf{R}_{\max}\right) \right\|^{-1}, i,k = 1,2,3, \qquad (2)$$

диагональные элементы которой определяют дисперсии оценок векторного параметра $\mathbf{R}$, то есть координат X_1^a, Y_1^a, Z_1^a, а $\mathbf{R}_{\max}$ соответствует максимуму ФП. Полученная оценка совпадает с наилучшей среди несмещённых оценок, определяемой теоремой Рао – Крамера [4]. Полагая, что единичный составляющий импульс фазоманипулированного сигнала, эквивалентного спецификации “PRN” системы GPS, в одном антенном элементе (АЭ) плоской антенной решётки (АР) на фоне некоррелированного стандартного нормального шума при условии одинаковых АЭ и начальной фазе, равной 0, можно описать функцией

$$x_i(t) = s_i(t, X, Y) + n_i(t) = uu_0(t)\cos\left(k\frac{X}{R}r_{i-1_X} + k\frac{Y}{R}r_{i-1_Y} - wt\right) + n_i(t), \qquad (3)$$

где u - амплитуда колебания в АЭ, $u_0(t)$ - функция, описывающая одиночный видеоимпульс длительностью t_d, k - модуль волнового вектора, r_{i_X}, r_{i_Y}: координаты i-го АЭ, w – циклическая частота, и получив логарифмическую ФП в скалярном виде

$$\ln p(\mathbf{x}/\mathbf{R}) \approx C + \frac{1}{2}q^2 \sum_{i=1}^{N} \cos\left(k\frac{r_{i-1_X}}{R}(X_1 - X) + k\frac{r_{i-1_Y}}{R}(Y_1 - Y)\right), \qquad (4)$$

где q^2 - отношение сигнал/шум (ОСШ) в одном АЭ, диагональные

элементы матрицы точности (2) будут равны:

$$\sigma_X^2 = \frac{2R^2}{q^2k^2}\frac{\sum_{i=1}^{N} r_{i-1_Y}^2}{A},\ \sigma_Y^2 = \frac{2R^2}{q^2k^2}\frac{\sum_{i=1}^{N} r_{i-1_X}^2}{A}, \tag{5}$$

где

$$A \equiv \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} r_{i-1_X}^2 r_{i-1_Y}^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} r_{i-1_X} r_{i-1_Y}\right)^2.$$

На рис. 1 представлены результаты расчётов среднеквадратических отклонений (СКО) оценок по выражениям (5) для двух различных конфигураций АР, N - число АЭ, $\mathrm{D}_r = r_i - r_{i-1} = const$, в зависимости от ОСШ, и результаты, полученные при статистическом моделировании. Из рис. 1 следует, что экспериментальные данные хорошо согласуются с аналитическими выражениями.

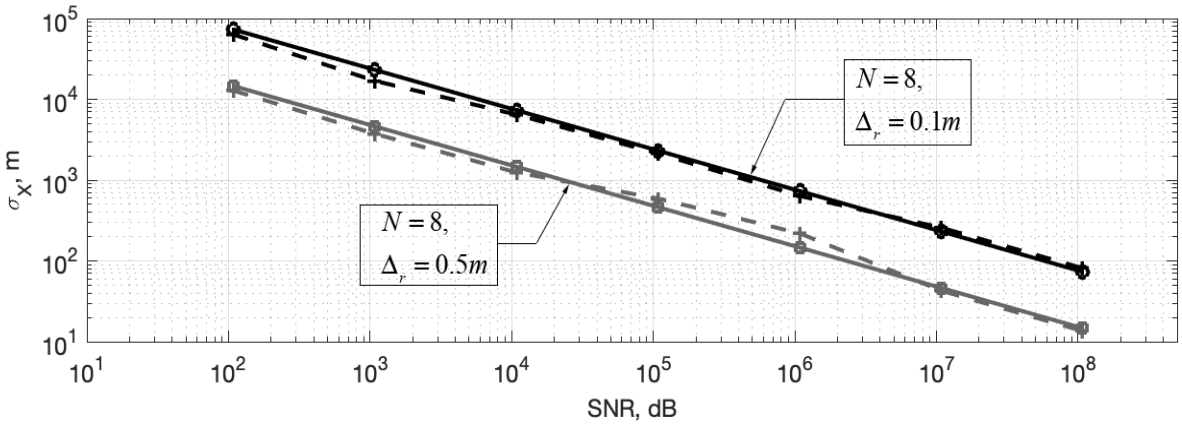


Рис. 1. Зависимости точности оценок от ОСШ и конфигурации АР

По результатам анализа и моделирования можно сделать вывод о том, что для достижения приемлемой СКО оценок в АР размером от метра до нескольких метров необходимо обеспечивать достаточно большое ОСШ до 70 ... 80 дБ. На практике это может оказаться трудно решаемой задачей, что требует поиска новых методов и алгоритмов оценок параметров. Одним из таких подходов может оказаться следящий режим, в котором используется доопытное распределение $p(\mathbf{R})$. К примеру, можно показать, что при неподвижном КА оценка при условии использования данных точно такого же измерения из предыдущего цикла уменьшает дисперсию в два раза.

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. Соловьёв Ю. А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 267 с.
3. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
4. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Введение в математическую статистику: Учебник. – М.: Издательство ЛКИ, 2010, - 600 с.

УДК 621.395

МОДЕЛЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАЯВОК НА ЕТАПІ ДОСТУПУ ДО ЦЕНТРУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОСЛУГ

Правило В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: valeriy_pravilo@ukr.net

Application model on access to the intellectual service center

In this article the variants of structural construction of centers of intellectual services (CIS) and methods of access of users are considered to them. The morphological model of the examined network is presented. The models of access of users are resulted to CIS, in work possibilities of application of existent models are first examined to the intellectual communication networks.

Під центром інтелектуальних послуг розуміється архітектурна концепція, що передбачає виділення служб вторинних мереж (які відповідають за надання послуг користувачам) в окремий структурний елемент мережі. Доступ користувачів до ЦІП здійснюється за допомогою засобів транспортної мережі. Принципи побудови і функціонування такої мережі описуються багатьма параметрами і характерними особливостями взаємозв'язків між ними. Розстановка акцентів на тому чи іншому параметрі або групі взаємопов'язаних параметрів в більшості випадків здійснюється за допомогою моделей. Згідно з існуючою на даний час класифікацією [1] виділяють дві основні групи моделей мереж: морфологічні моделі і моделі функціонування. Морфологічні моделі описують мережу зв'язку або її окремі складові з точки зору її складу і взаємозв'язку між елементами. Предметами розгляду моделей функціонування мережі зв'язку є різноманітні процеси, що протікають в даних мережах.

У найпростішому випадку доступ користувача до ЦІП забезпечується включенням потрібного центру в ККС користувача. Принципово для забезпечення доступу користувача до ЦІП, що включений в КС, відмінну від ККС користувача, можуть розглядатися випадки використання як не комутованої, так і комутованої мережі зв'язку. Як правило, в якості морфологічних моделей таких мереж використовується граф $G(N,M)=G(N,N\times N)$ або матриці зв'язності $\{a_{ij}\}$, або потужностей $\{v_{ij}\}$,

де: N – представляє множину КС різного типу,

M – множина гілок, що попарно з'єднують ці КЧ, тобто $M=N\times N$.

Параметр зв'язності мережі $a_{ij}=1$, якщо між КС n_i і n_j існує гілка m_{ij} або 0, при відсутності такої гілки.

При поділі мережі, що комутується, на опорну (базову) мережу і лінії прив'язки до неї, граф можливо представити у вигляді:

$$G(N,N\times N)=G(N_T,N_T\times N)\bigcap G(N_O,N_O\times N_T), \quad (1)$$

де N_T - множина транзитних комутаційних станцій (КСТ),

N_O - множина ККС.

Морфологічну модель такої мережі можливо представити у вигляді графів, що наведені нижче:

$$G(N, NxN) = \begin{cases} G(N_T, N_T xN) \bigcap G(N_{ОЦ,} N_{ОЦ} xN_T) \\ G(N_{ТЦ}, N_{ТЦ} xN) \bigcap G(N_O, N_O xN_{ТЦ}) \\ G(N_T, N_T xN) \bigcap G(N_O, N_O xN_T) \bigcap G(N_Ц xN_Ц) \end{cases} . \quad (2)$$

Як показує аналіз, використання на ІМЗ в якості засобів доступу до КС ЦІП некомутованої мережі зв'язку (МЗ) малоймовірно, але принципово не виключено.

Якщо при використанні комутуємої МЗ як транспортної мережі, що забезпечує доступ користувача до ЦІП, напрямок зв'язку включає χ незалежних шляхів, то для такого напрямку зв'язку:

$$J_{ij} = \begin{cases} \pi_{ij}(I) = n_i^o \bigcap n_k^T \bigcap ... \bigcap n_i^T \bigcap n_j^o \\ ..... \\ \pi_{ij}(\chi) = n_i^o \bigcap n_t^T \bigcap ... \bigcap n_q^T \bigcap n_j^o \end{cases} \quad (3)$$

За наявності К≥2 взаємозалежних шляхів в напрямку зв'язку можливо рахувати [6]:

$$N^T(\pi_1) / N^T(\pi_2) = N^T(\pi_2) / N^T(\pi_1) \neq \varnothing . \quad (4)$$

Доступ користувачів до ЦІП можливо описати [1] приведеними нижче моделями:

$$\Omega 1 = \begin{cases} S \leq V \\ L = 0 \\ p = 0 \\ \tau = 0 \end{cases} \quad \Omega 2 = \begin{cases} S > V \\ L = 0 \\ p = 0 \\ \tau = 0 \end{cases} \quad \Omega 3 = \begin{cases} S > V \\ L = \infty \\ p = 0 \\ \tau > 0 \end{cases} \quad \Omega 4 = \begin{cases} S > V \\ L = const \\ p > 0 \\ \tau = 0 \end{cases} \quad \Omega 5 = \begin{cases} S > V \\ [L = S] \\ p \geq 0 \\ \tau = 0 \end{cases} . \quad (5)$$

Модель Ω1 являє ситуацію, в якій по будь-якій заявці користувачеві може бути надана послуга без очікування, так як кількість каналів *V*, що забезпечує доступ до послуги, більша або дорівнює кількості користувачів *(S≤V)*.

В моделях Ω2 – Ω5 – ситуація інша (*S*>*V*), тобто число користувачів послугами більше ніж число каналів, що забезпечують доступ до них. В даній ситуації при надходженні заявки на надання послуги в момент, коли всі канали зайняті, відбувається або втрата даної заявки (моделі Ω2 і Ω4), або заявка ставиться на очікування обслуговування (моделі Ω3–Ω5), або при певних станах системи в одних випадках заявка ставиться на очікування в інших – губиться (моделі Ω4 и Ω5). Процес утворення потоків заявок на надання послуг зводиться до визначення ймовірності *W(t,k)* надходження за час *t* рівно *k* заявок.

Для обмеженого угруповання користувачів при утворенні ними потоку від обмеженої кількості користувачів заявок, така ймовірність може бути отримана із розподілу Бернуллі:

$$W(k,t) = C_S^k (kt)^k [1-(kt)]^{S-k} , \quad (6)$$

де C_S^x - число сполучень *S* по *x*.

Розглядаючи необмежене по чисельності угруповання користувачів (практично вже при S≥100), яке утворює самий простий потік заявок ймовірність обслуговування заявки може бути отримана з розподілу Пуасона:

$$W(k,t) = \frac{(kt)^k}{k!} e^{-kt}. \quad (7)$$

Кожен потік заявок характеризується його інтенсивністю λ – середньою кількістю заявок, що надходять від їх джерел в одиницю часу. Слід враховувати, що на кожну гілку транспортної мережі і гілку доступу до ЦІП можуть надходити окремі потоки заявок на надання послуг різним службам, а також потоки заявок на надання традиційних послуг зв'язку. Результуючий потік заявок на гілці являється суперпозицією всіх окремих потоків, що надходять на неї з сумарною інтенсивністю Λ, тобто:

$$\Lambda = \sum_{i=l}^{K} \lambda_i . \quad (8)$$

Для визначення трафіку в напрямку зв'язку від ККС користувача до КС ЦІП знання величини Λ інтенсивності потоку заявок недостатньо. Необхідно знати також інтенсивність потоку заявок, що вже обслужені μ. Задача дещо спрощується у зв'язку тим, що для визначення трафіку достатньо знати лише середнє значення (математичне очікування) інтенсивності потоку заявок, що обслужені μ_c.

Використовуючи визначення терміну „інтенсивність потоку заявок, що обслужені", як середнє число заявок, що обслужені за одиницю часу $T=1$ година, можливо визначити середнє значення параметра μ_c

$$\mu_c = \left[\sum_{i=1}^{F} \frac{\alpha_i}{\mu_i}]^{-1} \right], \quad (9)$$

де F –кількість різних потоків заявок, що обслужені,

μ_i – інтенсивність i-го потоку,

α_i – вагова доля i-го потоку в загальному трафіку напрямку зв'язку, що розглядається.

Визначення трафіку напрямків зв'язку транспортної мережі і окремих КС справедливо для всіх розглянутих вище моделей доступу до ЦІП.

Література

1. Щербина Л.П. Коммутируемые сети связи. - Л.: ВАС, 1974. – 225 с.
2. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации: Учебник для ВУЗов. 2-е изд., доп. и испр. – СПб.: BHV, 2004. – 412 с.
3. Лихтциндер Б.Я., Кузякин М.А., Росляков А.В, Фомичев С.М. Интеллектуальные сети связи. – М.: Эко-Тренз, 2002. – 297 с.
4. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети // Радио и связь. – 2000. – №17. – С. 24 − 27.
5. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. – СПб.: БХВ, 2003. – 382 с.
6. Щербина Л.П. Системы распределения информации. – Л.: ВАС, 1987. – 321 с.
7. Бреус О.В., Могілевич Д.І. Морфологічний аналіз інтелектуальної мережі військового зв'язку // ВІТІ НТУУ „КПІ". – Київ.:, 2005р. - №6. – С. 35 − 39.

УДК 621.391:006

АНАЛИЗ ПОТОКА ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ В ПЛЕЗИОХРОННОМ СОЕДИНЕНИИ

[1]Бирюков Н.Л., [1]Триска Н.Р., [2]Худынцев Н.Н.
[1]*Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского,*
[2]*Госспецсвязи Украины*
E-mail: nlbir2@ukr.net. ntriska@ukr.net

The slip analysis in the plesiochronous connection

The analysis of slip features in plesiochronous connection using the probabilistic approach is performed. The application of this approach to the reference model of the plesiochronous international connection (according to ITU-T G.822) is presented.

Традиционные методы оценивания среднего интервала времени между проскальзыванием используют максимально возможное отклонение частот фиксации данных (записи и считывания) на регистрирующем устройстве [1, 2]. При этом экстремальном подходе предполагается, что одно значение частоты находится на одном конце диапазона допустимых отклонений от номинального значения f_0, например, f_{max}, а другая частота – на противоположном конце диапазона, т.е. f_{min} (рис. 1). То есть разница равна $2\Delta f$, а в нормированном представлении заданной точности $y_0 = \pm\Delta f/f_0$ разница равна $2y_0$. Пример такого оценивания представлен в Рекомендации МСЭ-Т G.822 применительно к международному соединению в плезиохронной сети [3].

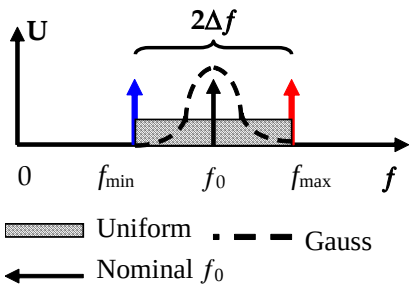


Рис. 1. Диапазон частот при заданном допуске $\pm\Delta f$.

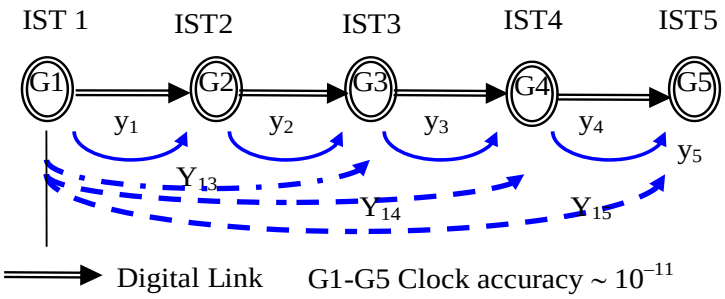


Рис. 2. Фрагмент международной части гипотетической эталонной модели международного соединения стандартного цифрового канала.

В развитие методов оценивания периодов проскальзывания, в работах [4, 5] была рассмотрена возможность случайного распределения частоты в пределах допустимого диапазона отклонений и, как следствие, случайная величина разности частот двух источников частоты. Были получены аналитические выражения разности частот при нормальном и равномерном распределениях, подтвержденные результатами статистического моделирования. При этом рассматривалась абсолютная величина разности частот на одном участке (2 независимых генератора). При моделировании предполагалось, что математическое ожидание обоих распределений равно f_0, а граничные значения при равномерном распределении равны f_{min} и f_{max}, а при нормальном распределении граничные значения f_{min} и f_{max} соответствуют $\pm 3\sigma$.

На следующем этапе рассматривалась модель, в которой последовательно соединены несколько участков [6]. За основу принята модель международного соединения из 5 центров коммутации (IST) G.822 (рис. 2). Оценивание проводилось, как и в предыдущем случае, по абсолютной величине расхождения частот на каждом участке с последующим суммированием абсолютных расхождений.

В данной работе в качестве рабочей гипотезы учтено то, что знак отклонения частоты может совпадать или отличаться, что в последовательном соединении может приводить к снижению вероятности проскальзывания и увеличению временного интервала между проскальзыванием. Если знак совпадает, то расстояние между частотами δ не превышает половину допустимого диапазона $\delta \leq \Delta f$, при различных знаках отклонения частот в соединении набеги фазы также имеют противоположные знаки и компенсируют друг друга.

С целью исследования закономерности накопления проскальзывания в соединении при моделировании были изменены правила сравнения выборочных значений частот. Сравнивались не абсолютные, а действительные значения выборочных частот на каждом участке (Digital Link, рис. 2) между последовательно соединенными узлами. В каждом цикле моделирования последовательно имитировалось сквозное прохождение соединения от 1 до 5 узла, а затем цикл повторялся. Последовательность сравнений показана на рис. 2. Как и в [6], моделировались нормально (ND) и равномерно (UD) распределенные на интервале [$f_{\min}$, $f_{\max}$] отклонения от номинального значения частоты f_0 с нулевым средним(1). Результаты расчета интервалов времени между проскальзыванием в зависимости от числа участков представлены на рис. 3. Для нормального распределения интервал проскальзывания рассчитывался по двум показателям: по $\pm 3\sigma$ (обозначения 3std или ss) и по размаху выборки (обозначения “*p2p*”). Результаты сквозного моделирования на графиках обозначены как “`Prog.`”, а по участкам – как “`Loc.`“.

Кроме этого, данный подход был применен к “экстремальным” положениям частот на границах допуска. При оценивании времени между проскальзыванием в последовательном соединении была учтена возможность случайного чередования крайних положений. Например, если на одном участке вероятность того, что частоты находятся на противоположных краях диапазона, равна вероятности того, что частоты совпадают и составляет $\rho = 0{,}5$, то при последовательном прохождении участков вероятность совпадения частот, хотя бы на одном участке возрастает. Другими словами, вероятность нарушения в строгой последовательности чередования граничных значений –1,+1, –1,+1,…, –1,+1 и появления хотя бы 2 последовательных одинаковых знаков –1, –1 или +1,+1 возрастает.

Например, при 4 испытаниях (5 IST) вероятность такого события $\approx 0{,}94$, а среднее значение числа испытаний между такими событиями равно 2. Следовательно, даже при экстремальном оценивании в эталонном соединении G.822 из 5 IST можно учитывать только 2 крайних случая.

(1) Для нормального распределения граничные значения текущих частот приняты равными $\pm 3\sigma$.

Причем, как и следовало ожидать, моделирование показало, что корреляция потоков на последовательных участках составляет ≈ 0,5. Результаты моделирования данного случая представлены на графике (рис. 3) с обозначением “*Extrem.*”

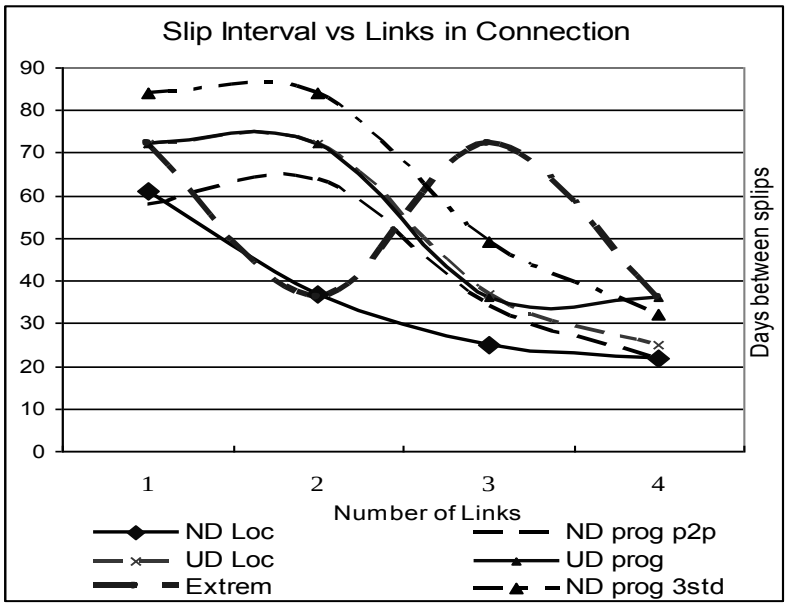


Рис. 3. Результаты расчета интервалов времени между проскальзыванием в зависимости от числа участков в плезиохронном соединении.

Приведенное моделирование подтверждает данный тезис. Кроме этого, 1) при чередовании знаков разности на последовательно соединенных участках, набеги фазы также имеют противоположные знаки и компенсируют друг друга; 2) если длительность сеанса связи T_c меньше длительности интервала проскальзывания T_{sl}, то это снижает вероятность проскальзывания пропорционально отношению T_c/T_{sl}.

Литература

1. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: Системи мультиплексування: Підручник для студентів вищ. техн. закладів К., Техніка, 2005.– 312 с.
2. Гуров В.С., Емельянов Г.А., Етрухин Н.Н., Базилевич Е.В. Основы передачи данных по проводным каналам связи: М.: Связь, 1964 – 312 с., ил.
3. ITU –T Recommendation G.822 (1980) Controlled slip rate objectives on an International digital connection.
4. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Вероятностный анализ передачи информации в плезиохронной сети. – Інфокомунікації – сучасність та майбутнє: матеріали четвертої міжнар. наук.-пр. конф. м. Одеса 30-31 жовт. 2014 р. – Ч.1. – Одеса: ОНАЗ, 2014. – 180 с. – С. 115-119.
5. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Анализ проскальзывания в плезиохронной сети. T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2016. – Том 10, №2. – С. 19-24.
6. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Анализ частоты проскальзывания в плезиохронном соединении. Інфокомунікації – сучасність та майбутнє: матеріали VIII міжнар. наук.-пр. конф. м. Одеса 14-16 лист. 2018 р.: в 4 ч. Ч.4. – Одеса: ОНАЗ, 2018. – 180 с. – С. 27 –29.

УДК 621.391

АНАЛІЗ УРАЗЛИВОСТІ МЕРЕЖІ WI-FI З ПРОТОКОЛОМ БЕЗПЕКИ WPA2

[1]Осокін М.Г., [1]Романов О.І., [2]Романов А.О.
[1]*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського,*
[2]*Факультет телекомунікацій та захисту інформації НАУ*
E-mail: nikitos397@gmail.com; anton3329@gmail.com

Analysis of vulnerability of WI-FI network with WPA2 security protocol

The process of accessing subscribers to a secure WI-FI network using the WPA2 security protocol. Analysis of a new attack technique for reading information called "KRACK" (Key Reinstallation Attacks).

Сьогодні питання захищеності даних є одним з найпріорітетніших в сучасному світі. Цьому приділяють увагу в мережах доступу, мобільного зв’язку, Інтернет та інш. [1,2] Одним з найпопулярніших варіантів доступу являється стандарт 802.1, він же Wi-F з протоколом безпеки WPA2.

WPA2 (Wi-FiProtected Access) - являє собою оновлену програму сертифікації бездротового зв'язку. У WPA2 забезпечена підтримка стандартів 802.1X, а також протоколу EAP (Extensible Authentication Protocol, розширюваний протокол аутентифікації), а також підтримується шифрування відповідно до стандарту AES (Advanced Encryption Standard, вдосконалений стандарт шифрування).

Для протоколу були розроблені механізми аутентифікації під загальною назвою EAP (ExtensibleAuthenticationProtocol). Протокол EAP був створений з метою скасування приватних механізмів аутентифікації і поширення стандартизованих підходів – використання схеми типу "запит-відповідь" (challenge-response) та інфраструктури, заснованої на публічних сертифікованих ключах, призначених для користувачів. Протокол передачі EAP-повідомлень в стандарті 802.1x називається EAPOL (EAP encapsulationover LAN) і в даний час визначено для Ethernet LAN, а також бездротових мереж стандартів серії IEEE 802.11 і LAN, що використовують технології Token Ring і FDDI [3,4].

Розглянемо основні етапи створення захищеного сеансу зв’язку. Сервер аутентифікації, після отримання сертифікату від користувача, використовує 802.1X для створення унікального базового ключа для сеансу зв'язку. TKIP здійснює передачу згенерованого ключа користувачеві і точці доступу, після чого формує ієрархію ключів і систему управління. Для цього використовується двосторонній ключ для динамічної генерації ключів шифрування даних, які в свою чергу використовуються для шифрування кожного пакету даних.

Іншим важливим механізмом є перевірка цілісності повідомлень (Message Integrity Check, MIC). Її використовують для запобігання

перехоплення пакетів даних, зміст яких може бути змінено, а модифікований пакет знову переданий по мережі.

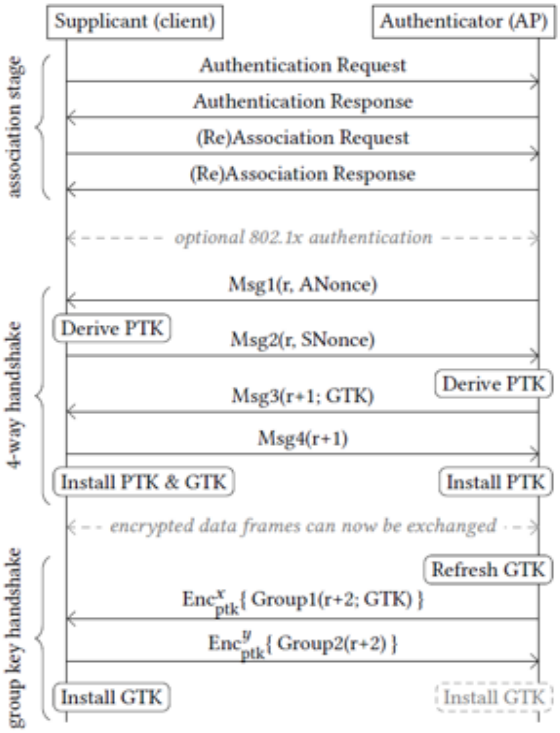


Рис. 1.

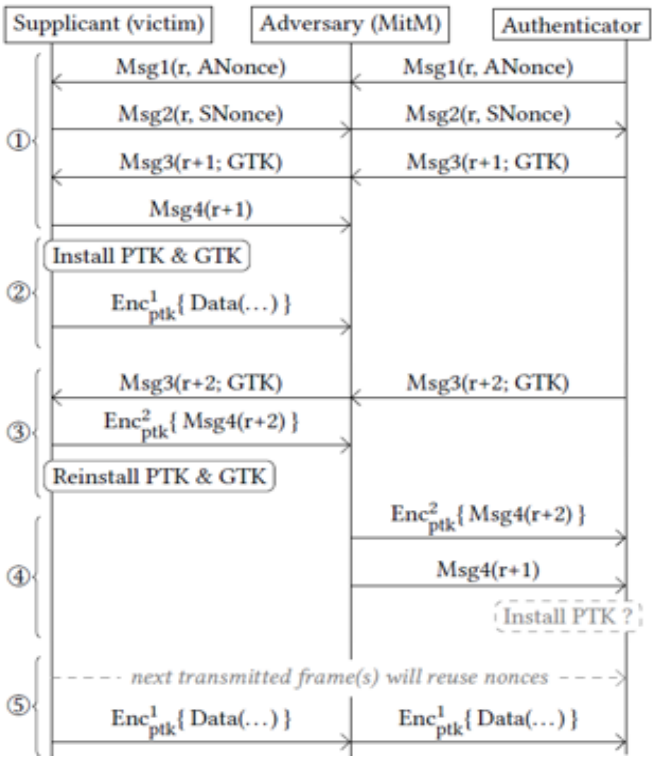


Рис. 2.

На рис.1 зображено алгоритм обміну повідомленнями, коли клієнт з'єднується з аутентифікатором (AP), виконує 4-х стороннє рукостискання і періодично виконує рукостискання в групі.

Однак, під час одного з чергових тестувань, було виявлено нову вразливість, що отримала назву “KRACK” (Key Reinstallation Attacks). Суть вразливості полягає в тому, що зловмисники можуть використовувати нову техніку атаки для зчитування інформації, яка раніше вважалася безпечно зашифрованою. Це може бути використано для крадіжки конфіденційної інформації, наприклад, номерів кредитних карток, паролів, повідомлень у чаті, електронних листів, фотографій тощо. Атака працює проти всіх сучасних захищених мереж Wi-Fi. Крім того, в залежності від конфігурації мережі доступу, зловмисник може впроваджувати шкідливе програмне забезпечення на веб-сайтах.

Уразливість, на яку відбувається атака, знаходиться в 4-кроковому алгоритмі відкриття сеансу протоколу. Цей алгоритм виконується при під'єднанні нового клієнта до захищеної Wi-Fi мережі. Основним завданням алгоритму «рукостискання» є перевірка достовірності пароля, яким захищена дана мережа. Під час «рукостискання» також відбувається погодження нового ключа для шифрування всіх даних, які будуть передані протягом сеансу.

Уразливість KRACK покладається на можливості примусити жертву повторно скористатись вже наявним ключем. Це досягається шляхом маніпуляцій криптографічними повідомленнями під час «рукостискання».

Коли жертва встановлює ключ, вона скидає значення пов'язаних параметрів - лічильники переданих пакетів та отриманих пакетів до початкових значень. Аби убезпечити користувачів від криптоаналізу ключ має бути встановлений лише один раз, але завдяки виявленій можливості маніпулювати процедурою «рукостискання» з'являється практично реалізований спосіб реалізації даної уразливості.

При під'єднанні нового клієнта до мережі Wi-Fi відбувається узгодження спільного ключа шифрування за 4 кроки. Узгоджений ключ потім служить для шифрування всіх «нормальних» пакетів даних. Однак, оскільки окремі повідомлення можуть бути втрачені, точка доступу може повторно відправляти повідомлення третього кроку поки не отримає підтвердження його отримання. Як наслідок, клієнт може отримувати це повідомлення декілька разів. Кожного разу, отримавши таке повідомлення клієнт встановлюватиме наявний ключ шифрування та скидатиме лічильники. Завдяки повторному використанню нонса з'являється можливість атаки на криптографічний протокол: відтворення пакетів, дешифрування та, навіть, підробка їх вмісту.

Ця атака витягує IE RSN (надійний захищений мережевої елемент інформації) з одного кадру EAPOL. RSN IE - це необов'язкове поле, яке виступає в якості контейнера до ідентифікатора ведучого ключа Pairwise (PMKID), який створюється маршрутизатором, коли користувач намагається підключитися до мережі WiFi. PMK грає важливу роль в 4-сторонньому рукостисканні, яке використовується для аутентифікації як відомого клієнтського і маршрутизаторного встановленого ключа (PSK), так і бездротового пароля мережі. «PMKID обчислюється з використанням HMAC-SHA1, де ключ є PMK, а частина даних являє собою конкатенацію фіксованої строкової мітки «PMK Name», MAC-адресу точки доступу і MAC-адресу станції».

На рис. 2 зображена атака переустановлення ключів на 4-позиційне рукостискання, коли жертва все ще приймає повторні передачі відкритого тексту повідомлення 3, якщо встановлено PTK.

По суті, KRACK дозволяє зловмисникові здійснити атаку типу man-in-the-middle і примусити учасників мережі виконати реінсталляцію ключів шифрування, які захищають трафік WPA2. До того ж якщо мережа налаштована на використання WPA-TKIP або GCMP, зловмисник зможе не тільки прослуховувати трафік WPA2, а й здійснювати інжект пакетів в дані жертви.

Метод KRACK універсальний і працює проти будь-яких пристроїв, підключених до Wi-Fi мережі. Тобто в небезпеці абсолютно всі користувачі Android, Linux,iOS, macOS, Windows, OpenBSD, а також численні IoT-пристрої.

Якщо жертва все ще приймає повторні передачі відкритого тексту повідомлення 3 після встановлення сеансового ключа, наша атака переустановки ключа проста. По-перше, атакуючий використовує на основі каналу MitM атаку, щоб вона могла керувати повідомленнями рукостискання

[5,6]. Потім вона блокує повідомлення 4, що надходить на аутентифікатор. Це проілюстровано на стадії 1 на рис.2. Відразу після надсилання повідомлення 4 жертва встановить PTK і GTK.

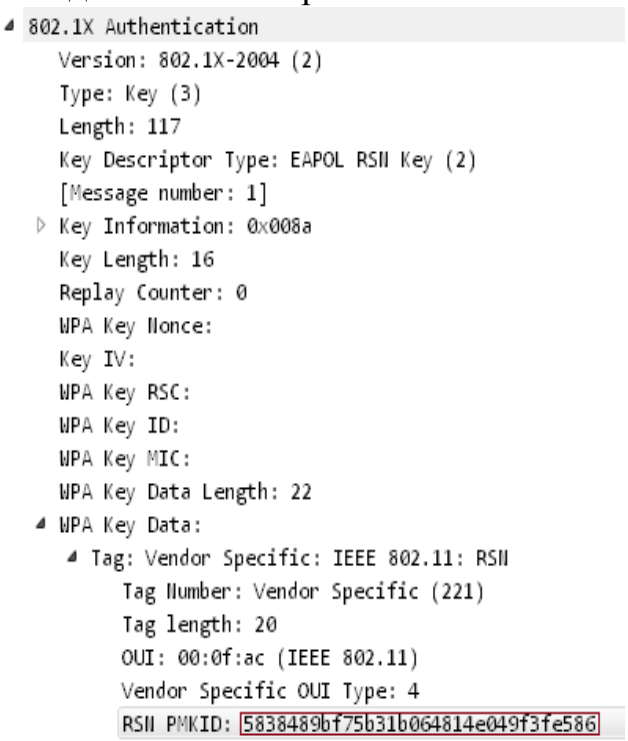


Рисунок 1. **Рис. 3.**

У цей момент жертва також відкриває порт 802.1x і починає передавати звичайні кадри даних. Потім, на третьому етапі атаки, аутентифікатор повторно передає повідомлення 3, оскільки він не отримав повідомлення 4. Атакуючий пересилає повторно передане повідомлення 3 жертві, змушуючи його перевстановити PTK і GTK. В результаті він скидає лічильник nonce і replay, що використовується протоколом конфіденційності даних. Таким чином, ми можемо контролювати кількість nonces, які будуть повторно використані. Більш того, атакуючий завжди може знову виконати атаку, деавторизуючи клієнта, після чого він знову з'єднається з мережею і виконає нове 4-позиційне рукостискання. На рис. 3 можна побачити приклад тестового «спійманого» ключа RSNPMKID.

Для уникнення атак такого роду, слідує оновити програмне забезпечення смартфону/ПК/роутера, адже ця вразливість допущена в самому протоколі і уникнути від потенціальної шкоди можна лише в тому випадку, якщо оновити обладнання [7]. Також, конфіденційність даних забезпечить використання VPN і протоколу HTTPS, під час користування мережею інтернет.

Література

1. Романов О.І., Осокін М.Г. Аналіз рівня безпеки сигналізації SS7. Матеріали 12-ої МНТК «Проблеми телекомунікацій», Київ, 2018 р. С 131-134.
2. Письменний І.С., Романов А.О. Мережа підприємства с програмним забезпеченням ASTERIISK PBX на основі PLC, Київ, 2018 р. С 119-122.
3. Атака против WPA2, позволяющая перехватить трафик WiFi-сети [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=47392.
4. Мария Нефёдова, Новая методика упрощает взлом паролей WPA и WPA2 в сетях 802.11i/p/q/r [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://xakep.ru/2018/08/07/802-11-pass-hack/.
5. Мария Нефёдова, Опубликована подробная информация о проблемах WPA2 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://xakep.ru/2017/10/16/wpa2-krack-2/.
6. Лука Сафонов, Новая техника атаки WPA2, не требующая наличия клиента на AP [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://habr.com/ru/company/jetinfosystems/blog/419383/.
7. Mathy Vanhoef, Key Reinstallation Attacks. Breaking WPA2 by forcing nonce reuse [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.krackattacks.com.

УДК 621.395.7

МЕТОД СЕКТОРНОГО АНАЛІЗУ ОПТИМАЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛУ ТРАФІКА В МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

Маньківський В.Б., Єрмаков А.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: v.b.mankivskiy@gmail.com , yermak@ukr.net

Sector analysis method of optimal load distribution in mobile network

One way to improve mobile network performance is optimal load balancing. A key feature of radio link planning is to take into account the influence of physical processes that occur in the air, and the question of the influence of traffic that is generated in the network takes the last place. The paper considers a method for estimating a mobile network from the point of view of the efficiency of payload distribution among base stations.

Одним із способів підвищення продуктивності і якості обслуговування в мережі оператора мобільного зв'язку є оптимальний розподіл навантаження в сотах. При частотно-територіальному плануванні сот, в основному, приділяється увага питанням ЕМС, а питання оптимальності розподілу трафіку в мережі відходять на задній план. У роботі розглянуто метод підвищення ефективності функціонування мережі за рахунок підвищення рівномірності розподілу навантаження між базовими станціями.

Розгортання мережі мобільного оператора починається з радіо частотного планування, яке в подальшому визначає електромагнітну сумісність мережевих елементів і якість послуг, що надаються. Зміни в кількості абонентів в сотах, обсягів вхідної навантаження вимагає оптимізації структури мережі. При плануванні мережі Оператора мобільного зв'язку виділяють два підходи - аналіз частотно-територіального покриття, і прогноз зон обслуговування базових станцій (BS - Base Station).

В ході експлуатації мережі відбувається коригування спроектованої мережі на підставі даних про використання канального ресурсу [1,2]. Однак, при аналізі не беруть до уваги ряд даних про характер дзвінка, таких як дзвінок прямий або хендоверний, не враховують особливості профілю абонента, не проводять взаємозв'язок з секторами обслуговування. Ці дані агрегуються в білінговій системі і використовуються при складанні прогнозу по наданню послуг, але не використовуються при плануванні мережі.

Тому, для підвищення ефективності функціонування мережі і якості послуг, що надаються, пропонується доповнити існуючі підходи планування урахуванням даних з білінгової системи для розрахунку виконаної навантаження, з прив'язкою до секторів БС, і використовувати їх при оцінці ефективності радіо планування. Тоді процес планування може бути описаний у вигляді моделі, представленої на Рис.1.

Для розгляду метода секторного аналізу застосуємо наступні параметри інтенсивностей викликів, які потрапляють до БС: вхідні - λ_{MOC}, вихідні - λ_{MTC} й хендоверні - λ_{hand}. Враховуються навантаження в GSM/UMTS та між ними.

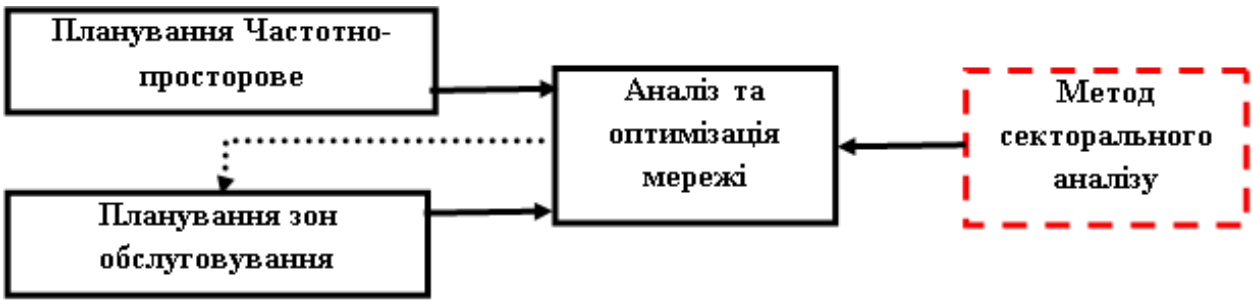


Рис. 1. Метод планування мережі мобільного Оператора

Навантаження в мережі виникає в наступних сценаріях (див. Рис. 2):

1. Виклик ініційований і завершено в одній і тій же соті мережі GSM;
2. Виклик ініційований і завершено в одній і тій же соті мережі UMTS;
3. Виклик ініційований в одній і завершено в інший соті мережі GSM;
4. Виклик ініційований в соті GSM і завершено в соті мережі UMTS;
5. Виклик ініційований в соті UMTS і завершено в соті мережі GSM;
6. Виклик ініційований в одній і завершено в інший соте мережі UMTS;
7. Хендовер, що надійшов в соту мережі GSM з сусідніх сот цієї ж мережі і завершився в розглянутій соті (ліній 3);
8. Хендовер, що надійшов в соту мережі GSM з сусідніх сот мережі UMTS і завершився в розглянутій соте (лінія 5);

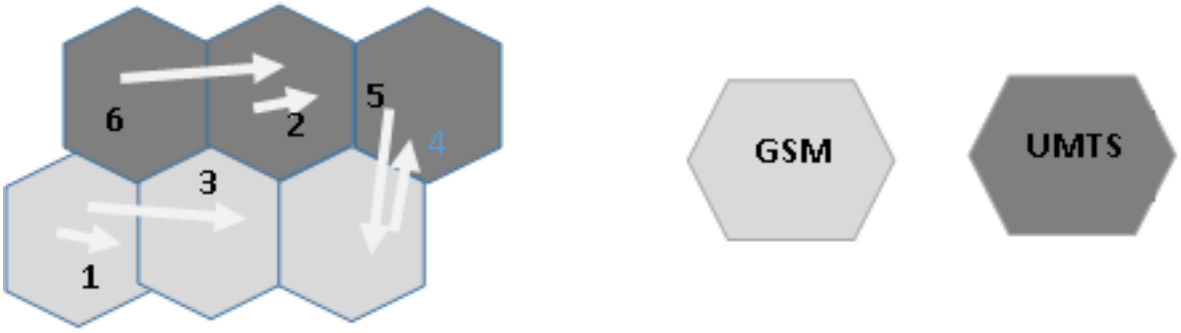


Рис. 2. Сценарії взаємодії в мережі GSM й UMTS при розподілі навантаження.

Для створення математичної моделі введемо, обмеження і допущення:

1. Потоки ініційованих викликів (Mobile Originated Calls і Mobile Terminated Calls) і хендовера (Handover Calls) є пуассоновским з інтенсивностями λ_{MOC} і λ_{MTC} і λ_{hand}. При цьому сумарний потік викликів, що створюють навантаження на базову станцію, так само є пуассоновским як в каналах TCH (GSM), так і каналах DTCH (UMTS):

$$\lambda = \lambda_{hand} + \lambda_{MOC} + \lambda_{MTC} + \lambda_{hand_DTCH} + \lambda_{DLCH} + \lambda_{ULCH} \quad (1)$$

2. Будь-виклик з інтенсивністю μ_1 завершує обслуговування всередині соти і з інтенсивністю μ_2 переходить на обслуговування в соту інший мереж (Handover Calls). При цьому, закон розподілу тривалості обслуговування викликів як в соті, так і при хендовері, мають експоненційний розподіл з параметрами μ1 і μ2 відповідно. А тривалість заняття радіоканалу визначається сумою цих величин $\mu_1 + \mu_2$ і також має експоненціальний розподіл.

3. Тривалість обслуговування будь-якого виклику описується експоненційним розподілом χ(t):

$$p_n = \lim_{t\to\infty}\{X(t) = n\}, n \in X \quad (2)$$

Проаналізуємо приклад реалізації Сценарію 1: хендовер відсутній і не передбачено резервування радіоканалів для вхідного хендовера, а також прийому виклику з мережі UMTS. Для даного сценарію використовуємо модель системи з відмовами, яка описана моделлю Ерланга В [4]. Ймовірність відмови в такій системі може бути описана виразом:

$$p_{lost} = \frac{\frac{(\lambda*\tau)^n}{N!}}{\sum_{n=0}^{N}(\frac{(\lambda*\tau)^n}{N!})} \quad (3)$$

В процесі обслуговування з подіями в соті базової станції можуть відбуватися різні етапи життєвого циклу. Одним з показників, яким нехтують при обліку завантаженості соти - ймовірність того, що за час t всі канали вільні:

$$p_{not_load} = 1/\left[\sum_{n=0}^{N}(\frac{(\lambda*\tau)^n}{n!})\right] \quad (4)$$

Саме цей показник доцільно використовувати при аналізі завантаженості секторів БС. Також необхідно враховувати, що БС може бути використана в якості транзитної при хендовері (сценарії 7 і 8). З огляду на, що стандартним показником стільники БС є її завантаження в ЧНН, можна записати вираз для оцінки ймовірності зайнятості k каналів:

$$p_{k_load} = p_{not_load} \cdot \left[\frac{(\lambda*\tau)^k}{k!}\right] \quad (5)$$

Використовуючи (3)-(5) визначимо середнє число зайнятих каналів:

$$\langle k\rangle = p_{not_load} \cdot \sum_{n=1}^{N}\left[\frac{(\lambda*\tau)^n}{(n-1)!}\right] \quad (6)$$

Даний методу дозволяє визначити перевантажені і недовантажені ділянки мережі, перейшовши від заняття каналів до функціонуючого навантаження в соте БС. А далі, в процесі управління обслуговування заявок, використовувати отримані дані для забезпечення рівномірності завантаження елементів мережі, виявляючи трафік хендовера, «транзитного» між сусідніми БС, який не враховується при стандартному плануванні.

Література

1.Fuchs C., Aschenbruck N., Martini P., Wieneke M. Indoor tracking for mission critical scenarios: A survey // Pervasive and Mobile Computing. – 2011. – Т. 7, № 1. – С. 1-15.

2. Syahfrizal Tahcfulloh, Eka Riskayadi, “Optimized Suitable Propagation Model for GSM ”, Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering,. Vol.14, No.1:154-162, 2015

3. Segun Isaiah Popoola, and Olasunkanmi Fatai Oseni, “Empirical Path Loss Models for GSM Network Deployment in Makurdi, Nigeria”, International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES), Vol.3, 85-94, 2014

4. Гайдамака Ю.В., Зарипова Э.Р., Самуйлов К.Е. Модели обслуживания вызовов в сети сотовой подвижной связи. – М.: Российский университет дружбы народов, 2008, с.76.

5. Романов О. І., Чмиренко О.В., Маньківський В.Б. Оцінка ємності мережі мобільного зв’язку WCDMA. Системи озброєння і військова техніка. №1 (21), 2010, с.184-188

6. Принцип обслуговування потоків у гетерогенному телекомунікаційному середовищі //Скулиш М.А., Романов О.І., Глоба Л.С. //Вчені записки ТНУ, серія: технічні науки, - Том 29 (68) № 2 – 2018 –С. 92-98

УДК 621.382

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ IMS ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ НОВИХ ПОСЛУГ

Верес Л.А. Нестеренко М.М., Камаралі Р.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: veresleonid@gmail.com, nesterenko_nik@ukr.net, theromarioagro@gmail.com

Ways to increase the reliability of the IMS system in the implementation of new services

The transition of mobile operators in Ukraine from 2G / 3G networks to 4G and 4.5G requires implementation of the IMS platform. In this system the task entrusted integration of existing technologies based on centralized management. The paper considers the methods of providing the specified indicators of the reliability of the functioning of IMS.

Перехід операторів мобільного зв'язку в Україні з 2G/3G мереж на 4G і 4,5G вимагає забезпечити надання голосових послуг через мережу із комутацією пакетів. Сьогодні ця послуга отримала назву послуги Voice over LTE (VOLTE). Як з'ясувалося, вирішити це питання неможливо без впровадження системи IP Multimedia Subsystem (IMS), на яку покладається завдання забезпечити інтеграції існуючих технологій та перехід до мереж all-IP [1,2].

Одне із завдань, яке потрібно вирішити при впровадженні системи управління IMS, це забезпечення її високої надійності. Це пов'язано з тим, що IMS багатофункціональна система та складається з множини окремих функціональних блоків територіально розподілених. Необхідно, щоб в процесі управління, обробки сигналізації та обслуговування вхідного трафіку ці блоки функціонували як одне ціле, крім того, забезпечували розподіл завдань між блоками, в залежності від завантаженості ділянок мережі та могли бути використані в якості резерву однотипних блоків при необхідності.

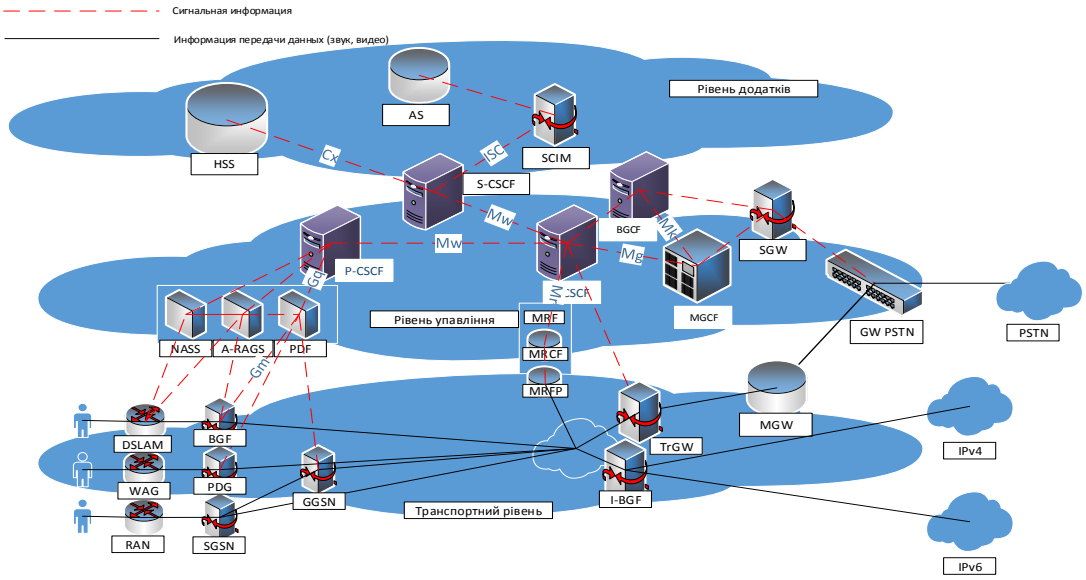


Рис. 1. Архітектура мережі мобільного зв'язку з використанням платформи IMS.

Розглянемо показники надійності функціонування системи IMS, під якою будемо розуміти її властивість забезпечувати встановлення з'єднань і передачу

повідомлень у реальних умовах експлуатації при збереженні заданих значень показників якості обслуговування для кожного інформаційного з'єднання. Архітектура мережі мобільного зв'язку, де для управління процесом її функціонування використовується система IMS може мати вигляд, який представлений на рис. 1 [3,4].

Принцип, на якому будується концепція IMS, полягає в тому, що доставка будь-якої послуги ніяким чином не співвідноситься із комунікаційною інфраструктурою (за винятком обмежень по пропускної спроможності). Втіленням цього принципу є багаторівневий підхід, який використовується при побудові IMS. Він дозволяє реалізувати незалежний від технології доступу відкритий механізм доставки послуг, який дає можливість задіяти в мережі програмні рішення сторонніх постачальників послуг.

Для забезпечення заданих показників надійності використовують методи резервування головних функціональних елементів системи IMS. Як правило, найбільш часто використовують дві основні моделі резервування:

1. Резервування цілої мультимедійної платформи (вузла, сайту) із головними елементами. Тобто вся платформа, на якій знаходяться головні функціональні елементи, буде дублюватись. Таке резервування називається спільним.

2. Резервування кожного елемента мультимедійної платформи. Тобто всі головні функціональні елементи які, знаходяться на цій платформі, мають окреме, аналогічне резервування.

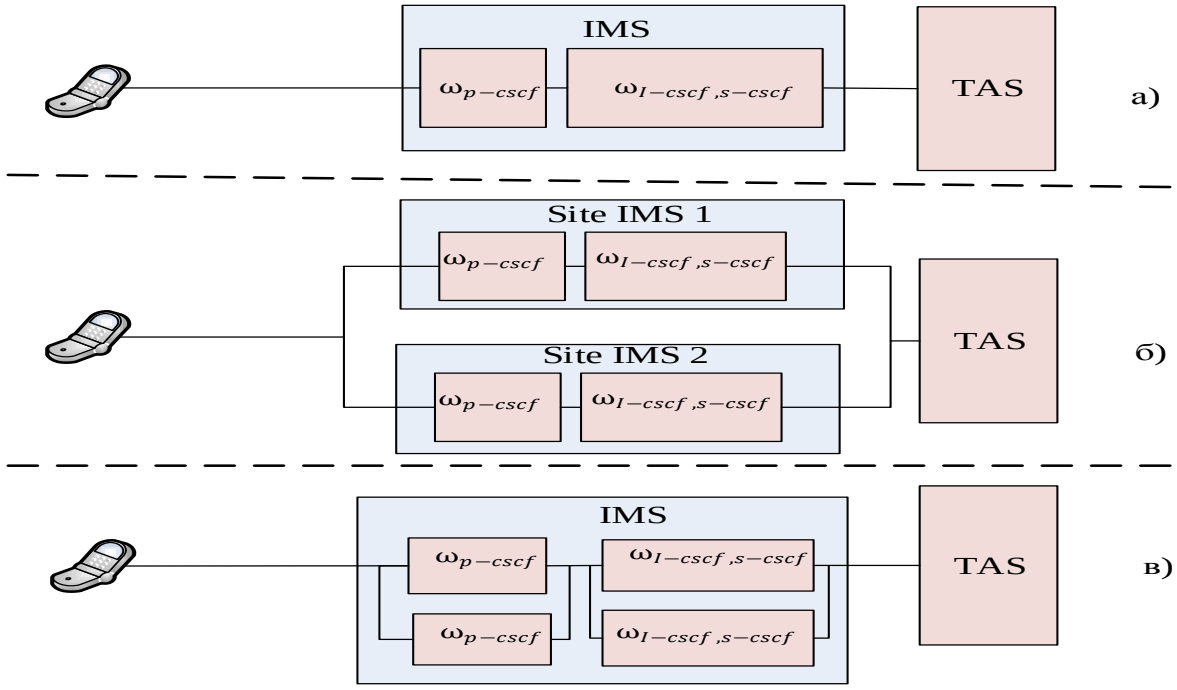


Рис. 2. Варіанти розгортання та резервування основних функціональних елементів IMS.

Для аналізу показників надійності представимо систему IMS у вигляді моделі надання послуги VOLTE, де залишимо тільки основні функціональні елементи, що мають прямий вплив на роботу системи в цілому.

Для кращого розуміння ефективності резервування системи IMS розглянемо перший варіант без резервування. В системі із послідовною структурою відмова будь-якого компонента призводить до відмови системи в цілому (рис. 2,а). Для отримання аналітичних виразів, введемо наступні позначення:

- ω_{P-CSCF} – ймовірність безвідмовної роботи функціонального елемента P-CSCF;
- $\omega_{I-CSCF,S-CSCF}$ – ймовірність безвідмовної роботи функціонального елемента I-CSCF, S-CSCF.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи такої системи буде мати вигляд:

$$W_s = \omega_{P-CSCF} * \omega_{I-CSCF,S-CSCF}$$

Розглянемо другий варіант, де будемо використовувати 100% резерв системи IMS, який представлений на рис. 2 б. Тоді розрахунок ймовірності безвідмовної роботи, в даному випадку, буде мати наступний порядок:

1. Розраховується ймовірність безвідмовної роботи системи в рамках одного сайту:

$$\omega_{s1} = \omega_{P-CSCF} * \omega_{I-CSCF,S-CSCF}$$

2. Розраховується ймовірність безвідмовної роботи в рамках іншого сайту:

$$\omega_{s2} = \omega_{P-CSCF} * \omega_{I-CSCF,S-CSCF}$$

3. Розраховується ймовірність безвідмовної роботи системи при паралельному з'єднанні двох сайтів:

$$W_{s1-s2} = 1 - (1 - \omega_{s1}) * (1 - \omega_{s2})$$

Розглянемо третій варіант, де буде резервуватися кожен елемент мультимедійної платформи (рис. 2 в). Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи, в даному випадку, буде мати наступний порядок:

1. Розраховується ймовірність безвідмовної роботи системи в рамках одного елементу:

$$\omega_{s1} = 1 - (1 - \omega_{P-CSCF}) * (1 - \omega_{P-CSCF})$$

2. Розраховується ймовірність безвідмовної роботи в рамках іншого елементу:

$$\omega_{s2} = 1 - \left(1 - \omega_{I-CSCF,S-CSCF}\right) * \left(1 - \omega_{I-CSCF,S-CSCF}\right)$$

3. Розраховується ймовірність безвідмовної роботи при об'єднанні двох елементів платформи:

$$W_{s1-s2} = \omega_{s1} * \omega_{s2}$$

Для порівняння ефективності методів резервування необхідно визначитись з вихідними даним і провести розрахунки з використанням отриманих аналітичних виразів.

Література

1. O.I. Romanov, M.M. Nesterenko, L.A. Veres, Y.S. Hordashnyk. IMS: Model and calculation method of telecommunication network's capacity // UkrMiCo, 11-15 Sept. 2017, Odessa, - IEEE Conference Publications Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095412), 2017. – P. 1-4.
2. Левин В. И. Логическая теория надежности сложных систем. М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. "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).
4. Романов О.І., Нестеренко М.М., Верес Л.А. Аналіз особливостей функціонування сервісів реального часу в системі IMS на базі сучасних протоколів IP-телефонії // Збірник наукових праць ВІТІ. – Київ, 2017. – Вип. №4– С. 111 – 120.
5. Маликов И. М., Половко А. М., Романов Н. А., Чукреев П. А. Основы теории и расчёта надёжности. — Л.:Судпромгиз, 1959.

УДК 621.391:006

АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ПІДГОТОВКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ 5G

Тріска Н.Р.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: ntriska@ukr.net

The actual issues of telecommunication networks adaptation for 5G deployment

The current activities in the field of IMT-2020/5G standardization are considered. The adaptation of the existing transport network solutions (in particular, the frequency and time synchronization) for IMT-2020/5G networks deployment is emphasized.

Однією з основних світових тенденцій розвитку телекомунікаційних мереж наразі є підготовка існуючої мережевої інфраструктури до впровадження концепції розвитку телекомунікацій 5-го покоління (5G). Термін “5G” з’явився як позначення чергового етапу еволюції мереж мобільного зв’язку (слідом за 2, 3 та 4G), але фактично мова йде про базову концепцію розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) на найближче десятиріччя. Очікується, що завдяки суттєвому збільшенню швидкості передавання даних та впровадженню програмно-конфігурованої архітектури SDN(1) з віртуалізацією мережевих функцій NVF(2) технологія 5G сприятиме активному розвитку цілої низки перспективних послуг та концепцій (Інтернет речей, автоматичне керування транспортними засобами, “хмарні” технології, “віртуальна реальність” тощо), які суттєво вплинуть на різні аспекти життя сучасного суспільства [1].

Рушійною силою розробки та впровадження технології 5G став стійкий попит користувачів мобільного зв’язку на більш високі швидкості передавання та обсяги трафіку, з одного боку, та на покращення якості обслуговування – з іншого. На цей попит оперативно відреагували провідні гравці телекомунікаційного ринку, і на даний час ведеться активна робота з стандартизації технології 5G [2, 3]. До цього процесу залучено різні органи стандартизації, виробників телекомунікаційного обладнання та провідних операторів мобільного зв’язку. На даний час стандартизуються окремі фрагменти майбутньої інфраструктури – загальна архітектура мережі на базі концепції SDN/NVF, радіоінтерфейс 5G NR (New Radio), інтерфейси та протоколи транспортної мережі тощо. В найближчій перспективі ці окремі напрацювання, апробовані під час дослідної експлуатації, мають утворити єдину технологічну платформу – IMT-2020.

Основний обсяг технічних специфікацій для майбутніх мереж 5G розробляється в рамках Партнерського проекту 3GPP (3rd Generation Partnership Project). На даний час актуальною є 15 версія групи стандартів 3GPP (Release 15, 2017 р.), а протягом 2019 року очікується доопрацьована 16 версія.

(1)SDN – Software Defined Networking.
(2)NVF – Network Function Virtualization.

Координацію діяльності з міжнародної стандартизації платформи IMT-2020 здійснює Міжнародний Союз Електрозв'язку ITU-T. Зокрема, в рамках Дослідної Комісії 15 (SG-15) ведеться активна робота з підготовки транспортних телекомунікаційних мереж до впровадження стандартів 5G. Базовими документами в цьому напрямку є Технічний звіт ITU-T GSTP-TN5G [4] та проект Рекомендації G.ctn5g щодо характеристик транспортних мереж для підтримки IMT-2020/5G [5]. Окрім цих рамкових документів, розробляються (або мають бути розроблені) також окремі Рекомендації з вимогами до різних фрагментів та функцій транспортної мережі:

- архітектурні аспекти з врахуванням різних можливих сценаріїв реалізації мережі радіодоступу (RAN);
- вимоги до пропускної здатності та гнучкого перерозподілу наявних ресурсів мережі (концепція "network slicing");
- інтерфейси фізичного та канального рівня;
- аспекти синхронізації;
- аспекти управління та технічного обслуговування мережі (OAM);
- питання забезпечення надійності та відновлюваності мережі тощо.

Транспортну мережу оператора мобільного зв'язку традиційно розглядають в поєднанні з проміжною, " перевалочною" мережею (Backhaul Network) між контролерами базових станцій та мережею радіодоступу (базовими станціями). Стандарт IMT-2020 передбачає поділ функцій контролеру базових станцій на дві групи, що відповідають двом логічним елементам – "центральному" CU (Central Unit) та "розподіленому" DU (Distribution Unit). Тому в загальному випадку виділяють три фрагменти мережі 5G на ділянці між контроллером 5G (CU + DU) та базовою станцією RRU (Remote Radio Unit) [4]:

- *Backhaul* ("ближній" фрагмент) – ділянки між блоками CU, а також між CU та базовою транспортною мережею (NGC – Next Generation Core);
- *Midhaul* ("середній" фрагмент) – ділянки між блоками CU та DU;
- *Fronthaul* ("далекий" фрагмент) – ділянки між DU та RRU.

Технічні вимоги до багатьох характеристик транспортної мережі (швидкості передавання, пропускної здатності, використовуваних інтерфейсів) нормуються окремо для кожного з перерахованих фрагментів) [5]. Але слід зважати на те, що архітектура мережі 5G передбачає кілька сценаріїв з різними варіантами фізичної реалізації блоків CU, DU та RRU (окремо або в поєднанні). Тому в деяких випадках фрагменти *Midhaul* та *Fronthaul* можуть бути відсутні.

Оскільки процес стандартизації IMT-2020/5G (в тому числі в частині транспортної мережі) ще не завершено, багато технічних аспектів знаходяться в стадії активних досліджень та апробації [4, 5]. На етапі впровадження платформи IMT-2020 операторам важливо забезпечити спадкоємність та співіснування технологій і разом з тим оптимально застосувати нові підходи до планування та експлуатації транспортних мереж. Це, зокрема, стосується і аспектів синхронізації та розповсюдження точного часу.

Ще в період впровадження мереж NGN, 3G та LTE (на початку 2000-х років) виникла потреба адаптації та доопрацювання традиційних підходів та технічних рішень з синхронізації (тобто “класичної” концепції тактової мережевої синхронізації – ТМС) для забезпечення синхронізації за частотою / фазою / часом в умовах пакетної мережі з асинхронним способом передавання [3]. В результаті активної багаторічної роботи експертів SG-15 ITU-T, існуючий стан стандартизації технічних рішень в частині синхронізації наразі забезпечує достатню базу для впровадження стандарту IMT-2020/5G, принаймні на початковому етапі. Це стосується перш за все базової транспортної мережі та фрагменту *Backhaul*, де буде застосовано вже відпрацьовані в існуючих мережах 3G та LTE методи синхронізації – частотну синхронізацію на фізичному рівні (синхронний Ethernet SyncE та синхронна оптична транспортна мережа OTN) в поєднанні з фазовою/часовою синхронізацією за протоколом PTP (IEEE 1588). Удосконалення передбачаються в частині параметрів генераторного обладнання SyncE та синхронної OTN (відповідно до нової Рекомендації ITU-T G.8262.1), а також покращення показників затримок пакетного передавання. Використання більш точного генераторного обладнання на всіх фрагментах пакетної транспортної мережі сприятиме підвищенню показників точності та стабільності з одночасним спрощенням структури мережі синхронізації. Такий підхід узгоджується із загальною концепцією мережі 5G, яка передбачає наближення мережевих ресурсів до точки надання послуг кінцевому споживачу.

Що стосується синхронізації радіоінтерфейсу, а також проміжних фрагментів (*Midhaul* и *Fronthaul*), то відповідні вимоги ще знаходяться в стадії розробки. Вони будуть уточнюватись залежно від того, які технології та послуги на рівні RAN буде реалізовано в першу чергу.

Література

1. Триска Н.Р., Бирюков Н.Л. Телекоммуникации в формате 5G: перспективы и технические решения. – Праці VI Міжнародної науково-практичної конференції “Обробка сигналів і негаусівських процесів”, присвяченої пам’яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. [Електрон-ний ресурс] – Черкаси: ЧДТУ, 2017. – С. 197-199.
2. Триска Н.Р. Актуальные задачи синхронизации на этапе развертывания сетей 5G. – Одинадцята Міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми телекомунікацій” (ПТ-2017), 18-21 квітня 2017 р. Матеріали конференції. – ІТС НТУУ “КПІ”. – С. 102-104.
3. Триска Н.Р. Синхронизация в телекоммуникациях нового поколения: обзор технологий и стандартов. – Дванадцята Міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми телекомунікацій” (ПТ-2018), 16-20 квітня 2018 р. Матеріали конференції. – ІТС НТУУ “КПІ”. – С. 101-103.
4. Technical Report ITU-T GSTP-TN5G: Transport network support of IMT-2020/5G. –SG15-TD338/PLEN, October 2018.
5. Draft Recommendation Characteristics of transport networks to support IMT-2020/5G (G.ctn5g). – SG15-TD295/PLEN, October 2018.

УДК 621.391

ПЕРСПЕКТИВИ ПОБУДОВИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ LIFI

Романов О.І., Донг Т.Т., Сайченко І.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: a_i_romanov@ukr.net, dongthitho1993@gmail.com, paramayson@gmail.com

Prospects for the construction of environmentally friendly data networks using the technology LIFI

The possibility of deployment LiFi network system at the PHY layer are considered. Merits and drawbacks of implementation of the wireless network based on LiFi technology are given.

Результати аналізу сучасного стану та перспектив розвитку ринку телекомунікацій, передбачають експоненціальне зростання обсягу передачі бездротових даних до кінця 2020 року [1,2]. При цьому наголошується, що сьогодні радіотехнології в мережах бездротового доступу находятсяч на межі своїх можливостей з пропускної здатності та якості обслуговування. В результаті пошуку шляхів вирішення проблем з'явилася технологія LiFi.

LiFi забезпечує побудову оптичних бездротових комунікацій (OWC). При цьому, OWC для організації бездротового оптичного доступу може використовувати діапазон довжин хвиль видимого світла VLC, інфрачервоний і ультрафеолетовий діапазони. Крім того, LiFi інтегрує систему зв'язку з зеленими і екологічно безпечними системами освітлення (LED) і передбачає подвійне використання світла.

У зв'язку із зростанням цін на електроенергію, зараз повсюдно впроваджуються світлодіодні (LEDs) продукти [3,4]. Провідні компанії, що займаються бізнесом у сфері освітлення, відзначають, що використання світлодіодних ламп забезпечують їм отримання більше 50% своїх доходів. Зокрема, Acuity Brands (67%), OSRAM (65%), Philips (61%), Hubbell (55%) і Zumtobel. (73%) [5]. За даними Strategies Unlimited наприкінці 2016р. LEDs становили 11% від загальної кількості встановлених освітлювальних приладів, а до 2022 року ця величина досягне 20% (рис.1).

Крім того, пошук енергоефективних рішень привернув увагу до технології PoE, яка дозволяє передавати електричну енергію і дані, використовуючи один кабель. Наприклад, вже є висотні будівлі в Амстердамі, в яких понад 6500 PoE підключень до LEDs, що дозволило знизити витрати на установку на 25% і скоротити час розгортання системи більш ніж на 50% . Очікується, що до 2024 року обсяг ринку PoE досягне $ 1050000000, збільшившись на 13% за даними CAGR (рис.2) [6].

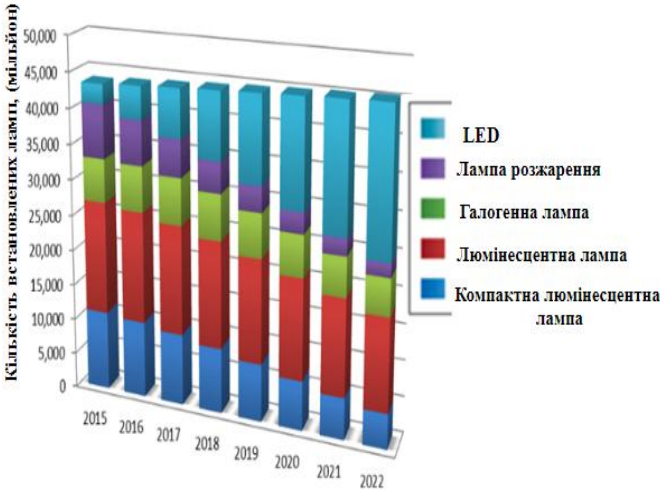


Рис.1. Тенденція зростання LEDs

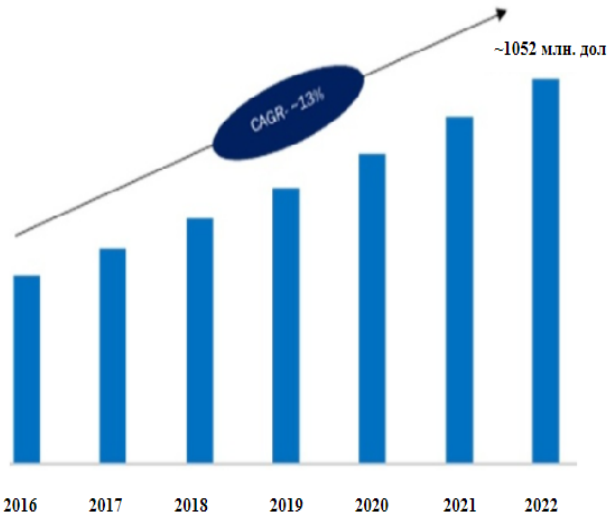


Рис.2. Тенденція зростання ринка PoE

Темпи зростання ринку LEDs і PoE є відмінною перспективою для розвитку технології LiFi, так як це готова базова інфраструктура мережі бездротового доступу. При цьому технологія LiFi має такі переваги:

- екологічно безпечне бездротове з'єднання;
- може бути використано для підключення в приміщеннях, які не допускають використання WiFi (літаки, лікарні);
- висока пропускна здатність;
- висока ефективність - не потрібна ліцензія, економія енергії, готова транспортна структура на базі системи освітлення з використанням LEDs;
- безпечна для людини (особливо дітей і вагітних жінок).

На рис. 3 представлений варіант мережі LiFi, з використанням PoE, в якій можуть бути реалізовані перераховані вище переваги.

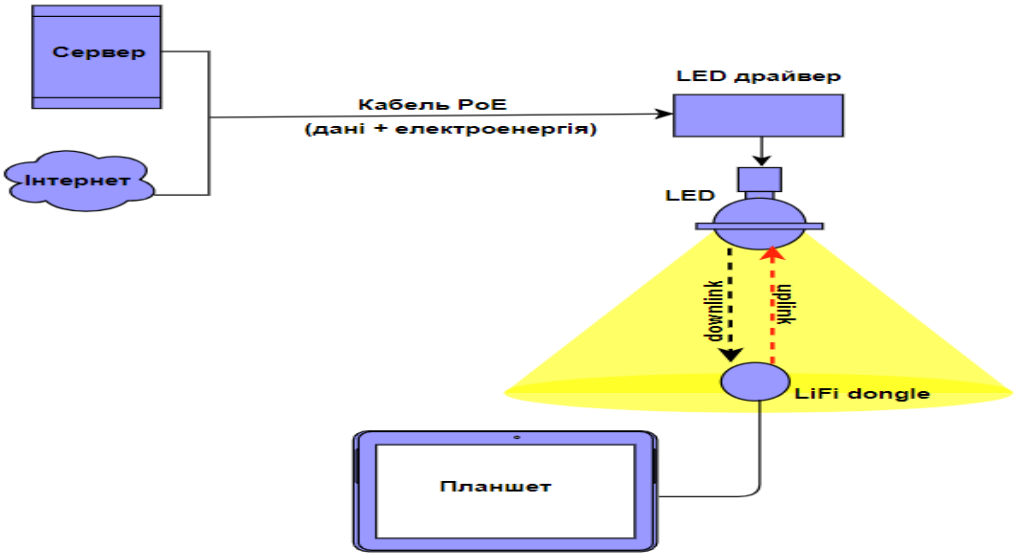


Рис. 3 Передача інформації в мережі LiFi з використанням PoE.

Процес обслуговування відбувається наступним чином. Дані з Інтернет або Сервера надходять на вхід системи (універмаг, офіс, лікарня та інш.).

Усередині системи, по оптичному кабелю або кабелю живлення з використанням технології PoE, дані надходять на драйвер LEDs, який керує процесом перетворення електричних сигналів в оптичні. Далі дані, у вигляді світлового модульованого сигналу від LEDs, передаються на фотоприймачі з використанням технології LiFi. Таким чином, LEDs стають передавачами сигналів, а фотоприймачі - приймачами сигналів в системі бездротового оптичного доступу.

Світлодіодні лампи LEDs є напівпровідниковими приладами. Тому швидкість зміни яскравості світла, випромінюваного LEDs, може бути дуже високою. На сьогоднішній день час перемикання LEDs з одного стану в інший може досягати наносекунд. Це дозволяє передавати інформацію в широкому діапазоні швидкостей. При цьому коливання в освітленні не уловлюються людським оком.

У фотоприймачі (LiFi dongle) сигнал детектується і зміни інтенсивності світла інтерпретуються як дані. Крім того, фотоприймачі можуть мати вбудований інфрачервоний детектор для висхідній лінії зв'язку (uplink).

Цифровий процесор сигналу, вбудований або поєднаний із LED-драйвером, приймає дані і перетворює їх в цифровий потік у вигляді послідовності дискретних рівнів напруги. Драйвер світлодіоду в кожному LED перетворює цифровий сигнал в фотонний сигнал на високій частоті. Декодер на приймальному пристрої, наприклад, комп'ютері або смартфоні переводить сигнали в дані для користувача. Кожен приймальний пристрій повинен мати USB-ключ (LiFi - dongle) для прийому сигналу і декодер для перетворення даних з фотонного в електронний вигляд. LiFi - dongle також може містити інфрачервоний світлодіод, який модулює сигнал передачі для повернення даних на світлодіод і в мережу.

В даний час існує багато компаній (Oledcom, Purelifi, Vlccomm та інші), що пропонують пристрої LiFi, які можна використовувати для побудови високошвидкісних бездротових оптичних мереж зв'язку. Нещодавно, компанія pureLiFi представила пристрій Gigabit LiFi на Mobile World Congress. Система Gigabit LiFi здатна передавати дані до 1 Гбіт / с для dounlink, і 377 Мбіт / с для uplink.

Протягом минулого року робоча група IEEE 802.11 з питань LiFi комунікацій працювала з виробниками, операторами і кінцевими користувачами задля розробки нового стандарту. Мета полягала в тому, щоб новий стандарт був завершений у травні 2021 року. Однак, на цей час можливе використання ранній версії стандарту [1]. Тому розробка нового обладнання LiFi йде повним ходом. На рис.4 зображена кілька LiFi продуктів провідних компаній та їх характеристики.

Слід відзначити, що Li-Fi компоненти відносно дорогі. Вартість складає від 1000 до 2000 доларів за комплект передавального пристрою. Крім того, мережа LiFi вимагає більшої кількості передавальних пристроїв, ніж WiFi. На думку фахівців, потрібно знизити вартість обладнання до $ 100 за штуку, щоб вони були конкуренто спроможними у порівнянні з WiFi. Крім того,

необхідно зменшити габарити LiFi пристроїв, щоб смартфони і ноутбуки могли розміщувати приймачі сигналів всередині.

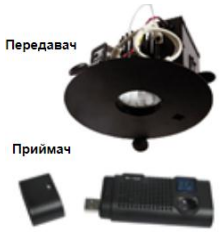
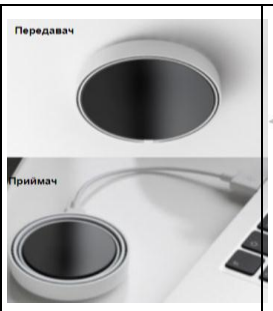
				
LiFi XC (2017): PureLiFi downlink 43 Мбіт/с uplink: 43 Мбіт/с; Покриття зв'язку: 2.8 м²; ~16 users/LED	LiFi X (2018): PureLiFi&Lucibel downlink: 43 Мбіт/с uplink: 43 Мбіт/с 2.8 m2;	LiFiMAX (2018): Oledcomm downlink: 100 Мбіт/с uplink: 40 Мбіт/с, 28м²; ~16 users/LED	LumiNex (2018): Vlncomm downlink: 70 Мбіт/с uplink: 60 Мбіт/с 20 m^2; ~15 users/LED	LumiNet Desktop (2018): Vlncomm downlink: 23 Мбіт/с uplink: 23 Мбіт/с, 1 m^2; ~7 users/LED

Рис.4. LiFi продукти.

Висновки:

1. LiFi є перспективною технологією, яка забезпечує побудову оптичних бездротових комунікацій.

2. LiFi є екологічно безпечною технологією і може бути використана там, де радіо технології заборонено використовувати.

3. При побудові мережі LiFi є можливість використання мережі освітлення на базі LEDs як телекомунікаційного середовища передачі даних. Це дозволяє зменшити вартість системи.

4. Вартість компонентів LiFi сьогодні висока, однак йдуть інтенсивні роботи по усуненню цього недоліку і зменшенню затрат.

Література

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Standard for Local Area Networks, 802.15.7 IEEE, 2011.
2. Harald Haas, Liang Yin, Yunlu Wang, and Cheng Chen, “What is LiFi?”, Journal of lightwave technology, 0733-8724, 2015 IEEE.
3. O.I. Romanov, Y.S. Hordashnyk, T.T. Dong. “Method for calculating the energy loss of a light signal in a telecommunication Li-Fi system” // UkrMiCo, 2017, Odessa - IEEE Xplore Digital Library, DOI: 1109/UkrMiCo.2017.8095404, 2017. – P. 1-7.
4. Романов О.І., Федюшина Д.М., Донг Т.Т. Використання технології VLC для побудови мереж LI-FI та принцип її практичної реалізації. Матеріали 12-ої МНТК «Проблеми телекомунікацій», Київ, 2018 р. С 92-94.
5. Svilen dimitrov, German Aerospace Center (DLR), Harald Has, “Principles of LED Light Communications Towards Networked Li-Fi”, Cambridge University Press 2015.
6. MohammedS.A. Mossaad, SteveHranilovic, and LutzLampe, “Visible Light Communications Using OFDM and Multiple LEDs”, 0090-6778 (c) 2015 IEEE.

УДК 621.29 (045)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА

Харлай Л.О.
Київський коледж зв'язку
E-mail: lharlay@i.ua

Mathematical model of transport network of mobile operator

The indicators of the quality of service provision in the transport network were investigated and the optimal dependencies between the parameters of nodes and channels were identified and, therefore, it would be possible to construct, in the optimal way, the mechanism of adaptive redistribution of telecommunication resources between client applications. The improvement of the mathematical model of the transport network of the cellular operator is presented.

В роботі досліджено показники якості надання послуг в транспортній мережі та виявлено оптимальні залежності між параметрами вузлів та каналів і, отже, дозволить оптимальним чином побудувати механізм адаптивного перерозподілу телекомунікаційних ресурсів між клієнтськими додатками. Приведено удосконалення математичної моделі транспортної мережі стільникового оператора.

Підтримка заданих у Service level agreement (*SLA)* показників якості надання послуг забезпечується шляхом адаптивного перерозподілу у реальному часі ресурсів телекомунікаційної мережі (ТКМ), зокрема швидкості передавання диференційованих потоків та виділених для них канальних смуг [1]. В нашому випадку під управлінням параметрами будемо мати на увазі управління транспортною мережею. Адаптивне керування параметрами каналу потребує однозначного визначення залежності між швидкістю передачі даних і показниками завадостійкості каналу. Бажано, щоб механізм перерозподілу мав змогу оптимальним чином налаштовувати параметри обладнання на підтримку диференційованого обслуговування відповідно до прийнятого критерію оптимальності. Тому виникла потреба у використанні аналітичних математичних моделей (ММ) каналів передавання даних (КПД), що адекватно відображають реально існуючі функціональні взаємозв'язки між параметрами таких каналів. Параметрична оптимізація цих моделей виявить оптимальні залежності між параметрами вузлів та каналів і, отже, дозволить оптимальним чином побудувати механізм адаптивного перерозподілу телекомунікаційних ресурсів між клієнтськими додатками (інформаційними потоками).

Проведемо удосконалення математичної моделі транспортної мережі стільникового оператора. Фізична мережа представлена неорієнтованим графом (V, P), а логічна мережа представлена іншим неорієнтованим графом (V, L), де V-обсяг трафіку, P та L вартість шляхів у відповідних архітектурах (рис. 1[1]).

Обидва шари мають однаковий набір вузлів. Посилання логічного шару є потенційно допустимими логічними посиланнями, тоді як посилання фізичного шару визначені. На обох графах ребра є простими, оскільки в цій моделі мультиграфів не дозволяється. Для кожної різної пари вузлів p, q Є V відомий обсяг трафіку d_{pq} для передачі по унікальному шляху (тунелю), цей трафік слідує по всій конфігурації логічного рівня. Ці шляхи є унікальними на кожному етапі, але у випадку недоступності певного шляху вони можуть змінюватися, передаючи дані по альтернативному маршруту. Для простоти моделі припускаємо, що обсяг трафіку симетричний (наприклад, $d_{pq} = d_{qp}$).

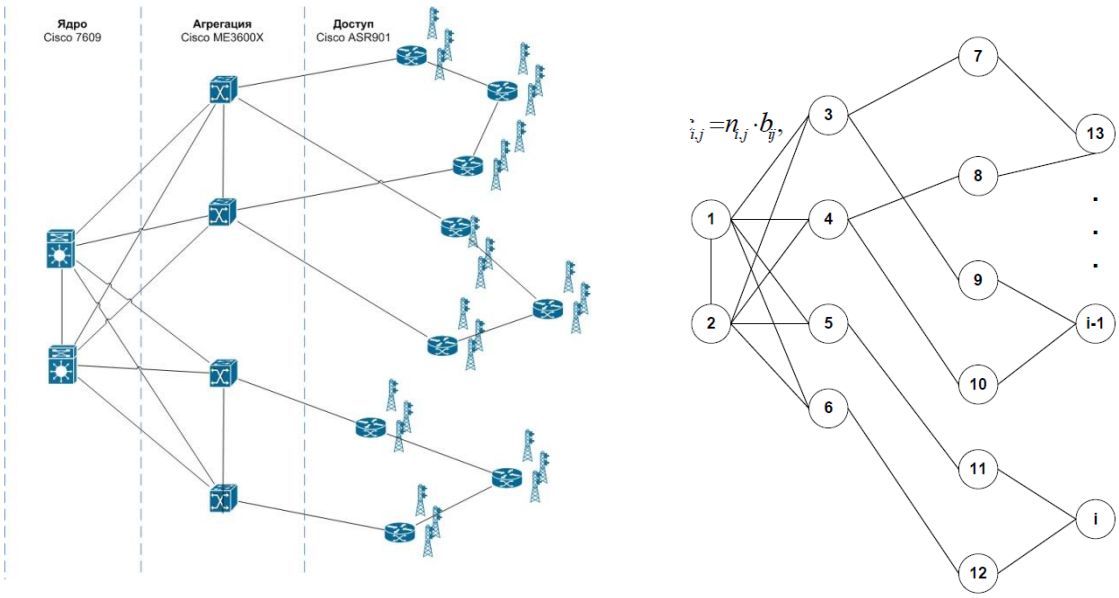


Рис. 1. Фізична та логічна архітектури транспортної мережі стільникового оператора.

Стільникова мережа складається з двох основних сегментів, одним із яких є транспортна мережа. В архітектурі такої мережі, яка представлена комірчастою топологією, матриця пропускних здатностей кожного каналу зв'язку описується нижче наведеним чином:

$$C = \begin{pmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,j} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{i,1} & c_{i,2} & \dots & c_{i,j} \end{pmatrix}$$

При чому пропускна здатність кожного об'єднаного каналу:

$$c_{i,j} = n_{i,j} \cdot b_{ij},$$

І вартість відповідно:

$$pr_{i,j} = \begin{cases} n_{i,j} \cdot p_{i,j} \cdot t_{i,j} \\ n_{i,j} \cdot pr_1 \end{cases}$$

де b_{ij} - бітрейт, що може бути забезпечений в (ij)-му оптичному

волокні; $n_{i,j}$ - кількість оптичних волокон; $p_{i,j}$ - вартість оренди 1-го оптичного волокна в місяць; $pr_{i,j}$ - вартість купівлі оптичного волокна; $t_{i,j}$ - час оренди (i,j) волокна (місяців).

Загальна необхідна пропускна здатність в мережі – сумарний трафік, що генерується абонентами R_{gen} разом із закладеним резервом R_{res}:

$$R = R_{gen} + R_{res}.$$

$R_{i,j} = R_{gen_i,j} + R_{res_i,j}$, - трафік, що генерується між парою вузлів.

Тоді має виконуватись умова:

$$R \le C_{sum},$$

В кожній гілці має виконуватись умова:

$$R_{i,j} \le c_{i,j},$$

Для прогнозування кількості трафіку необхідно використовувати кореляційно-регресійний аналіз попередніх часових інтервалів. Таким чином, буде можливим визначати необхідний запас.

Також для аналізу необхідного запасу R_{res} необхідно проводити статистичний аналіз кількості трафіку, що генерується в мережі в залежності від часу доби.

Тоді сумарна пропускна здатність має бути якомога меншою, при цьому забезпечуючи необхідний запас (резерв):

$$C_{sum} = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} c_{i,j} \to \min;$$

Останній вираз надає змогу оцінити цільову функцію, а отже і здійснити постановку задачі параметричної оптимізації.

Література

1. Л.О. Харлай, Р.С. Одарченко. Удосконалення архітектури транспортної мережі стільникового оператора. XVIII міжнародна науково-технічна конференція Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018
2. К.К. Васильев, М.Н. Служивый. Математическое моделирование систем связи:учебное пособие для вузов. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 210 с.
3. В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие в 3 томах. Т. 3. Мультисервисные сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 592 с.

УДК 621.391

МОДЕЛЬ ШВИДКОЇ ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЇ ІЗ З АХИСТОМ РІВНЯ QOS У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

Лемешко О.В., Євдокименко М.О., Єременко О.С., Мерсні А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
E-mail: oleksandr.lemeshko.ua@ieee.org, maryna.yevdokymenko@ieee.org, oleksandra.yeremenko.ua@ieee.org, elmersniamal@gmail.com

Fast ReRoute Model with the protection of QoS level in the telecommunication network

The flow-based model of Fast ReRoute in a telecommunication network with QoS protection under multiple parameters, such as bandwidth, probability of packet loss, and average end-to-end delay is presented. Formulation of the conditions for the provision and protection of a given level of QoS according to these indicators in the analytical form was possible on the basis of the use of the tensor methodology.

Для підвищення рівня надійності надання телекомунікаційних послуг у сучасних мультисервісних мережах важливе місце відводиться протоколам відмовостійкої маршрутизації, а саме засобам швидкої перемаршрутизації, коли поруч з розрахунком основного шляху визначається і резервний маршрут [1, 2]. В роботі пропонується модель швидкої перемаршрутизації із захистом рівня QoS, в рамках якої структура мережі описується одновимірною мережею $S=(U,V)$, де $U=\{u_r, r=\overline{1,m}\}$ – 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 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/с).

Результатом розв'язання задачі швидкої QoS перемаршрутизації є розрахунок двох типів маршрутних змінних – $x_{i,j}^k$ та $\bar{x}_{i,j}^k$, кожна з яких характеризує частку інтенсивності k-го потоку в каналі зв'язку (i,j), що входить до основного або резервного шляху відповідно; K – множина потоків в мережі. Стратегія багатошляхової маршрутизації в моделі реалізується на основі обмежень $0\le x_{i,j}^k\le 1$ та $0\le \bar{x}_{i,j}^k\le 1$, які накладаються на керуючі змінні.

Крім того, мають бути виконані умови збереження потоку на вузлах, які враховують ймовірні втрати пакетів, викликані перевантаженням черг [2]:

$$\begin{cases} \sum\limits_{j:(i,j)\in V} x_{i,j}^k = 1, \quad k\in K, \quad i=s_k; \\ \sum\limits_{j:(i,j)\in V} x_{i,j}^k - \sum\limits_{j:(j,i)\in V} x_{j,i}^k(1-p_{j,i}^k)=0, \quad k\in K, \quad i\neq s_k, d_k; \\ \sum\limits_{j:(j,i)\in V} x_{j,i}^k(1-p_{i,j}^k)=\varepsilon^k, \quad k\in K, \quad i=d_k, \end{cases} \tag{1}$$

де s_k – вузол відправник; d_k – вузол одержувач для k-го потоку; ε^k – частка k-го потоку, обслугованого мережею за допомогою основного шляху; $p_{i,j}^k$ – ймовірність втрат пакетів k-го потоку на j-му інтерфейсі i-го вузла при його використанні основним маршрутом. Аналогічні умови (2) накладаються на маршрутні змінні резервного шляху.

В роботі [2] пропонується ряд умов, що відповідають за реалізацію схем захисту елементів мережі при відмовостійкій багатошляховій маршрутизації. При цьому захист каналу зв'язку мережі $v_z = (i, j) \in V$ реалізується як:

$$0 \le \bar{x}_{i,j}^k \le \delta_{i,j}^k, \text{ де } \delta_{i,j}^k = \begin{cases} 0, \text{ при захисті каналу зв'язку } (i, j) \in V; \\ 1, \text{ в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2)$$

Також мають місце обмеження щодо запобігання перевантаження пропускної здатності каналів зв'язку (умови захисту пропускної здатності):

$$\sum_{k \in K} \lambda_{req}^k \cdot \max[x_{i,j}^k, \bar{x}_{i,j}^k] \le \varphi_{i,j}, \ (i, j) \in V, \quad (3)$$

де λ_{req}^k – середня інтенсивність k-го потоку (1/с), що надходить до мережі.

Умови захисту такого QoS-показника як імовірність втрат пакетів k-го потоку в мережі мають наступний вигляд:

$$1 - \varepsilon^k \le p_k^{\langle req \rangle} \text{ та } 1 - \bar{\varepsilon}^k \le p_k^{\langle req \rangle}, \quad (4)$$

де $p_k^{\langle req \rangle}$ – QoS-вимоги щодо граничних допустимих значень ймовірності втрат пакетів -го потоку в мережі.

З метою забезпечення міжкінцевої QoS перейдемо до тензорної моделі телекомунікаційної мережі (ТКМ) [1], структура якої визначає дискретний n-вимірний простір, де n – число каналів зв'язку в мережі. ТКМ розглядається в двох ортогональних системах координат (СК): гілок мережі $\{v_k, k = \overline{1,n}\}$, а також лінійно незалежних контурів $\{\pi_i, i = \overline{1,\mu}\}$ і вузлових пар $\{\eta_j, j = \overline{1,\phi}\}$, $\mu(S) = n - m + 1$ – цикломатичне число, а $\phi(S) = m - 1$ – ранг мережі, які визначають відповідно кількість базисних контурів і вузлових пар в мережі S. Тоді в разі моделювання функціонування інтерфейсу маршрутизаторів мережі СМО M/M/1/N метрика простору буде представлена тензором G, координати проекції якого в СК гілок, представлені діагональними елементами матриці G_v розміру $n \times n$ і віднесені до кожного потоку в мережі, будуть розраховуватися так [1]:

$$g_v^{zz} = \frac{\boldsymbol{\lambda}_z (1 - \rho_z^{N+1})(1 - \rho_z) \lambda_v^z}{\rho_z - \rho_z^{N+2} - (N+1)\rho_z^{N+1}(1 - \rho_z)}, \quad (5)$$

де λ_v^z – інтенсивність аналізованого потоку в z-му каналі зв'язку при використанні наскрізної нумерації каналів. Проекції тензора G при зміні СК його розгляду перетворюються як [1]:

$$G_{\pi\eta} = A^t G_v A, \tag{6}$$

де $G_{\pi\eta}$ – проекція тензора G в СК контурів і вузлових пар, A – $n \times n$ матриця коваріантного координатного перетворення [1], $[\cdot]^t$ – оператор транспонування, $[\cdot]^{-1}$ – оператор обернення матриці.

Як показано в [1], матрицю $G_{\pi\eta}$ можна представити таким чином:

$$G_{\pi\eta} = \left\| \begin{matrix} G_{\pi\eta}^{\langle 1 \rangle} & | & G_{\pi\eta}^{\langle 2 \rangle} \\ --- & + & --- \\ G_{\pi\eta}^{\langle 3 \rangle} & | & G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle} \end{matrix} \right\|, \; G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle} = \left\| \begin{matrix} G_{\pi\eta}^{\langle 4,1 \rangle} & | & G_{\pi\eta}^{\langle 4,2 \rangle} \\ --- & + & --- \\ G_{\pi\eta}^{\langle 4,3 \rangle} & | & G_{\pi\eta}^{\langle 4,4 \rangle} \end{matrix} \right\|,$$

де $G_{\pi\eta}^{\langle 1 \rangle}$ и $G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle}$ – квадратні підматриці розміру $\mu \times \mu$ і $\phi \times \phi$ відповідно, $G_{\pi\eta}^{\langle 2 \rangle}$ – підматриця розміру $\mu \times \phi$, $G_{\pi\eta}^{\langle 3 \rangle}$ – підматриця розміру $\phi \times \mu$; $G_{\pi\eta}^{\langle 4,1 \rangle}$ – перший елемент матриці $G_{\pi\eta}^{\langle 4 \rangle}$.

Тоді умови забезпечення якості обслуговування для кожного k-го потоку за вимогами щодо параметрів середньої затримки τ_{req}^k, швидкості передачі λ_{req}^k та ймовірності втрат пакетів $p_k^{\langle req \rangle}$ приймають вид [1]:

$$\varepsilon^k \le G_{\pi\eta}^{\langle 4,2 \rangle} \left[G_{\pi\eta}^{\langle 4,4 \rangle} \right]^{-1} \Lambda_{\eta-1} + \left(G_{\pi\eta}^{\langle 4,1 \rangle} - G_{\pi\eta}^{\langle 4,2 \rangle} \left[G_{\pi\eta}^{\langle 4,4 \rangle} \right]^{-1} G_{\pi\eta}^{\langle 4,3 \rangle} \right) \tau_k^{\langle req \rangle}. \tag{7}$$

В ході розв’язання задачі швидкої перемаршрутизації із захистом рівня QoS у ТКМ пропонується використовувати критерій оптимальності:

$$J = \sum_{k \in K} (c^k \varepsilon^k + \bar{c}^k \bar{\varepsilon}^k) \to \max, \tag{8}$$

де $c_{i,j}^k$ і $\bar{c}_{i,j}^k$ – вагові коефіцієнти щодо пріоритетності k-го потоку. Таким чином, вдалося звести задачу швидкої QoS перемаршрутизації до розв’язання оптимізаційної задачі нелінійного програмування.

Література

1. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M. Tensor Model of Fault-Tolerant QoS Routing with Support of Bandwidth and Delay Protection // 2018 XIIIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2018. – P. 135-138.
2. Лемешко, О.В. Розробка та дослідження лінійної оптимізаційної моделі швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційних мережах / О.В. Лемешко, О.С. Єременко // Радиоэлектроника и информатика. – 2017. – № 4 (79). – С. 18–25.

УДК 621.396

УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В БЕЗПРОВОДОВИХ САМООРГАНІЗУЮЧИХ МЕРЕЖАХ

Сальник С.В.
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: s.sergey@i.ua

Managing data streams of the wireless ad hoc networks

The article deals of mobile radio networks during their construction is outlined. The definition of wireless self-organizing networks is given. Characterized types of wireless self-organizing networks. The specified levels of data flow management are distinguished in telecommunication networks. The basic requirements for data streams in mobile radio networks and functions of data flow management methods in wireless self-organizing networks are determined. It is proposed to ensure the transmission of mobile radio network data using the elements of intellectualization of networks used in conditions of fuzzy network activity.

На сьогодні у телекомунікаційній сфері багато уваги приділяється розвитку мобільних радіомереж (МР), які завдяки своїм особливостям, знаходять широке застосування при побудові безпроводових мереж зв'язку. Особливостями побудови МР є: динамічна топологія; надійність та динамічність радіоресурсу; колективний характер їх використання; обмеженість та неоднорідність ресурсів вузлів; здатність до самоорганізації; одночасне використання вузлів у ролі маршрутизаторів, комутаторів, і кінцевих пристроїв та інше. Сучасною тенденцією розвитку телекомунікаційних мереж є забезпечення повної мобільності користувачів, яке можливо реалізувати шляхом використання безпроводових самоорганізуючих радіомереж (БСМ) [1].

БСМ – являють собою децентралізовані безпроводові мережі, які не мають постійної структури, але є динамічними, мобільними та самоорганізуючими. Кожен вузол мережі намагається переслати дані призначені іншим вузлам. При цьому визначення, якому вузлу надсилати дані, проводиться динамічно, на основі зв'язності мережі. До таких мереж можна віднести мережі типів:

– WSN (Wireless Sensor Networks) – безпроводова сенсорна розподілена, самоорганізуюча мережа, яка побудована на множині сенсорів об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. Радіус покриття мережі може становити до декількох кілометрів. Мережі побудовані на сенсорах здатні моніторити певні параметри та збирати інформацію про аномалії, які з'являються в мережі [2].

– Mesh – радіомережі чарункової структури, які складаються з безпроводових стаціонарних маршрутизаторів та створюють безпроводову

магістраль і зону обслуговування мобільних та стаціонарних абонентів. Дана мережа зарекомендувала себе в організації МР військового призначення, та здатна передавати цифрову інформацію, аудіо- та відеозв'язок [3].

– Ad Hoc – радіомережа, яка являє собою мережу, що складається з множини мобільних вузлів, основна особливість яких – це відсутність централізованої координації або фіксованої інфраструктури. Кожен вузол є не тільки кінцевим користувачем системи, але і, при необхідності, виступає у якості маршрутизатора для пересилання пакетів інших вузлів. Такі мережі дозволяють оперативно організувати мережеву взаємодію між користувачами на великих площах з незначними витратами на розгортання спеціалізованої інфраструктури. В свою чергу, Ad-hoc мережі можливо розпіоділити на:

– MANET (Mobile Ad-hoc Networks) – радіомережі з динамічною топологією, множиною абонентів, децентралізованим управлінням при відсутності базових станцій або опорних вузлів [1].

– VANET (Vehicle Ad-hoc Networks) – атомобільні мережі зв'язку транспортних засобів, які забезпечують зв’язок між мобільними та стаціонарними об’єктами мережі [4].

– FANET (Flying Ad-hoc Networks) – головним завданням даних мереж є забезпечення прийнятної якості передачі відеопотоку з борта літаючого вузла на наземну станцію [5].

Робота вказаних засобів ґрунтується на підтримці БСМ, які побудовані на протоколах маршрутизіції та передачі даних. Зазначені засоби, протоколи та стандарти характеризуються, як перевагами так і недоліками такими як: низька завадостійкість, слабкий захист передачі даних, невелика пропускна здатність мережі, зниження якості обслуговування мережі, що, в свою чергу, вказує на важливість рішення питання щодо забезпечення доставки даних в мережі, як компонентів МР так і МР в цілому. Цей процес, в БСМ здійснюється за допомогою управління потоками даних в телекомунікаційній мережі.

В свою чергу, управління потоками даних в телекомунікаційній мережі являє собою процес узгодження характеристик потоків даних і характеристик засобів, які обслуговують ці потоки, що здійснюється шляхом встановлення таких значень параметрів відповідних мережевих елементів, при яких забезпечується доставка даних в мережі із заданою якістю обслуговування, а до основних вимог до методів управління потоків даних (МУПД) в МР є: децентралізоване управління; розподілене функціонування; мінімальне завантаження мережі інформацією; здійснення функції управління потоками даних на різних рівнях моделі OSI; опрацювання різнорідних та нечітких даних.

В цілому сучасні МУПД мають наступні функції, які зазначені на рис. 2, які реалізуються в відповідних МУПД, що використовуються в мобільних радіомережах [6].

Рис. 1. Функції методів управління потоками даних в безпроводових самоорганізуючих мережах.

Проведений аналіз дозволив з`ясувати у БСМ та МУПД: забезпечення передачі інформаційних даних в сучасних МР потребує спеціалізованого обладнання, алгоритмів та методів, які забезпечать швидку передачу даних, як в окремих вузлах так і в мережі в цілому; ефективне функціонування радіозасобів в МР передбачає існуванні системи управління в кожному мобільному вузлі, де використовується ПУПД в МР; застосування інформаційних технологій при розробці радіозасобів дозволяє інтелектуалізувати мобільні вузли, що забезпечує можливість їх самоорганізації у МР та прийняття ними рішень з управлінні вузловими та мережевими ресурсами в умовах нечіткості або невизначеності; передача різних видів трафіка забезпечить прийняття управлінських рішень системою управління МР в режимі реального часу.

Література

1. Романюк В.А. Мобільні радіомережі (MANET) – основа побудови тактичних мереж зв’язку / Романюк В.А. // IV Науково-практичний семінар ВІТІ “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 5–18.
2. Mainwaring A. Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring, in ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications / Mainwaring A., Polastre J., Szewczyk R., Culler D., Anderson J. // (WSNA'02). – 2002., pp. 88–97.
3. Стрюк О.Ю. Метод максимізації корисності MESH-радіомережі на основі показників сприйняття якості обслуговування абонентів / Стрюк О.Ю. // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ „Київський політехнічний інститут”. – Випуск № 2. – Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С.131–140.
4. Harsch C. Secure position-based routing for VANETs. In Proceedings of IEEE 66th vehicular technology conference / Harsch C., Festag A., Papadimitratos P. // (VTC-2007), Fall 2007 (pp. 26-30), Sept. 2007.
5. Survey A. Hoc Networks (FANETs) / A Survey // Ad Hoc Netw., 2013, Vol. 11, № 3, – Pp. 1254–1270.
6. Сова О.Я. Постановка проблеми управління потоками даних у мобільних радіомережах з динамічною топологією / Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2010. – № 1. – С. 92 – 100.

УДК 004.89

ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЛІЦЕНЗОВАНОГО СПЕКТРУ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СМУГИ

Міночкін Д.А., Сушин І.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: rubin268@ukr.net

Optimal use TV white space

An approach to the construction of a modern telecommunications network operating in rural areas is presented. The analysis of the use of the TV white space in several countries.

Однією з основних перешкод на шляху забезпечення широкосмугового зв'язку в напівміських і сільських районах є відсутність надійних і доступних транспортних мереж. Оптоволоконний зв'язок з точки зору транспортних мереж, який планується, буде охоплювати тільки сільські центри. Далі розглянемо, як невикористаний спектр телевізійної смуги (НСТС) може вирішити проблему забезпечення широкосмуговим зв'язком мільярда і більше жителів (зокрема Індії).

У зв'язку зі зростанням попиту на пропускну здатність в різних додатках дослідники в усьому світі виміряли зайнятість спектру в різних країнах. Спостереження показують, що за винятком спектру, розподіленого таким службам, як стільникові технології і промислових, наукових і медичних (ISM) смуг, велика частина виділеного спектру сильно не використовується. Загальне використання аналізованого спектру коливається від 4,54 відсотків в Сінгапурі до 22,57 відсотка в Барселоні [1,2]. Ліцензований, але невикористаний спектр телевізійної смуги в ТБ смузі-IV НВЧ-діапазону, 470-590 МГц, являє собою особливий інтерес завдяки чудовим характеристикам поширення (з точки зору рівня сигналу).

Кількість доступних НСТС залежить від місця розташування і часу. Доступні НСТС залежать від таких величин, як висота над середньою місцевістю, потужність передачі для другорядних користувачів і виокремлення не ліцензованих користувачів від ліцензованих. Оцінка НСТС проводилася в таких країнах, як США, Великобританія, Європа, Японія та Індія. Наприклад, в Японії з 40 каналів в середньому 16,67 каналу (41,67%) доступні в 84,3% районів [6]. Доступні НСТС по областям в Німеччині, Великобританії, Швейцарії і Данії в середньому знаходяться в діапазоні від 48 до 63 відсотків з 40 діапазонів телевізійних каналів [5]. Слід зазначити, що в ці дослідження НСТС також включена смуга частот 698-806 МГц для міжнародного рухомого електрозв'язку (IMT-A).

Правила Федеральної комісії зв'язку США (FCC) і правила Управління зв'язку (Ofcom) в Об’єднаному Королівстві дозволяють вторинні операції в НСТС [4]. Наприклад, правила FCC оголошують смугу як невикористану,

якщо не виявлено сигнал ліцензованого користувача (основоного) вище порогу -
114 дБм [4].

Мережа точка-багатоточка була реалізована в якості випробувального полігону НВЧ-діапазону в окрузі Палгхар, штат Махараштра, Індія, на відстані близько 107 км від Індійського технологічного інституту (ITI) в Бомбеї. Це перший тестовий полігон НСТС такого масштабу в Індії. Сім сіл в Палгхар (як показано на рис. 1) були відібрані для випробувального стенду, який розгорнуть на площі 25 км^2. Район Палгхар був обраний для розгортання випробувального стенду, оскільки він являє собою типовий випадок широкосмугового зв'язку в сільській місцевості Індії.

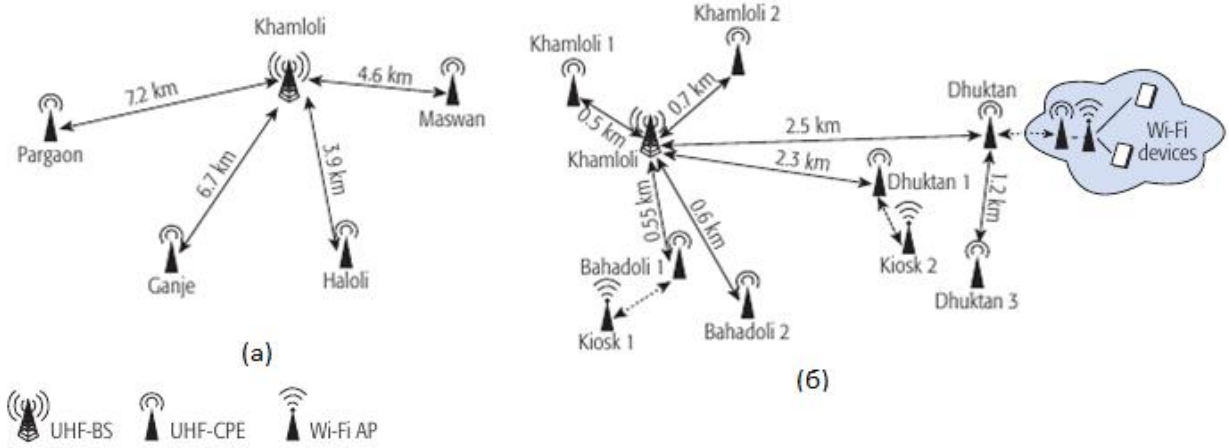


Рис. 1. Тестовий полігон (UHF-BS – НВЧ базова станція,
UHF-CPE - НВЧ абонентське обладнання)

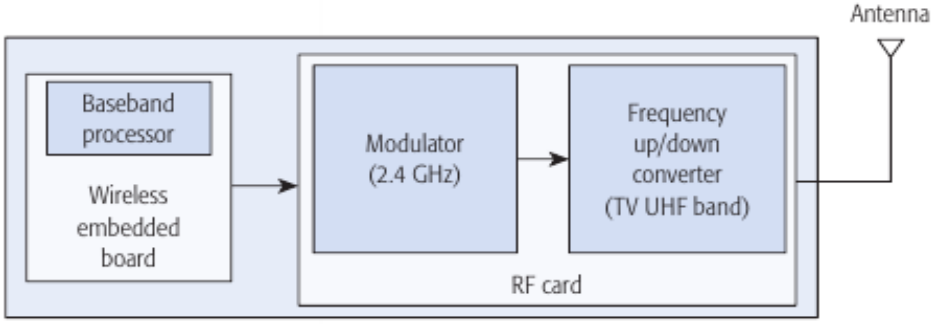


Рис. 2. Блок-схема пристрою ТБ НВЧ діапазону
(UHF-BS/CPE), розробленого в ITI Бомбей.

Прототип, розроблений (з метою здешевлення в порівнянні з поточними рішеннями, представленими на ринку) в ITI Бомбей (рис.2), складається з чотирьох основних компонентів: процесор основної смуги частот (baseband processor), модулятор (стандартний Wi-Fi-модулятор 2,4 ГГц), перетворювач з пониженням частоти (frequency down converter) і антена. Прототип містить комерційно доступну готову бездротову вбудовану плату стандарту IEEE 802.11a/b/g, яка може підключатися до радіочастотної карти з інтерфейсом mini PCI. Обробка основної смуги частот виконується за допомогою бездротової вбудованої плати, тоді як модуляція, а також перетворення частоти з діапазону 2,4 ГГц в ТБ НВЧ-діапазон виконуються за допомогою радіочастотної карти. OpenWrt - вбудована операційна система на основі ядра

Linux, портована у прототип для налаштування пристрою для роботи. Пристрій був налаштований згідно схеми модуляції і кодування 16-квадратурної амплітудної модуляції (QAM) і швидкості кодування 3/4. Чутливість приймача пристрою при цих параметрах варіюється від -83 дБм до -80 дБм (в залежності від ширини смуги). Кілька знімків зі стенду, що ілюструють коробку прототипу, показані на рис. 3.

Рис. 3. Фотографії деяких UHF-CPE: а) Дхектан-2 UHF-CPE встановлене на вершині пагорбу без будинків навколо; б) та в) UHF-CPE зазвичай встановлюється на висоті 4–6 м.

Пропускна здатність з протоколом UDP 10-11 Мбіт/с і пропускна здатність з протоколом TCP 7-8 Мбіт/с були отримані на лінії зв'язку Хамлолі-Дхектан-1 (2,3 км) для смуги пропускання 10 МГц. Пропускна здатність UDP 18-19 Мбіт/с і пропускна здатність TCP 14-15 Мбіт/с були отримані для смуги пропускання 20 МГц. Затримка для каналу Хамлолі-Гайндж варіюється від 2 до 15 мс, а пропускна здатність UDP варіюється від 5,6 до 8 Мбіт/с. Затримка для каналу Хамлолі-Дхектан-1 варіюється від 2 до 11 мс, а пропускна здатність UDP варіюється від 11 до 17 Мбіт/с (при ширині смуги 5 МГц і довжині ділянки 2,3 км) [3].

В результаті даного дослідження, можна сказати, що дане рішення також актуальне і для України в тих місцевостях, де дротову мережу створити економічно недоцільно або не є можливим на даний момент.

Література

1. M. H. Islam et al / Spectrum Survey in Singapore: Occupancy Measurements and Analyses // Proc. 3rd Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communication, May 2008, pp. 1–7.
2. M. Lypez-Bennтez, A. Umbert, and F. Casadevall / Evaluation of Spectrum Occupancy in Spain for Cognitive Radio Application // Proc. IEEE VTC-Spring, New York, Apr. 2009, pp. 1–5.
3. Ms. Rita Teotia et al // IEEE Communication Magazine, Jul 2016, p. 33.
4. R. I. C. Chiang, G. B. Rowe, and K. W. Sowerby / A Quantitative Analysis of Spectral Occupancy Measurements for Cognitive Radio // Proc. IEEE VTC-Spring, Apr. 2007, pp. 3016–20.
5. J. van de Beek et al / TV White Space in Europe // IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 11, no. 2, Feb. 2012, pp. 178–88.
6. T. Shimomura, T. Oyama, and H. Seki / Analysis of TV White Space Availability in Japan // IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, no. 2, Feb. 2014, pp. 350–58.

УДК 004.89

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ LORAWAN

Міночкін Д.А., Рибак О.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: alex96.rybak@gmail.com

The analysis of security Internet of Things on technology LoRaWAN

The theme of security is topical in almost any area of the Internet, Internet of Things (IoT) and Industrial Internet of Things (IIoT). Security has not always been taken into account when developing products. This is a big problem that deserves attention. Some IoT products come with outdated operating systems in their embedded form. Thus, all the benefits of new technologies should be achieved only in a safe environment.

Стек протоколів LoRaWAN представлений на рисунку 1. Схема складається з прикладного рівня, MAC рівня і фізичного рівня [1]. Дані з прикладного рівня відображаються в корисне навантаження MAC. Рівень MAC створює кадр MAC з використанням корисного навантаження MAC. Корисне навантаження MAC містить заголовок кадру (що містить адресу джерела і призначення, а також лічильник кадрів), порт кадру і корисне навантаження кадру (що містять дані додатків). Порт кадру використовується для визначення, чи містить кадр тільки команди MAC. Нарешті, рівень PHY використовує кадр MAC як корисне навантаження PHY і створює кадр PHY після вставки преамбули, заголовка PHY.

Рис. 1. Стек протоколу LoRaWAN.

Оскільки для будь-якої бездротової мережі вкрай важливо забезпечити безпеку, LoRaWAN використовує два рівня безпеки, один для мережі і один для прикладного рівня. Безпека мережевого рівня забезпечує справжність пристрою в мережі. Безпека на рівні додатків гарантує, що оператор мережі не має доступу до даних кінцевого користувача. Кінцевий пристрій (вузол) має бути активовано, перш ніж сенсор зможе обмінюватися даними в мережі

LoRaWAN. У мережах LoRaWAN доступні два методи активації: OTAA і ABP.

Активація по повітрю (OTAA). Цей метод заснований на бездротових повідомленнях про приєднання. Кожний кінцевий пристрій (вузол) розгортається з 64-біт DevEUI, 64-біт AppEUI і 128-біт AppKey. DevEUI є унікальним ідентифікатором для пристрою, який має 64-розрядний адрес, який можна порівняти з MAC-адресою для пристрою TCP/IP. AppKey використовується для криптографічного підпису запиту на приєднання, також AppKey використовується, коли вузол відправляє повідомлення запиту на з'єднання, як показано на рисунку 2. Вузол відправляє повідомлення запиту на з'єднання, що складається з його AppEUI і DevEUI. Крім того, він відправляє DevNonce, який є унікальним, випадково згенерованим двобайтовим значенням, використовуваним для запобігання атак [2].

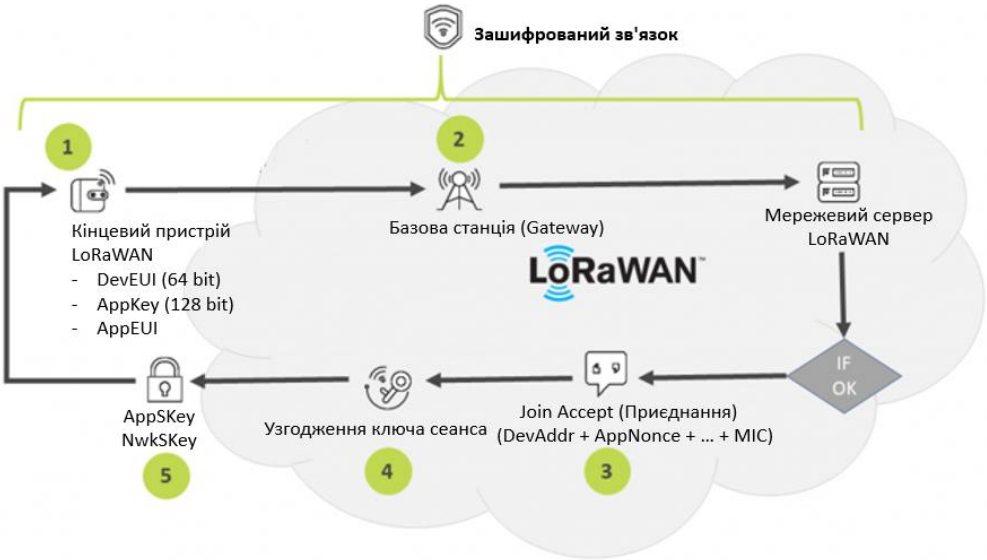


Рис. 2. Метод OTAA в LoRaWAN.

Ці три значення підписані 4-байтовим MIC (код цілісності повідомлення) з використанням AppKey пристрою. Сервер приймає запити на приєднання тільки від пристроїв з відомими значеннями DevEUI і AppEUI при перевірці MIC за допомогою AppKey.

Рис. 3: Елементи повідомлення LoRaWAN.

Якщо сервер приймає запит на приєднання, то відповідається пристрою повідомленням про приєднання. Сервери додатків і мережі обчислюють два 128-бітних ключа вузла: ключ сеансу додатка (AppSKey) і ключ сеансу мережі (NwkSKey) відповідно. Вони розраховуються на основі значень, відправлених в повідомленні запиту на приєднання від кінцевого пристрою (вузла), крім того, сервер додатків генерує своє власне одноразове значення: AppNonce. Це ще одне унікальне, випадкове згенероване значення. Відповідь Join Accept включає в себе AppNonce, NetID і адреса кінцевого пристрою (DevAddr), а також дані конфігурації для затримок RxDelay і використовуваних каналів (CFList). Join Accept є 32-бітовим ідентифікатором, який є унікальним в мережі. При отриманні даних назад, дані шифруються за допомогою AppKey. Потім вузол використовує AppKey для дешифрування даних і отримує AppSKey і NwkSKey, використовуючи значення AppNonce, отримане у відповіді Join Accept.

Активація методом персоналізації (ABP). Цей метод відрізняється від OTAA тим, що вузли поставляються з DevAddr і обома сеансовими ключами (NwkSKey і AppSKey), які повинні бути унікальними для вузла. Оскільки вузли вже мають необхідну інформацію і ключі, вони можуть почати зв'язок з сервером без необхідності обміну повідомленнями про приєднання. Після того, як вузол приєднався до мережі LoRaWAN - через OTAA або ABP - всі майбутні повідомлення будуть зашифровані та підписані з використанням комбінації ключа мережевого сеансу (NwkSKey) та ключа сеансу додатка (AppSKey). Ці два сеансових ключа (NwkSKey і AppSKey) є унікальними для кожного пристрою і для кожного сеансу. Якщо пристрій динамічно активується (OTAA), ці ключі відновлюються при кожній активації. Якщо пристрій статично активовано (ABP), ці параметри залишаються незмінними до тих пір, поки вони не будуть змінені вручну [3].

Висновок. Стандарт LoRaWAN вже містить порівняно високий ступінь безпеки та з кожним роком стає все більш досконалим завдяки LoRa Alliance, який постійно працює над поліпшенням стандарту. В цій статті було представлено, якими способами можна зареєструвати кінцеві пристрої (вузли) в мережі Інтернету Речей за технологією LoRaWAN та яким чином відбувається шифрування. LoRa Alliance - це некомерційна асоціація організацій, які працюють разом для стандартизації мереж LPWAN [4].

Література

1. Security in LoRaWAN Applications (2018). [Online]. Available: https://smartmakers.io/en/security-in-lorawan-applications/, Accessedon: Oct. 9,2018.
2. R. Miller. (2016, June). LoRa Security Building a Secure LoRa Solution. Presented at BSides 2016 Conference. [Online]. Available: http://bit.ly/ mwr-lora-security, Accessed on: Jun. 5, 2017.
3. J. Daemen, V. Rijmen, The Design of Rijndael, AES - The Advanced Encryption Standard. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 2002.
4. LoRa specification provided by LoRa Alliance (2015). [Online]. Available: http://bit.ly/LoRaWAN-specification,Accessedon:Jun.1,2017.

УДК 621.396.62

АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРИЙМАННЯ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ЕФІРНОГО РАДІОМОВЛЕННЯ СТАНДАРТУ DAB+

Авдєєнко Г.Л.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: django2006@ukr.net

Hardware and software for digital terrestrial radio of DAB+ standard signals reception

Modern models of receivers for reception DAB+ signals are presented. The results of of DAB+ digital radio signal reception by application of the RTL2832U softwave-defined receiver and software for Windows and Linux operational systems are showed.

11 червня 2018 р. в галузі телерадіомовлення України відбулася знаменна подія – Концерном радіомовлення, радіозв'язку та телебачення (КРРТ) у Києві за допомогою двох радіопередавальних станцій потужністю 1 кВт та 2 кВт було розпочато у тестовому режимі радіомовлення мультиплекса з дев'яти радіостанцій у сучасному європейському стандарті цифрового ефірного радіомовлення DAB+ на частоті 7D (194,064 МГц) [1,2]. 7 листопада 2018 р. КРРТ було офіційно запущено цифрове ефірне радіомовлення мультиплексу з 13 радіостанцій («Радіо Марія», Old Fashioned Radio, Zemlya, Hype Radio, «Країна ФМ», «Українське радіо», «Промінь», «Культура», «Мейдан», «Армія ФМ», «Бізнес-радіо», DJ FM і Power FM) у стандарті DAB+ на частоті 11D (222,064 МГц). Чотирнадцята радіостанція мультиплексу («Прямий ФМ») поки що не розпочала мовлення [3]. На даний час цифрове радіомовлення у м. Києві здійснюється за допомогою однієї радіопередавальної станції потужністю 2 кВт, що розташована на території Київського радіотелевізійного передавального центру.

Основним фактором, що стримує подальше розгортання мереж цифрового ефірного радіомовлення в України, є поки що відсутність у широкому продажі абонентського обладнання – радіоприймачів, які здатні декодувати радіосигнали стандарту DAB+. Такі радіоприймачі на даний час є обов'язковою складовою частиною сучасних музичних центрів (Lenco, Teac CR-H225, Auna Stanford, Harvard Mini Audio System), магнітофонів (Auna Roadie, Auna Beeberry, Dual DAB-P 200), мережевих плеєрів та інтернет-радіо (NAD C446, Auna KR-200, AEG KRG-4368) тощо. До основних моделей радіоприймачів цифрового радіо стандарту DAB+ можна віднести наступні моделі: T-D500 DAB+, Auna Georgia, Pure pocket DAB 1500, AEG DAB+ 4154, Auna DAB/DAB+, EXIBEL X40S, Acoustic Solutions CDAB-1, Red Mono DAB Radio, Roberts Radio Elise. Указане обладнання завозиться в Україну одиничними партіями і доступне для купівлі здебільшого через інтернет-магазини (olx.ua, prom.ua) де його вартість становить від 850 до 3000 грн.

У той же час серед багатьох радіоаматорів світу популярністю користуються технології програмно-керованого радіо (SDR), які дозволяють за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення та персонального комп'ютера (ПК) здійснювати управління способами модуляції/демодуляції, кодування/декодування, цифрової фільтрації, цифрового перетворення частот, децимації, інтерполяції, аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення реалізовувати стрибкоподібне переналаштування частоти, управляти перемиканням антен та кількістю несучих частот тощо [4].

На сьогоднішній день найбільш дешевими і популярними SDR приймачами, представленими на телекомунікаційному ринку, є сімейство USB радіоприймачів, побудованих на інтегральній мікросхемі RTL2832U. Дана мікросхема призначена перш за все для використання у якості демодулятора сигналів цифрового телевізійного мовлення стандарту DVB-T/T2, проте її також можна використовувати у режимі SDR-приймача. Радіоприймачі (RTL SDR V3, NESDR SMArt, FlightAware ProStick Plus та інші) на базі даного демодулятора стали масово закуповуватися та використовуватися радіоаматорами у якості простої й дешевої SDR-платформи, добре відомої нині під назвою «RTL-SDR» (рис.1). Вартість такого приймача складає 350..650 грн. Основні характеристики приймача на базі RTL2832U:

- розрядність АЦП – 8 біт;
- максимальна частота дискретизації – 3,2 МГц;
- діапазон частот – визначається використовуваною в конкретному пристрої мікросхемою тюнера.

Найширший діапазон частот мають SDR приймачі з тюнером Elonics E4000: від 52 до 2200 МГц, за винятком ділянки приблизно від 1100 до 1250 МГц. Найбільш поширений на даний час тюнер Rafael Micro R820T забезпечує діапазон частот від 24 до 1766 МГц.

Рис. 1. Зовнішній вигляд USB приймачів RTL-SDR.

К 2018р. різними групами радіоаматорів було розроблено декілька програмних засобів для декодування радіосигналу цифрового радіомовлення стандарту DAB+, прийнятого SDR приймачем на базі RTL2832U для операційних систем Windows та Linux. Найбільш відомими з них є: Welle.io [5], QT-DAB [6], QIRX [7]. Програмне забезпечення є безплатним. Головна різниця між вказаними програмними засобами полягає у зовнішньому інтерфейсі, функціональних можливостях, ресурсах центрального процесора та оперативної пам'яті, які використовуються для декодування цифрового

мультиплекса. Незалежно від обраного програмного забезпечення, основними параметрами, що відображаються в ньому, є: номер каналу, коефіцієнт підсилення SDR приймача, перелік назв радіостанцій у складі мультиплекса, швидкість цифрового потоку кожної радіостації, формат роботи радіостанції (стерео/моно), відношення сигнал/шум, кількість помилкового прийнятих фреймів. До додаткових функцій відносяться візуалізація спектра DAB+ сигнала, його сигнального сузір'я тощо (рис.2).

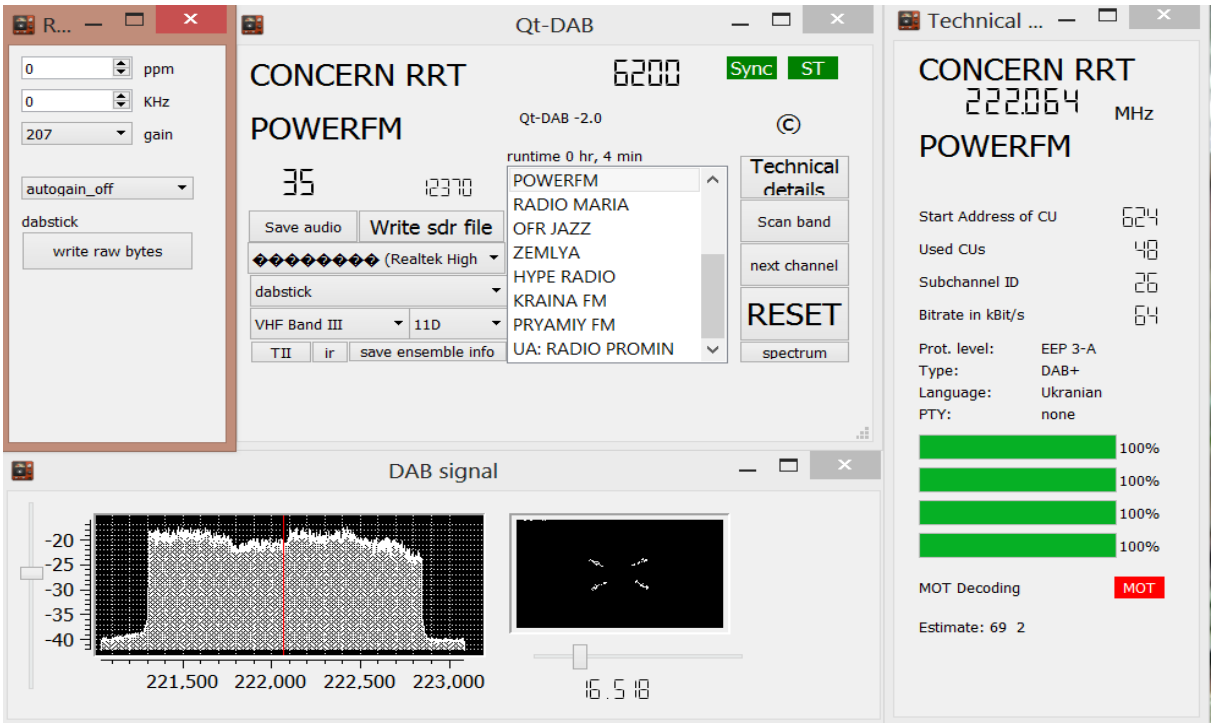


Рис. 2. Зовнішній вигляд інтерфейсу програмного засобу QT-DAB при декодуванні радіосигналу цифрового ефірного радіо стандарту DAB+ на частоті 11D (м. Київ).

Варто відзначити, що зазначені вище програмно-апаратні засоби для приймання сигналів цифрового ефірного радіомовлення стандарту DAB+ є простим та недорогим засобом для підвищення рівня підготовки студентів ВУЗів зі спеціальності телекомунікації та радіотехніка і з 2018 р. вже частково впроваджені в навчальний процес Інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Література

1. Рихтер С. Г. Цифровое радиовещание. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 352 с.: ил.
2. У Києві почали мовлення дев'ять цифрових радіостанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://detector.media/rinok/article/138693/2018-06-20-u-kievi-pochali-movlennya-devyat-tsifrovikh-radiostantsii/
3. Концерн РРТ запустив цифрове радіо в Києві [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://detector.media/rinok/article/142390/2018-11-07-kontsern-rrt-zapustiv-tsifrove-radio-v-kievi/
4. Галкин В. А. Основы програмно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 372 с., ил.
5. Welle.io: A DAB/DAB+ Software Radio [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.welle.io/
6. QT-DAB [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://github.com/JvanKatwijk/qt-dab
7. QIRX [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://softsyst.com/qirx

УДК 621.396.43

МАКЕТ СИМПЛЕКСНОЇ ОДНОІНТЕРВАЛЬНОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ З ПРОСТОРОВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ

Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є. А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: django2006@ukr.net

A prototype of radio relay link with spatial signal processing

This thesis presents a variant of one-hop simplex radio relay link lab prototype with spatial signal processing both in the transmitting and receiving sides. This prototype can be used for research the possibility of radio frequency resource reuse and bandwidth capability increasing for radio relay links by applying spatial signal processing techniques. The proposed prototype of simplex radio relay link can be useful for radio-relay systems developers

У роботі [1] теоретично обґрунтовано можливість підвищення мінімум у 2 рази пропускної здатності радіорелейної лінії зв'язку (РРЛЗ) без виділення додаткової смуги радіочастот за рахунок використання просторової обробки сигналів (ПрОС) за формою фазового фронту (ФФФ) ЕМХ, а також вказано, які першочергові завдання необхідно вирішити для практичної реалізації такої обробки. У свою чергу, в роботі [2] описано узагальнену структурну схему одноінтервальної симплексної РРЛЗ з ПрОС за ФФФ ЕМХ, спрощена структурна схема якої представлена на рис.1.

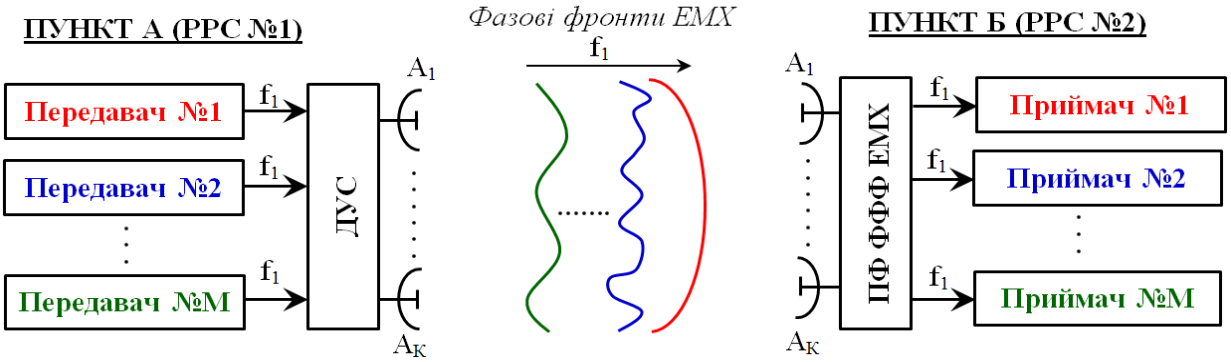


Рис. 1. Спрощена структурна схема одноінтервальної симплексної РРЛЗ з ПрОС за ФФФ ЕМХ.

Відповідно до рис.1, радіорелейна станція №1 (РРС №1) за допомогою діаграмоутворюючої схеми (ДУС) шляхом керування амплітудами та фазами в каналах передавальної антенної решітки (АР) $A_1 \ldots A_K$ створює у просторі між кореспондуючими РРС ЕМХ з різною ФФФ на одній і тій самій частоті f_1 та поляризації ЕМХ. АР приймальної РРС №2 за допомогою підключеного до виходів її антенних елементів $A_1 \ldots A_K$ просторового фільтра (ПФ) ФФФ ЕМХ за допомогою керування амплітудами та фазами прийнятих сигналів забезпечує розділення прийнятих на одній тій самій частоті f_1 та поляризації радіосигналів від різних передавачів, спрямовуючи їх в канали відповідних приймачів. У загальному випадку, така система ПрОС для РРЛЗ повинна бути побудована на принципах адаптивної системи зі зворотнім зв'язком, що передбачає наявність адаптивних процесорів в структурі РРС №1, №2 та

каналів обміну службовою інформацією, які на рис.1 не показані.

Відповідно до рис.1 було розроблено макет РРЛЗ з ПрОС по ФФФ ЕМХ, який складається з передавальної та приймальної сторін, структурні схеми яких відповідно зображено на рис.2,а та рис.2,б.

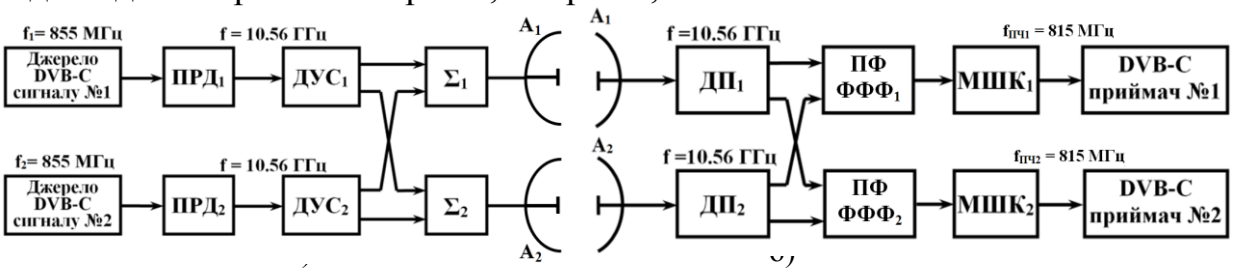
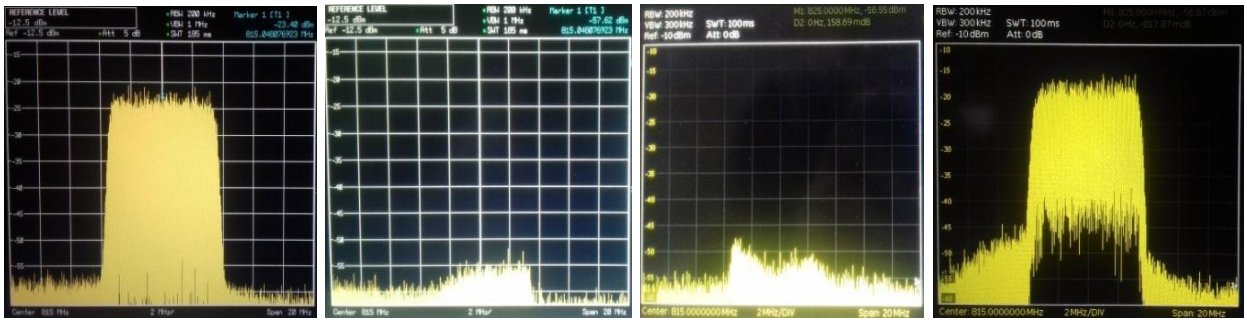


Рис. 2. Структурні схеми передавальної (а) та приймальної (б) РРС лабораторного макету симплексної РРЛЗ з ПрОС по ФФФ ЕМХ: ПРД – передавач, ДП – дільник потужності, МШК – малошумливий конвертор

Лабораторні дослідження макету симплексної одноінтервальної РРЛЗ були проведені при рознесенні 2-х елементних АР передавальної та приймальної РРС, що складалися з дзеркальних параболічних антен діаметром 0,4 м, на відстань 8 метрів. Дві ЕМХ з різною ФФФ, кожна яких відповідає окремому джерелу DVB-C сигналу, створювались шляхом ручного керування фазою та амплітудою ЕМХ в $ДУС_1$ та $ДУС_2$ передавальної РРС.

У свою чергу, просторова селекція ЕМХ по ФФФ в приймальній РРС також реалізовувалась ручним налаштуванням змінних атенюаторів та фазообертачів ПФ $ФФФ_1$ та ПФ $ФФФ_2$. Для відокремлення ЕМХ 1-го DVB-C сигналу атенюатори та фазообертачі ПФ $ФФФ_1$ налаштовувалися таким чином, щоб максимально придушити ЕМХ 2-го DVB-C сигналу. Подібним чином, для відокремлення ЕМХ 2-го DVB-C сигналу атенюатори та фазообертачі ПФ $ФФФ_2$ налаштовувалися таким чином, щоб максимально придушити ЕМХ 1-го DVB-C сигналу. Спектри потужності 1-го та 2-го DVB-C сигналів на виході $МШК_1$ після ПрОС в ПФ $ФФФ_1$ показані на рис.3,а,б, а спектри потужності 1-го та 2-го DVB-C сигналів на виході $МШК_2$ після ПрОС в ПФ $ФФФ_2$ відповідно на рис.3,в,г.

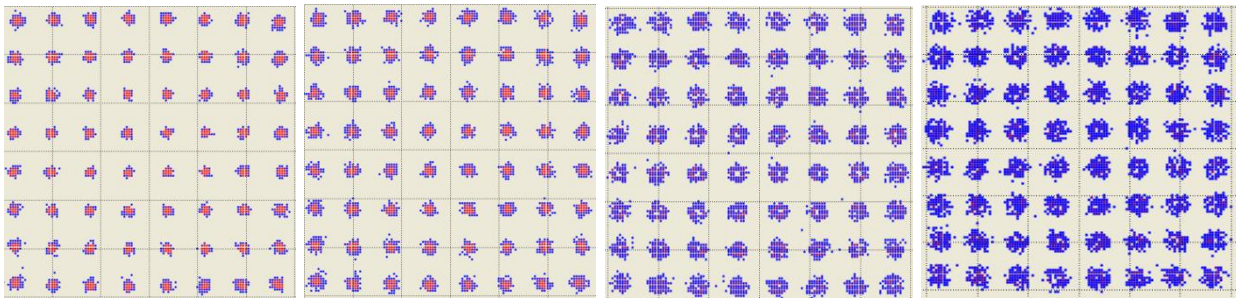


а) б) в) г)

Рис.3. Спектри потужності 1-го (а) та 2-го (б) DVB-C сигналів на виході $МШК_1$ після ПрОС в ПФ $ФФФ_1$ а також спектри потужності 1-го (в) та 2-го (г) DVB-C сигналів на виході $МШК_2$ після ПрОС у ПФ $ФФФ_2$

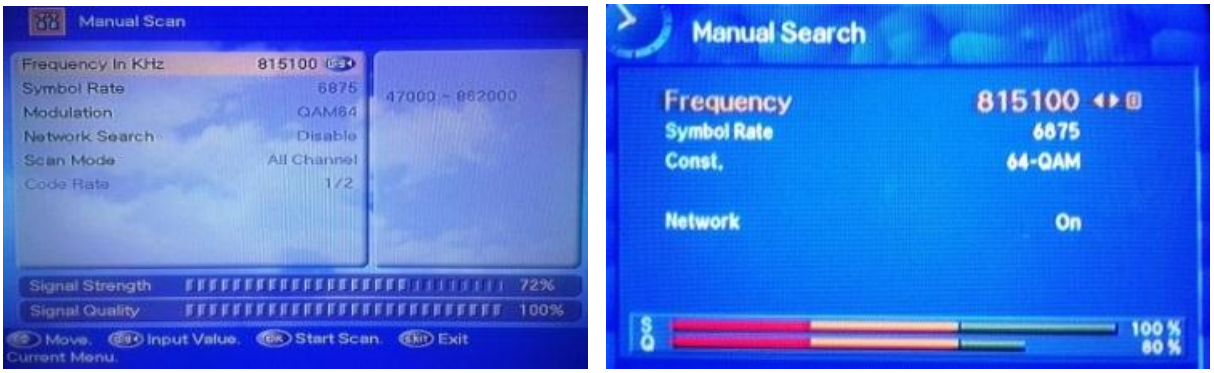
Аналіз спектрів на рис.3, що максимальний коефіцієнт придушення DVB-

С сигналу, що заважає, на виході ПФ ФФФ приймальної РРС не перевищує 30-35 дБ. Це пов'язано із неточністю налаштування змінних атенюаторів та фазообертача, яке виконується механічним повертанням їх відповідних органів керування.



а) б) в) г)

Рис.4. Сигнальне сузір'я для 1-го сигналу DVB-C до (а) та після (б) ПрОС в ПФ ФФФ$_1$. Сигнальне сузір'я для 2-го сигналу DVB-C до (в) та після (г) ПрОС в ПФ ФФФ$_1$



а) б)

Рис.5. Якість демодуляції 1-го (а) та 2-го (б) DVB-C сигналів у приймачах цифрового кабельного ТБ після ПрОС.

Лабораторні випробування макету показали можливість одночасного передавання та приймання на одній й тій самій частоті двох радіосигналів багатопозиційної модуляції 64-QAM стандарту DVB-C, кожен з яких переносить телевізійний транспортний потік зі швидкістю 41,25 Мбіт/с при відстані між кореспондуючими станціями 8 м та використанні двоелементної лінійної АР з міжелементною відстанню 0,4 м. При цьому погіршення у відношенні сигнал/шум після ПрОС по ФФФ ЕМХ в кожному з приймальних каналів не перевищувало 3 дБ, а ймовірність бітової помилки була не гірше $9.6 \cdot 10^{-5}$ (при максимально допустимій $2 \cdot 10^{-4}$).

Література

1. Авдеенко Г.Л., Якорнов Е.А. Задачи практической реализации радиорелейной линии связи на основе использования различий в формах фазовых фронтов их электромагнитных волн //XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2017: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – с.235-237.
2. Г.Л. Авдєєнко, Є.А. Якорнов Застосування просторово-часової обробки сигналів за формою фазового фронту електромагнітної хвилі у безпроводових телекомунікаційних системах // Збірник наукових праць ВІТІ №4 – 2018, с.6-13.

УДК 621.396

МЕТОДИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО БЛОЧНОГО КОДУВАННЯ З ІНДЕКСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПІДНЕСУЧИХ *OFDM* ДЛЯ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНИХ ТА НЕСТАЦІОНАРНИХ КАНАЛІВ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Солодовник В.І., Науменко М.І.
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Київ, Україна
E-mail: teenex@ukr.net

Methods of space-time block coding with OFDM subcarrier index modulation for frequency-selective and time varying wireless communication channels

New spectrally and energy-efficient signal-code construction with joint orthogonal-frequency-index modulation and space-time block coding, and also its noise-immune version in phase instability conditions with inter-channel interference compensation operator, built into Alamouti's coder structure, and increasing signals frequency diversity operator (Walsh-Hadamard) are proposed.

Запропоновано нову спектральну та енергоефективну сигнально-кодову конструкцію (СКК) із об'єднаною ортогонально-частотно-індексною модуляцією та просторово-часовим блочним кодуванням, а також її завадостійку версію в умовах фазової нестаціонарності з оператором компенсації міжканальних завад, вкладеним у структуру кодера Аламоуті, та оператором (Уолша-Адамара) посиленого частотного рознесення сигналів.

Сучасні системи безпроводового зв'язку спеціального призначення (СБЗСП) повинні забезпечувати високі показники завадостійкості, швидкості передачі інформації та якісну реалізацію об'ємних інформаційних мультимедійних додатків. На теперішній час найбільш продуктивним методом для забезпечення високої інформаційної, енергетичної (ЕЕ) та спектральної (СЕ) ефективності СБЗСП є технологія сумісного застосування багатоелементних антен (*Multiple Input-Multiple Output, MIMO*) та ортогонального частотного мультиплексування (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*). Технологія *MIMO* базується на методах ортогонального, квазіортогонального та неортогонального просторово-часового кодування сигналів і суттєво підвищує ЕЕ та / або СЕ. Технологія *OFDM* характеризується підвищеною стійкістю до багатопроменевого поширення сигналу та забезпечує низький рівень міжсимвольної інтерференції (*Inter-Symbol Interference, ISI*). Однак недоліком *OFDM* є чутливість до фазової нестаціонарності сигналу, оскільки через порушення ортогональності піднесучих внаслідок доплерівського зсуву частот та інших випадкових фазових флуктуацій виникає міжканальна інтерференція (*Inter-Channel Interference, ICI*).

Технологія *MIMO-OFDM* є невід'ємною частиною практично всіх стандартів безпроводового зв'язку: *LTE, WiMAX* та *WiFi* [1]. Найбільш широкого застосування знайшов метод ортогонального просторово–часового блочного кодування (*Orthogonal Space–Time Block Coding, OSTBC*) для двох передавальних антен, відомий як схема Аламоуті [2]. *STBC-OFDM* є стійким до частотної селективності каналу, однак у нестаціонарних умовах із-за доплерівського зсуву частот (ДЗЧ) його ефективність суттєво знижується. Ефективним способом зменшення негативного впливу ДЗЧ є алгоритм його комплексної спряженої компенсації *CC* (*Complex Conjugate*) [3]. У [4] метод *STBC-CC-OFDM* отримав подальше удосконалення шляхом оптимального обмеження кількості піднесучих та одночасного посилення рознесення інформаційної послідовності сигналів за рахунок ортонормованого перетворення Уолша-Адамара (*Walsh-Hadamard, WH*). Результуючий метод *WHSTBC-CC-OFDM* має значний енергетичний виграш (ЕВ) від рознесення в нестаціонарному частотно-селективному каналі зв'язку. Однак цей метод, як і класичний *STBC-OFDM,* потребує удосконалення як в частині підвищення СЕ, так і ЕЕ, насамперед, при низьких співвідношеннях сигнал/шум (*Signal-to-Noise Ratio, SNR*), що мають місце при роботі засобів радіоелектронного подавлення (РЕП). За умов впливу навмисних завад, на вході приймача СБЗСП створюється неприпустимо низьке для її нормального функціонування *SNR* та значення ймовірності бітової помилки $P_{пом} > 10^{-3} – 10^{-2}$, при якому завадостійке кодування втрачає ефективність, а надійна робота систем автоматичного засекречування не гарантується.

Традиційні шляхи підвищення СЕ вичерпали себе через частотно-енергетичну та просторову обмеженість безпроводового каналу зв'язку. Для класу релеївських частотно-селективних нестаціонарних каналів найбільш привабливими є методи індексних просторової (*Spatial Modulation, SM*) та частотної модуляцій (*OFDM-IM*), що дозволяють одночасно підвищити надійність та швидкість передачі інформації за рахунок додаткового введення просторового та частотного вимірів. Методи *SM* та *OFDM-IM* належать до широкого класу схем з *IM* (*Index Modulation*) [5]. Ефективність схем *STBC-SM* та *SM-OFDM* є достатньо високою, проте сумісне застосування *STBC, SM* та *OFDM-IM* в рамках єдиної СКК не дозволяє істотно підвищити показники СЕ та є проблемним через обмеження на складність реалізації.

Розроблено нову спектрально та енергоефективну СКК з об'єднаною індексною модуляцією піднесучих *OFDM* та просторово-часовим блочним кодуванням *STBC-OFDM-IM*, а також її завадостійку версію для нестаціонарних каналів *WHSTBC-CC-OFDM-IM* з операторами комплексної спряженої компенсації *ICI* та Уолша-Адамара (*WH*) для посилення частотного рознесення модуляційних символів.

Оцінку завадостійкості базової структури *STBC-OFDM*, нової СКК *STBC-OFDM-IM* та її удосконаленої версії *WHSTBC-CC-OFDM-IM* проведено за допомогою імітаційного моделювання в середовищі *MATLAB*.

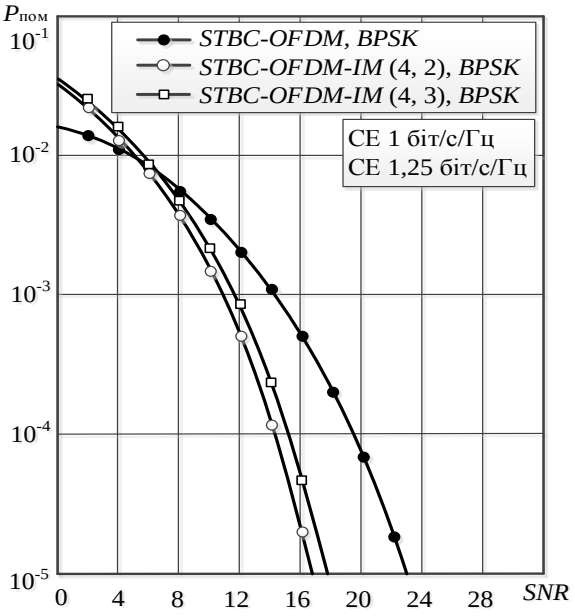


Рис. 1. Завадостійкість *STBC-OFDM*, *STBC-OFDM-IM* (4, 2) та *STBC-OFDM-IM* (4, 3), *BPSK* 2×1, вікно *IFFT* (ЗШПФ) *N* = 512

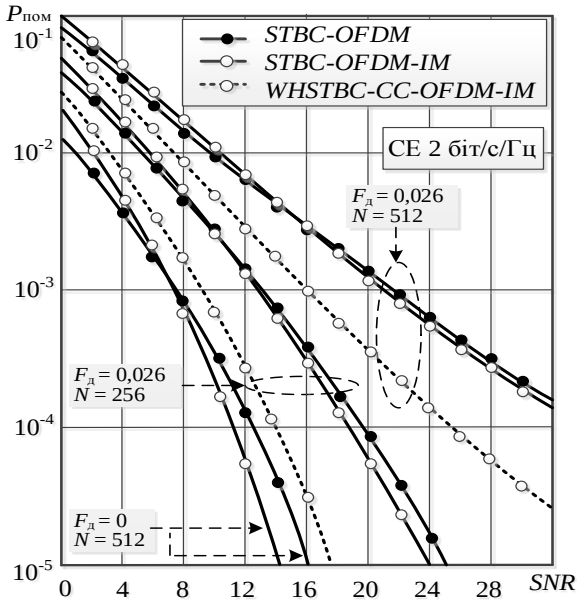


Рис. 2. Завадостійкість *STBC-OFDM*, *STBC-OFDM-IM* (4, 3), *WHSTBC-CC-OFDM-IM* (4, 3) *QPSK* 2×2, $F_д$ = 0; 0,026 з *N* = 256; 512

У релеївському каналі з частотно-селективними завмираннями ЕВ методу *STBC-OFDM-IM* порівняно з класичним *STBC-OFDM* складає 6 дБ, $P_{пом} = 10^{-5}$ при використанні *BPSK* та експоненційно спадає при подальшому збільшенні розміру ансамбля сигналів (2 дБ – *QPSK*, 1 дБ – 16-*QAM*). Деактивація певної частини піднесучих у субблоці (рис. 1) додатково до незначно зменшеного ЕВ (на 0,3 – 1,1 дБ) дає виграш у СЕ: 12,5% (*n* = 8, *k* = 7, *QPSK*) або 25% ((4, 3), *BPSK*). Метод *WHSTBC-CC-OFDM-IM* (рис. 2) не є критичним до рівня фазової нестаціонарності каналу (фіксоване нормоване значення ДЗЧ $F_д$ = 0,026, що відповідає швидкості руху мобільної станції 112,5 км/год при роботі в діапазоні частот F_c = 2,4 ГГц). Загальний ЕВ удосконаленої версії нової СКК в умовах $F_д \neq 0$ порівняно з класичним *STBC-OFDM* складає 4 – 10 дБ ($P_{пом} = 10^{-3} – 10^{-4}$).

Метод *WHSTBC-CC-OFDM-IM* може бути застосований для систем 5*G*, а також у СБЗСП, які переважно працюють у складній завадовій обстановці.

Література

1. Hanzo L., Akhtman Y.(J.), Wang L., Jiang M. MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMax. Coherent versus Non-coherent and Cooperative Turbo-transceivers. – UK: J.W.S. 2011. – 658 с.
2. Alamouti S. A simple transmit diversity technique for wireless communications. IEEE Journal on Select Areas in Communications, vol. 16, no. 8, pp. 1451–58, 1998.
3. Yeh H., Chang Y., Hassibi B. A scheme for canceling intercarrier interference through conjugate transmission for multicarrier communication systems. IEEE Tr.W.C. 2007. v. 6, p. 3 – 7.
4. Науменко М.І., Погребняк Л.М. Удосконалений метод просторово-часового блочного кодування для частотно-селективних нестаціонарних каналів систем військового радіозв’язку. Збірник наукових праць ВІТІ № 1, с. 81 – 86. 2017.
5. Basar E., Wen M., Mesleh R., Renzo M., Xiao Y., Haas H. Index Modulation Techniques for Next–Generation Wireless Networks. Special section on index modulation techniques for next–generation wireless networks. IEEE Access, vol. 5, pp. 16693 – 16746. 2017.

УДК 621.396; 621.383

ГІБРИДНА АРХІТЕКТУРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Кременецька Я. А., Баришев Д.В., Дударєва Г. О.
Державний університет телекомунікацій, Україна
E-mail: ya.cremen@ukr.net

Hybrid architecture of telecommunication systems of next generation

The main approaches to improving the throughput of telecommunication systems, including using the hybrid network architecture and millimeter wave range, are considered. The advantages of integrating hybrid fiber-wireless technologies and their future research directions are highlighted.

Глобальний інформаційний трафік даних стрімко зростає. Як прогнозує, наприклад, Ericsson [1], щомісячний глобальний мобільний трафік може зрости до 2021 року до 30•106 Тбайт. Для вирішення проблем підвищення пропускної здатності телекомунікаційних мереж та систем ведуться дослідження в різних напрямках. Основні з них можна сформувати в групи, які показані на рис.1. Крім того, об'єднання цих напрямків може ще значніше збільшити пропускну здатність телекомунікаційних систем.

Рис. 1. Основні методи для збільшення пропускної здатності телекомунікаційних мереж.

З рисунку 1 видно, що підходи до підвищення пропускної здатності пов’язані із застосуванням гібридних технологій, що працюють в різних частотних діапазонах, включаючи міліметровий діапазон довжин хвиль. Особливості застосування таких технологій пов’язані з особливостями формування сигналів, розповсюдження їх у відкритому та закритому просторі. Гібридні архітектура телекомунікаційних систем наступного покоління може включати наступні рішення: волоконно-ефірні (англ. Radio over fiber, RoF); гібридні гетерогенні мережі [2] (англ. Heterogenic Networks; HetNet); топології типу «точка - точка» або «точка - множина точок» для магістральних з'єднань або радіомостів; стратосферні комплекси зв’язку.

Сумісність та відмінність характеристик між гібридними технологіями необхідно враховувати для моделювання телекомунікаційних систем. Магістральні лінії на основі оптоволокна пропонуються в якості з'єднань базових станцій [3]. Також альтернативою оптоволокна (або в місцях, де неможлива прокладка оптоволокна), рішення останньої милі, радіомостів в ММД. В роботі [4] продемонстрована можливість передачі інформаційних сигналів на частоті 60 ГГц через оптичне волокно довжиною 20 км і бездротову лінію зв'язку довжиною 10 м із зниженням оптичної потужності 0,7 дБм. За технологією RoF можливо не тільки передавати конвертовані міліметрові радіосигнали через оптичне волокно на великі відстані (кілометри) до віддаленого сайту, а також мультиплексувати канали, використовуючи технологію спектрального ущільнення (англ. Wavelength Division Multiplexing, WDM). Приклад гібридної архітектури мереж наступного покоління з використанням міліметрового діапазону, гетерогенних мереж та інтеграції волоконно-ефірних технології представлена на рис. 2.

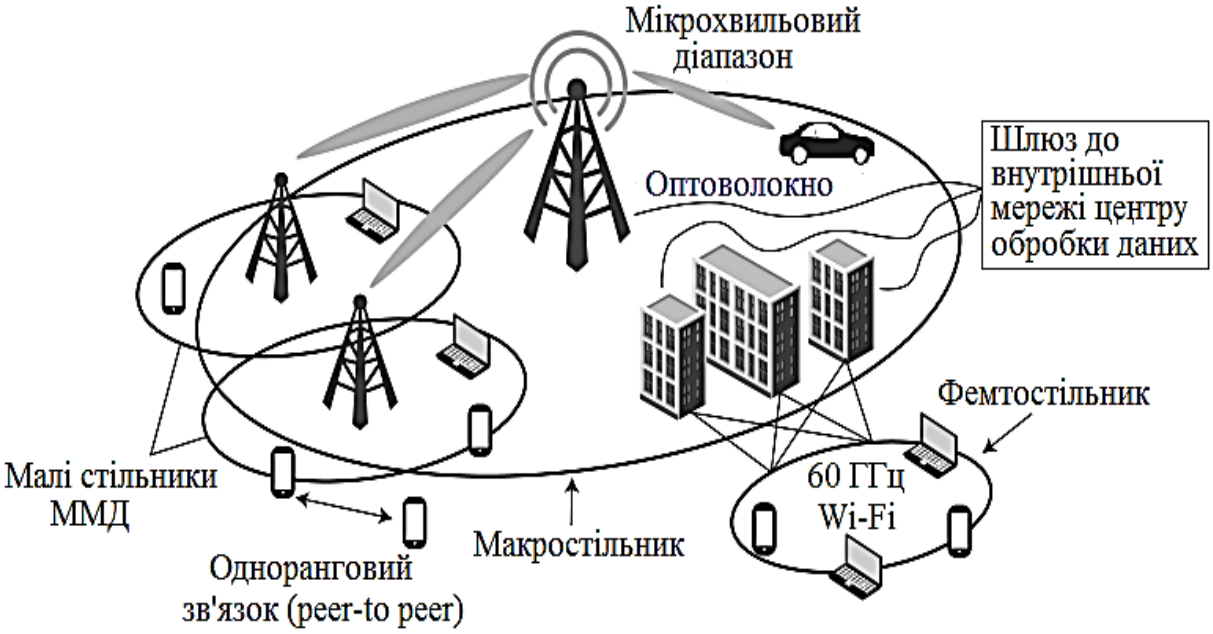


Рис. 2. Приклад гібридної архітектури інформаційно-телекомунікаційної системи.

За допомогою інтеграції гібридних волоконно-ефірних технологій можливо також реалізувати мультиплексування в ММД з поділом по поляризації, що ще більше може підвищити ефективність використання MIMO технології.

Виділимо наступні основні переваги, які можна реалізувати за допомогою гібридних волоконно-ефірних технологій: формування та модуляція в форматі високого порядку сигналів у всіх радіочастотних діапазонах, включаючи перспективні смуги 18-27 ГГц, 33-50 ГГц, 57-64 ГГц, 71-76 ГГц, 81-86 ГГц, передача конвертованих радіосигналів по оптичному волокну на великі відстані і мультиплексування радіоканалів за технологією WDM; просторове мультиплексування, включаючи просторове мультиплексування з множинним вводом та виводом (MIMO); мультиплексування, що інтегроване з технікою оптичного поляризаційного мультиплексування.

Інтеграція гібридних оптоелектронних технологій може об'єднати переваги як оптичних так і бездротових систем. Завдяки більш широкій смузі пропускання оптичні системи здатні обробляти сигнали міліметрового діапазону та забезпечити високу пропускну здатність інформаційних систем. Гигабітні швидкості передачі інформації, які необхідні для майбутніх телекомунікаційних мереж, можливо реалізувати з'єднанням базових станцій і центрів обробки інформації по волоконним лініям, в яких можливо реалізувати конвертацію міліметрових радіоканалів в оптичний діапазон з використанням форматів модуляції високо порядку і мультиплексування WDM. Подальше дослідження конфігурації систем на основі гібридних технологій, методів їх моделювання є перспективними напрямками для знаходження рішень збільшення пропускної здатності інформаційно-телекомунікаційних систем.

Література

1. Ericsson Mobility Visualizer 2018 // − Режим доступу: http://www.ericsson.com/TET/trafficView/
2. Mehrpouyan H. Hybrid millimeter-wave systems: A novel paradigm for HetNets / H. Mehrpouyan, M. Matthaiou, R. Wang, G. K. Karagiannidis, and Y. Hua // IEEE Commun. Mag. - Jan. 2015. - №1 (53). - p. 216–221.
3. Rappaport T. S. Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks (Invited Paper) / T. S. Rappaport, Y. Xing, G. R. MacCartney Jr., A. F. Molisch, E. Mellios, J Zhang // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. - Dec. 2017. – №12 (65). - p. 6213-6230.
4. Da Silva R. N. GPON-based front-end architecture for 5G networks," / R. N. Da Silva, M. S. B. Cunha, I. F. da Costa, S. Arismar Cerqueira// 2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). – Brazil. – 2017.6262639 Об'єднані Штати Америки, H01P 1/20, H01P 7/10, H01P 7/04. Bandpass filter with dielectric resonators/ Shu T.W., Yoo Y.Ch., Jang Ch.S., Ryu H.J., Seo S.D.; заявник, патентовласник "ACE Technology". - № 6262639 B2; заявл. 27.05.1999; опубл. 17.08.2001.

УДК 621.391

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В ЗОНІ ФРЕНЕЛЯ

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.
Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»
E-mail: cukanov-o@ukr.net

An algorithm of determination of distance is to source of radiation in Fresnel region

The proposed algorithm for determining the range to the sources of radio frequency in the Frenel's zone allows to exclude from the analysis of the electromagnetic environment of the source located in the remote zone with respect to the receiving multi-element antenna and to improve the accuracy of the determination of the range along the spherical edge of the electromagnetic waves near the zone, reducing the dynamic error in processing signals from the sources.

В роботах [1, 2] запропоновані способи просторової селекції джерел радіовипромінювання (ДРВ) в зоні Френеля приймальної антени за формою фазового фронту електромагнітної хвилі (ЕМХ) для радіотехнічних пристроїв ближньої дії, призначених для радіомоніторингу, пасивної радіолокації і радіонавігації.

Ці способи та алгоритми основані на прийомі випромінюваного ДРВ радіосигналу кожним з $M+1$ ідентичних елементів (рис. 1) еквідистантні лінійної антенної решітки (АР), розташованих один відносно другого на відстані половини середньої довжини хвилі λ_0 частотного діапазону, $M+1$ приймальними каналами, вимірюванні його несучої частоти f прийнятого сигналу за допомогою системи перебудови, визначанні обертанням АР кутового напрямку β на ДРВ (пеленг) по максимуму сигналу на нього, формуванні за допомогою M фазометрів напругі пропорційні різниці фаз ($\Delta\varphi$) сигналів в приймальних каналах АР симетричних відносно центрального, обчислюванні $M/2$ напруг пропорційних різниці різниць фаз ($\Delta\Delta\varphi$) сигналів в приймальних каналах симетричних відносно центрального елемента АР, множенні $M/2$ сформованих напруг на вагові коефіцієнти (ВК), підсумуванні посилених напруг і оцінюванні дальності d до ДРВ.

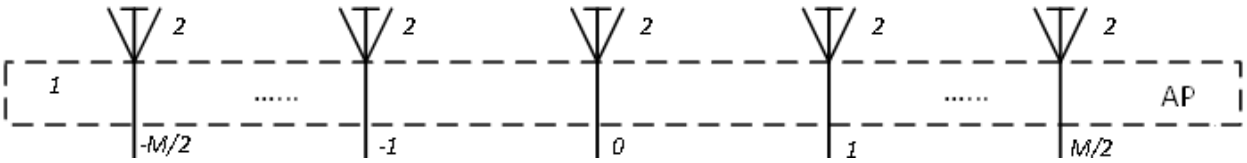


Рис. 1.

Недоліками даних способів і алгоритмів є відсутність селекції за критерієм знаходження ДРВ в далекій зоні (ДЗ) або в зоні Френеля і недостатня точність визначення дальності.

Тому пропонується удосконалить алгоритм визначення дальності до ДРВ в зоні Френеля шляхом послідовного виключення з процесу вимірювання дальності джерел, які знаходяться в ДЗ, а також зменшення динамічної помилки вимірювань фазових зрушень, і представить його у виді, зображеним на рис. 2.

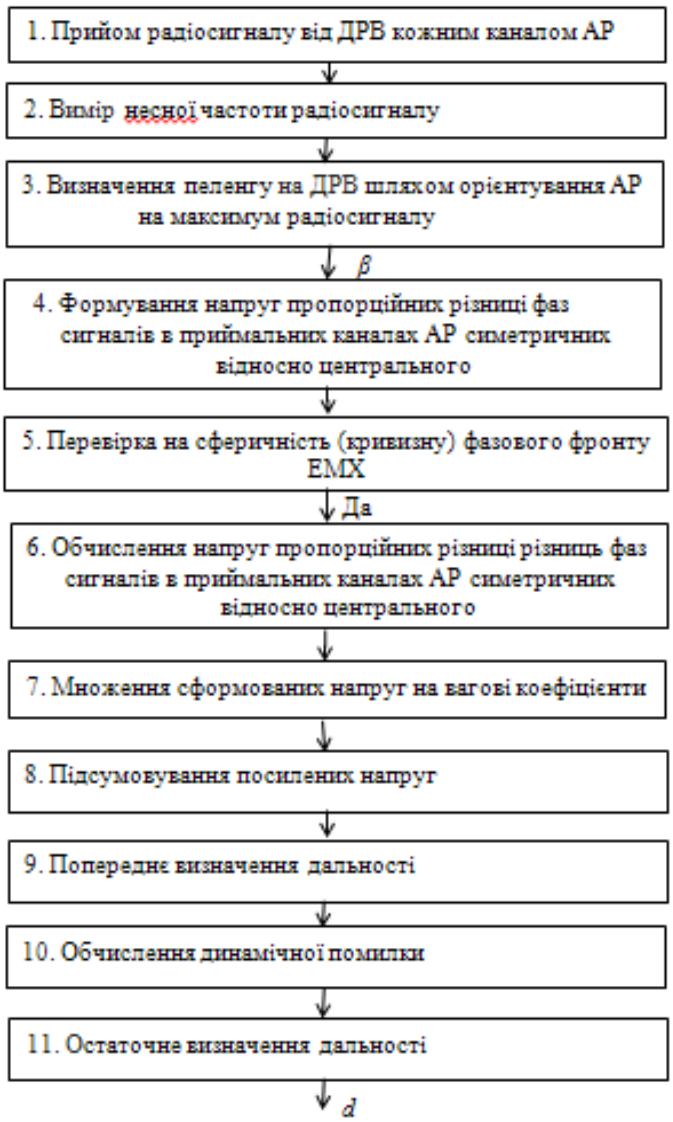


Рис. 2.

Відсіювання з подальшої обробки джерел, що знаходяться в ДЗ, здійснюється шляхом перевірки на сферичність (кривизну) фазового фронту ЕМХ. Для цього згідно з п. 4,5 алгоритму досить при розташуванні АР на максимум випромінювання від ДРВ обчислити $\Delta\Delta\varphi_i$, наприклад, для $i=\pm1$ $\Delta\Delta\varphi=\Delta\varphi_1-\Delta\varphi_{-1}=\Delta\varphi_{10}-\Delta\varphi_{0-1}$, де $\Delta\varphi_{10}$ і $\Delta\varphi_{0-1}$ відповідно різниці фаз між центральним елементом АР і першим справа та зліва від нього (рис. 1).

Для ДЗ (плоский фронт ЕМХ) $\Delta\Delta\varphi=0$ і для цього випадку дальність до джерела не визначається. При $\Delta\Delta\varphi>0$ ДРВ знаходиться в зоні Френеля, що дозволяє визначати дальність до нього, яка закладена в кривизні фронту ЕМХ. Так, наприклад, при $i=\pm1$ дальність визначають за наступним співвідношенням [3],

$$d \approx 2\pi(L\cos\beta)^2 \Big/ \Delta\Delta\phi\lambda = 2\pi(L\cos\beta)^2 f \Big/ \Delta\Delta\phi\cdot c, \qquad (1)$$

де L - база лінійної АР, [м]; c - швидкість світла, [м/с]; β - кут між напрямком на ДРВ і нормаллю до лінійної АР, [град].

Співвідношення (1) не враховує випадкові і динамічні помилки оцінювання дальності, які мають місце при вимірюванні фазових зрушень між елементами АР. Для оцінювання випадкових помилок зміни фаз на вході АР можна записати в такому вигляді [4]

$$\varphi(L,\beta,d)=\Delta\,\varphi(L,\beta,d)+\Delta\Delta\,\varphi(L,\beta,d)+n(L,\beta,d), \qquad (2)$$

де перший доданок $\Delta\,\varphi(L,\beta,d)$ - зміна фази за рахунок різниці ходу променів між симетричними прийомними елементами АР і рівне

$$\Delta\,\varphi(L,\beta,d) = -\ k\cdot L\cdot\cos\beta, \qquad (3)$$

а другій

$$\Delta\Delta\,\varphi(L,\beta,d) = G\,L^2\,\alpha \qquad (4)$$

зміна фази за рахунок кривизни фазового фронту ЕМХ; $n(L,\beta d)$ – випадкові флуктуації фази; $k=2\pi/\lambda$.

Для оцінки дальності до ДРВ по сферичності фронту ЕМХ представимо (4) у вигляді

$$\Delta\Delta\ \varphi(L,\beta,d) = G\,L^2\,\alpha + n(L,\beta,d),\ \text{де}\ G = k\cdot\sin^2\beta/2. \qquad (5)$$

Далі згідно з п. 6-9 алгоритму (рис. 2) для усунення випадкових помилок при визначенні дальності здійснюються операції обчислення напруг пропорційних $\Delta\Delta\varphi_i$ сигналів в приймальних каналах АР симетричних відносно центрального, множення сформованих напруг на ВК i^2, підсумовування посилених напруг і попереднє визначення дальності за допомогою співвідношення

$$d = 1/\alpha = 1/\frac{15\,M^2\sum_{i=1}^{\frac{M}{2}} i^2\Delta\Delta\varphi_i}{G\,L^2\,(M/2)(M/2+1)(M+1)[3(M/2)^2]+3(M/2)-1]}, \qquad (6)$$

де $\Delta\Delta\varphi_i = \Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{-i} = \Delta\varphi_{i0} - \Delta\varphi_{0-i}$.

Для зменшення динамічної помилки, під якою будемо розуміти невідповідність обраної ступеня полінома апроксимації реальної формі фазового фронту прийнятої ЕМХ, далі визначаємо оцінку $\Delta\hat{d}$ для кожного значення пеленга β.

Реальна форми ризниці різниці фаз має вигляд:

$$\Delta\Delta\ \varphi(L,\beta,d) = L^2/2\cdot d)\sin^2\beta + (L^3/2\cdot d^2)\cdot\cos\beta\cdot\sin^2\beta - (L^4/8\,d^3)\cdot\sin^2\beta\cdot(L - 5\cdot\cos^2\beta) \quad (7)$$

Для цього відповідно до (7) в алгоритму закладається еталонна траєкторія зміни $\Delta\Delta\varphi$ для β в інтервалі від 0^0 до 180^0 з урахуванням флуктуації фази. При цьому еталонне значення дальності d_e залежить від загальної довжини АР і змінюється лінійно в діапазоні відстаней від ближньої зони $d_{бз}$ до $d_{дз}$ - дальньої зони.

Тоді вираз для динамічної помилки можна представити у вигляді

$$\Delta d = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(\hat{d} - d_e\right)^2}\,/(n-1), \qquad (8)$$

де n - довжина масивів $\hat{d}$ і d_e, з подальшим собою усереднення Δd за кількістю реалізацій.

Далі методом найменших квадратів визначаються коефіцієнти апроксимації a_0, a_1, a_2 динамічної помилки дальності Δd від пеленга β і знаходиться динамічна помилка за допомогою співвідношення

$$\Delta\hat{d} = a_0 + a_1\beta + a_2\,\beta^2. \qquad (9)$$

Остаточне визначення дальності здійснюється як

$$\hat{d}^* = \hat{d} + \Delta\hat{d}. \qquad (10)$$

Література

1. Патент RU № 2308735. "Способ определения местоположения источников радиоизлучения в ближней зоне". М. кл. G01S 5/08, Опубл. 20.10.2007.
2. Деклараційний патент на корисну модель № 113916 (Україна). Спосіб визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання в ближній зоні, кл. G01S5/08, // Авдєєнко Г.Л., Цуканов О.Ф., Якорнов Є. А. та інш. - Промисл. власність, 2017, № 4.
3. Авдеенко Г.Л. Определение местоположения источника радиоизлучения по кривизне фронта электромагнитной волны.// Авдеенко Г.Л., Федоров В.И., Якорнов Е.А. Известия вузов. Радиоэлектроника. - 2008. № 3. – с. 3-11.
4. Кремер И.Я. Пространственно-временная обработка сигналов.// Кремер И.Я., Кремер А.И., Петров В.М. - М.: Радио и связь, 1984, 224 с.

УДК 621.396

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Волков С.Э.
ГП «Укркосмос», Киев, Украина
E-mail: space-researcher@i.ua

Perspective communications systems with satellites

Communication systems using optical and X-ray radiation are considered. Difficulties in realization and their new possibilities are described.

В последние годы активно разрабатываются оптические и рентгеновские системы связи, которые будут способны заменить радиочастотные системы в условиях космического вакуума. Новые системы будут обладать уникальными характеристикам: широкая полоса пропускания, свободный от лицензирования спектр, высокая скорость передачи данных, простота и скорость развертывания, меньшие требования к мощности и низкая масса [1].

В оптических системах (FSO - free space optical communication), по сравнению с радиочастотными, энергопотребление снижается примерно в 2 раза, а габаритные размеры – в 10 раз. Доступная полоса пропускания составит не менее 1 ТГц - около 1% от частоты несущей ($\approx 10^{15}$ Гц). Узкая направленность излучения позволяет повысить энергетику и защищённость линии. В процессе экспериментов достигнуты скорости передачи данных между космическими аппаратами в несколько Гбит/с [2].

Несмотря на большой потенциал систем FSO, их производительность ограничена неблагоприятными воздействиями атмосферного участка распространения (поглощением, рассеянием и турбулентностью).

Также существует сложность точного позиционирования приёмника и передатчика на космических аппаратах, движущихся с высокой скоростью. Для этого требуются особые алгоритмы сканирования, установления и поддержания святи, предсказанием движения приёмника и передатчика относительно друг друга. Всё это может привести к ухудшению

характеристик системы либо сделать сеансы связи относительно краткосрочными.

Оптические системы связи могут найти своё применение на геостационарных космических аппаратах, когда со станции на Земле или низкоорбитального КА по оптической линии «вверх» передается информация, которая затем вещается на приёмную земную станцию в радиодиапазоне по традиционному принципу.

Ввиду дефицита радиочастотного ресурса и отсутствию необходимости радиочастотной координации оптические системы могут оказаться незаменимы для организации связи со множеством низкоорбитальных микроспутников, которые появятся в ближайшее время.

Другая альтернатива системам радиосвязи - использовать рентгеновское излучение. Оно имеет меньшую длину волны по сравнению с оптическим, поэтому может обеспечить бóльшие скорости передачи данных при меньшем энергопотреблении и более узкие диаграммы направленности.

Рентгеновское излучение может распространяться сквозь непреодолимые для радиоволн препятствия и применяться для систем навигации в космическом пространстве, передачи данных между космическими аппаратами, обеспечения связи с гиперзвуковыми объектами во время движения в облаке плазмы [2].

В 2017 году на Международной космической станции (МКС) уже был испытан приемник рентгеновского излучения, использующий сигналы пульсаров для определения координат МКС с точностью до 4,8 км. На ближайшее время на МКС запланирован эксперимент с передачей данных на расстояние 50 метров [4].

Передатчик работает по следующему принципу: лазерное излучение направляется на фотокатод, генерирующий электроны, которые затем умножаются, фокусируются, ускоряются и направляются на анод-мишень, производящую рентгеновские лучи. Модуляция происходит путём

включения/выключения передатчика (рис. 1). Однако в такой схема отмечается нерегулярность отдельных импульсов излучения, что делает сигнал более подверженным ошибкам.

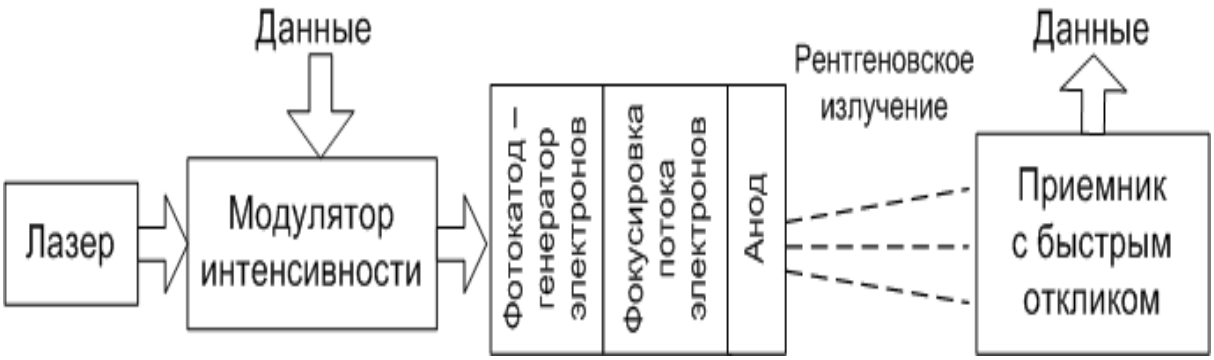


Рис. 1. Одна из моделей системы передачи данных
в рентгеновском диапазоне.

Для реализации новых систем связи, основанных на использовании оптического или рентгеновского излучения необходима адаптация существующих либо разработка новых устройств, технологий и протоколов физического и других уровней модели OSI.

Литература

1. Cornell University [Электронный ресурс] / *Hemani Kaushal, Georges Kaddoum*. Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques — Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1705.10630 (дата публикации: 28.05.2017).
2. SpaceItBridge [Электронный ресурс] / *Doug Mohney*. Gigabit and faster laser communication advances for satellite use — Режим доступа: https://www.spaceitbridge.com/gigabit-and-faster-laser-communication-advances-for-satellite-use.htm (дата публикации: 23.05.2018).
3. Space.com [Электронный ресурс] / *Charles Q. Choi*. NASA X-Ray Tech Could Enable Superfast Communication in Deep Space — Режим доступа: https://www.space.com/34824-nasa-x-ray-tech-deep-space- communication.html (дата публикации: 28.11.2016).
4. Newatlas.com [Электронный ресурс] / *Michael Irving*. NASA to test X-ray communication system on the ISS — Режим доступа: https://newatlas.com/nasa-xray-communication-iss/58570 (дата публикации: 21.02.2019).

УДК 621.396.1

ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО МОЖУТЬ ПРИСКОРИТИ РОЗВИТОК ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ ТА СТАНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА

Кравчук С.О., Шевченко І.І., Рисцова К.І., Чуб М.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна

E-mail:sakravchuk@ukr.net

Some technologies that accelerate the development of infocommunication and formation of information society

In this paper some new technologies are presented, which, according to the authors, will have a significant impact on the acceleration of further development of communications.

В останній час поява нових технологій веде до ще більшого прискорення розвитку інформаційного суспільства та його інфокомунікацій [1]. Причому ряд нових технологій, маючи найскладнішу інформаційну складову, достатньо швидко знаходять своє застосування, розширюючи розподілений та самоорганізуючий принцип побудови інфраструктури суспільства. Тому в даній роботі представлено деякі нові технології, які, на думку авторів, матимуть значний вплив на прискорення подальшого розвитку комунікацій.

Бачення світу за допомогою звуків. Для сліпих і слабозорих людей команда проекту vOICe почала створення пристроїв, здатних перетворювати зображення навколишнього світу в комплекс звуків, за допомогою яких людина може бачити світ, без використання зору і тактильного взаємодії [2]. Це досягається за допомогою перекодування відеосигналу, знятого за допомогою невеликої камери з високою роздільною здатністю, розміщеної в окулярах vOICe, в звукову доріжку, яка змінює своє звучання в залежності від того, які предмети і об'єкти потрапляють у фокус камери (рис. 1).

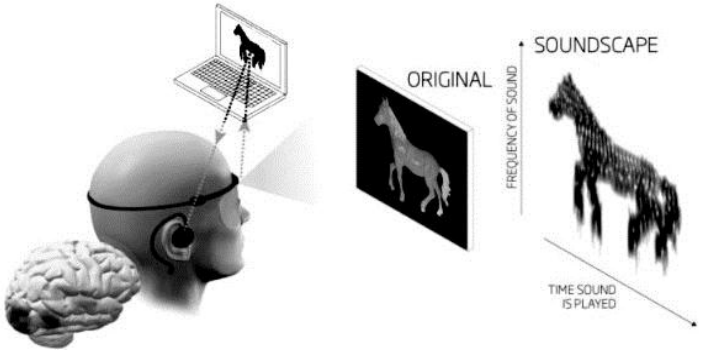


Рис. 1.

Щоб розшифрувати картинку використовуються звуки різної тривалості і висоти. Більш яскравий фрагмент зображення супроводжується більш коротким і сильним сигналом, причому з того боку, з якою розташований

об'єкт. Якщо предмет в полі зору рухається, то рухається і сигнал. Два окремих об'єкта розшифровуються двома сигналами, три - трьома і так далі. Довгий звук відповідає горизонтальній лінії, вертикальна відтворюється уривчастим сигналом характерною сили. Підвищення тональності «сусідніх» звуків означає перешкоду, при цьому чим вище тон - тим вище перешкода перед людиною.

Технологія «Звукового зору» заснована на механізмі нейропластичності людського мозку. Цей механізм дозволяє окремим зонам мозку змінюватися під дією досвіду, а також відновлювати втрачені зв'язки після пошкодження або виробляти нові зв'язки

Інфрачервоний зір. Наночастинки було ін'єкцьовано в очі мишей, вчені дозволили їм бачити ближнє інфрачервоне електромагнітне випромінювання, як правило, не видиме гризунами (або людиною). Унікальний прорив, який ще більш незвичайний при розумінні, - така техніка може бути використана на людину [3].

Наукова група на чолі з Тіан Сюе з University of Science and Technology of China і Ганг Ханом з University of Massachusetts Medical School змінила зір мишей так, щоб вони могли бачити ближнє інфрачервоне випромінювання (NIR), зберігши свою природну здатність бачити нормальний світ.

В експерименті ін'єкцьовані наночастинки перетворювали NIR в видиму хвилю, яку мозок миші міг сприймати як візуальну інформацію (в зазначеному прикладі вони вважали NIR зеленим світлом). Наночастки були в очах протягом двох місяців, дозволяючи мишам бачити як NIR, так і видиме світло з мінімальними побічними ефектами.

Наночастки на фоторецепторних клітинах служили в якості перетворювача інфрачервоного світла. Інфрачервоні хвилі були захоплені в сітківці наночастинками, які потім випромінювали їх як більш короткі хвилі видимого світла. Таким чином, палички і колбочки, які поглинають коротші хвилі, змогли прийняти цей сигнал і потім направити перетворену інформацію в зорову зону кори головного мозку. Зокрема, ін'єкцьовані частки поглинали NIR довжиною близько 980 нм і перетворювали його в світло довжини 535 нм. Миші сприймали інфрачервоне світло як зелений. Результат був аналогічний спостереження NIR в окулярах нічного бачення, за винятком того, що миші також могли зберігати своє нормальне сприйняття видимого світла.

Розпізнавання осіб і доповнена реальність. В принципі, зараз складно прогнозувати будь-які зміни в апаратній частині мобільних пристроїв, але одна тенденція простежується явно - це якісні зміни такого важливого елемента, як камера, а також супутніх апаратних і програмних компонентів [4]. В першу чергу, ми говоримо про те, як камера зможе допомагати нам в побуті. Зараз на ній зав'язані багато застосувань. Наприклад, є програми, які допомагають зрозуміти, добре чи погане вино ви купуєте прямо зараз в магазині. Або ті, що сканують штрих-код відправлення з подальшим аналізом трекінгу.

В майбутньому більшу роль буде грати доповнена реальність. Наприклад, за допомогою камери можна буде розмістити посередині реальної кімнати віртуальний кавовий столик і подивитися, як він буде виглядати в приміщенні. Або ж перевірити, який колір паркету підійде до нових шпалер.

Останні кілька років виробники активно вбудовували дактилоскопічні сканери в свої телефони. У багатьох випадках користувачам все це подобалося, оскільки дотик до датчика дозволяло включити телефон або підтвердити виконання будь-якої функції. Але зараз, швидше за все, буде використовуватися вже не відбиток пальця, а «відбиток особи». В тому сенсі, що телефон буде сканувати обличчя людини, яка дивиться на дисплей, і якщо ця людина входить в список дозволених користувачів, телефон розблокується.

3D камери можуть бути ключем до подальшого розвитку технології доповненої реальності. Зараз багато розробників створюють додатки такого роду. Глави технологічних корпорацій заявляють про те, що перспективи доповненої реальності великі. Цієї осені Apple випустить фінальний реліз iOS 11, яка буде підтримувати ARKit. А це означає, що розробники зможуть без проблем створювати додатки доповненої реальності.

ARKit використовує сенсори руху і камеру телефону, включаючи акселерометр і гіроском. Завдяки цьому користувач зможе не тільки бачити об'єкти віртуальної реальності на дисплеї телефону, але і взаємодіяти з ними.

Доповнення реального світу «магічними» цифровими шарами. Представники стартапу Magic Leap підтвердили намір почати реалізацію проекту Magicverse, про який вперше було заявлено в жовтні минулого року. Він являє собою створення декількох цифрових шарів, які у вигляді доповненої реальності були б додані до реального світу [5]. За словами розробників, вони планують максимально розмити межу між реальним і цифровим світом. Елементами цифрових шарів будуть все реальні об'єкти - від приміщення в будь-якому будинку до цілої країни (рис. 2).

Розуміння самої концепції і її адаптація, як вважають автори ідеї, займе якийсь час, оскільки тут все непросто. Реальні об'єкти будуть відображатися в декількох AR-шарах. Один з них може демонструвати зони розваги, інший - мати відношення до охорони здоров'я і здоров'я, третій - показувати транспортну інфраструктуру регіону. На основі такої системи можна створювати масу застосувань нового типу, які зроблять життя комфортнішим, підвищать ефективність роботи, дозволять краще відпочивати.

Ну а доступ до шарів можна отримати за допомогою гарнітури - не тільки тієї, що розробляється самою компанією, а й багатьох інших.

«Magicverse прискорить і збільшить економічні процеси в спільнотах по всьому світу, зітре межі простору і часу, забезпечить проведення комунікацій і робіт за допомогою інструментів і способів, яких не було раніше», - йдеться в релізі Magic Leap.

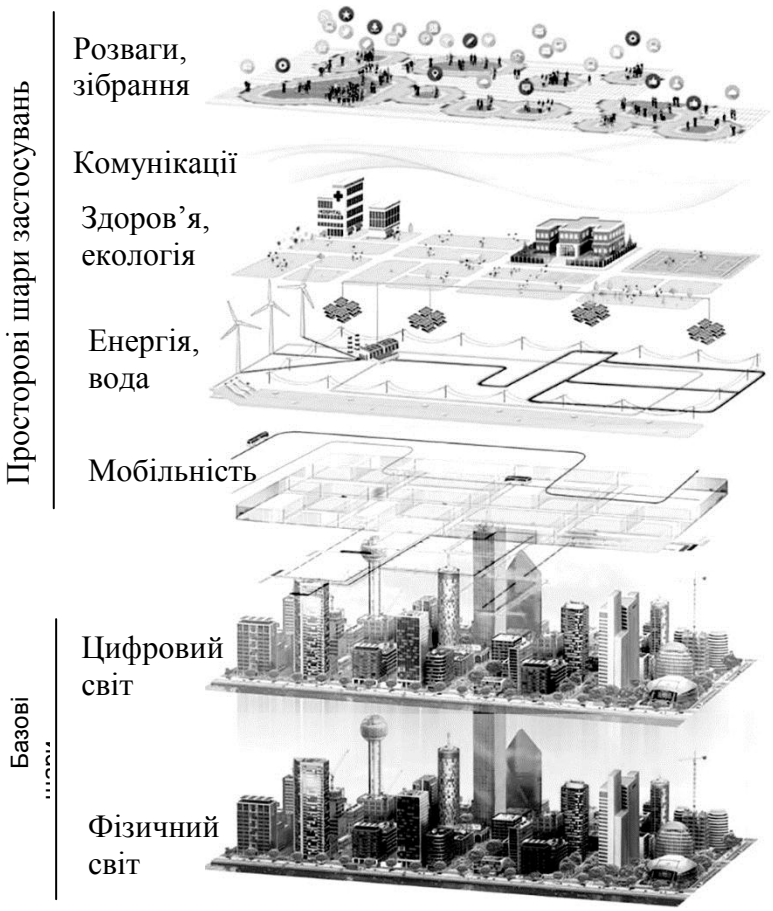


Рис. 2. Магічні (Magicverse) просторові шари застосувань.

Для існування такої системи потрібна нова інфраструктура, включаючи швидкісні лінії зв'язку, сховища даних і т.п. Системи зв'язку зараз і так удосконалюються, оскільки 5g поступово проникає в реальний світ. І чим швидше мережі п'ятого покоління будуть поширюватися, тим реальніше стане ідея Magicverse.

Проблемою цифрового світу може бути ще і питання персональних даних - адже якщо в цифру переносити таку велику кількість даних, то рано чи пізно виникне конфлікт між необхідністю забезпечувати приватність і нуждою в подальшому розвитку системи. Проте, Magic Leap вже працює як над політикою, так і над архітектурою такої системи.

Масштабне використання штучного інтелекту. До цього часу основним вигодонабувачем від технологій штучного інтелекту AI був технологічний сектор [6]. Більшість провідних технологічних компаній, таких як Google і Amazon на Заході, Alibaba і Baidu в Китаї, не змогли б стати такими великими та успішними без AI, використовуваного для рекомендацій товарів, цільової реклами та прогнозування попиту. Amazon, наприклад, широко використовує AI для управління роботами на своїх складах, оптимізації упаковки і доставки, для виявлення контрафактних товарів, а також для роботи свого голосового помічника - Alexa. Alibaba, китайський конкурент, також широко використовує AI, наприклад, в логістиці; а його дочірня компанія з організації онлайн-платежів, Ant Financial, експериментує з розпізнаванням облич для схвалення

транзакцій. Сандарам Пічаї, глава Google, сказав, що AI наддасть «більш глибокий» вплив, ніж електрика або вогонь.

Керівники нетехнологічних компаній з різних галузей економіки починають турбуватися про те, що AI може прибрати їх з ринку і скуповують перспективні технологічні стартапи, з метою забезпечити своє лідируюче становище. За даними PitchBook, постачальника даних, в 2017 році компанії по всьому світу витратили близько 21,8 млрд доларів на злиття і поглинання, пов'язані з AI, приблизно в 26 разів більше, ніж у 2015 р. Стартапи без доходу приваблюють своєю вартістю, яка становлять від 5 до 10 мільйонів доларів за експерта в технології AI.

У міру того як AI виходить за межі технологічного сектора, він буде впливати на зростання числа нових компаній, які кидають виклик чинним. Це вже відбувається в автомобільній промисловості, з стартапами безпілотних автомобілів і такими фірмами, як Uber. Це також змінить методи роботи інших компаній, трансформуючи традиційні функції, такі як управління ланцюгами поставок, обслуговуванням клієнтів і набором персоналу.

Системи AI вимагають ретельної підготовки даних, ретельного моніторингу алгоритмів і великої кількості налаштувань, щоб принести користь. AI можуть легко виконувати роботу, яку люди знаходять незбагненною їх уму, наприклад, виявляти крихітні недоліки в промислових товарах або швидко класифікувати мільйони фотографій осіб, але у них виникають проблеми з речами , які людям здаються легкими, такими як базові міркування.

В останньому кварталі 2017 року публічні компанії по всьому світу згадували AI і машинне навчання в своїх звітах про доходи понад 700 разів, в сім разів частіше, ніж за той же період 2015 року. Величезна проблема полягає в тому, що AI створює ефект віртуальної воронки або «маховика», дозволяючи компаніям, які його використовують, працювати більш ефективно: генерувати більше даних, покращувати свої послуги, залучати більше клієнтів і пропонувати більш низькі ціни. Це звучить прекрасно, але це також може привести до більшої корпоративної концентрації та монопольного впливу, як це вже сталося в технологічному секторі.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Технология сенсорного замещения позволит видеть мир с помощью звуков: открыт набор на курсы для слепых и слабовидящих / Habr, 2019 //https://habr.com/ru/post/442680.
3. Dvorsky G. Incredible Experiment Gives Infrared Vision to Mice—and Humans Could Be Next // GIZMODO - https://gizmodo.com/incredible-experiment-gives-infrared-vision-to-mice-and-1832940986.
4. Ближайшее будущее мобильных устройств: распознавание лиц и дополненная реальность // Habr, 2017 - https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/373779.
5. Takahashi D. Magic Leap CEO: We’re dead serious about the ‘Magicverse’// https://venturebeat.com/2019/02/23 / magic-leap-ceo-were-dead-serious-about-the-magicverse.
6. Нетехнологические компании начинают масштабно использовать искусственный интеллект хабр, 2019 - https://habr.com/ru/post/442350.

УДК 621.396.1

ПІДХОДИ ТА СТРАТЕГІЇ ЩОДО КОЛЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ РОЄМ ДРОНІВ

Кравчук С.О., Кравчук І.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна
E-mail:sakravchuk@ukr.net

Approaches and strategies for collective management swarm of drones

The approach to solving the problem of collective management of the drones group is based on the use of an iterative procedure in which the drone sequentially chooses their next steps.

Методологія польоту окремих безпілотних літальних апаратів (БЛА) в цілому вже детально розроблена [1-3]. Однак практика вирішення різних завдань, в тому числі і оборонного значення, вимагає вивчення принципово нового об'єкта керування - сукупності (групи, угруповання, рою) літальних апаратів, які здійснюють спільний рух або по порівняно близьким траєкторіях, або утворюють складну просторово-часову структуру взаємного положення об'єктів. Особливо це актуально на даний час для супроводу і керуванню рою дронів [4].

У завданнях спостереження за такими об'єктами часто також доводиться мати справу з обстановкою, що складається не з одного, а з сукупності об'єктів супроводу. Багато з об'єктів супроводу можуть в процесі свого руху розділятися, утворюючи нові групи або незалежні окремі об'єкти. Актуальність усвідомлення методів побудови таких складних груп і прогнозу їх руху в сучасних умовах не тільки залишається, але навіть зростає.

Одним з важливих чинників досягнення успіху при веденні збройної боротьби в сучасних умовах є комплексне застосування наявних бойових засобів і можливостей. Це дозволяє прийти до висновку, що основною сучасною формою використання бойового потенціалу слід вважати групові дії. Вивчення руху угруповання БЛА і вимога стеження за ними, прогнозування одночасного польоту групи різнотипних БЛА змушують розробляти нові алгоритми і методи, як правило, аналітичні, так як навіть дуже потужні обчислювальні ресурси виявляються нездатними забезпечити вирішення таких багатовимірних задач.

Зокрема, в роботі [5, 6] розроблена загальна теорія групового керування роботами в умовах динамічних, недетермінованих середовищ. У ній дана класифікація за рівнем алгоритмічної складності завдань групового керування роботами для різних умов їх застосування. При цьому показано, що для організації систем управління групами роботів доцільно використовувати деякі загальні стратегії, що застосовуються для керування в усіх технічних, соціальних і природних групах. Виділено стратегії централізованого, децентралізованого та комбінованого управління. У найбільш загальному випадку в систему групового керування роботами рекомендовано включати підсистему планування групових дій, локальні

бортові системи керування окремих роботів групи, що відповідають за реалізацію групових дій і бортові виконавчі пристрої окремих роботів.

В основу запропонованого підходу покладені принципи колективного керування і наступні положення:

• кожен член колективу самостійно формує керування і визначає свої дії в поточній ситуації (самоорганізація);

• вибір дій членами колективу здійснюється тільки на основі інформації про мету, що стоїть перед колективом, ситуації в середовищі в поточний момент часу, поточних станах і діях інших членів колективу (кооперативна взаємодія);

• в якості оптимальної дії члена колективу розуміється така дія, яка вносить максимально можливий внесок в досягнення спільної мети (гнучкість і раціональність тільки певних дій);

• допускається прийняття компромісних рішень (ускладнене керування, можливість задіяння штучного інтелекту).

Завдання зводиться до вибору і виконання в поточний момент часу групою дронів таких групових дій, які забезпечують екстремум (максимум, якщо оцінюються вигоди від дій групи дронів, або мінімум, якщо оцінюються витрати) цільового функціоналу з урахуванням вектора протидіючих сил на проміжку дискретного часу. Запропоновано підхід до вирішення дискретної задачі колективного управління групи дронів, заснований на використанні ітераційної процедури, в рамках якої дрони послідовно вибирають свої чергові дії.

З урахуванням сучасних реалій і можливості групового руху важливим є моделювання процесів обміну інформацією між БЛА. Ні моделі, засновані на представленні руху у вигляді диференціальних рівнянь, ні представлені вище нейронні і нечіткі моделі не володіють такими властивостями і не мають таких функцій моделювання. В силу цього для вирішення сучасних завдань теорії польоту необхідно використовувати поняття, які дозволяють перебувати як би «над» традиційними підходами до визначення руху. Як показує дослідження різних методів представлення та опису поведінки активних об'єктів в умовах, що змінюються зовнішніх середовищах (адаптивні, що самоорганізуються, кінцеві автомати та ін.), Доцільно для моделювання таких ситуацій використовувати парадигму агент-орієнтованих систем і поняття «інтелектуальний агент» (ІА) як високорівневу абстракцію для формалізації складних не до певних ситуацій [7-10]. При цьому власне рух літальних апаратів доцільно описувати як переміщення в просторі таких «інтелектуальних агентів».

Інтелектуальні агенти - новий клас деяких програмно-апаратних сутностей, що знаходять і опрацьовують інформацію, що підтримують рішення важких завдань, здатні вести самостійні «переговори» в програмних системах, автоматизувати виконання рутинних операцій і співпрацювати з іншими програмними агентами при виникненні складних проблем, знімаючи тим самим з людини надлишкову інформаційне навантаження (рис. 1). Агентом в загальному випадку є система, яка функціонує всередині деякої

середовища, здатна сприймати середу за допомогою датчиків і впливати на неї (в нашому випадку - рухатися в ній) для виконання власної програми дій. Визначальним в багатоагентних системах є система комунікації. Можливість обміну інформацією розширює компетенції агентів, дозволяючи їм скористатися знаннями інших агентів. Вона також забезпечує умови для ефективного перерозподілу завдань і координації дій.

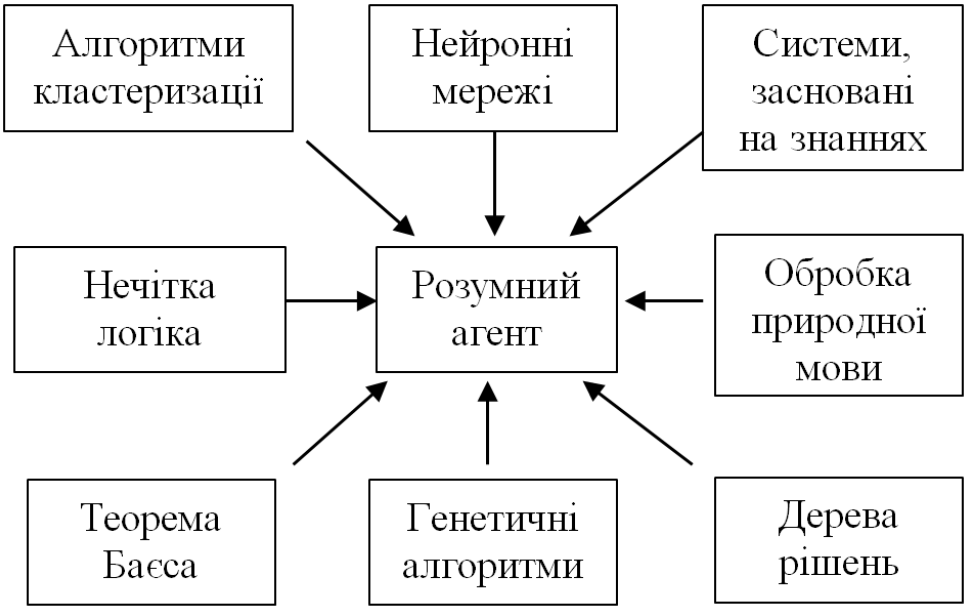


Рис. 1.

На підставі викладеного вище можна скомпілювати наступне визначення: «агент» - це самостійна програмна система, що:

- має можливість приймати вплив із зовнішнього світу;
- визначає свою реакцію на цей вплив і формує відповідь дія;
- змінює свою поведінку з плином часу в залежності від накопиченої інформації і витягнутих з неї знань,
- володіє мотивацією і здатна після делегування повноважень користувачем поставити себе на його місце і прийняти рішення, відповідне ситуації ".
- Інтелектуальний агент повинен мати наступні властивості:
- автономність - здатність функціонувати без втручання з боку свого власника і здійснювати контроль внутрішнього стану і своїх дій;
- адаптивність - агент має здатність навчатися;
- коллаборативного - агент може взаємодіяти з іншими агентами декількома способами, граючи різні ролі;
- здатність до міркувань - агенти можуть володіти частковими знаннями або механізмами виведення, а також спеціалізуватися на конкретну предметну область;
- комунікативність - агенти можуть спілкуватися з іншими агентами;
- мобільність - здатність передачі коду агента з одного сервера на інший;
- соціальну поведінку - можливість взаємодії і комунікації з іншими агентами;
- реактивність - адекватне сприйняття середовища і відповідні реакції на її зміни;

- активність - здатність генерувати цілі і діяти раціонально для їх досягнення;

- наявність базових знань - знання агента про себе, навколишньому середовищу, включаючи інших агентів, які не змінюються в рамках життєвого циклу агента;

- наявність переконань - змінна частина базових знань, які можуть змінюватися в часі;

- наявність мети - сукупність станів, на досягнення яких спрямоване поточна поведінка агента;

- наявність бажань - стану і / або ситуації, досягнення яких для агента важливо;

- наявність зобов'язань - завдання, які бере на себе агент на прохання і / або дорученням інших агентів;

- наявність намірів - те, що агент повинен робити в силу своїх зобов'язань та / або бажань.

Можна запропонувати наступні побудови різноманітних стратегій керування.

Централізоване управління з Лідером. У групі призначається / виділяється / вибирається Лідер. Його поведінка визначається з Центру, який підтримує з Лідером постійний зв'язок. Інші елементи можуть відповідно до «зграєвих» природних алгоритмів слідувати за Лідером з утворенням відповідної структури (ланцюжок, зірка, та ін.), реалізуючи поведінку типу «роби як я», або утворювати ієрархічну структуру, при якій реалізується чітка підпорядкованість. Може реалізовуватися варіант, при якому Лідер визначає ціле-розподіл і видає завдання для БЛА-групи. Така стратегія, за деякими оцінками, виявляється більш стійкою до протидії протилежної сторони конфлікту, при її реалізації знижуються вимоги до інформаційного забезпечення всього угруповання, засобів зв'язку. У загальному випадку роль Лідера може бути присвоєна будь-якому БЛА групи, що володіє необхідними компетенціями. Лідер може бути змінений по команді з Центру керування, що також може підвищити ефективність використання стратегії в різних умовах.

Децентралізоване управління з Лідером. У цій стратегії також призначається Лідер, якому ставиться завдання для всього угруповання, але надалі зв'язок Центру з ним відсутній, а рішення щодо поводження і цільових перевірок розподілу всього угруповання Лідер приймає вже самостійно. Така стратегія покладає значну відповідальність на Лідера. По суті, ця стратегія вже стає інтелектуальною, але прийняття рішень в ній як і раніше будується за принципом єдиноначальності – централізоване керування.

Колективне самоврядування із обміном інформацією. Така стратегія пов'язана з тим, що об'єкти керування діють самостійно, але обмінюються інформацією один з одним для прийняття рішення і подальшого руху відповідно до прийнятих рішень. Зазначена стратегія відрізняється від раніше розглянутих чітко вираженим колективізмом поведінки. Основною проблемою тут може бути необхідність вирішення конфліктних завдань, які незмінно будуть виникати при такій стратегії керування.

Децентралізоване керування з розвідкою (або з прогнозуванням). В рамках децентралізованого керування з Лідером чи колективного самоврядування з обміном інформацією угруповання може призначити/виділити ІА, який буде попередньо вирішувати завдання в небезпечній для руху всього угруповання зоні, тобто свого роду «розвідника». Розвідник, рухаючись по заздалегідь узгодженим або обраним в залежності від ситуації траєкторіях, може інформувати інші ІА про ступінь небезпеки прохідного шляху. Для вибору оптимальних маршрутів тут можуть бути використані, наприклад, «мурашині» алгоритми.

Самоорганізація без обміну інформацією. Цей варіант управління в умовах руху в антагоністичному середовищі при активній протидії може стати єдино можливим. Але роз'єднаність ніколи не сприяла спільному виконаннюя спільних завдань, і відсутність обміну інформацією може істотно знизити ефективність. Крім того, цей варіант також вимагає завчасних цільових перевірок розподілу, що знижує гнучкість застосування угруповання.

Різнотипність ІА може внести певні особливості в побудову стратегій, що перш за все пов'язано з різними льотно-технічними характеристиками і можливостями різних ІА, що входять в угруповання. Так, наявність єдиного Лідера може ускладнювати взаємодію в групі; доцільно її розбиття на підгрупи однотипних ІА з відповідним виділенням в них власних Лідерів і делегуванням відповідних завдань для такої однотипної підгрупи. Можна прогнозувати також суттєву різницю просторово-часових характеристик різнотипних об'єктів, що діють у складі угруповання. Дійсно, за умови, що група включає, наприклад, БЛА чотирьох різних типів (літаки, дрони, боєголовки стратегічних і аеробалістичних ракет, аеростати), вони можуть займати істотно різні висотні горизонти і рухатися по різним азимутним напрямками.

Література

1. Апазов Р.Ф., Лавров С.С., Мишин В.П. Баллистика управляемых ракет дальнего действия. М.: Наука, 1966. – 308 с.
2. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
3. Алферьев В. Методы имитационного моделирования управляемого движения баллистических объектов. Юбилейный: изд-во ЗАО «ПСТМ», 2012. – 132 с.
4. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
5. Капустян С.Г. Методы и алгоритмы коллективного управления роботами при их групповом применении. Ростов-на-Дону, 2008. – 310 с.
6. Абросимов В.К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов вантагонистической среде: монография. – М.: Издат. Дом «Наука», 2013. – 168 с.
7. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. Серия «Науки об искусственном». М.: Едиториал УРСС, 2002.
– 352 с.
8. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 400 с.
9. Амелин К.С., Грачинин О.Н. Мультиагентное сетевое управление группой легких БПЛА // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2011. – № 6. – С. 64–72.
10. Котенко И.В.,Станкевич Л.А., Командная работа агентов в условиях временных ограничений // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 560–567.

УДК 621.396.1

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ M2M-ШЛЮЗИ ДЛЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ДОМЕНІВ ПРИЛАДІВ

Кравчук С.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна
E-mail:sakravchuk@ukr.net

Smart M2M-gateways for wireless devices domains

The approaches of smart M2M-gateways realization are presented, especially on the basis of RESTful.

В промисловій сфері часто виникають технічні завдання, де сенсорні системи повинні взаємодіяти не тільки між собою, а й з зовнішнім світом за допомогою того чи іншого вузла, для опису цих процесів використовуються два терміни: зв'язок машини з машиною (Machine to Machine - M2M) та Інтернет речей (IoT). Вони мають в основі єдину технологічну парадигму: інтелектуальні пристрої, підключені до Інтернету, дозволяють віддалено збирати і передавати дані [1-3]. Як показує сучасний досвід, абревіатура IoT в більшій мірі відноситься до споживчого сектору, в той час як M2M має промислове забарвлення і краща при використанні обладнання промислового класу. Одним з найбільш важливих аспектів Інтернету речей є ефективна взаємодія розумних пристроїв один з одним і з хмарними застосуваннями.

Одним із ключових елементів архітектури M2M є шлюзи, які забезпечують пристроям M2M гарантовану міжмережну взаємодію і підключення до мережі і прикладного домену. Шлюз M2M може використовуватися для різних застосувань пристроїв M2M і функціонально може бути об'єднаний в одному модулі с пристроєм або групою пристроїв M2M.

M2M/IoT-шлюзи (рис. 1) дозволяють організувати двосторонній зв'язок польових пристроїв з хмарою, де збираються, зберігаються і обробляються дані за допомогою бізнес-застосувань. Крім того, шлюзи високого класу пропонують можливості з обробки та зберігання даних для надання послуг в автономному режимі, а при підключенні до хмарних застосувань забезпечують контроль і керування в реальному часі. Багатофункціональні IoT-шлюзи підходять для підключення датчиків, виконавчих механізмів і пристроїв комерційного підприємства в рамках M2M-застосувань. Крім того, вони включають в себе весь необхідний набір безпроводових інтерфейсів для організації надійного зв'язку, таких як стільниковий зв'язок, Wi-Fi, Bluetooth і Zigbee.

Реалізація інтелектуального M2M-шлюзу базується на задіянні веб-сервісів RESTful [4-10]. REST (скор. з англ. Representational State Transfer, «передача репрезентативного стану») — підхід до архітектури мережних протоколів, які забезпечують доступ до інформаційних ресурсів (рис. 2). При підході REST кількість методів і складність протоколу суворо обмежені, що

призводить до того, що кількість окремих ресурсів має бути великою. Для веб-служб, побудованих з урахуванням REST (тобто не порушують накладених їм обмежень), застосовують термін «RESTful». На відміну від веб-сервісів (веб-служб) на основі SOAP (Simple Object Access Protocol - протокол обміну структурованими повідомленнями в розподілених обчислювальних системах, базується на форматі XML), не існує «офіційного» стандарту для RESTful веб-API. Справа в тому, що REST є архітектурним стилем, в той час як SOAP є протоколом. Незважаючи на те, що REST не є стандартом сам по собі, більшість RESTful-реалізацій використовують стандарти, такі як HTTP, URL, JSON і XML.

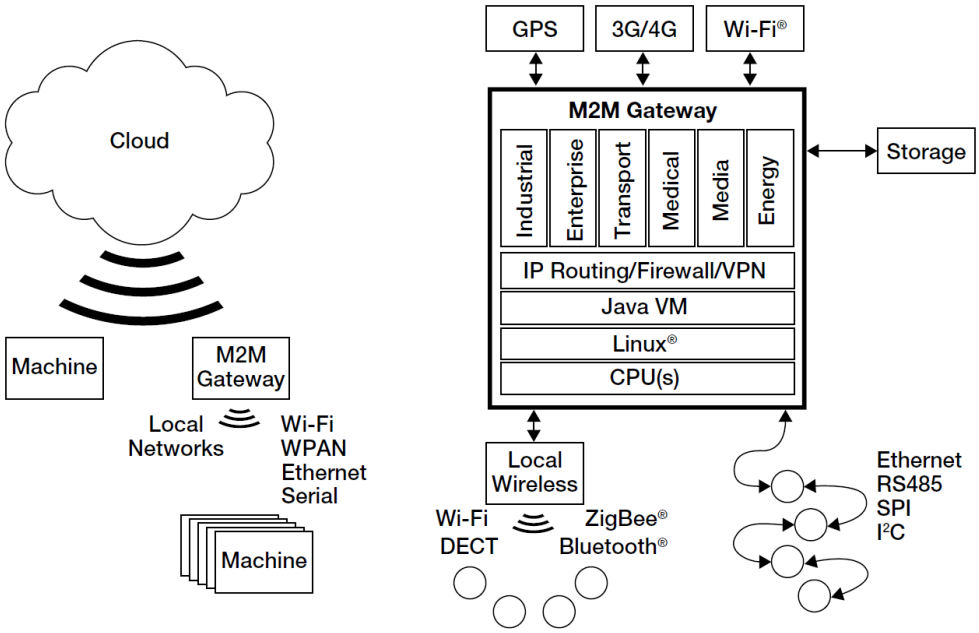


Рис. 1. Приклад M2M-шлюзу (M2M-Gateway).

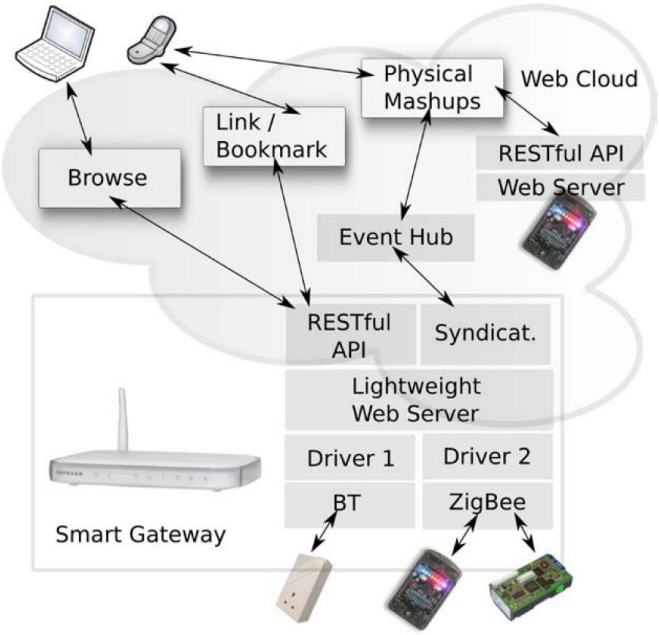


Рис. 2. Інтеграція Web і Інтернету за допомогою Smart Gateways і прямої інтеграції.

При цьому M2M-шлюз виконує трансляцію мережної адреси і фрагментацію/дефрагментацію пакетів.

Припускаємо, що працюємо в ієрархічній безпроводовій сенсорній мережі. Як тільки мережа розгортається, вузли організуються у вигляді ієрархічної моделі. Потім формуються ієрархічні кластери. Кожен кластер складається з великої кількості датчиків з низькою потужністю передачі і одного вузла датчика з високою потужністю передачі. Вузол передачі з високими рівнями потужності розглядається як заголовок кластера CH (cluster head). CH має канал зв'язку з точкою доступу (рівнем доступу).

Припускаємо набір S з K датчиків, які утворюють кластер. Кластер складається з вузла (голови кластера, CH), що передає з високими дискретними потужностями $P_{\text{high}} = \{P_{\text{high } 1}, \ldots, P_{\text{high max}}\}$, перекривати з вузлами, які передають з більш низькими дискретними потужностями передачі
$P_{\text{low}} = \{P_{\text{low } 1}, \ldots, P_{\text{low max}}\}$. Передбачається, що датчики зафіксовані, і канал CH завжди підключений до вузла приймача (шлюз, який збирає дані з усіх вузлів і передає їх в центр обробки). Позначимо через P_i потужність передачі вузла i, яка передається на вузол j по радіоканалу. Якість радіоканалу, головним чином, залежить від відстані між передавачем і приймачем. Коли кадр передається вузлом i з P_i, він приймається на вузлі j з $d_{ij}^{-\nu}P_i$, де d_{ij} - відстань між вузлами i і j, а ν - параметр загасання, який описує втрати на шляху поширення сигналу. Оскільки відстань між вузлами і параметр загасання є фіксованими, єдиний спосіб збільшити потужність прийому - це збільшити потужність передачі. Однак це також збільшує завади і, таким чином, знижує якість підключень безпроводових датчиків, яке вимірюється за допомогою відносини сигнал-завада-плюс-шум (SINR) наступним чином:

$$\gamma_{ij}(P) = \frac{d_{ij}^{-\nu} P_i}{\eta + \sum\limits_{k \neq i} d_{kj}^{-\nu} P_k} \ .$$

Керування пристроями M2M і кінцевими точками ефективно здійснюється за допомогою шлюзу. Датчики підключені до проксі-входу, а виконавчі механізми підключені до проксі-виходу шлюзу. Всі елементи реалізовані з використанням окремих API-інтерфейсів, доступні для клієнтів SCL (service capabilities layer) і мобільних клієнтів через північний інтерфейс. Повинна бути створена первісна конфігурація пристрою і його кінцевої точки. Це можна зробити за допомогою файлу XML або JSON, що містить статичний опис. Коли пристрій вперше підключається до шлюзу, цей API читає файл конфігурації за допомогою запиту GET, або файл може бути переданий в нього. Файл конфігурації може бути створений і/або оновлений за допомогою мобільних клієнтів шляхом підключення до нього API. Доступ до ресурсів пристроїв і кінцевих точок обмежений авторизованими клієнтами відповідно до прав доступу.

Розглянемо уявлення про взаємодію API шлюзу з клієнтом через SCL архітектуру. Два пристрої M2M підключені до шлюзу на південному

інтерфейсі і мобільний клієнт підключається до північного інтерфейсу (до шару доступу) через шар сервісних можливостей. API розробляються на Java, а взаємодія з пристроями і клієнтами M2M може здійснюватися з використанням XML/JSON. Вихідні файли конфігурації поміщаються в шлюз і розглядаються в API конфігурації ресурсів. Потім описи ресурсів пристрою, кінцевої точки і пристрою витягуються з цих файлів відповідними API і зберігаються в локальній базі даних. Після цього, коли мобільний клієнт видає GET-запит на отримання відомостей про пристрої, підключених до шлюзу, API опису ресурсів пристрою відповідає повним списком пристроїв і їх описами. З поля проксі-виходу і проксі-входу зрозуміло, чи має пристрій виконавчий механізм або датчик. Тепер, коли клієнт отримав інформацію про пристрої, він може вибрати пристрій і запитати у шлюзу відправити відомості про підключену кінцеву точку.

Конфігурація пристроїв і кінцевих точок можливо з мобільних клієнтів. Після того, як вони пов'язані зі шлюзом, клієнти можуть отримати доступ до файлу конфігурації пристрою, використовуючи запит GET. Ресурс API конфігурації надає тільки ті атрибути, які можуть бути створені або оновлені користувачами, наприклад, місце розташування.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Algorithm for clusterization, aggregation and prioritization of M2M devices in heterogeneous 4G/5G network / H. V. Beshley, M. O. Seliuchenko, I. A. Bernevek, S. I. Pushchuk, M. I. Beshley // Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serie: Radioelektronika ta telekomunikatsii, 2017-03-28. — Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2017. — No 874. — P. 95–102.
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Высочин В.П. Использование IMS-ПЛАТФОРМЫ для управления услугами в сетях M2M // Электросвязь. - 2011. - № 4. - С. 41-46.
4. Chen M., Wan J., Li F. Machine-to-Machine Communications: Architectures, Standards and Applications // KSII TRANSACTIONS ON INTERNET AND INFORMATION SYSTEMS. - 2012. - VOL. 6, NO. 2. – P. 480-497.
5. Datta S. K., Bonnet C. Smart M2M Gateway Based Architecture for M2M Device and Endpoint Management // Published in IEEE International Conference on Internet of… - 2014 (DOI:10.1109/iThings.2014.18).
6. Mouradian C., Jahromi N. T., Glitho R. H. NFV and SDN-Based Distributed IoT Gateway for Large-Scale Disaster Management // Published in IEEE Internet of Things Journal 2018 (DOI:10.1109/JIOT.2018.2867255).
7. Cheng B., Wei Z. M2M Gateway for Remote Wireless Monitoring for District Central Heating Networks // Sensors 2014, 14(12), 22447-22470; https://doi.org/10.3390/s141222447
8. Datta S. K., Bonnet C., Nikaein N. An IoT Gateway Centric Architecture to Provide Novel M2M Services // IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 514-519, 6-8 March 2014.
9. ETSI Technical Specification on Machine-to-Machine Communications; Functional Architecture, ETSI TS 102 690, V2.1.1 (2013-10).
10. Architecting the Internet of Things / Editors D. Uckelmann, M. Harrison, F. Michahelles. – Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. – 386 p.

УДК 621.396.1

БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ В ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО M2M-ШЛЮЗУ ДЛЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ВСЕПРОНИКАЮЧИХ МЕРЕЖ

Кравчук С.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна
E-mail:sakravchuk@ukr.net

Unmanned aerial vehicle as a mobile M2M-gateway for smart ubiquitous network

The case of the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) as a mobile M2M-gateway of the wireless ubiquitous sensory networks within the framework of the distributed control system is considered.

Розглянуто випадок використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в якості мобільного M2M-шлюзу БВСМ (безпроводових всепроникаючих сенсорних мереж) в рамках розподіленої системи керування [1-4]. На рис. 1 представлена структура розподільної всепроникаючої мережі із застосуванням технологій M2M. Дані з усіх кінцевих вузлів БВСМ за допомогою спеціалізованих шлюзів, в якості яких можуть виступати як стаціонарні, так і мобільні пристрої (БПЛА), передаються в хмарний сервіс (рис. 2), де в подальшому вони акумулюються і зберігаються для подальшого опрацювання та використання. Дослідження можливості застосування БПЛА в якості мобільного шлюзу літаючої сенсорної мережі детально розглянуто в [5-7, 9].

Рис. 1. Структура всепроникаючої мережі із застосуванням технологій M2M та БПЛА.

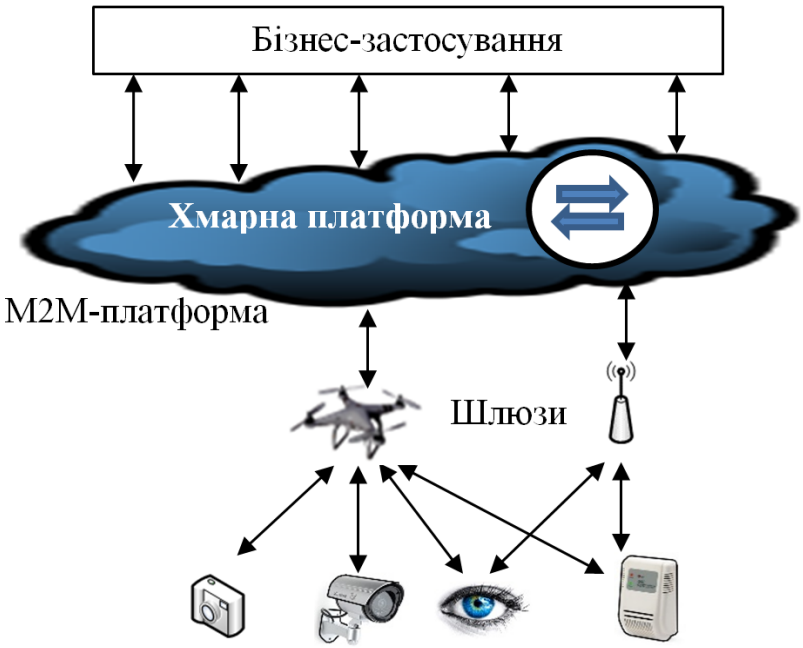


Рис. 2. Приклад обміну даними між M2M шлюзами і користувачами за допомогою передачі даних, їх зберігання та обробки в хмарній платформі.

Важливо відзначити, що в рамках концепції M2M/IoT, оснащений камерою і сенсорним вузлом зв'язку БПЛА здатний надавати дані сусіднім вузлам (як наземного, так і повітряного сегмента мережі) для координації свого місця розташування, коригування заданого маршруту руху, оперативної передачі телеметричних даних і відзнятого фотоматеріалу через сусідні вузли на центральний сервер.

Узагальнена архітектура шлюзу на основі SDR представлена на рис. 3 у відповідності до [8]. Основним будівельним блоком є обчислювальна платформа, здатна полегшити зв'язок між наземною і БПЛА сторонами. Платформа, заснована на FPGA, також відповідає за реалізацію стеку протоколів найбільш поширених стандартів зв'язку для застосувань IoT і M2M.

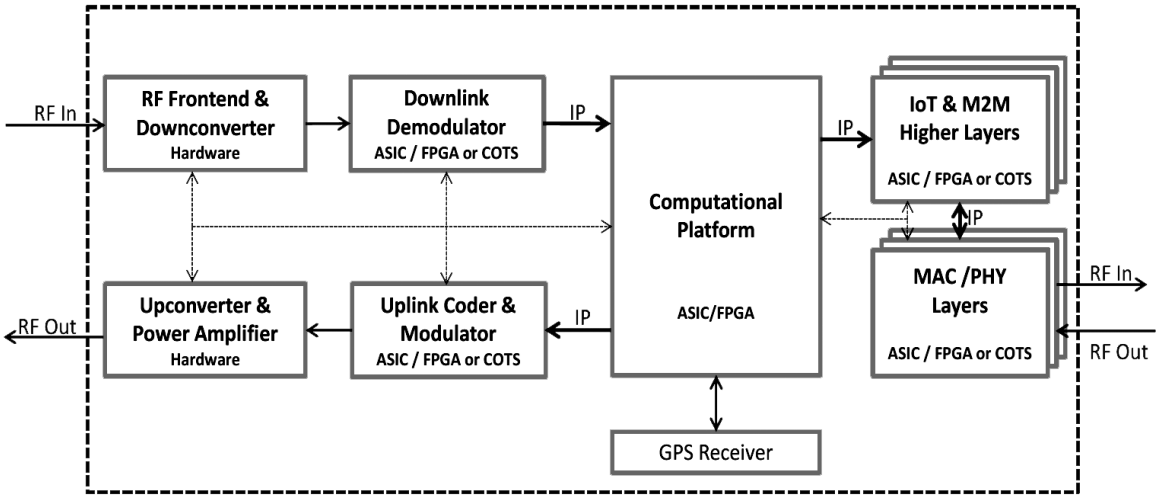


Рис. 3. Узагальнена архітектура шлюзу на основі SDR для застосувань M2M та IoT.

Застосування БПЛА в якості шлюзів значно спрощує процес збору даних з кінцевих вузлів за рахунок мобільності апаратів, що дозволяє домогтися більшої ефективності і зниження витрат при розробці і введення в дію безпроводової мережі M2M з метою вирішення завдань інфокомунікацій.

Шлюз виступає в ролі брокера, який класифікує дані, отримані від відправників, на теми і передає їх далі зацікавленим абонентам, незалежно від залучених протоколів зв'язку. Вузли датчиків діють як відправники/видавці для передачі даних датчиків до шлюзу, а також як абоненти для прийому команд від шлюзу.

Література

1. Кравчук С.О. Еволюційний розвиток концепцій транспортних телекомунікаційних систем // Цифрові технології. – 2015. - № 17. – С. 35-43.
2. Cloud-based mobility management in heterogeneous wireless networks / S. Kravchuk, D. Minochkin, Z. Omiotek, U. Bainazarov, R. Weryńska-Bieniasz, A. Iskakova // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, Wilga, Poland, 7 August 2017. - P. 104451W (doi: 10.1117/12.2280888; http://dx.doi.org/10.1117/12.2280888).
3. Кравчук С.О., Афанасьєва Л.О. Розподіл ресурсів з підтримкою заданої якості обслуговування для телекомунікаційної системи на основі аероплатформ // Матер. 12-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 16–20 квітня, 2018 р. – К.: Хімджест, 2018. – С. 201–204.
4. Ільченко М.Ю., Кайденко М.М., Кравчук С.О. Структурно-функціональні принципи побудови системи управління та зв’язку бортового і наземної обладнання телекомунікаційної мережі на основі аероплатформ // Матер. 12-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 16–20 квітня, 2018 р. – К.: Хімджест, 2018. – С. 26–29.
5. Prospects of using of aerial stratospheric telecommunication systems / M. Zgurovsky, M. Ilchenko, S. Kravchuk, V. Kotovskyi, T. Narytnik, L. Cybulskyi // Proceedings of the 2016 IEEE International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo’2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2016.7739636), 2016. – P. 20-23.
6. Gharibi M., Boutaba R., Waslander S.L. Internet of Drones // IEEE Access. – 2016. - Vol. 4. - P. 1148-1162 (DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2537208).
7. Vyrelkin, A., Vybornova, A., Koucheryavy, A.: Analysis of UAV Implementation as a Mobile Cluster Head of the Ground-based Autonomous Sensor Networks // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 1. pp. 29–36 (in Russian). URL: http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/29-36.pdf
8. SDR-based Gateway for IoT and M2M Applications / C. Gavrilă, C.-Z. Kertesz, M. Alexandru, V. Popescu // 2018 Baltic URSI Symposium (URSI) 15-17 May 2018 Poznan, Poland (DOI: 10.23919/URSI.2018.8406706).
9. Вырелкин А.Д., Кучерявый А.Е. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач «умного города» // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 105–113.

УДК 621.39

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧУВАНИХ РАДІОСИСТЕМ НА БАЗІ SOC В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

Бондаренко К.С., Кайденко М.М., Роскошний Д.В.
Науково-дослідний інститут телекомунікацій
КПІ імені Ігоря Сікорського, Україна, Київ
E-mail: kateolenya@gmail.com, kkk610@ukr.net, ddd610@ukr.net

Development of the Software-Defined Radio based on SoC in the Matlab / Simulink Environment

This article describes the process of creating a program code in the Matlab/Simulink environment and further compilation of created code in specialized environments for development and design of a SoC-based SDR

Розробка програмно-визначуваних радіосистем (SDR - Software-Defined Radio) на базі технологій програмовані системи на кристалі (SoC – FPGA+HPS) це складний та трудоємний процес, який потребує використання декількох середовищ для прототипування, розробки та тестування таких систем. В роботах [1,2], було описано процес модельно-орієнтованого проектування для створення програмно визначуваних систем з використанням середовища Matlab/Simulink. Слід зазначити, що SDR системи в тому числі і на основі SoC, відносяться до класу вбудованих систем (embedded system) і для їх проектування використовуються методи та засоби, які в загальному вигляді відрізняються від тих, що застосовуються для проектування комп'ютерних систем загального призначення. Дана робота присвячена опису процесу створення програмного коду для SoC з середовища Matlab/Simulink для подальшої компіляції в спеціалізованих середовищах для розробки та проектування. На рис.1 показано структуру процесу створення радіосистеми з використання модельно-орієнтованого проектування.

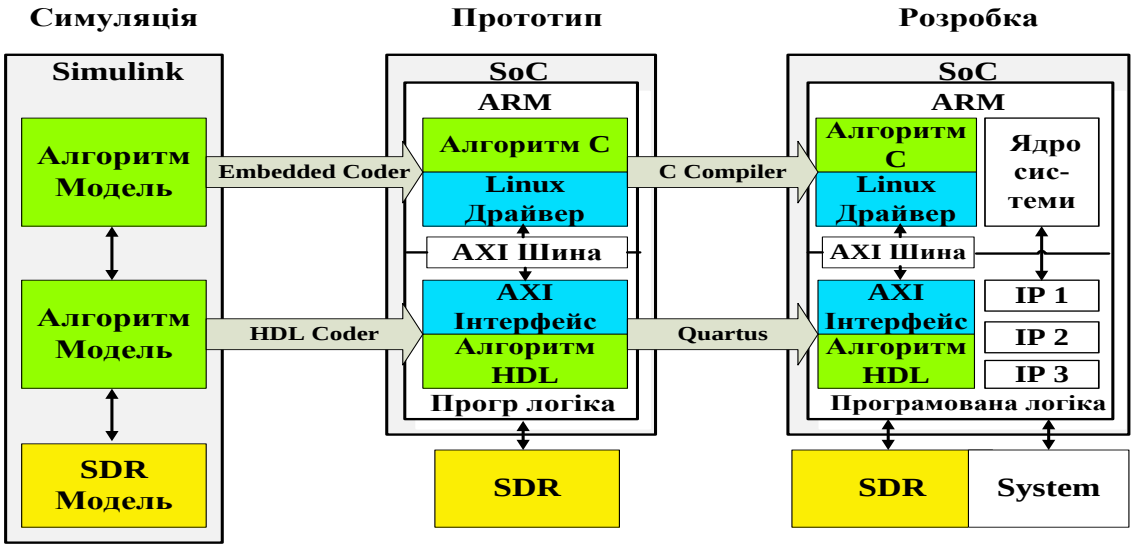


Рис.1. Структура процесу створення программно-визначуваної радіосистеми з використанням модельно-орієнтованого проектування.

В середовищі Matlab/Simulink для переходу від процесу симуляції до прототипу використовуються як вбудовані засоби, так і засоби сторонніх розробників (third-party software).

Створення протопиту для FPGA полягає в створенні коду на мові verilog/VHDL. Для цього в середовищі Matlab повинні були встановлені наступні компоненти:

- *HDL Coder* для генерації verilog чи VHDL коду з функцій MATLAB, Simulink моделей чи Stateflow charts;

- *Fixed-Point Designer*, який пітримує типи даних і надає інструменти для розробки алгоритмів з фіксованою точкою одинарної точності для оптимізації продуктивності embedded system;

- Пакет підтримки для цільової платформи, наприклад *HDL Coder Support Package for Altera SoC Platform, HDL Coder Support Package for Xilinx Zynq Platform*, та ін.;

- Середовище розробки FPGA в залежності від SoC, який буде використовуватись в цільовій платформі: Altera Quartus II, Xilinx ISE, Xilinx Vivado.

Для підключення відповідного середовища в командному вікні Matlab виконується команда *hdlsetuptoolpath('ToolName', 'Назва середовища', 'ToolPath', 'шлях до файлу запуску середовища')*.

Процес створення протопиту здійснюється з використанням *HDL Workflow Advisor* для вибраної підсистеми, графічне зображення якого показано на рис. 2 [3] При встановленні парамерів *HDL Workflow Advisor* для SoC встановлюється режим геренації IP core для вибраної цільової платвформи і відповідно SoC-пристрою. Вид графічного вікна *HDL Workflow Advisor показано* на рис.2.

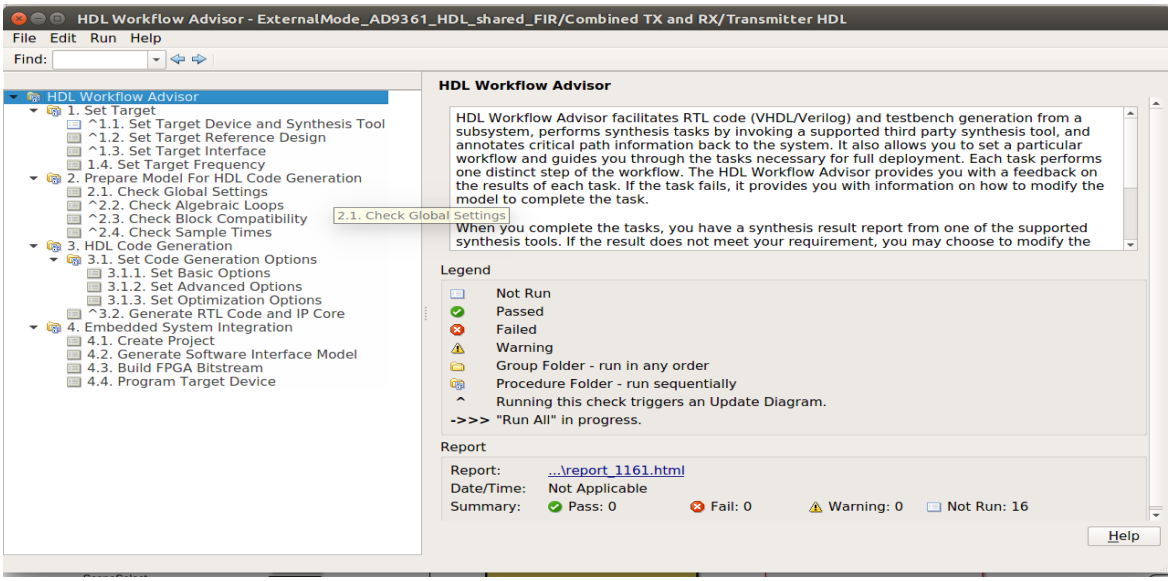


Рис.2 Графічне вікно *HDL Workflow Advisor* для створення коду на мові *verilog* підсистеми Transmitter HDL

В процесі створення коду у випадку роботи в операційній системі Windows можливе створення моделі інтерфейсу програмного забезпечення з блоками драйверів IP Core для генерації коду C (4.2. Generate Software Interface

Model). В середовищі Linux така можливість відсутня в наслідок того, что в Matlab відсутні пакети підтимка генерації вбудованого коду для ARM-процесорів відповідних цільових SoC (Embedded Coder Support Package for ARM Cortex-A Processors).

Процес створення прототипу закінчується (за необхідності внутрішньсхемної симуляції FIL — FPGA in the Loop) синтезом та генерацією прошивки (bitstream) для вбудованої системи FPGA та її програмуванням через порти JTAG, Ethernet, або записом на носій. Згенерований проект IP Core може оптимізуватись та модернізуватись вже безпосередньо в середовищі розробки FPGA.

Створення протопиту для ARM процесора SoC полягає в створенні коду на мові C/C++. Для цього в середовищі Matlab повинні були встановлені наступні компоненти:

- Embedded Coder для генерації C та C++ коду, який оптимізований для вбудованих систем;
- DSP System Toolbox — пакет цифрової обробки сигналів;
- DSP System Toolbox Support Package for ARM Cortex-A Processors;
- Embedded Coder Support Package for ARM Cortex-A Processors;
- Embedded Coder Support Package for ARM Cortex-M Processors.

Внаслідок того, що в середовищі Linux відсутня можливість використовувати Embedded Coder Support Package for ARM Cortex-A Processors замість нього може біти використаний Embedded Coder Support Package for ARM Cortex-M Processors, хоча цей варіант і не є отпимальним. Іншим, більш оптимальним варіантом є використання програмного пакету DS-5 разом з програмною оболонкою Eclipse. Для роботи з DS-5 необхідна інсталяція до середовища Matlab C/C++ Toolchain for Arm processors [4] Цей інструмент забезпечує підтиримку всіх типів ARM процесорів як для середовища Linux, так і для середовища Windows.

Процес створення протопиту здійснюється з використанням Embedded Coder Quick Start. Попередньо до запуску Embedded Coder Quick Start необхідно встановити параметри генерації коду, як показано на рис. 3, вибравши необхідний системний *Target* файл, мову програмування та *Toolchain,* а також інші параметри. Окрім того доцільно запустити Code Generation Advisor, за допомогою якого встановлюються цілі генерації коду та здійснюється перевірка моделі. Embedded Coder Quick Start виконує генерацію коду для моделі, або для підсистеми в межах моделі. Коли модель містить інші підсистеми, які не призначені для генерації коду, вибирається тільки одна підсистему для збірки коду.

В результаті створюється прототип на мові C/C++ включаючи Makefile необхідний для компіляції. Після створення протитипу перенесення на цільову платформу здійснюється шляхом крос-компіляції. Не зважаючи на те, що в середовищі Windows процес створення протитипу для ARM Cortex-A є простішим, більш доцільним є робота в середовищі Linux. Це є особливо важливим при використанні в цільовій платформі Embedded Linux в силу наступних причин:

- при крос-компіляції з Windows до Linux виникають проблеми

залежностей та бібліотек, що підключаются динамічно;

- інструменти в каталозі джерел Linux./scripts напряму не сумісні з середовищем Windows і, таким чином, хоча вони можуть компілюватись, вони не працюють належним чином і повинні бути виправлені в ручному режимі;

- Matlab генерує Makefile для моделі Simulink з ім'ям моделі name_model.mk з врахуванням цільової платформи, але при крос-компіляції цей файл може не враховувати багатьох можливостей і повинен бути виправлений в ручному режимі.

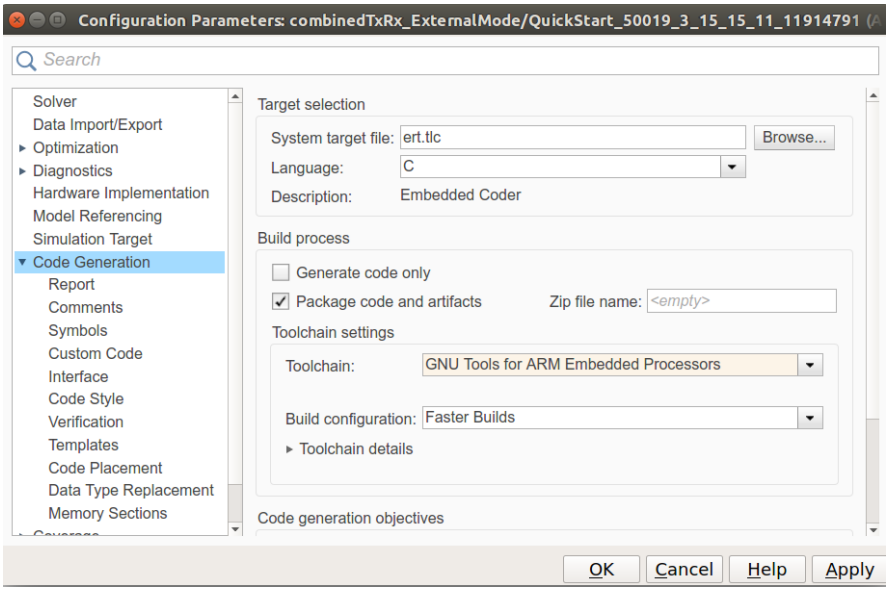


Рис. 3. Графічне вікно *Code Generation Option* для встановлення параметрів генерації коду

Процес крос-компіляції залежить від середовища, в якому вона здійснюється, в роботі [5] представлено процес крос-компіляції, проблеми та способи її вирішення при створенні машинного коду з використанням режиму командної строки. Компіляція здійснювалась в середовищі Linux (Ubuntu 16.04) Використовувався крос-компілятор для bare metall application *gcc-arm-none-eabi*, аналогічно для embedded Linux може бути використаний компілятор *gcc-arm-linux-gnueabi*.

Література

1. 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.
2. Кайденко М.М. «Використання модельно-орієнтованого проектування для програмно-визначуваних радіосистем» // XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2017: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 с. 181-183
3. Getting Started with Hardware-Software Co-Design Workflow for Intel SoC Devices - Режим доступу: https://www.mathworks.com/help/hdlcoder/examples/getting-started-with-hardware-software-codesign-workflow-for-intel-soc-devices.html
4. Arm Compiler - Режим доступу: https://www.mathworks.com/products/connections/product_detail/arm-compiler.html
5. How to: build module MATLAB cross-compilation - Режим доступу: https://bitbucket.org/mnacakanov/tropo/wiki/How%20to:%20build%20module%20MATLAB%20cross-compilation

УДК 621.396

ВИКОРИСТАННЯ SDR ТРАНСИВЕРА BLADERFx40 ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ СТАНДАРТІВ DVB-S ТА DVB-S2

Літвінов Є.А., Авдєєнко Г.Л.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: litvinov_yevhenii@ukr.net

Bladerfx40 SDR transceivers application for digital TV DVB-S and DVB-S2 standards signals generation

The current state of telecommunication development is characterized by the usage of Software-Defined Radio (SDR). Currently, the most used SDRs are RTL2832U, HackRF, Airspy, BladeRF, SDRPlay RSP. The easiest way to study SDR programming is to use the GNURadio program. In this thesis, the generation of DVB-S and DVB-S2 signals in GNRadio is considered. This thesis will be useful for radio amateurs and developers of television equipment.

Сучасний стан розвитку телекомунікацій характеризується використанням програмно конфігурованого радіо (SDR). На даний момент найбільш використовувані SDR є RTL2832U, HackRF, Airspy, BladeRF, SDRPlay RSP. Найбільш простим способом засвоїти програмування SDR є використання програми GNURadio. В даному тезисі розглядається формування сигналів DVB-S та DVB-S2 за допомогою трансиверу BladeRFx40 та програмного пакету GNURadio.

Принцип роботи SDR пристроїв базується на оцифруванні прийнятого радіосигналу і наступній його обробці у цифровому сигнальному процесорі або ПЛІС, керування роботою яких забезпечується від персонального комп’ютеру, до якого підключається пристрій. При цьому технологія прямого цифрового перетворення і прямого цифрового синтезу з діапазонними фільтрами дозволяє отримати максимально високі характеристики передавально-приймального тракту. Перевага технології SDR полягає в тому, що для його адаптації під інший стандарт зв’язку не потрібно змінювати апаратну частину, а необхідно змінити тільки програмну частину.

SDR трансивер BladeRFx40 цікавий тим, що він може формувати модульовані радіосигнали з шириною спектру до 27 МГц на будь-якій несній частоті в діапазоні 0,3…3,8 ГГц. Це дозволяє експериментувати з передовими безпроводовими технологіями у сфері зв'язку та телебачення (від FM-радіо до Wi-Fi і LTE).

Для роботи з SDR трансивером BladeRFx40 необхідний мінімальний набір програмного забезпечення, в першу чергу бібліотека gr-osmosdr [1], що дозволяє забезпечити керування трансивером в програмному середовищі GNURadio.

Відомо, що сигнал супутникового телебачення передається в Ku-(10,7…12,75ГГц) та Ka-(18…20 ГГц) діапазонах, причому у малошумливому конверторі відбувається перенесення частоти в діапазон

950…2150 МГц, який є стандартним діапазоном усіх супутникових приймачів.

Для апаратно-програмної реалізації модулятора обрано стандарт DVB-S2, причому вихідна частота модулятора рівна 1,28 ГГц, модуляція 8-PSK, символьна швидкість 5 Мсимв/с, швидкість кодування LDPC кодом 9/10 .

Для приймання сигналу цифрового телебачення стандарту DVB-S2 було підключено вихід трансиверу BladeRFx40 до ресивера через коаксіальний атенюатор (АТТ) та фільтр верхньої частоти (ФВЧ), що призначений для придушення напруги живлення, яка подається з виходу супутникового ресиверу (СП. ТВ) (рис.1).

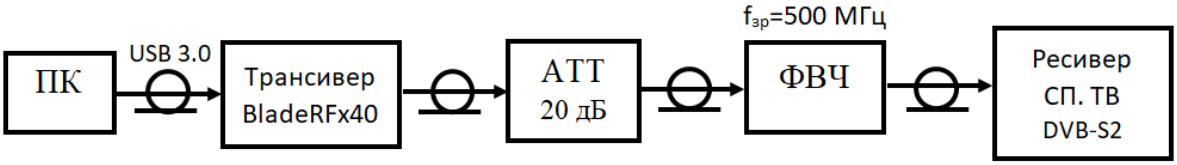


Рис. 1. – Блок схема дослідження модулятора.

Для програмування трансиверу BladeRFx40 з метою формування сигналів цифрового телебачення використовується програмний модуль GNURadio DTV (gr-dtv), який завантажується з інтернету з репозиторія GitHub [2]. Бібліотеки модулю GNURadio DTV забезпечують передачу і/або прийом для багатьох стандартів цифрового телебачення, таких як ATSC, CATV, DVB-T, DVB-T2, DVB-S і DVB-S2 з численними конфігураціями типу модуляції та кодування.

На рис.2 зображено структурну схема модулятора стандарту DVB-S2 у вигляді потокової діаграми, яка знаходилась в файлі dvbs2_tx.grc, що входить в бібліотеку gr-dtv.

Програмний модулятор стандарту DVB-S2 в GNURadio, що зображений на рис.2 вимагає введення вхідного транспортного телевізійного потоку стандарту стиснення MPEG-2 або H.264, який попередньо був записаний у вигляді файлу на жорсткий диск ПК при демодуляції сигналу супутникового телебачення, що був прийнятий від супутника Astra 4A. Відповідно до рис.2 модулятор складається з наступних блоків: блоку вхідних даних, в якому вказується шлях до файлу з записаним транспортним потоком (File Source), формувача заголовка BB (baseband) фреймів, скремблера BB фреймів (BBscrambler), BCH-энкодера (BCH Encoder), LDPC-энкодера (LDPC Encoder), перемежувача (Interleaver), блока модулятора сімейства DVB-S2X (DVB-S2X Modulator), формувача фреймів фізичного рівня (Physical Layer Framer), фільтра швидкого перетворення Фур'є (FFT Filter), графічного віджета відображення спектра сигналу (WX GUI FFT Sink), блоку керування параметрами передавального тракту трансиверу BladeRFx40 (osmocom Sink). Також на рис.2 показано допоміжні блоки, у яких встановлюється символьна швидкість вихідного потоку (symbol_rate), частота дискретизації (samp_rate), вихідна частота трансиверу (frequency), коефіцієнт скруглення (rolloff), кількість відводів лінії затримки (teps), тип графічної оболонки (Options) .

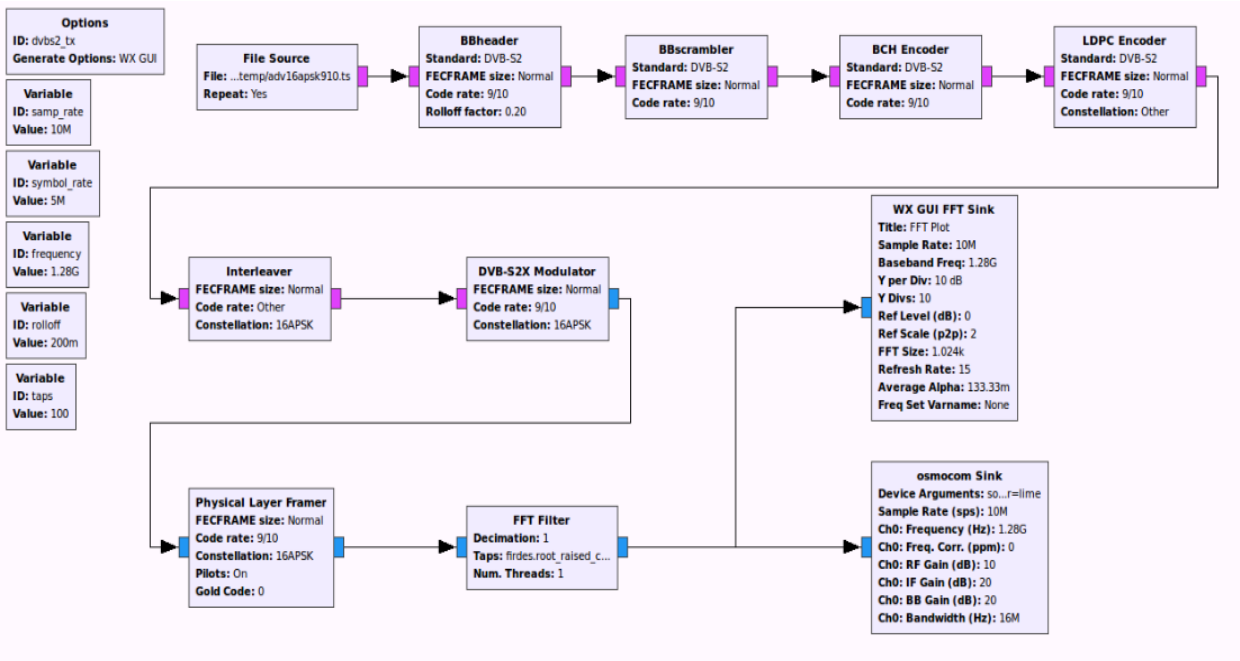


Рис. 2. Схема формування сигналів цифрового телебачення стандарту DVB-S2.

Запустивши потоковий графік модулятора DVB-S2 в GNURadio, на дисплеї WX GUI отримали спектр сигналу (рис.3).

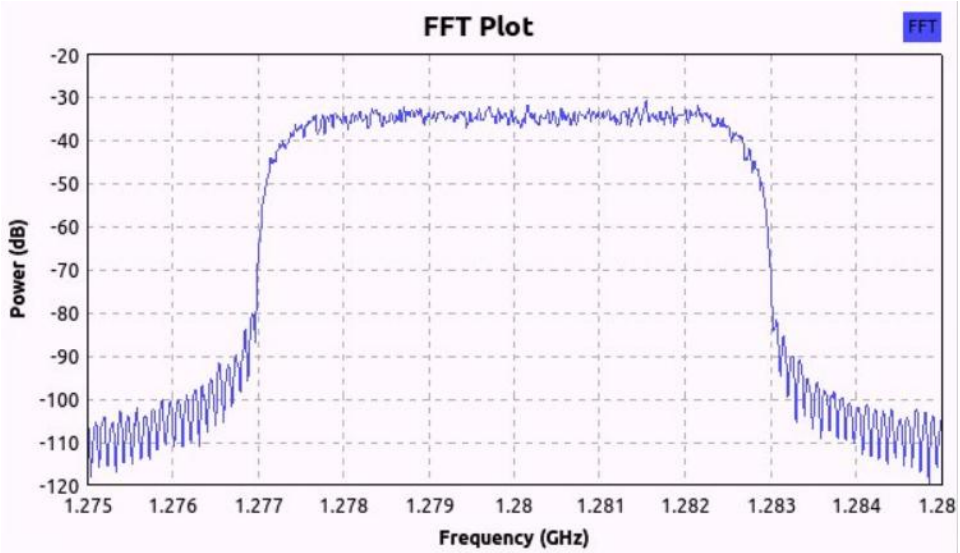


Рис. 3.– Спектр сигналу DVB-S2.

Результати проведеної роботи підтверджують працездатність апаратно-програмної реалізації стандарта DVB-S2 в середовищі GNURadio.

Література

1. Бібліотека gr-osmosdr B210 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://packages.debian.org/ru/sid/gr-osmosdr.
2. Модуль GNURadio DTV [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://github.com/gnuradio/gnuradio/tree/master/gr-dtv.

УДК 621.396.1

ТЕХНОЛОГІЯ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО МНОЖИННОГО ДОСТУПУ

Афанасьєва Л.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com

The non-orthogonal multiple access technology

This paper provides a basic concept of NOMA adaptive relay protocol for a cooperative networks. A new algorithm of decoding for an relay system with optimal transmission is proposed. The proposed adaptive relay protocol improves system performance by using CSI values and network coding.

Методи множинного доступу (MA) класифікуються як ортогональний множинний доступ (OMA) і неортогональної множинний доступ (NOMA). У OMA кожен користувач може використовувати ресурси ортогонального зв'язку в межах певного часового інтервалу, смуги частот або коду, щоб уникнути перешкод множинного доступу. У NOMA кілька користувачів можуть використовувати неортогональні ресурси одночасно, забезпечуючи високу спектральну ефективність, допускаючи деяку ступінь перешкод множинного доступу на приймачах. Технологія неортогональної множинного доступу (NOMA) визнана як перспективна технологія, що дозволяє підвищити спектральну ефективність мобільної мережі п'ятого покоління (5G).

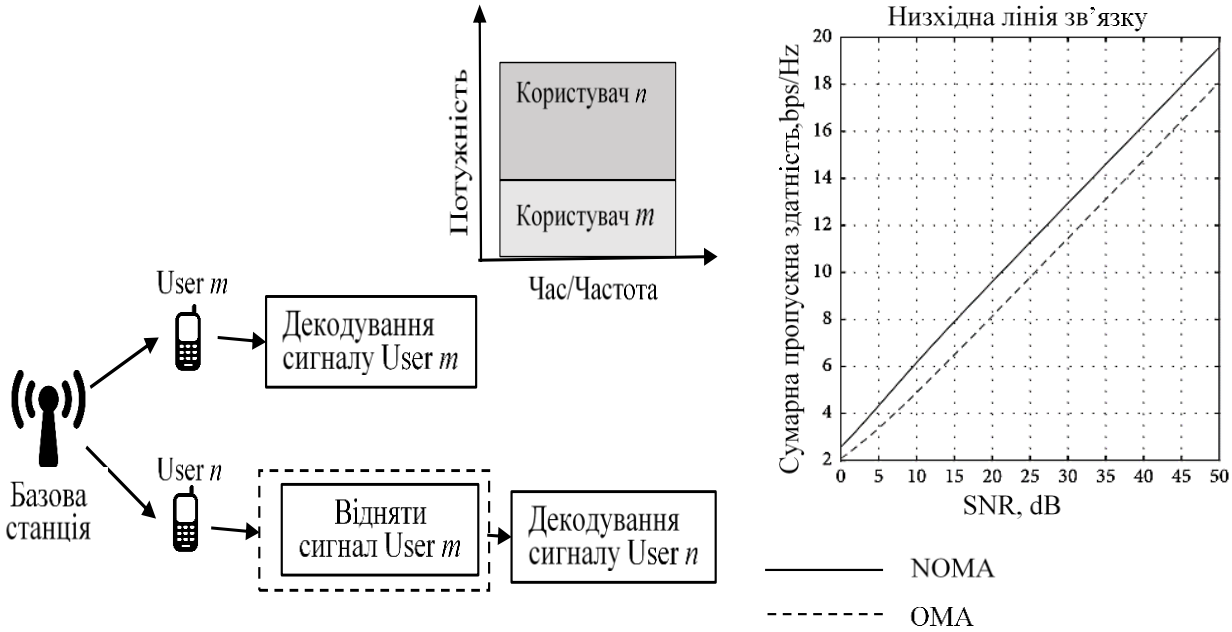
У загальному випадку схеми NOMA можна класифікувати на два типи: мультиплексування в області потужності (power-domain multiplexing-PDM) і мультиплексування в кодовій області (code-domain multiplexing-CDM). При PDM різним користувачам виділяються різні коефіцієнти потужності відповідно до умов їх каналу для досягнення високої продуктивності системи. Зокрема, інформаційні сигнали декількох користувачів накладаються на стороні передавача. На стороні приймача застосовується послідовне придушення перешкод (successive interference cancellation-SIC) для декодування сигналів один за одним до тих пір, поки не буде отримано сигнал бажаного користувача [1].

При CDM користувачі розподіляються за різними кодами та мультиплексуються по одним і тим же частотно-часовим ресурсам, таким як багатокористувацький загальний доступ (multiuser shared access-MUSA), множинний доступ з розрідженим кодом (sparse code multiple access - SCMA) і розширення з низькою щільністю (low-density spreading-LDS). Хоча мультиплексування в кодовій області має потенціал для підвищення спектральної ефективності, воно вимагає високої пропускної здатностості передачі і не може бути легко застосовано до існуючих систем. З іншого боку, PDM має просту реалізацію, оскільки в існуючих мережах не потребує значних змін. Крім того, такий підхід не вимагає додаткової смуги пропускання для покращення спектральної ефективності [2].

Основні принципи технології NOMA ґрунтуються на використанні кодування з накладенням (Superposition Coding-SC) в передавачі і методів послідовного зменшення шумів (Successive interference cancelation-SIC) в приймачі. Фундаментальна концепція SC полягає в кодуванні з більш низькою швидкістю повідомлення для користувача з поганими умовами каналу, а потім накладенні на нього сигналу користувача, що має кращі умови каналу.

SIC дозволяє користувачеві з найпотужнішим сигналом та, відповідно, з найменшим забрудненням бути виявленим першим. Потім користувач з найкращим станом каналу перекодовує і повторно модулює свій сигнал, який потім віднімається з композитного сигналу. Коли всі сигнали, крім одного, були виявлені, користувач із найгіршими показниками стану каналу декодує свою інформацію без будь-яких перешкод.

Для математичної ілюстрації взаємозв'язку між NOMA і OMA розглянемо просту аналітичну характеристику, досліджуючи досяжну продуктивність по відношенню до значення сигнал / шум (SNR).



а) низхідна лінія зв'язку NOMA

б) сумарна пропускної здатність NOMA для низхідної лінії зв'язку

Рис. 1 Двокористувацька передача NOMA:

Розглянемо двокористувацьку передачу NOMA по низхідній лінії зв'язку (рис.1а)

Канальні коефіцієнти користувача m і користувача n - є h_m і h_n відповідно. Позначимо відношення сигнал/шум SNR передачі на базовій станції як ρ та припустимо, що ми маємо $|h_m|^2 < |h_n|^2$.

Згідно з теоремою Шеннона, досяжна швидкість передачі даних OMA може бути виражена для користувача m і користувача n як

$$R_m^{OMA} = \beta \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_m \rho}{\beta} |h_m|^2\right), \quad (1)$$

$$R_n^{OMA} = (1 - \beta)\log_2 \left(1 + \frac{\alpha_n \rho}{1-\beta} |h_n|^2\right), \quad (2)$$

відповідно, де α_m і α_n - коефіцієнти розподілу потужності і задовольняють умові $\alpha_m + \alpha_n = 1$, β - коефіцієнт розподілу ресурсів. Для випадків, коли управління потужністю не розглядається в базовій станції $\frac{\alpha_m}{\beta} = \frac{\alpha_n}{1-\beta} = 1$.

Тоді (1) и (2) можна переписати як

$$R_m^{OMA} = \beta \log_2 (1 + \rho |h_m|^2), \quad (3)$$

$$R_n^{OMA} = (1 - \beta)\log_2 (1 + \rho |h_n|^2). \quad (4)$$

При високих значеннях SNR ($\rho \to \infty$), за умови, що ресурси часу/частоти рівномірно розподіляються кожному користувачеві на основі (3) та (4) сумарна швидкість передачі даних OMA може бути виражена як

$$R_{sum}^{OMA} \approx \log_2 \rho \sqrt{|h_m|^2 |h_n|^2}. \quad (5)$$

Пропускна здатність NOMA користувачів m і n визначається як

$$R_m^{NOMA} = \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_m \rho |h_m|^2}{1 + \alpha_n \rho |h_n|^2}\right), \quad (6)$$

$$R_n^{NOMA} = \log_2 (1 + \rho \alpha_n |h_n|^2) \ . \quad (7)$$

При високих значеннях SNR сумарна пропускна здатність NOMA може бути виражена як

$$R_{sum}^{NOMA} \approx \log_2 (\rho |h_n|^2) \ . \quad (8)$$

Тоді ми можемо виразити сумарний приріст пропускної здатності NOMA над OMA наступним чином

$$R_{sum}^{GAIN} = R_{sum}^{NOMA} - R_{sum}^{OMA} = \frac{1}{2} \log_2 (|h_n|^2 / |h_m|^2) \ . \quad (9)$$

Коли ми маємо $|h_m|^2 < |h_n|^2|$, сума пропускної здатність NOMA вище, ніж у OMA, і цей виграш накладається, коли умови каналів двох користувачів стають більш різними. На рис.1б на прикладі низхідної лінії двокористувацької мережі показано переваги застосування технології NOMA над OMA по сумарній пропускній здатності.

Література

1. Z. Ding, Y. Liu, J. Choi Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks// IEEE Communications Magazine. –2017. – vol. 55, no. 2. – pp. 185–191.
2. L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. I, and Z. Wang Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends// IEEE Communications Magazine. –2015. –vol. 53, no. 9. – pp. 74–81.

УДК 621.396.1

ПРОТОКОЛ АДАПТИВНОЇ РЕТРАНСЛЯЦІЇ ДЛЯ КООПЕРАТИВНИХ МЕРЕЖ

Афанасьєва Л. О., Кравчук С.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com

Adaptive relay protocol for cooperative networks

This paper provides an adaptive relay protocol for a cooperative networks. A new algorithm of decoding for an relay system with optimal transmission is proposed. The proposed adaptive relay protocol improves system performance by using CSI values and network coding.

У сучасних системах безпроводового зв'язку релейні мережі мають провідне значення. Дослідники проявляють більше уваги до з'єднання точка-точка, такого як ad hoc, mesh мережа і т.д. Конвергенція між службами та мережами стане важливою характеристикою мережі 4G для локальних і глобальних мереж. Отже, кооперативний зв'язок буде домінувати у функціях безпроводових мереж, що дозволить поліпшить загальну продуктивність завдяки підтримці просторового рознесення.

Ретрансляція - це метод, який підтримує кооперативний зв'язок так, що пропонована інфраструктура забезпечує перехідне та швидке з'єднання, зменшуючи відстань між вузлами, а також необхідний часовий інтервал. Даний метод широко використовується для збільшення пропускної здатності та зони покриття мережі. Виділяють регенеративну DF-ретрансляцію, де повністю декодується отримана інформація на вузлі ретрансляції, та нерегенеративну AF-ретрансляцію, при якій система передає посилену версію отриманих даних. Застосування даного методу знижує складність системи та підвищує спектральну ефективність, що збільшує можливості підключення, масштабованості та надійності для каналів із завмираннями, а також нормалізує рівні робочої потужності. При кооперативному зв'язку потужність передачі значно знижується в порівнянні з існуючою системою. Для подолання значного ефекту затінення й для кращого покриття в системі зв'язку використовується кооперативне рознесення [1,2].

Розглянемо схему адаптивної ретрансляції, що дозволяє подолати обмеження для змінного в часі каналу з частотно-селективними завмираннями, використовуючи інформацію про стан каналу.

Запропонована схема реалізується наступними кроками:

Крок 1 Спочатку ретранслятор перевіряє інформацію про стан каналу (CSI), щоб забезпечити надійний зв'язок з приймачем. Кооперативна стратегія працює у два етапи. На першій фазі джерело (S) посилає свої власні дані на реле (R), а також до адресату (D). У другій фазі передачі кадр ретрансляційного вузла R відправляє прийняті дані від вихідного вузла S в першому кадрі на цільовий приймач D.

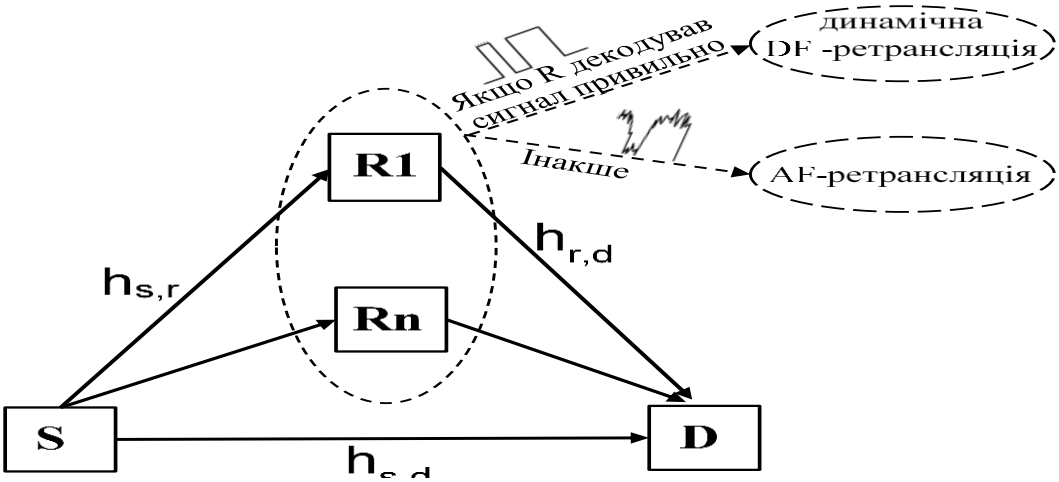


Рис. 1. Адаптивна схема ретрансляції.

Крок 2 Ретрансляційний вузол R виявляє кожен біт коду " 0 " або " 1 " як підтвердження від D і відправляє біт з новою потужністю до адресату D незалежно від того чи біти виявлено правильно, або неправильно. Слід зауважити, що одна передача передбачає, що зниження швидкості не застосовується, і, отже, на адресаті D може розглядатися однакова швидкість передачі інформації в порівнянні з прямою лінією зв'язку без використання будь-якої стратегії кооперації. Метод ретрансляції буде обраний на основі значення CSI каналу, це поліпшить загальну продуктивність кооперативного зв'язку з точки зору значення сигнал/шум (SNR), посилення мультиплексування та дозволить уникнути повторної передачі символу.

Крок 3 Якщо ретранслятори отримали сигнал з меншими спотвореннями, то метод AF-ретрансляції не підходить для передачі символів. В такому разі виберемо метод динамічної DF- ретрансляції для відновлення прийнятого сигналу зі спотвореннями та передачі даних для прийому.

Крок 4 Якщо реле отримало сигнал з великим спотворенням, то запускається механізм контролю помилок. Якщо механізм контролю помилок перевірки циклічним надлишковим кодом виправляє помилку, то конкретний символ передається на приймач. В іншому випадку реле ініціює функцію автоматичного запиту повторення до передавача для ретрансляції конкретного символу.

Крок 5 Метод кодування мережі використовується для прийому сигналу від іншого тракту і об'єднання декількох сигналів для збільшення загального посилення приймача.

В цьому випадку оцінка ергодичної ємності запропонованої схеми ретрансляції, аналізується в залежності від того, виявлено біт при передачі S-R-D правильно або неправильно. Припускаючи статистичну модель каналу, сформульовану в [15] для середньої пропускної здатності каналу пропонованого протоколу маємо

$$C^{av} = P_r(\gamma_0 \geq \gamma_{th})C_{avg} + P_r(\gamma_0 < \gamma_{th})C_{av}^{C},$$

де γ -миттєве значення SNR, P_r - потужність передачі ретранслятора.

В [3] C_{avg} позначає середню пропускну здатність каналу, при якій приймач успішно декодує прийнятий сигнал від джерела і розраховує його $C_{avg} = B_{\chi(\gamma_{th},\gamma_0)}/\alpha_0 log2)$, де функція $\chi(a,\lambda)$ визначається як $\chi(a,\lambda) = e^{\lambda a}\log(1+a) + e^{\lambda}E_1(\lambda(2+a))$, де χ - представляє випадкову величину, що відповідає інформації про правильність виявленого біта на вузлі R, E_1 - є експоненціальною інтегральною функцією.

Середня пропускна здатність каналу C_{av}^{C} для випадку, коли приймач не може декодувати прийняті сигнали від джерела.

$$C_{av}^{C} = \frac{B}{2}\int_0^{+\infty} log_2(1+x) f_{\gamma_{MRC}}(x\,|\gamma_0 \geq \gamma_{th})\,dx$$

де γ_{MRC} - це миттєве значення SNR на виході суматора MRC на адресаті.

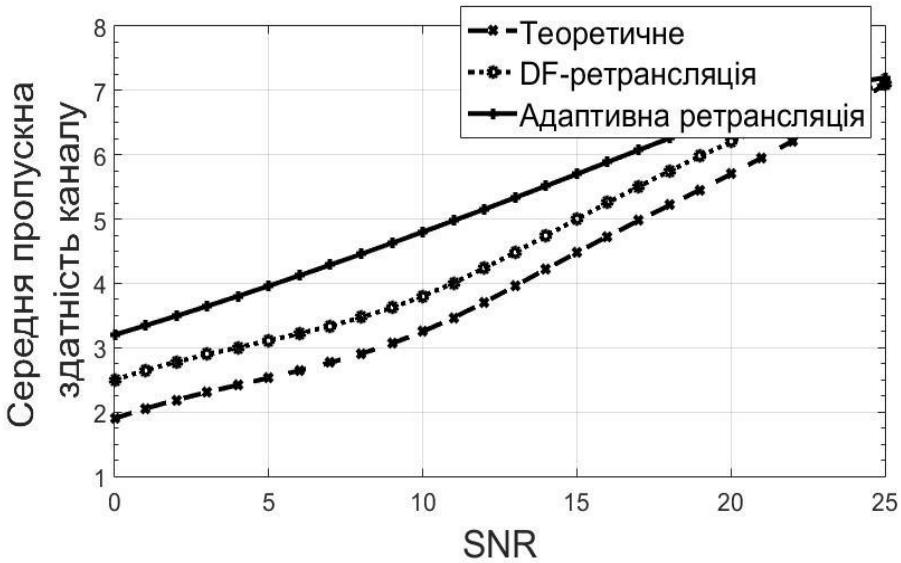


Рис. 2. Середня пропускна здатність каналу.

На рисунку 2 показана середня пропускна здатність каналу для різних протоколів ретрансляції. Для теоретичного значення показана величина, близька до 1,9, для пропускної здатності каналу протоколу DF - 2,5 для 0 дБ та 3,8 для 10 дБ, 6,2–20 дБ тп для протоколу адаптивної ретрансляції ємність каналу 3,2 для 0 дБ , 4,8 для 10 дБ та 6,6–20 дБ.

Запропонована технологія адаптивної ретрансляції для кооперативної системи зв'язку автоматично вибирає реле на основі значення CSI. Це забезпечує більш низьку вартість обчислень для приймальної сторони і менше навантаження на джерело.

Література

1. Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М., Кравчук С.О. Метод кооперативного рознесення // Матер. 10-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 19–22 квітня, 2016 р. – К.: Хімджест, 2016. – С. 257–259.
2. Афанасьєва Л. О. Пропускна здатність каналів з кооперативною ретрансляцією // Матер. 10-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 19–22 квітня, 2016 р. – К.: Хімджест, 2016. – С. 260.
3. Duy T.T., Kong H.-Y. Performance analysis of hybrid decode-amplify-forward incremental relaying cooperative diversity protocol using SNR-based relay selection // IEEE Journal of Communications and Networks. –2012. – № 14(6) . – P. 703–709.

УДК 621.39

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ HPS И FPGA В УСТРОЙСТВАХ НА ПЛАТФОРМЕ SoC

Кайденко Н.Н., Роскошный Д.В.
Научно-исследовательский институт телекоммуникаций
КПИ имени Игоря Сикорского, Украина, Киев
E-mail: ккк610@ukrl.net, ddd610@ukrl.net

Organization of HPS and FPGA interaction in devices on the SoC platform

The general requirements for interaction SoC system components and methods for their implementation on the Intel SoC platform using AXI bus.

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[3].

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.

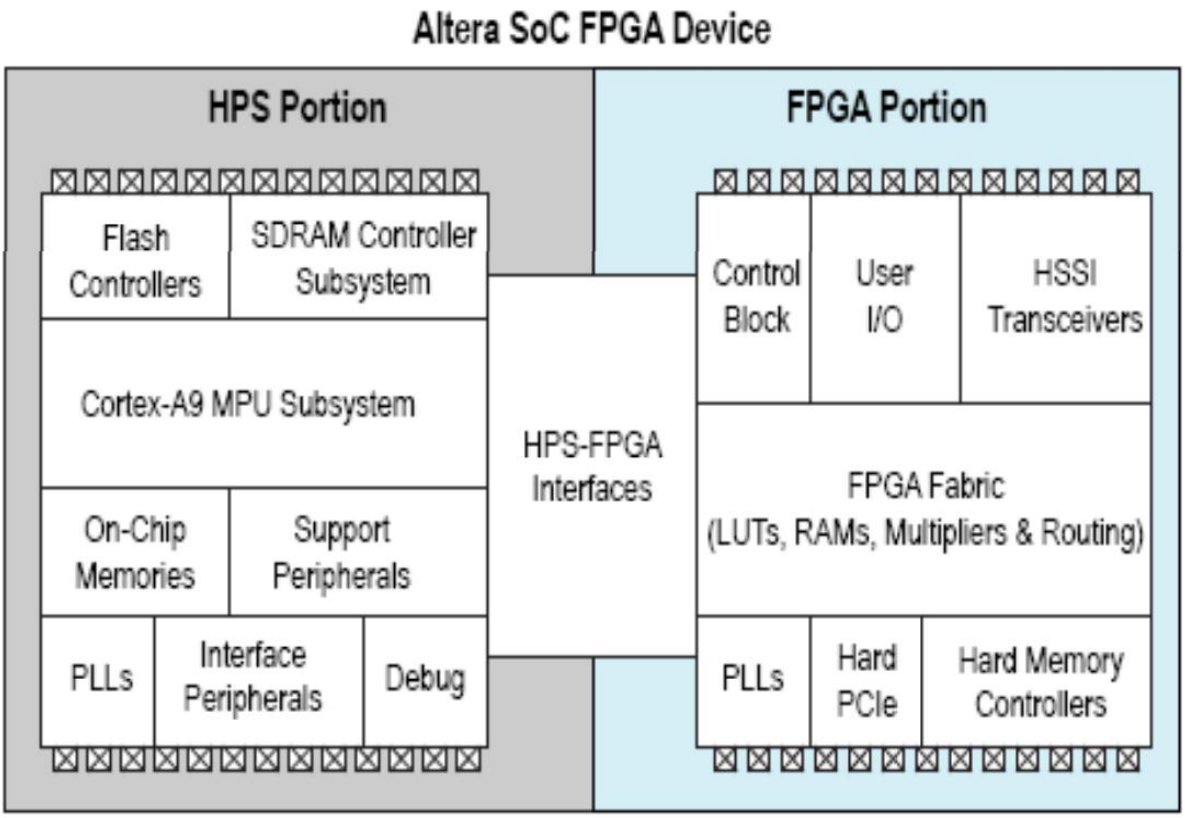


Рис.1. Упрощенная структурная схема SoC.

В Intel SoC FPGA логика HPS и матрица FPGA соединяются через мост AXI (Advanced eXtensible Interface). Чтобы логика HPS могла взаимодействовать с матрицей FPGA, необходимо использовать инструмент системной интеграции Intel Platform Designer (ранее QSYS) при проектировании системы для добавления компонента HPS . Из главного порта AXI компонента HPS она может получить доступ к тем компонентам QSYS, чьи подчиненные порты с отображением в памяти подключены к главному порту[4,5].

HPS поддерживает следующие мосты AXI:

Мост FPGA-HPS (FPGA-to-HPS bridge) - высокопроизводительный интерфейс AXI с настраиваемой шириной данных 32, 64 и 128 бит, что позволяет матрице ПЛИС управлять транзакциями для подчиненных в HPS.

Мост HPS-FPGA (HPS-to-FPGA bridge) - высокопроизводительный интерфейс AXI с настраиваемой шириной данных 32, 64 и 128 бит, что позволяет HPS управлять транзакциями для подчиненных в матрице FPGA.

Облегченный мост HPS-FPGA (Lightweight HPS-to-FPGA bridge) - интерфейс AXI с 32-разрядной фиксированной шириной данных, что позволяет HPS управлять транзакциями для подчиненных в матрице ПЛИС.

На рисунке 2 показана блок-схема моста AXI в контексте матрицы ПЛИС и межсоединения L3 с HPS. Каждый интерфейс Master (M) и Slave (S) показан с шириной данных. Тактовый домен для каждого межсоединения указан в скобках.

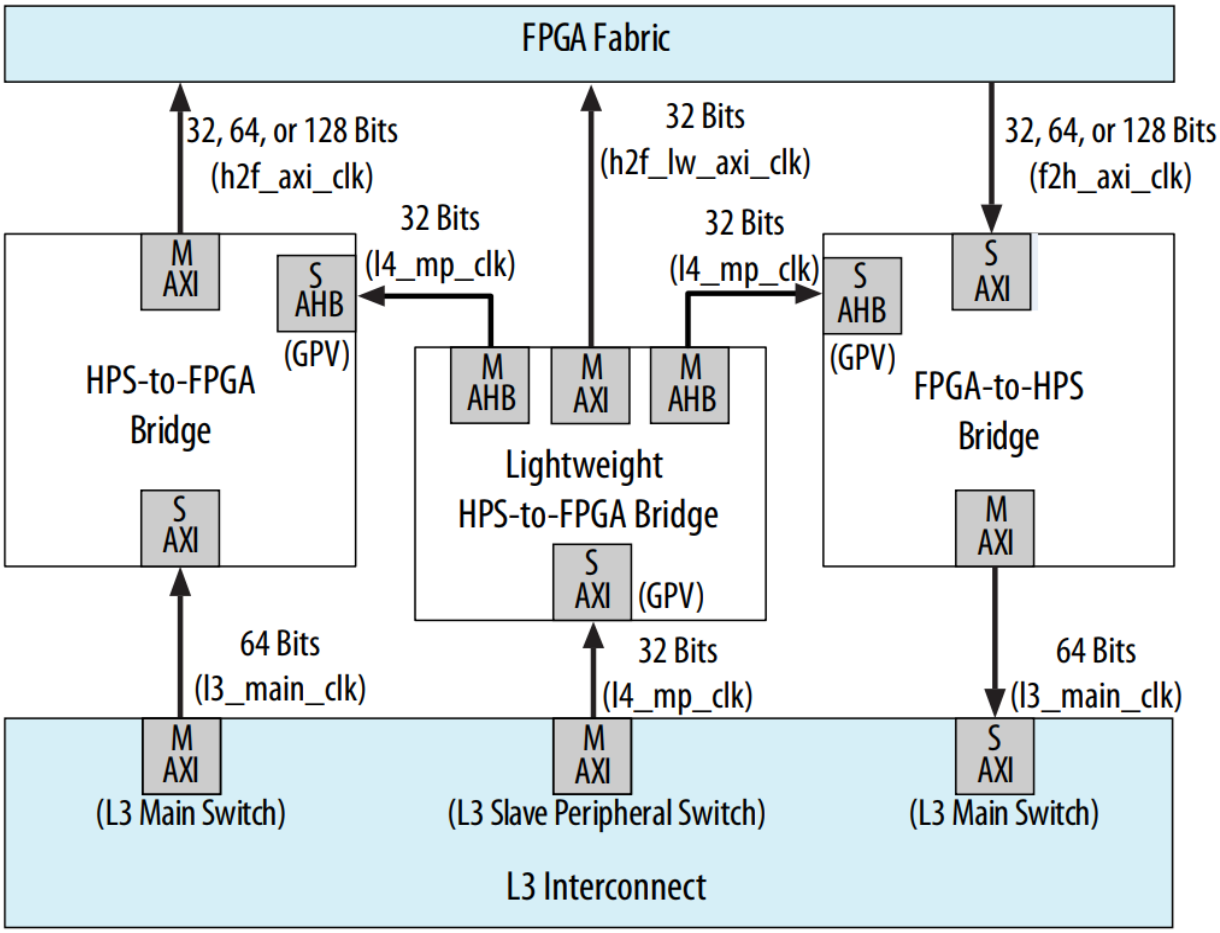


Рис. 2. Блок-схема моста AXI.

Мост HPS-FPGA управляется главным коммутатором уровня 3 (L3), а облегченный мост HPS-FPGA - ведомым периферийным коммутатором L3. Мост FPGA-HPS управляет главным коммутатором L3, позволяя любому мастеру, реализованному в матрице FPGA, получить доступ к большинству ведомых устройств в HPS.

Все три моста содержат глобальный регистр GPV. Регистр GPV управляет поведением моста. Существует возможность получить доступ к регистрам GPV всех трех мостов через облегченный мост HPS-FPGA.

Литература

1. Cyclone V FPGAs Support (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. Проблеми телекомунікацій : 10-а Міжнар. наук.-техн. конф., 19-22 квіт. 2016р. : матеріали конф. – К., 2016. – С. 254–256.
3. RocketBoards.org by the contributing authors. All material on this collaboration platform is the property of the contributing authors (www.rocketboards.org).
4. Altera Cyclone V Device Handbook, Volume 3: Hard Processor System Technical Reference Manual (http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/E2_experiment/C5%20handbook%20v3.pdf).
5. Altera SoC Embedded Design Suite User Guide.

УДК 004

СИСТЕМИ 5G

Андріюк О.П., Чумаченко С.М., Андріюк І.В.

Національний університет харчових техологій, Україна

E-mail: nuht_andriuk@ukr.net

5G Systems

The features of the 5G system are investigated. The characteristics of 5G system are analyzed, as well as the possibility of using this system in everyday life as a low-power system and an alternative to the wired Internet.

Досліджено особливості використання системи 5G. Проаналізовано характеристики системи 5G, а також можливість використання даної системи у повсякденному житті як системи з низьким енергоспоживанням та альтернативою провідному Інтернету.

В наш час дуже важливим є висока швидкість передачі даних. Від швидкості передачі даних залежить велика кількість людей, оскільки одночасно використовується велика кількість приладів, працездатність яких на пряму залежить від високошвидкісних засобів та технологій передачі даних в інформаційному просторі, та оброблюються великі масиви даних.

Методи дослідження. Досліджено основні складові мережі 5G ,а також встановлено головні переваги порівняно з мережею 4G.Проблеми в мережі можуть виникати через певні перешкоди і ці перешкоди можуть бути різного степеню складності. Тому головною метою є можливість усунення таких перешкод або можливість системи обійти дані перешкоди. Усунення складних перешкод і мобільне управління, досягається співпрацею різних точок передачі даних з перекриваючим охопленням і можливістю гнучкого використання ресурсів для передачі по висхідній лінії і низхідній лінії зв'язку

в кожному осередку, можливість прямої передачі пристрій-пристрій і передові методи зниження рівня перешкод.

Результати і обговорення. Мережа 5G буде використовувати нові технології, а саме:

1. Передавання даних радіохвилями у міліметровому діапазоні.
2. Передавання даних між абонентом та базовою станцією в режимі повного дуплексу.
3. Базові станції матимуть масиви MIMO. Технологія MIMO вже наявна в базових станціях 4G, але в них є лише 8 портів для передачі та 8 для отримання даних. В базових станціях 5G таких портів вже буде порядку кількох сотень.

Основною перевагою при впровадженні 4G стала швидкість, яка перевищувала показники 3G в 200-500 разів. Крім того, на відміну від попередника, мережі четвертого покоління не використовують канал для передачі голосу, а працюють тільки з цифровими даними. Як наслідок дзвінки перейшли у формат VoIP. Формат VoIP (англ. Voice over IP) включає в себе всі варіанти передачі голосів у мережі, навіть таких, які не мають жодного відношення до телефонії та спілкування людей. Технологія VoIP застосовується для передачі звуку в системах відеоспостереження, оповіщення, при трансляції вебінарів в он-лайн режимі. На даний момент родина 4G складається з двох стандартів - WiMAX і LTE.

Концепція 5G тісно пов’язана з розвитком Інтернету речей (IoT). Однією з проблем, що не дозволяє використовувати всі можливості IoT, є недостатність мережевої ємності. Висока швидкість передачі даних в системи 5G дозволяє вирішити цю проблему. Хоча крім швидкості, важливими факторами є надійність мережі, мінімальна затримка сигналу, можливість одночасного підключення різних пристроїв, кожен з яких спрямований на роботу з конкретними задачами, безперебійна робота їхньої взаємодії.

Окрім цих технологій будуть використані й інші, які будуть спрямовані на покращення передачі даних, а також зменшення енергопостачання

станціями. Мережа 5G є базовим інструментом для забезпечення якісної, ефективної та гнучкої комунікації. Параметр енергоспоживання є особливо актуальним для датчиків та інших пристроїв IoT. Для зменшення значень енергоспоживання повинні застосовуватися більш високі частотні діапазони і сполучення мобільних мереж з технологією WiFi.

За прогнозами експертів, найбільший виграш від впровадження 5G і IoT зможуть отримати промислова, транспортна, фінансова, енергетична, медична сфери, а також сфери безпеки і розваг. Затримка розповсюдження сигналу в 5G є незначною, тому це дає цілий ряд унікальних можливостей для застосування при керуванні безпілотниками або контролю руху автомобілів з самокеруванням. Якщо провести суміщення даних з різних джерел і пристроїв, можна отримати безперервний потік інформації і використовувати його в різних сферах — від наукових досліджень до керування міським транспортом і видобутку корисних копалин.

Висновки. Під час дослідження було виявлено велику кількість переваг системи 5G над системою 4G. Даними перевагами є: набагато більша швидкість завантаження даних на одну базу, яка може досягати 20 Гб/с. Для одного абонента ця швидкість буде у межах 100Мб/с на завантаження і 50 Мб/с на вивантаження. Максимальна кількість пристроїв, які зможуть працювати на ділянці в 1км² досягатиме 1млн пристроїв. Зменшення часу затримки передачі сигналу до 3-4 мс.

Література

1. Слюсар В. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. – Технологии и средства связи. № 5. – 2013.
2. Семенов Ю. А. Стандарт широкополосной беспроводной связи IEEE 802.16.

УДК 004.27

ПОРІВНЯННЯ ВИДІВ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ В IoT

Міхненко Я.О., Курдеча В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yaroslavmikhnenko@gmail.com

Comparison of types of cloud services in IoT

The article presents a comparison of three main types of cloud services intended for everyday use by users, profitable and non-profitable organizations, government agencies, and for development activities in scientific institutions. An example of a more profitable service to meet the needs of the IoT (Internet of Things) architecture is given.

У статті наводиться порівняння трьох основних видів хмарних сервісів призначених як для повсякденного використання користувачами, прибутковими і не прибутковими організаціями, державними установами, так і для діяльності з розробки в наукових закладах. Наведено приклад більш вигідного сервісу для задоволення потреб архітектури IoT (Інтернет речей).

На сьогоднішній день, кількість IoT проектів зростає та стають вони більш масштабними, тому тепер розробники мають можливість стикатись з новим полем для створення інфраструктури. Куди відправляти дані, отримані від різних датчиків, і яка правильна архітектура для їх аналізу?

Першою на думку спадає «хмара». Хмарні технології дають можливість масштабованості та можливості просто підключення, що, безумовно, є необхідними функціями для IoT-платформи, проте тільки цих можливостей недостатньо. Для успішного створення IoT-додатків необхідний комплексний підхід, що базується на знаннях як в області операційних технологій, так і в області інформаційних технологій.

На теперішній момент існує три види хмарних сервісів:

- Публічна хмара (Public Cloud);
- Приватна хмара (Private Cloud);
- Гібридна хмара (Hybrid Cloud).

Для кращого розуміння хмарних сервісів в IoT, необхідно розглянути функціональні властивості кожного з сервісів.

Публічна хмара має такі переваги як технологічна та фінансова гнучкість, простота та ефективність використання, легке масштабування, надійність та відмовостійкість. Проте існують певні недоліки даної моделі хмарних сервісів, такі як залежність від швидкості і стабільності доступу в Інтернет та контроль IT-інфраструктури сторонньою компанією (сервіс-провайдером).

Приватний хмарний сервіс відрізняється покращенням у таких аспектах як висока швидкість роботи, використання ресурсів тільки однією компанією

власником, високий рівень безпеки та повним контролем обладнання та програмного забезпечення.

Гібридна хмара з'являється все частіше, у зв'язку з необхідністю одночасного використання як публічних, так і приватних хмарних сервісів, так як саме гібридний хмарний сервіс об'єднує переваги обох згаданих підходів. Публічна хмара надає гнучкість, приватна – високий рівень безпеки та кращий контроль ресурсів. Ключовою особливістю гібридного підходу є те, що існує можливість функціонування всієї хмарної інфраструктури як єдиної системи під загальним централізованим управлінням; ідеальний випадок централізованого управління є створення однорідного пулу, що надає можливість динамічно виділяти ресурси за необхідною вимогою в повній відповідності до внутрішніх регламентів безпеки та політик доступу.

Для наочності, можна звести порівняння трьох видів хмарних сервісів в невелику таблицю (таблиця 1) – чим більше «зірочок», тим вище відповідність зазначеному показнику:

Таблиця 1. Порівняння публічної, приватної та гібридної хмар.

Характеристика/тип хмари	**Публічна**	**Приватна**	**Гібридна**
Перетворення CapEx в OpEx	★★★	-	★
Продуктивність і доступність	★	★★★	★★★
Гнучкість конфігурацій	★★★	★★★	★★★
Масштабованість	★★★	★★	★★★
Прогнозованість витрат	★★★	★	★
Підтримка застарілих додатків	-	★★★	★★★
Безпека даних	★★	★★★	★★★
Продуктивність при роботі з потужними аналітичними онлайн-системами	★	★★★	★★★
Продуктивність при роботі з «важкою» графікою	★	★★★	★★★
Контроль над IT-інфраструктурою з боку власника даних	-	★★★	★★

У зв’язку з гарними показниками масштабованих гібридних IoT-хмар, було продовжено їх модернізацію та створено нову архітектуру – конвергентний модульний сервер. Порівняно зі звичним сервером з масштабованим процесором, конвергентні модульні сервери надають більш потужні і в той же час гнучкі обчислювальні ресурси. Модульні сервери, використовуючи багатоядерні процесори з більш низьким енергоспоживанням, мають можливість знизити загальне енергоспоживання, а також зменшити простір необхідний для одночасного масштабування продуктивності всередині платформ та покращення взаємодії між ними. Такі сервери спеціально розроблені для легких робочих навантажень на веб-рівні. Архітектура конвергентного модульного сервера дозволяє збалансувати навантаження між процесорними ядрами при малій затримці, завдяки з’єднанню кількох процесорів в одному корпусі за допомогою швидкої, настроюваної структури з низькою затримкою.

Також, перевага, якою володіють модульні сервери в питанні енергоспоживання – це динамічний режим очікування, який управляє потужністю для кожного сервера. Ретельно розподіляючи завдання дає можливість процесорам перебувати в режимі сну або відключати живлення, коли вони не задіяні.

Висновки. У цьому огляді було порівняно три види хмарних сервісів для використання в IoT і представлено переваги кожного з них, а саме

- Публічна хмара (Public Cloud);
- Приватна хмара (Private Cloud);
- Гібридна хмара (Hybrid Cloud).

Також було описано модернізований варіант гібридного хмарного сервісу – конвергентні модульні сервери. Саме такі сервери забезпечують більшу щільність зберігання, кращу масштабованість і низьке енергоспоживання.

Подальша робота полягає у модернізації конвергентних модульних серверів, а також їх подальше впровадження в сервіси IoT.

Література

1. Kontron. Інтернет речей:гіпер'обєднання інфраструктури [Електронний ресурс] / Kontron – Режим доступу до ресурсу: https://vkt.ua/articles/internet-veshhej-giperobedinenie-infrastruktury/.
2. ПУБЛІЧНА, ПРИВАТНА І ГІБРИДНА ХМАРИ — ПОРІВНЯННЯ ПІДХОДІВ [Електронний ресурс]. – 201811. – Режим доступу до ресурсу: https://www.de-novo.biz/blog/publichna-privatna-i-gibridna-hmari-porivnyannya-pidhodiv-20.
3. IOT (ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ): ДЕТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ [Електронний ресурс]. – 201701. – Режим доступу до ресурсу: https://vkt.ua/articles/mnogograrnnyj-internet-veshhej/.
4. The importance of flexibility when selecting IoT technology [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://internetofthingsagenda.techtarget.com/blog/IoT-Agenda/The-importance-of-flexibility-when-selecting-IoT-technology.
5. Проблемы и перспективы Интернета вещей [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://rb.ru/opinion/russian-iot/.

УДК 621.391: 004.72

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ДАНИХ В МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВОГО «ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ»

Давидюк А.М., Курдеча В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: mr.wokawoka@gmail.com

Providing data integrity in the industrial "Internet of things" networks

Nowadays, for data speed and replication, there are two types of databases that have their own advantages and disadvantages like SQL and NoSQL databases. However, with the development of the systems itself, there were solutions that allow to qualitatively improve the performance of the data by distributing the load, separating the roles of the components of databases or replicating data from one node to another.

The results show that clusterization of the database components will increase the time of data processing and provides the data integrity.

Проблематика роботи з даними. З розвитком технологічного рівня та відповідно збільшенням доступності обчислюваних приладів виникла проблема забезпечення швидкого відклику високонавантажених систем, а також збільшення надійності в збереженні і цілісності даних зі збільшенням їх кількості. Тому, не дивно, що з`явилась велика кількість рішень що дозволяють забезпечити вищеописані вимоги за допомогою маніпулювання роботи з даними.

Взагалі, кластеризацію в серверній архітектурі можна вважати універсальним варіантом для розподілення навантаження та збереження цілісності даних у випадку відмови системи. Тому вона набула широкого поширення у сучасних системах не залежно від типу використовуваних баз даних. Кластеризацію застосовують у мережевому рівні трирівневої архітектури IoT.

Мабуть однією з головних частин цього рівня системи являється база даних, що містить в собі дані зібраних з усіх пристроїв мережі, тому їй потрібно приділяти достатню увагу при розробці і супроводі системи. Взагалі дані можуть зберігатися по різному, але в наш час набули популярності два типи баз даних – реляційні та нереляційні (далі SQL та NoSQL відповідно). Який з них використовувати і поєднувати все залежить від типу даних що буду зберігатися і роботою з ними, наприклад для зберігання масивів великих даних з однорідною структурою без здійснення операцій над ними краще використовувати NoSQL, а для побудови логічної структури, здійснення різних родів операцій і перенесення частини логіки на саму базу даних краще використовувати SQL.

Кластеризація реляційних баз даних. В залежності від вибраного типу бази даних, або їх комбінацій, до прикладу зберігати необроблені дані з пристроїв на нереляційний базах, а оброблену і структуровану інформацію на реляційних, потрібно вибрати свою модель кластеризації та відмовостійкості баз даних. Наприклад сьогодні для реляційних баз Microsoft SQL існують два найпопулярніші підходи це розгортка звичайного Clustered SQL (рис.1) Server або ж Always On SQL Server, що в залежності від вибраних налаштувань конфігурації дозволять покращувати, або ж ефективність та швидкість роботи з даними, а бо ж їх надійне збереження, у випадку забезпечення високого рівня цих обох показників розгортаються хмарні сервіси, але мінусом таких рішень являється їх ціна.

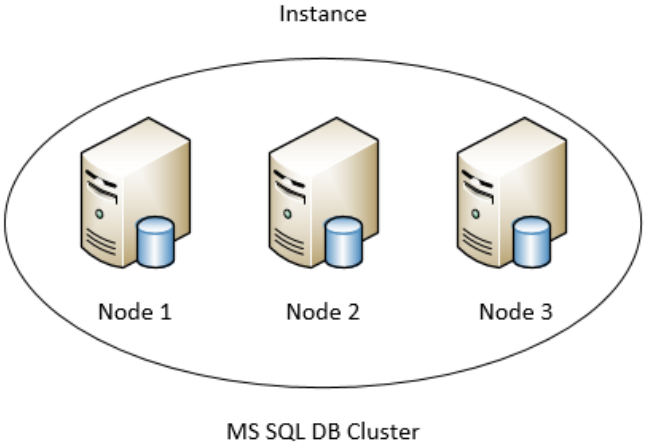


Рис. 1. Узагальнена структура кластера реляційної бази даних.

Кластеризація нереляційних баз даних. У випадку використання нереляційних баз даних , на прикладі Mongo DB також існують два підходи, один з них має більшу продуктивність, інший кращу реплікацію даний, це так звані осколковий підхід і підхід реплікації. При осколковому підході база даних ділиться на осколки (Shards рис.2) на якій йде запис та зчитування даних, що дозволяє значно підвищити швидкість роботи з базою даних. Для більшої ж надійності використовуються підхід репліки або реплікації рис.3. Суть підходу лежить в тому, що для забезпечення цілісності бази даних всі дані дублюються на кожний вузол. При цьому для збільшення швидкості зчитування не тільки головний вузол може бути використаний для зчитування даних.

Висновки. Отже, нині для забезпечення швидкості роботи з даними та їх реплікації існує два типи баз даних, які мають свої переваги та недоліки. Проте з розвитком самих систем з’явились рішення що дозволяють якісно покращити характеристики роботи з даними шляхом розподілення навантаження, розмежування ролей компонентів баз даних або ж реплікації даних з одного вузла на інший.

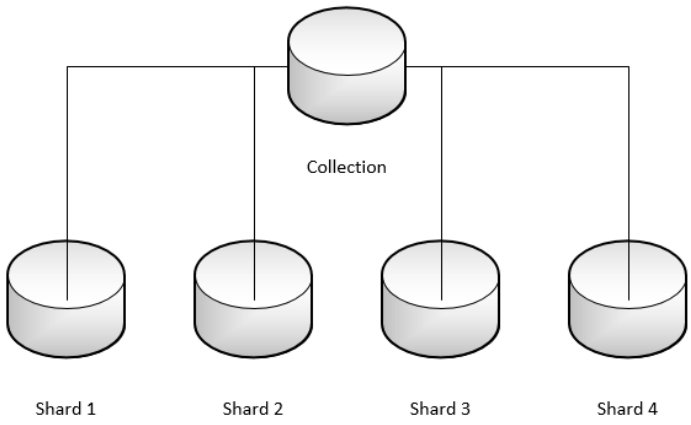


Рис. 2. Узагальнена структура кластера нереляційної бази даних побудованого на осколковому типу реплікації.

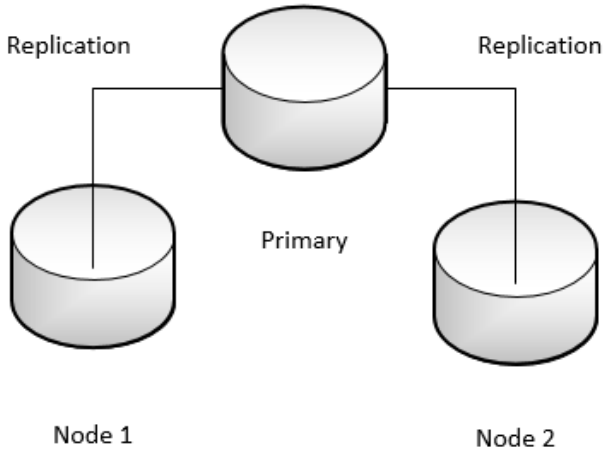


Рис. 3. Узагальнена структура кластера нереляційної бази даних побудованого на звичайній реплікації.

Література

1. S. A. Hinai and A. V. Singh, "Internet of things: Architecture, security challenges and solutions," 2017 International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (Trends and Future Directions) (ICTUS), Dubai, 2017, pp. 1-4.
2. Database cluster and load balancing [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://stackoverflow.com/questions/1163216/database-cluster-and-load-balancing.
3. Sharded Cluster Components[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://docs.mongodb.com/manual/core/sharded-cluster-components/.
4. Failover Clustering and Always On Availability Groups (SQL Server) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/database-engine/availability-groups/windows/failover-clustering-and-always-on-availability-groups-sql-server?view=sql-server-2017.

УДК 004.7:620.9

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ MICROGRID

Гузов А.Г., Курдеча В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail:n221296@gail.com

Internet of things for MicroGrid control

The actuality of the MicroGrid power grid is investigated. The principles of microwave application in systems and projects of previous years have been analyzed. The idea of using the combination of the Internet concept of things - Internet of Things and micro networks (MicroGrid) is suggested.

Актуальність MicroGrid. Спочатку microgrid планувалось використовувати, як модель діючої SmartGrid, яка є більше за обсягом. По-перше зверталась увага на важливу властивість MicroGrid, це те, що, незважаючи на функціонування в рамках розподільної системи, вона може автоматично переходити в ізольований режим роботи і у випадку аварії в мережі може відновлювати синхронну роботу з мережею і паралельно підтримуват необхідну якість електричної енергії.

На перших етапах створення систем MicroGrid як єдиної енергосистеми, не обов'язково було переглядати і відбудовувати релейний захист і автоматику, адже сама по собі задумка автономного живлення житлових масивів і віддалених районів має на увазі самодостатність, отже, практично нульовий потік потужності від зовнішньої мережі (таб. 1).

Достатньо було і встановлення необхідного обладнання для моніторингу, фіксації та обмеження необхідного максимального перетікання потужності MicroGrid в системі єдиного електропостачання. Здебільшого дана технологія розвивається в США, острівних регіонах на яких задіяно систему MicroGrid. Але з огляду на сучасні технології і розвиток такого поняття як інтернет речей(IoT) на дану концепцію дивляться з іншої сторони, оскільки вона долає одні з значніших недоліків інтернету речей.

Такими являються:

- Енерговитратність – для повноцінної роботи IoT необхідно досягти автономності мережі і отримувати енергію з навколишнього середовища.
- Відсутність єдиної системи – проблема інтеграції IoT у відсутності загальних правил і стандартів.

Мікромережі безумовно є частиною Інтернету речей. Якщо Інтернет речей розуміти як здатність інтелектуальних пристроїв до обміну інформацією то це означатиме обмін даними про функціонування розподілених ресурсів між елементами енергетичної мережі та операторами. Згодом такий інформаційний обмін може привести до створення багаторівневої архітектури управління .

Результатом впровадження концепції IoT є мережа, що складається з взаємопов’язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані датчики, виконавчі пристрої, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп’ютерними системами за допомогою використання стандартних протоколів зв’язку в дротових або бездротових мережах.

Таблиця 1. Приклади застосування, переваги та недоліки MicroGrid.

Архітектура	*Спосіб керування (оброблення)*	*Недоліки*	*Переваги*
На прикладі американськ проектів	Метою проекту є розробка діючої моделі MicroGrid що володіє характеристиками SmartGrid і дозволяє легко інтегрувати системи попередніх поколінь.	1.Схеми попередніх поколінь не задовольняють сучасних стандартів.	1. Дозволяє легко інтегрувати системи попередніх поколінь.
На прикладі розумного будинку (Рис. 1)	Реалізація узгодженого керування електротехнічними пристроями в системі розподіленої генерації MicroGrid з реалізацією концепції Інтернету речей, дозволяє забезпечити дотримання вимог енергоефективності та інтелектуалізації сучасних електронних систем. У залежності від функціонального призначення задачі керування обмін даними між пристроями загальної системи реалізується з використанням технологій дротового або бездротового зв'язку.	1. Виникає ряд питань, пов'язаних із безпечною передачею та зберіганням інформації. 2.Потребує виконання таких умов: А) можливість зміни алгоритму захисту без зміни апаратної частини; Б) забезпечення відслідковування реального струму споживання мікроконтролера.	1.Дозволяє передавати невикористану енергію туди, де її не вистачає. 2.Економія і отримання вигоди при наявності можливості повернення користувачами енергії в мережу; 3.Низька вартість розгортання мережі.
Спрощена схема microgrid	Важливим елементом активного енергокомплексу майбутнього є так звані активні споживачі, що з'явилися за рахунок розвитку технологій побутових генераторів енергії (сонячні батарей) і розумних лічильників, енергоефективних рішень і управління попитом, і які, з часом, можуть стати повноцінними учасниками ринку.	1.Двонаправлені потоки потужності; 2.Проблеми стабільності.	1.Підвищення надійності, безперебійна подача електрики; 2.Економія і отримання вигоди при наявності можливості повернення користувачами енергії в мережу; 3.Низька вартість розгортання мережі.

На рис.1 зображено: кінцеві датчики, представлені сенсорами з вбудованими модулям технології передачі невеликих за обсягом даних на дальні відстані. Сенсори через бездротовий канал зв'язку з'єднані з станцією, яка використовується для передачі інформації на далекі відстані. Разом декілька таких станцій повністю покривають необхідну територію, забезпечуючи безперебійну роботу мережі.

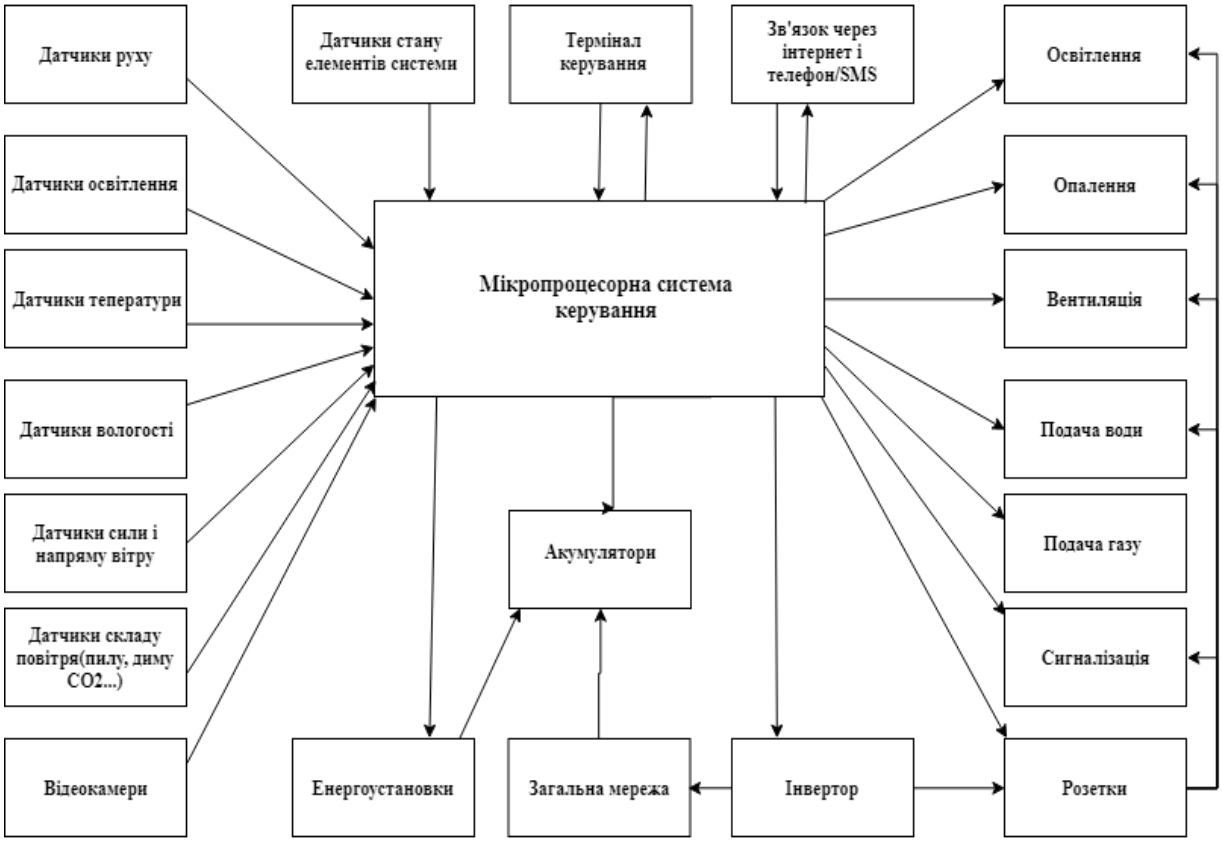


Рис. 1. Спрощена схема microgrid в поєднанні з розумним будинком.

Висновки. Реалізація узгодженого керування електротехнічними пристроями в системі MicroGrid з реалізацією концепції Інтернету речей дозволяє забезпечити дотримання вимог енергоефективності та інтелектуалізації сучасних електронних систем.

У залежності від функціонального призначення та поставленої задачі керування обмін даними між пристроями загальної системи реалізується з використанням технологій дротового або бездротового зв'язку. Поєднання IoT та енергетичної мікро мережі MicroGrid це обчислювальна концепція, яка може підключати до Інтернету численні та різні фізичні об'єкти завдяки датчикам та іншим бездротовим технологіям.

Її перевага може бути реалізована в інтелектуальних мережах для підвищення їх продуктивності та співпраці з розумними вантажами, електричними транспортними засобами та відновлюваними енергоресурсами.

Література

1. Стаття журналіста Говарда Болдуіна (Howard Baldwin), Smart Microgrids - "розумні" енергетичні мікромережі (https://www.cisco.com/c/ru_ua/about/press/2013/09032013c.html).
2. Семюел Ерінгард «Інтернетречей. Майбутнє вже тут». Видавництво: Альпіна Паблішер, 2016.
3. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Еребєшков А.Ю., Самсонов М.Ю. «Інтернет речей» під ред. А.В. Рослякова. Самара: ПЕУТІ, ТОВ «Видавництво Ас Еард», 2014.

УДК 621.382

ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖІ 5G

Свіржевська А. І., Правило В. В.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: angelina.svirzhevska@gmail.com

The main problems of implementing 5G network

Describes the basic requirements for 5G networks. The main problems arising from the deployment of a new generation network are considered.

Стандарт мобільного зв’язку п’ятого покоління (5G) – це новий етап в розвитку технологій, який покликаний розширити можливості доступу в Інтернет через мережі радіодоступу. Мережі нового покоління повинні обслуговувати набагато більше користувачів, надаючи одночасно більше даних кожному абоненту в будь-який момент часу.

Основною перевагою 5G є дуже висока швидкість. Згідно з опублікованими документами, мережі побудовані на цій технології повинні забезпечувати пікову швидкість передачі даних для кожного абонента, близько 10 Гбіт/сек. Доступ на таких великих швидкостях є дуже привабливою перспективою.

Для 5G потрібен широкий спектр частот, інакше будуть реалізовані не всі можливості, які дає нова технологія. Це є найбільшою проблемою. На сьогоднішні частоти, найбільш відповідні новому стандарту зайняті, і дуже великий діапазон частот використовується. Тому було прийнято рішення про освоєння нових частот.

Для 5G мереж будуть використовуватися радіохвилі в діапазоні від 24 до 100 ГГц. Це так звані mmWAWE («міліметрові хвилі»), які передають сигнали з високою швидкістю (рис. 1).

У цього діапазону є ряд недоліків. Сигнал mmWAWE має значно менший радіус дії, а також він значно гірше проникає через перешкоди, в порівнянні з LTE. На рівні 60 ГГц він може блокуватися повітряним середовищем.

Раніше зв’язок на більш високих частотах не розглядався через те, що вартість розробки та реалізації мереж в цьому діапазоні вимагала великих

інвестицій. Проте академічний дослідницький центр NYU WIRELESS, який проводить дослідно-конструкторські роботи привів ряд доказів можливості економічного використання діапазонів частот аж до 100 ГГц. А Nokia Network було змодельовано канал зв'язку в міліметровому діапазоні частот, де відповідно змогли продемонструвати швидкість передачі вищу в 100 разів ніж в мережах 4G.

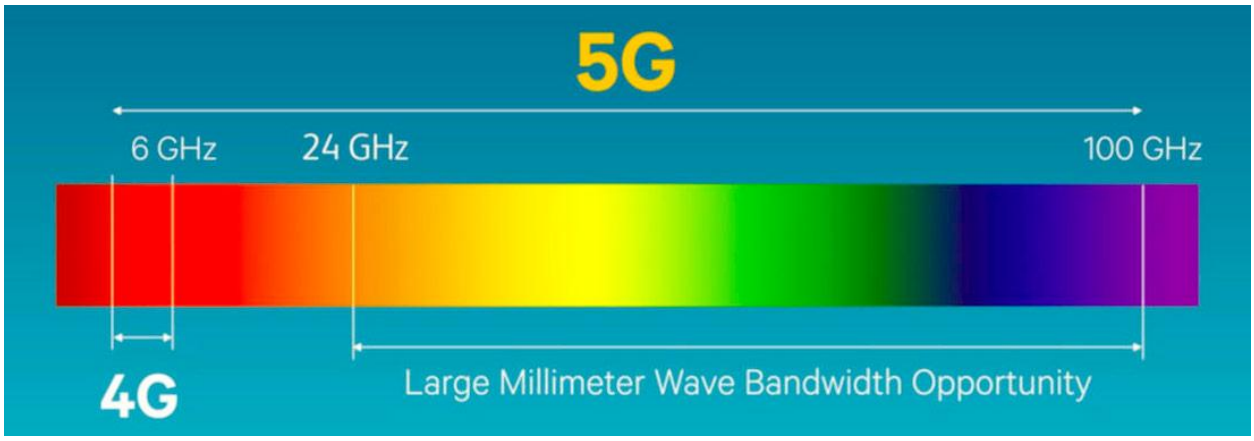


Рис. 1. Діапазон частот, який буде використовуватись для 5G.

В мережах п'ятого покоління нас чекає значне ущільнення обладнання базових станцій, тобто буде розгорнуто велику кількість мікро і піко комірок – сегментів мережі, розташованих в одному географічному регіоні обслуговування. Таке ущільнення з великою кількістю обладнання малого радіуса дії дозволить розділити сектор обслуговування абонентів не тільки по частотному спектру, але і географічно. На додаток до цього з'являться нові технології Cloud RAN (C-RAN), які дозволять операторам визначити місцеперебування свого обладнання в хмарі (рис. 2). Таким чином, в мережі буде можливо розподілене управління всіма пристроями.

Також ущільнення несе в собі й негативний аспект, через те, що збільшення кількості обладнання робить технологію ще більш затратною. В доповіді розглянуті різні підходи щодо скорочення вартості розгортання мереж 5G.

5G має менший радіус покриття, що пояснюється використанням більш високих частот. Але при цьому затримки в цій мережі менше, а швидкість передачі даних набагато вище. Тому розглядається варіант покриття не всієї території, а лише там де це буде необхідно і комерційно вигідно, наприклад у містах та місцях великих скупчень людей.

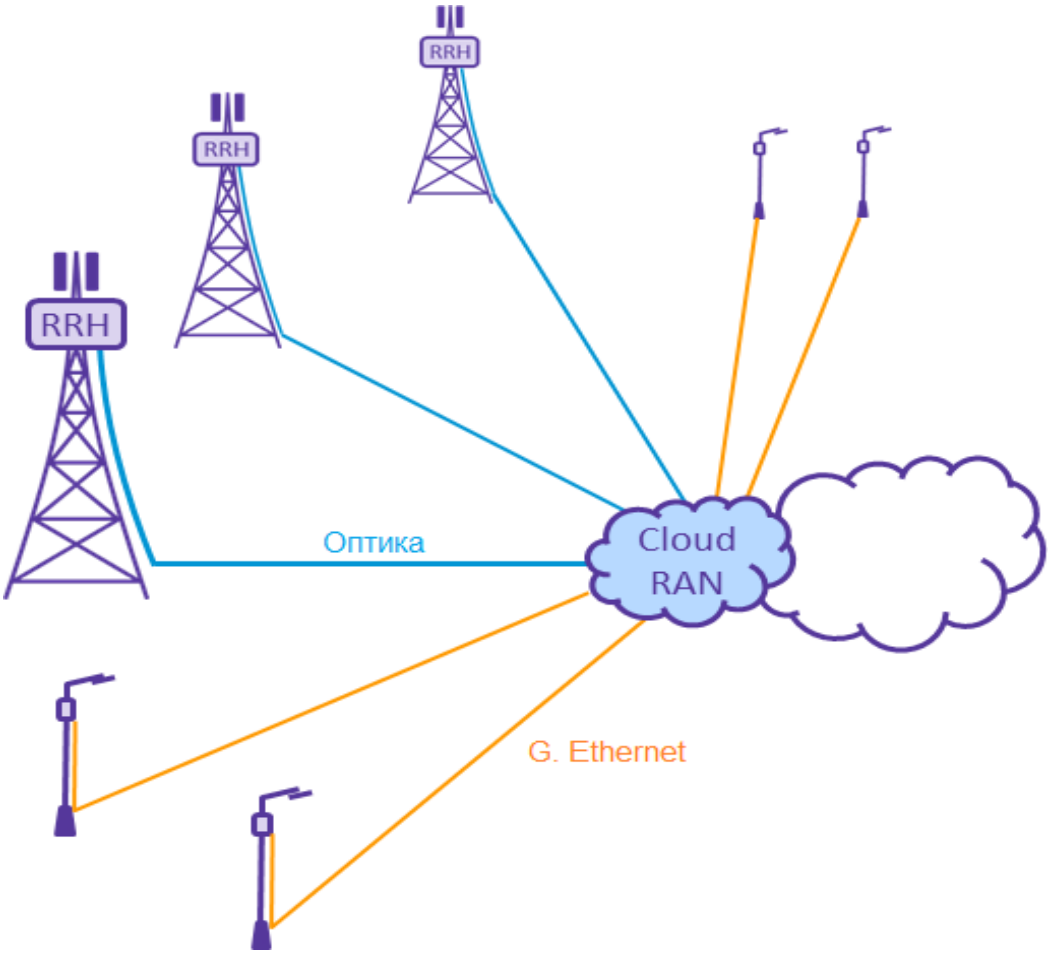


Рис. 2. Схема технології Cloud RAN (C-RAN).

Не менш важливою проблемою є висока вартість інфраструктури. Впровадження мережі нового покоління вимагає великих інвестицій і тривалого періоду часу. На даний момент у користувача відсутня гостра потреба в новій технології, а також мобільні пристрої з підтримкою даної технології поки знаходяться на стадії розробки.

Література

1. Дмитрий Денисов "5G для футуристов", Редакция портала Nag.Ru, Дата публикации: 03.07.2017 (https://nag.ru/articles/article/31949/5g-dlya-futuristov.html).
2. Сети 5G: текущее состояние и перспективы развития. Интервью с автором книги «Мобильная связь на пути к 6G» Антоном Степутиным (http://1234g.ru/5g/seti-5g).
3. Robo Hunter "Перспективная, сложная и дорогая: все о 5G – самой прогрессивной мобильной связи", 27 Февраля 2019 (https://robo-hunter.com/news/perspektivnaya-slojnaya-i-dorogaya-vse-o-5g-samoi-progressivnoi-mobilnoi-svyazi16133).

УДК 621.382

ПЕРЕНЕСЕННЯ ТРАФІКУ МОБІЛЬНИХ ДАНИХ З 3G НА WI-FI

Дорогань К.С., Правило В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: ksyushadorogan@gmail.com

Transferring mobile data traffic from 3G to Wi-Fi

Describes the basic requirements for 5G networks. The main problems arising from the deployment of a new generation network are considered.

Described and reviewed Wi-Fi offloading technology. Considered the basic requirements and problems in the transition from 3G to Wi-Fi.

Із року в рік активно зростає трафік мобільних даних. Це пояснюється значним збільшенням вимог щодо якості передачі мобільного трафіку. Оскільки навантаження на мережі передачі даних у операторів постійно підвищується, доводиться збільшувати щільність покриття. Єдина можливість операторів мобільного зв'язку для задоволення потреб своїх абонентів полягає в збільшенні щільності покриття, забезпечуючи таким чином велику смугу пропускання. Ці дії призводять до постійного зростання трафіку і змушують операторів розвантажувати свої мережі або будівництвом нових базових станцій, або змушують шукати шляхи дешевше. Існують такі традиційні варіанти вирішення проблеми ущільнення покриття, як фемтосоти. Найбільш ефективний шлях використання фемтосот складається в розміщенні їх в зонах, де генеруються значні обсяги трафіку даних (торгові центри, стадіони, університетські кампуси, площі, вокзали, тощо).

Альтернативним рішенням проблеми є технологія Wi-Fi offloading, покликана розвантажити мережі мобільних операторів за допомогою технології Wi-Fi. В цьому випадку трафік передачі даних виводиться з радіомережі оператора в окрему радіомережу, що працює з використанням власних магістральних каналів.

Wi-Fi offloading - вивід пакетного трафіку з радіомережі оператора в мережу Wi-Fi і можливість надання послуг абоненту через партнерські мережі. Також впровадження Wi-Fi offloading дозволить надати більш якісний сервіс користувачам, що знаходяться в роумінгу, і уникнути відтоку абонентів на період, коли вони знаходяться поза країною.

Головною проблемою реалізації Wi-Fi offloading є різноманітність мобільних пристроїв, що не володіють необхідним функціоналом - підтримкою аутентифікації по SIM-карті.

Пристрої, що мають вбудований Wi-Fi-модуль, надають зазвичай значно більші швидкості в зоні покриття Wi-Fi, ніж в мережі 3G.

Базових принципів, на яких заснована технологія Wi-Fi Offload, не так багато:

1. Прозорість аутентифікації в мережах Wi-Fi для абонента (використання

даних SIM-карти);

2. Централізація трафіку передачі даних в рамках PS Core оператора;
3. Можливість роботи абонента як в мережах Wi-Fi, що належать самому оператору, так і в мережах партнерів;
4. «Безшовний» перехід між мережами 2G / 3G і Wi-Fi (без розриву сесій передачі даних).

Для реалізації технології Wi-Fi Offloading на мережі мобільного оператора необхідно доповнити її компонентами, які виконують такі функції:

шлюз PDG (TTG) - термінація IPSec-тунелів від абонентських пристроїв;

сервер 3GPP AAA - авторизація користувачів (абонентів) та їх аутентифікація;

HSS (Home Subscriber Server) - зберігання профілів користувачів;

SLF (Subscriber Locator Function) - вибір необхідного HSS в разі наявності кількох HSS в мережі оператора.

Також оператору слід розгорнути мережу Wi-Fi, яка складається з набору точок доступу (AP - Access Point) і їх контролерів (WAG - Wireless Access Gateway). Однак, замість власних мереж Wi-Fi, він може використовувати партнерські.

Логічна схема реалізації технології Wi-Fi Offload в мережі стільникового зв'язку представлена на рис. 1.

Опис функціональних компонентів, представлених на схемі:

UE (User Equipment) - мобільний термінал абонента;

AP (Access Point) - точка доступу Wi-Fi;

WAG (Wireless Access Gateway) - контролер точок доступу Wi-Fi;

PDG (Packet Data Gateway) - аналог BRAS для термінації тунелів від пристрою абонента;

BTS (Base Transceiver Station) - базова станція стандарту GSM (2G);

BSC (Base Station Controller) - контролер базових станцій GSM;

NodeB - базова станція стандарту UMTS (3G);

RNC (Radio Network Controller) - контролер базових станцій UMTS;

SGSN (Serving GPRS Support Node) - шлюз між мережею радіо доступу (Radio Access Network - RAN) і базової мережею (Core Network);

GGSN (GPRS Gateway Service Node) - шлюз між базовою мережею (Core Network) і зовнішніми мережами (Інтернет);

3GPP AAA (3GPP Authentication, Authorization, Accounting) - сервер аутентифікації і авторизації абонентів;

OCS / OFCS (Online Charging System / Offline Charging System) - online і offline биллинговая система;

HLR (Home Location Register) - база даних, що містить інформацію про абонентів;

HSS (Home Subscriber Server) - база даних, що містить інформацію про абонентів (розширена щодо HLR);

SLF (Subscriber Location Function) - використовується при наявності декількох HSS в мережі оператора;

PCRF (Policy and Charging Rules Function) - управління характеристиками

послуги абонента.

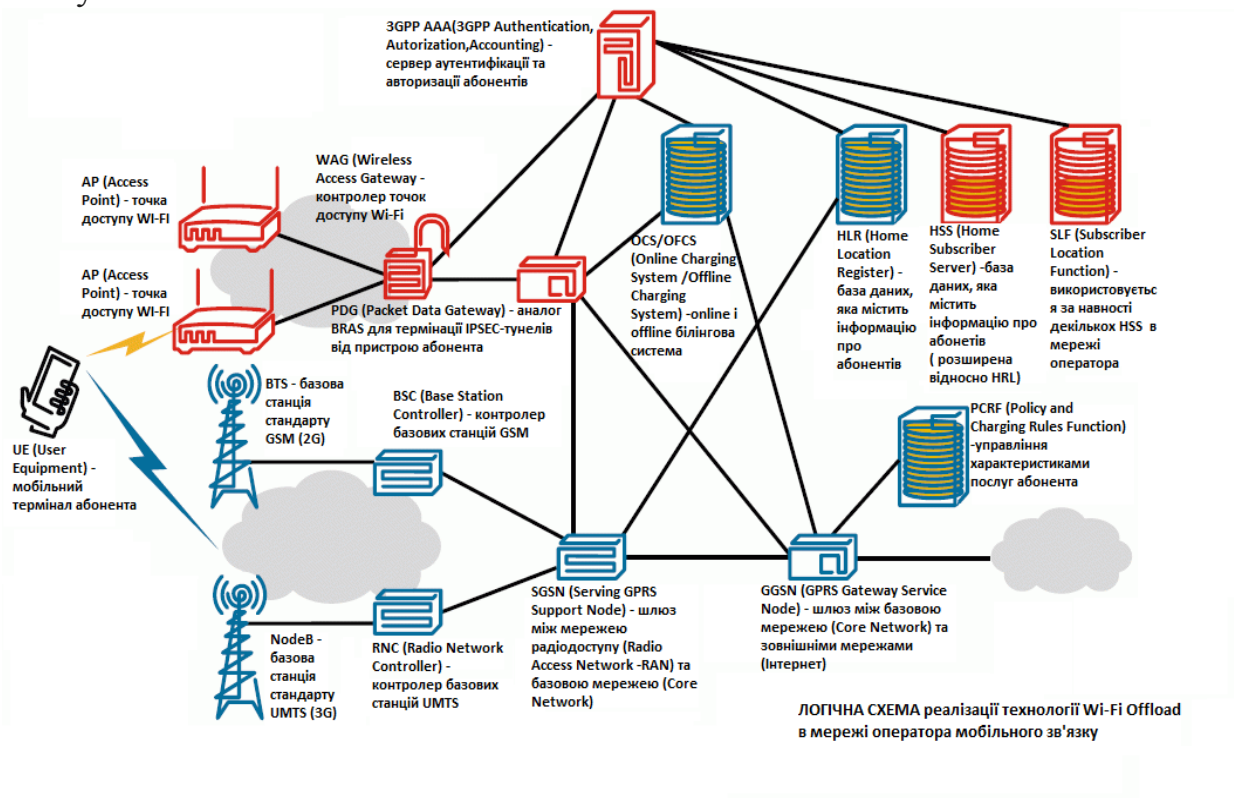


Рис. 1. Логічна схема реалізації технології Wi-Fi Offload в мережі стільникового зв’язку.

Для отримання провайдерами виграшу від переведення трафіку з 3G в Wi-Fi, необхідно врахувати три головні аспекти оффлоада мобільних даних:

• Створення покриття Wi-Fi, пристосованого для процедури оффлоада. Таке покриття має бути широким.

• Налаштування мобільних пристроїв з підтримкою Wi-Fi для безшовного переходу.

• Взаємодія з кореневою інфраструктурою мобільної мережі для збору білінгової інформації, застосування певних політик і аутентифікації.

Смартфони з Wi-Fi, що мають сучасну ОС (Android, Apple iOS, BlackBerry і Windows Mobile), автоматично перемикаються з 3G / LTE каналу передачі даних на Wi-Fi, як тільки виявляються в зоні покриття останнього. Одного разу побувавши в зоні покриття Wi-Fi-мережі, вони запам'ятовують та зберігають певні параметри, і намагатимуться автоматично приєднатись туди знову.

Для підключення лептопів до мережі Wi-Fi, на відміну від смартфонів, потрібна програма-менеджер з'єднання (connection manager). Вона зробить цей процес автоматичним і прозорим для користувача.

Безумовно, Wi-Fi Offloading цікавий як операторам зв'язку, так і їх абонентам. На даному етапі ця технологія успішно впроваджується в життя великих міст.

Література

1. Александр Романов «Wi-Fi offload - комплексный подход к уменьшению CAPEX», , 02.04.2014 (https://www.comnews.ru/node/81454).
2. "Разгрузку трафика обеспечит Wi-Fi" Сети/Network world, 27.11.2012, № 06 (https://www.osp.ru/nets/2012/06/13032672/).
3. Статьи Wi-Life.Team, Маркетинговые статьи, 3G Offload. Причины, проблемы, пути решения. Перевод трафика мобильных данных из 3G в Wi-Fi. (http://www.wi-life.ru/stati/wi-fi/marketingovye-stati-2/3g-offload-prichiny-problemy-puti-resheniya).

УДК 621.396

ТЕХНОЛОГІЇ НАДПРОВІДНИХ ПРИЙМАЧІВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ

Кичак В. М., Васильківський М.В.
Вінницький національний технічний університет, Україна
E-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Technologies of superconducting terahertz receivers

The development of physical principles for constructing passive thermal imagers of the terahertz frequency range based on superheterodyne receivers is described.

В даний час існує велика кількість різноманітних приймачів і джерел випромінювання терагерцового діапазону, які продовжують розвиватися і вдосконалюватися, але вже зараз стан розробок досягнув такого рівня, що такі характеристики як надійність і чутливість приймачів, потужність і стабільність джерел випромінювання, можливість промислового виготовлення, вартість виготовлення дозволяють планувати їх використання не лише в проектах астрономічних досліджень, але і при конструюванні приладів, які використовуються в повсякденному житті людини.

Однією з областей застосувань, в якій терагерцові приймачі та джерела випромінювання можуть зайняти гідне місце, є використання їх для отримання зображення об'єктів за допомогою радіохвиль (системи радіосканування зображень) [1]. Важливими потенційними застосуваннями терагерцових систем радіосканування зображень [2] є їх використання для авіаційної безпеки [2-5], навігації в умовах обмеженої видимості, екологічного моніторингу [6], вулканології [3], виявленні прихованої під одягом зброї [3], медицині [4,5], астрономії [6], інтроскопії промислових конструкцій, пасивній локації довільних об'єктів [3].

Існує кілька різних підходів до побудови терагерцової системи радіосканування зображень. Всі системи, що розробляються в даний час, діляться на активні і пасивні. У першому випадку об'єкт спостереження опромінюється сигналами терагерцового діапазону, а обладнання реєстрації приймає відбите від об'єкта випромінювання. Пасивна система радіосканування зображення реєструється власне теплове випромінювання об'єкта спостереження.

Основною перевагою першого методу є знижені вимоги по чутливості до приймача випромінювання, проте використання активних методів в ряді випадків є небажаним, наприклад в медицині та службах безпеки.

Для пасивних систем радіосканування зображень полягає на зчитуванні зображення по власному тепловому випромінюванню тіл. В цьому випадку такі пасивні системи радіосканування називаються тепловізорами [3]. При створенні пасивної системи радіосканування необхідно використовувати приймачі з високою чутливістю. Існуючі розробки пасивних терагерцових систем радіосканування (тепловізорів) базуються в основному на схемах

приймачів прямого детектування. Застосування супергетеродинного приймача дозволяє використовувати спектральну інформацію про теплове випромінювання об'єктів спостереження, що в свою чергу дозволяє визначати хімічний склад цих об'єктів, а значить має великий практичний інтерес з точки зору застосування терагерцового тепловізора в медичних системах і службах безпеки.

Крім цього, супергетеродинний приймач дозволяє отримувати інформацію про розподіл фази в фокальній площині об'єкта, а значить, за допомогою такого приладу можливо без використання складної оптики розглядати зрізи, розташовані на різній глибині об'єкта, що спостерігається тільки завдяки математичній обробці амплітудних і фазових розподілів сигналу в площині приймача [4].

Серед найбільш розвинених змішувачів терагерцового діапазону частот можна виділити змішувачі на діодах з бар'єром Шотткі, змішувачі на основі нелінійності тунельного переходу надпровідник-ізолятор-надпровідник (НІН змішувач) і змішувачі на ефекті електронного розігріву в тонких надпровідних плівках (НЕВ змішувач).

Змішувач на ефекті розігріву електронів в резистивному стані надпровідників [5] характеризується підвищеною чутливістю одночасно з досить широкою смугою перетворення, а також потребує низьку потужність гетеродина при субмікронних розмірах чутливого елемента. Він є досить перспективним елементом приймача терагерцового діапазону частот, так як не має частотних обмежень та не містить реактивної компоненти, що полегшує завдання узгодження змішувача з різними типами квазіоптичних антен.

В якості гетеродина найбільш придатним для використання в інтегральних схемах є генератор на в'язкому перебігу джозефсонівських вихрів (FFO) [4, 5], який характеризується вузькою смугою генерації і допускає використання схем фазового автопідстроювання частоти. Потужність сучасних FFO достатня для накачування НЕВ і НІН змішувачів [6].

В даний час не існує аналогів пасивним супергетеродинним тепловізорам терагерцового діапазону. Тому, дослідження фізичних основ роботи такого пристрою є важливим завданням, актуальність якого визначається широкими можливостями застосування і затребуваністю систем радіосканування терагерцового діапазону в таких важливих областях як медицина, інтроскопія промислових конструкцій, повітряна і морська навігація в умовах низької видимості, пожежна охорона, служби екологічного моніторингу та системи безпеки. Актуальність цієї роботи пов'язана з необхідністю детального дослідження чутливих приймачів терагерцового діапазону частот для забезпечення можливості побудови сучасних систем радіосканування зображень [7].

Важливими параметрами супергетеродинного приймача за умови його використання в приймачі тепловізора є флуктуаційна чутливість і часова стабільність приймача. Підвищення часової стабільності при роботі в

широкій смузі ПЧ для супергетеродинного приймача є важливим завданням, рішення якого необхідно для забезпечення високої чутливості приймача за час отримання кадру системи побудови радіозображень.

Наукова новизна роботи полягає в дослідженні вузлів пасивної супергетеродинної тепловізійної схеми терагерцового діапазону частот, а також в оцінюванні флуктуаційної чутливості НІН і НЕВ змішувачів, вивченні впливу паразитних впливів і досягненні граничних значень флуктуаційної чутливості приймачів. Крім цього, новизна роботи пов'язана з використанням цифрових методів обробки сигналу в реальному часі для збільшення часової стабільності супергетеродинних приймачів [8].

Супергетеродинний приймач має ряд переваг в порівнянні з приймачем прямого детектування, а саме: можливістю вимірювання спектральних характеристик теплового випромінювання об'єктів, що спостерігаються в пасивному режимі, а також отриманням інформації про фазу сигналу.

Найбільш перспективні технології побудови приймачів терагерцового діапазону частот на використанні НЕВ змішувачів і НІП (надпровідний інтегральний приймач на базі НІН змішувача і інтегрованого з ним гетеродина FFO) оскільки на частотах вище 1,2 ТГц, кращі характеристики показує НЕВ змішувач, а на частотах нижче - НІН змішувач.

Література

1. *Ожегов Р. В.*, Горшков К. Н., Окунев О. В., Гольцман Г. Н. Сверхпроводниковый смеситель на эффекте электронного разогрева как элемент матрицы системы построения тепловых изображений. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36, № 21. С. 70–77.
2. *Ozhegov R. V.*, Gorshkov K. N., Gol´tsman G. N. et al. Stability of terahertz receiver based on superconducting integrated receiver. // Superconducting Science and Technology. 2011. no. 24. P. 035003.
3. *Ожегов Р. В.*, Горшков К. Н., Гольцман Г. Н. и др. Флуктуационная чувствительность и временная нестабильность сверхпроводникового интегрального приемника для тепловизора терагерцового диапазона. // Научно-техническая конференция-семинар по фотонике и информационной оптике / Научная сессия НИЯУ МИФИ. Москва: 2011. С. 144–145.
4. *Ожегов Р. В.*, Горшков К. Н., Смирнов К. В. и др. Терагерцевый тепловизор на базе сверхпроводящего интегрального приемника для применений в системах безопасности. // Прикладная сверхпроводимость 2010. Москва: 2010.
5. *Ozhegov R. V.*, Gorshkov K. N., Smirnov K. V. et al. Terahertz Imaging System based on Superconducting Integrated Receiver. // SET-159 Special- ists Meeting on ”Terahertz and Other Electromagnetic Wave Techniques for Defence and Security”. Vilnius, Lithuania: 2010.
6. *Кичак В. М.* Квантові приймачі для терагерцового спектру частот / В.М. Кичак, І.А. Самолюк, М.В. Васильківський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП_18_2018), XVIII міжнародна науково-технічна конференція, 8-13 червня 2018 р. – Матеріали – Одеса. – 2018 с. 212.
7. Оцінювання впливу спектральної щільності флуктуацій струму на ширину лінії генерації переходу джозефсона / [В. М. Кичак, В. В. Кичак] // Вісник Вінницького політехнічного інституту «ВНТУ». — Серія «Радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування». — 2015. — № 6. — С. 153—158.
8. *Васильківський М. В.,* Самолюк І. А. «Дослідження джозефсонівських наносистем на основі ВТНП», Матеріали конференції «XLVIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2019)», Вінниця, *2019.*

УДК 004.89

ЗВЯЗОК ТЕХНОЛОГІЇ «БЛОКЧЕЙН» ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Поддубна М.О., Міночкін Д.А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: maripod1210@gmail.com

Communication of the technology Blockchain and the Internet of Things

Describes the communication technology Blockchain and Internet of things. The report describes the problems and possible solutions. Also shown is an example of how these technologies work together.

Блокчейн (від англ. Block і chain, «ланцюжок блоків») - розподілена база даних, потенційно доступна кожному. У блокчейні немає централізованого елемента, який міг би керувати ним і будь-яким чином втручатися в його роботу.

Дані технології мають одну найбільш характерну спільну рису - децентралізація. Блокчейн не має централізованого елемента, а Інтернет речей має невідворотну тенденцію до децентралізації обчислень.

У цій доповіді розглянуті приклади використання блокчейну разом з IoT: компанії, а також стартапи, які розробляють різні форми використання блокчейну разом з IoT. Однією з головних цілей таких форм використання даних технологій є підключення домашніх пристроїв до хмари і домашньої автоматизації.

З розвитком IoT з'явилося кілька критичних проблем, які необхідно вирішити. Це такі проблеми як:

• Масштабування. На даний момент в централізованих хмарних платформах IoT спостерігаються проблеми з масштабуванням рішень для великої кількості пристроїв, так як спостерігається дуже щільний трафік передачі повідомлень.

• Безпека. Гостро стоїть питання інформаційної безпеки як для окремих користувачів, так і для підприємств і організацій, так як був зібраний дуже великий обсяг даних з мільйонів пристроїв.

• Вартість. Устаткування, яке потрібно для рішень IoT, вже стоїть

досить дорого, при подальшому розвитку вартість буде тільки збільшуватися.

• Архітектура. В даний час IoT це централізована система, будь-яка несправність або помилка в одному місці може вплинути на всю мережу.

• Стандарти. Світ йде до відкритих стандартів даних, але єдиного підходу поки немає. Немає єдиної платформи для з'єднання між собою пристроїв від усіх можливих виробників.

Частково блокчейн вирішує дані проблеми, але для повного їх вирішення ще далеко.

На даний момент блокчейн також не ідеальна система, і для впровадження в IoT потрібно також вирішити кілька дуже важливих проблем. Технології блокчейн пред'явлено низку вимог, ось деякі з них:

• Відсутність анонімності. Якщо ми говоримо про IoT, то походження інформації має значення, чого немає на даний момент в блокчейні.

• Контрольований доступ до інформації. Перевага технології - «прозорість» усіх транзакцій. Але в разі IoT це потенційна можливість розкриття конфіденційної інформації.

• Обробка і зберігання інформації. Пристрої мають обмежену пам'ять і обчислювальну потужність, тоді як Інтернет Речей створює проблему надмірного обчислення і зберігання інформації. Блокчейни повинні будуть вирішити дану проблему, розпізнавати пристрої та їх можливості.

Зараз створена платформа для стимулювання ринку IoT - HDAC.

HDAC блокчейн використовується для аутентифікації пристрою, а після ідентифікації пристроїв, вони підключаються один до одного для взаємного зв'язку і платежів між ними. Дана платформа використовує комбінацію з приватного і публічного блокчейну. Приклад приватного блокчейну показаний в рис.1. Інтеграція між публічним і приватним блокчейнами необхідна, оскільки велика кількість транзакцій не може бути незалежно оброблена публічними блокчейнами.

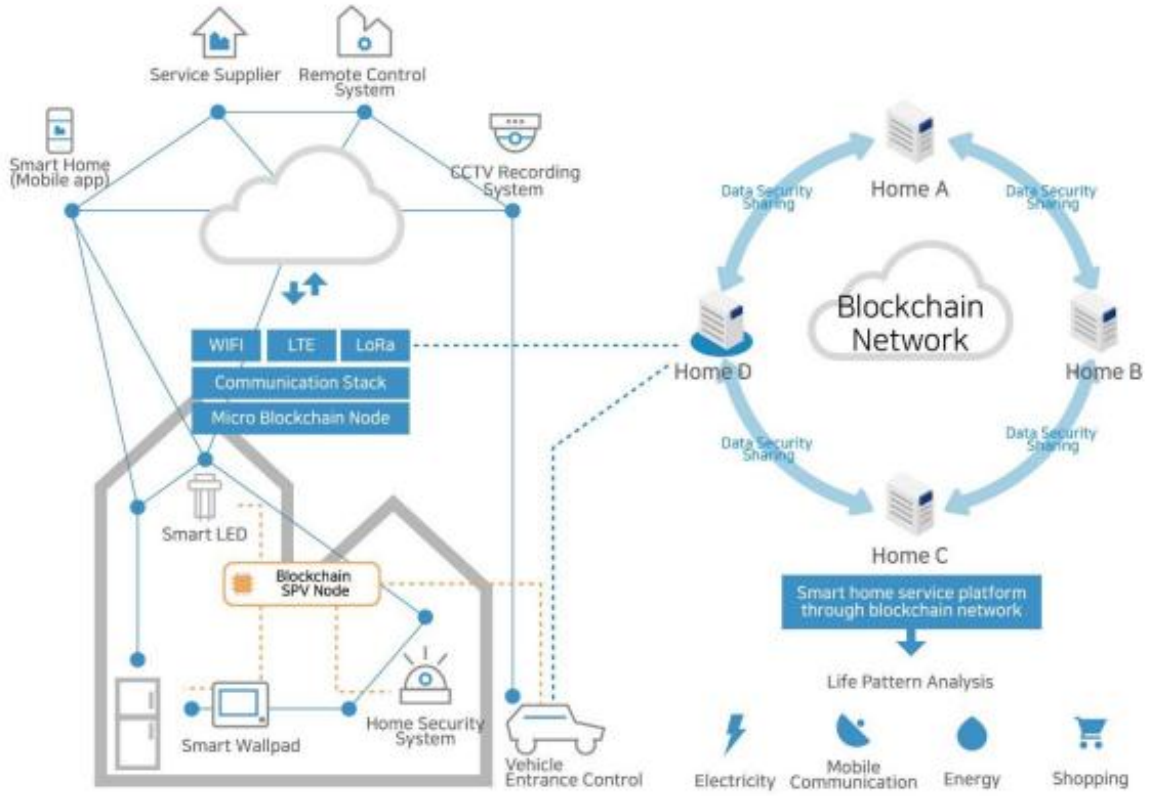


Рис. 1. Приклад приватного блокчейну з використанням IoT.

Технологія Blockchain стає популярною завдяки своїм особливостям децентралізації, прозорості, зручності використання і надійності, її застосування розширюється в таких галузях, як криптовалюта, перевірка відвідуваності, прогнозні ринки і міжнародні фінанси.

Література

1. Тая Арянова "Блокчейн и «ин-тер-нет вещей»: Как объединить две революционные технологии", 24 июля 2018 г. (https://ru.ihodl.com/analytics/2018-07-24/blokchejn-i-ternet-veshej-kak-obedinit-dve-revolyucionnye-tehnologii/).
2. Блокчейн в Інтернеті речей / Генкін А.С, Міхеєв А.А // опублікована на elibrary.ru, Росія, 2017 р.
3. satish143, Hdac - blockchain for IoT Ecosystem (https://steemit.com/ethereum/@satish143/hdac-blockchain-for-iot-ecosystem).
4. A REVIEW ON THE USE OF BLOCKCHAIN FOR THE INTERNET OF THINGS // FERNÁNDEZ-CARAMÉS T.M., FRAGA-LAMAS P. // presented at the IEEE ACCESS
5. teamdeal, "Адаптация блокчейна к интернету вещей: главные проблемы", 27 мая 2018 (https://habr.com/ru/post/359415/).

УДК 004.946

ПЛАТФОРМА THINGWORX НА МЕЖІ РЕАЛЬНОГО ТА ЦИФРОВОГО СВІТУ

Ніцович О.Т.
Теплоенергетичний факультет,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail:olesnits@gmail.com

ThingWorx platform on the edge of the real and digital world

This article examines the ThingWorx platform developed by RTS Company in the area of the Internet of Things ('IoT'). It discusses the availability and characteristics of consumer product use as well as its developer education in telecommunications links.

Розглянемо програмний продукт – платформу ThingWorx, розроблену компанією PTC (Parametric Technology Corporation) в області Інтернету Речей (далі- IoT), з точки зору телекомунікаційних зв'язків та таких властивостей: доступність використання продукту для споживача і його вивчення для розробників.

Корпорація PTC є розробником платформи ThingWorx, яка була однією з перших IoT-платформ, призначених для створення та використання «розумних» об'єктів та пристроїв. Дана платформа має в своєму арсеналі інструменти моделювання для прикладних рішень типу end-to-end, створення інтерфейсів для споживача, що можуть містити в своєму складі меш-апи, системи керування пристроями в таких традиційних галузях промисловості, як: енергетика, транспорт, електроніка, тощо, так і в галузях, які автоматизуються останнім часом – медицина, освіта, інфраструктура мегаполісів, сільське господарство та інші, що опинились в полі зору «розумних» технологій.

Платформа ThingWorx структурована наступним чином:

Рис. 1. Структура платформи ThingWorx.

В основі платформи знаходиться блок ThingWorxFoundation, в якому створюється модель реальності та відбувається створення унікальних прикладних рішень в комплексному середовищі моделювання ThingWorx Composer.

До блоку Thing Worx Foundation приєднані наступні модулі:

- ThingWorx Analitics, відповідальний за аналітику реального часу, яка спроектована для розумного виробництва;
- ThingWorx Utilities, які керують приладами шляхом створення схем процесів;
- ThingWorx Studio як інструмент створення доповненої реальності;
- ThingWorx Industrial Connectivity поєднує між собою різноманітне апаратне та програмне забезпечення за допомогою засобів телекомунікації.

Початково платформа ThingWorx проектувалася з урахуванням вимог до безпеки. За 35-річну історію свого існування компанія PTC не тільки вдосконалює, доповнює та розбудовує платформу ThingWorx, але і дбає про розробників приладних рішень та про студентів, які мають бажання такими розробниками стати.

З цією метою постійно проводились різноманітні освітні заходи, конференції, майстер-класи, було створено портал для допомоги розробникам, що врешті-решт призвело до створення власного закладу дистанційної освіти – IoT University, що навчає за допомогою онлайн курсів використанню першої в світі онлайн платформи ThingWorx для Інтернету речей і розширеної реальності підприємців, розробників та студентів.

Підсумовуючи, можна констатувати що платформа ThingWorx надає засоби і технології, які дозволяють підприємствам швидко розробляти і розгортати потужні програми для промислового Інтернету речей і середовища доповненої реальності (AR), забезпечуючи при цьому безпеку телекомунікаційних потоків. В той же час компанією PTC (Parametric Technology Corporation) надається можливість активного навчання, в просторі Університету IoT освоїти оптимальні методики, для створення новітнього приладного продукту.

Література

1. Про компанію PTC [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ptc.com/.
2. Компанія SmartPatch вибирає платформу ThingWorx [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://gmi.nmu.org.ua/ua/news/news_CAD/17727/.
3. PTC [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/PTC_(software_company).

УДК 621.39

ЖОРСТКА ПЕРЕДАЧА ОБСЛУГОВУВАННЯ У МЕРЕЖАХ LTE

Мозговий С.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: Mozgovoyserg1998@mail.ua

LTE network service transparency

In this paper, the rigorous transfer of service in LTE networks is discussed. Due to the relevance of this issue, it is expedient to consider this issue in more detail.

В даній роботі обговорюється жорстка передача обслуговування в мережах LTE. В зв'язку з актуальністю даного питання є доцільним більш детально розглянути це питання.

Звичайна жорстка ПОб базується на порівнянні рівнів сигналу обслуговуючого та цільового стільників. ПОб виконується, якщо рівень сигналу у цільовому стільнику вищий, ніж в обслуговуючому. Декілька методів, таких як Поріг Гістерезису (Hysteresis Margin - HM) [2], [3], Тригер часу (Time-To-TriggerTTT) або Метод Вікна (також відомий як усереднення сигналу) [2] визначаються таким чином, щоб усунути надлишкові передачі обслуговування в звичайних мережах без малих стільників. У випадку використання будь-якого звичайного способу для усунення надлишкових ПОб спостерігається падіння пропускної здатності.

Аналіз ПОб. ПОб може бути ініційована з кількох причин: наприклад, для забезпечення QoS користувачів, для поліпшення покриття або для балансування навантаження в мережах.

Для уникнення зайвих ПОб, які не здатні підвищити продуктивність ні користувачів, ні мереж, в стандартах/літературі визначають кілька методів, які змінюють умови для ініціації ПОб. В основному використовуються методи: HM, вікна (або метод усереднення сигналу), і TTT або поліпшений Handover Delay Timer (HDT) [4].

При реалізації HM, рішення ПОб та його ініціювання засновані на порівнянні одного або декількох параметрів сигналу (наприклад, CINR або 36 RSSI) обслуговуючого та цільового стільників. Ініціювання ПОб відбувається при перевищенні параметром сигналу цільового стільника параметру сигналу обслуговуючого стільника, щонайменше на значення гистерезису (ΔHM):

$$S_t^{\text{ціл}} > S_t^{\text{обсл}} + \Delta_{HM}$$

де $S_t^{\text{ціл}}$ та $S_t^{\text{обсл}}$є параметрами якості сигналу цільового та t обслуговуючого стільників. Рівень прийнятого сигналу на певній відстані RSSI(d) залежить від втрат у тракті передачі і потужності передачі MBS $TPSt$. Крім того, відстань d може бути виражена як експоненціальна функція, наступним чином:

$$\text{RSSI} = TP_{St} - (X(f) + N\log_{10}(d)),$$
$$\log_{10}(d) = \frac{1}{N}(TP_{St} - X(f) - \text{RSSI}),$$
$$d = 10^{(TP_{St} - X(f) - \text{RSSI})}.$$

Радіус стільника, як правило, визначається як відстань, де досягається мінімальний допустимий рівень RSSI, позначений як RSSI*min*,. Типове значення RSSI на краю стільника дорівнює -90 дБм [5]. Проте, у випадку з FAP, радіус стільника впорядку десятків метрів, якщо розглядається модель втрати на шляху P.1238 MCE-R [6]. Зверніть увагу, що втрати через стіну в 10 дБ включені на межах будинку . Вплив радіусів FAP, які визначаються різним RSSImin на усунення надмірних ПОб, аналізується далі в цьому розділі.)

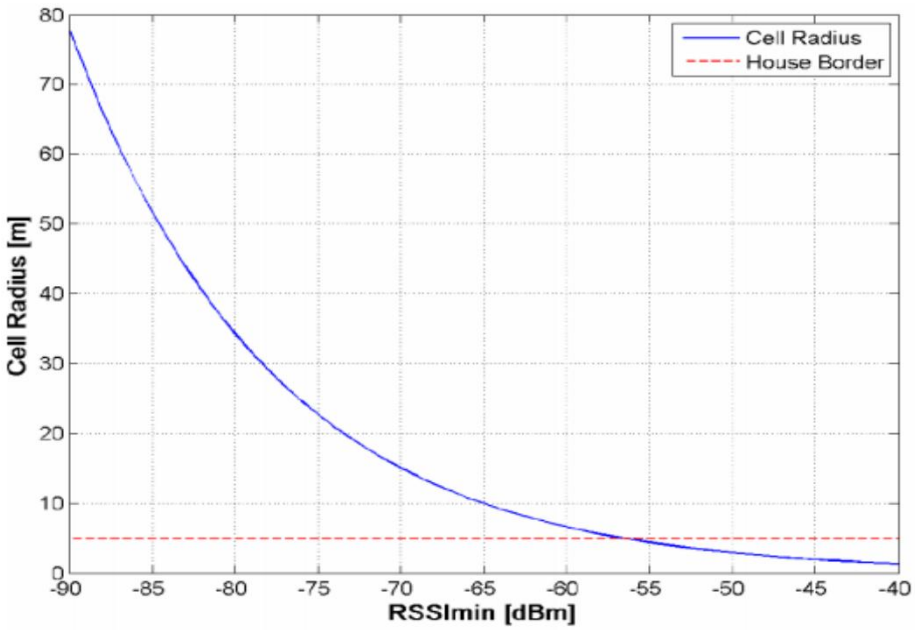


Рис. 1. Радіус стільника з радіусом, більшим за RSSI*min*
згідно з моделлю втрат на шляху ITU-R P.1238.

Насправді, межа стільника не є ні регулярним колом, ні шестикутником, так як система не обмежена відстанню або рівнем сигналу, але ця інтерференція обмежена. Таким чином, форма стільників також сильно

залежить від інтерференції. Отже, ми також досліджуємо вплив реалізації CINR замість RSSI для розрахунку фактичного рівня Δ_{HM}. Як правило, рівень сигналу залежить від перешкоди і шуму (IN)

Роблячи висновки, важливо зазначити, у разі жорсткої ПОб в один момент часу МС обслуговується тільки однією БС (або тільки однією мережею доступу в разі вертикальної ПОб). Встановлення зв'язку з новою БС або новою мережею здійснюється тільки після роз'єднання з обслуговуючою БС. При жорсткій ПОб надмірне переривання з'єднання може збільшити коефіцієнт втрати викликів. Жорстка передача обслуговування поділяється на три види: пороговий, гістерезисний, комбінований порогово-гістерезисний. При пороговому методі ініціація ПОб відбувається у випадку, коли потужність сигналу від поточної БС досить мала (менше деякого порогового значення THO), а потужність сигналу від іншої БС більша. Ефективність порогового метода залежить від його відношення до значення потужності сигналу в точці, де потужності сигналів від обох БС рівні. Відповідно до гістерезисного методу ПОб здійснюється за умови, що рівень потужності сигналу від приймаючої цільової БС вище рівня потужності сигналу від батьківської БС на деяку величину гістерезису H. На практиці ж найчастіше використовується комбінований метод. Цей метод поєднує метод порогу і метод гістерезису. У цьому випадку ПОб відбувається, якщо значення рівня потужності сигналу від обслуговуючої БС опускається нижче граничного, а потужність сигналу від приймаючої цільової БС більше потужності сигналу від поточної на дане значення гістерезису.

Література

1. T. Jansen, I. Balan, J. Turk, I. Moerman, and T. Kurner, "Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks," IEEE VTC 2010-Fall, September 2015.
2. M. Zonoozi, P. Dassanayake, and M. Faulkner, "Optimum hysteresis level, signal averaging time and handover delay," In IEEE VTC 1997, pp. 310 – 313, 1997.
3. K.I. Itoh, S. Watanabe, J.S. Shih, and T. Sato, "Performance of handoff algorithm based on distance and RSSI measurements," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 51, No. 6, 1460 – 1468, 2012.
4. Z. Becvar, J. Zelenka, “Implementation of Handover Delay Timer into WiMAX,” Proc. of 6th Conference on Telecommunications (ConfTele 2007), Peniche, Portugal, May 2014.
5. N. P. Singh and B. Singh, “Performance of Soft Handover Algorithm in Varied Propagation Environments,” World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 45, 2008.
6. ITU-R P.1238-6 Recommendation, “Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz,” 2009.
7. https://scholar.google.com.ua/citations?user=sDXhFDkAAAAJ&hl=ru

УДК 621.396

ВИКОРИСТАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО МЕТОДУ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВЯ'ЗКУ 5G

Войнова К. К., Міночкін Д.А.
Інститут телекомунікаційних систем, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: voinova_k@ukr.net

Using of vertical handover method in 5G mobile communication systems

In this paper, a study was conducted on the concept of HDS and vertical handover. Its benefits and impact on mobile networks, and in particular on 5G, were reviewed and analyzed. Also it was proposed one of the options for the implementation of the vertical handover using HDS.

Протягом останніх кількох років спостерігається збільшення передачі мобільних даних, що, у свою чергу, призводить до того, що поточна мережа Long Term Evolution (LTE) не може задовольнити попит на нові мультимедійні послуги. Безпроводова мережа наступного покоління 5G повинна перевершити такі показники LTE, як пропускна здатність системи, використання радіочастотного спектру та зниження затримки. Загалом, мережа 5G розглядається як концепція, яка орієнтована на користувача, а не як, наприклад, оператор-орієнтована, як в 3G або сервіс-орієнтована - як в 4G. Також варто також зазначити, що до майбутньої архітектури безпроводових мереж передбачається включення об'єднань безпроводових технологій, таких як: стільникова безпроводова мережа 5G, LTE, бездротова локальна мережа WLAN (Wireless Local Area Network) та WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Для забезпечення надання передових послуг і зниження витрат як для операторів, так і для самих користувачів, при такій архітектурі кожна з технологій повинна використовувати максимум зі своїх власних переваг, які відповідають потребам користувачів.

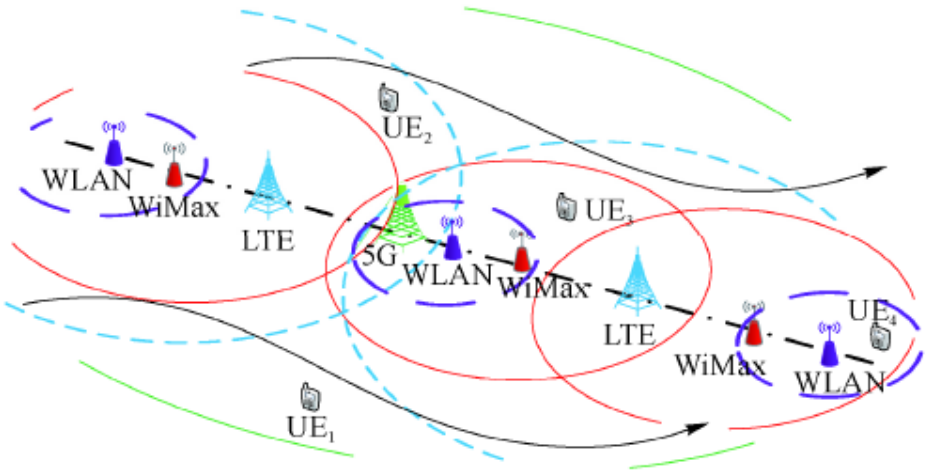


Рис. 1. Гетерогенна безпроводова система

Рис. 1 ілюструє архітектуру для гетерогенної мережі 5G, при цьому UE1, UE2 і UE3 використовують різні види трафіку. Коли користувацьке обладнання UE рухається по різних зонах покриття, вертикальна передача обслуговування стає необхідною для підтримки підключення. Для забезпечення роумінгу і безшовної вертикальної передачі даних для користувацького обладнання UE в такому середовищі з'являється необхідність розробки досить розумної системи вибору методів передачі обслуговування HDS (Handover Decision System).

В сучасних мережах користувач може використовувати багатофункціональний абонентський пристрій SDR (Software Defined Radio) з технічною можливістю вибирати мережі зв'язку різних стандартів для отримання необхідної послуги. Завдання вибору зазначених мереж може вирішуватися користувачем, мережею або оператором зв'язку, комбінованим способом. Вибір тієї чи іншої мережі зв'язку зумовлений прагненням зменшити вартість послуг при збереженні заданих вимог до якості зв'язку. Вибір мережі зв'язку здійснюється для вирішення такого актуального завдання, як вертикальний метод обслуговування (або хендовер) VHO (vertical handover) – перемикання терміналу користувача між різними технологіями мереж, які одночасно діють в даній точці простору (приміщенні, будівлі).

У даний час для прийняття рішення при вертикальному хендовері VHO використовуються різні методи, такі як теорія ігор, нечітка логіка, використання методу аналізу ієрархій. Досліджуючи і порівнюючи традиційні методи хендоверу, дійшли до висновку [2], що ці методи не є достатніми для прийняття рішень щодо застосування вертикального хендоверу. Недоліком вказаних методів можна зазначити відсутність порівняння параметрів заявок на VHO за кількома критеріями або метрик з боку обраної мережі. Наприклад, теорія черги використовується для ініціювання передачі між гетерогенними мережами в розширеному алгоритмі [3], який вносить підвищення продуктивності ефекту «пінг-понгу». Однак, з поступовим зростанням користувачів також зростає затримка передачі обслуговування.

Вибір мережі може бути ініціалізований користувачем [4] або може ґрунтуватися на вимірах якості зв'язку зі сторони мережі [5], що дозволяє вирішити проблему передачі обслуговування пошуком оптимального рішення. На основі оптимізації хендоверу [6] або поведінці користувача [7], користувацьке обладнання UE може зробити правильний вибір щодо способу доступу до оптимальної мережі в гетерогенній мережі.

Одним з варіантів реалізації вертикального хендоверу може бути адаптивна модульна система прийняття рішень про передачу обслуговування (HDS) на основі нечіткої логіки для гетерогенних бездротових мереж. Система складається з трьох нечітких елементів: якості обслуговування NQ (Network QoS), ефективності Eff (Efficiency) і ступеня задоволеності DS (Degree of Satisfaction). Параметри рішення класифікуються за групами, і кожна група обробляється іншим нечітким елементом. Три нечітких

елементи спільно визначають остаточний результат для кожної потенційної безпроводової мережі. Для передачі обслуговування вибирається безпроводова мережа з найвищим остаточним рейтингом.

Зрештою, користувацьке обладнання UE завжди прагне приєднатися до найкращої точки доступу, тому вибір мережі перетворюється на проблему прийняття рішень з декількома опціями та атрибутами. Останнім часом для вирішення цієї проблеми в гетерогенних мережах використовується багатоатрибутивне прийняття рішень MADM (Multi Attribute Decision Making), однак, через свої традиційні монолітні конструкції воно втрачає ефективність підчас виконання.

Оскільки дослідження, яке орієнтоване на задоволення потреб користувачів, набуває все більшого значення у гетерогенних мережах 5G, балансування навантаження є важливим елементом, який забезпечує високу якість взаємодії QoE (Quality of Experience) для користувацького обладнання UE. Ефект динамічного балансування навантаження для кожної мережі висувається під час роботи цієї самої мережі [8]. Але існує певне обмеження для кожної мережі, тому загальний рівень навантаження в гетерогенних мережах повинен бути відомий заздалегідь, що і забезпечується використанням вертикального хендоверу та HDS.

Література

1. Iwamura M. NGMN view on 5G architecture. Proceedings of the IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC-spring'15), May 11−14, 2015, Glasgow, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2015: p. 5.
2. Singhrova A, Prakash N. Vertical handoff decision algorithm for improved quality oa service in heterogeneous wireless networks. IET Communications, 2012, 6(2): pp. 211−223.
3. Sun Y. Vertical handoff decision algorithm in heterogeneous wireless network based on queuing theory. Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT'15), Jul 1−3, 2015, Pyeongchang, Republic of Korea. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2015: pp. 550−556.
4. Chen L M, Guo Q, Na Z Y, et al. A threshold based triggering scheme in heterogeneous wireless networks. TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control), 2014, 12(1): pp. 163−172.
5. Ding Z X, Wang X J. An effective handover scheme in heterogeneous networks. Proceedings of the 2016 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI'16), Jan 7−9, 2016, Coimbatore, India. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2016: p. 6.
6. Zheng W, Zhang H J, Chu X L, et al. Mobility robustness optimization in self-organizing LTE femtocell networks. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2013: pp. 27−37.
7. Hegazy R D, Nasr O A. A user behavior based handover optimization algorithm for LTE networks. Proceedings of the 2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'15), Mar 9−12, 2015, Shanghai, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2015: pp. 1255−1260.
8. Lin C C, Chin H H, Deng D J. Dynamic multiservice load balancing in cloud-based multimedia system. IEEE Systems Journal, 2014, 8(1): pp. 225−234.

УДК 004.75

ОПТИМІЗАЦІЯ ПІДБОРУ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ КОМПАНІЇ

[1]Лавренюк А.М., [2]Лавренюк С.І.
[1]*Фізико-технічний інститут КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна;*
[2]*Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Україна*
E-mail: lsi@bigmir.net

Optimization of model parameters selection for big data from telecommunication company analysis

This paper continues the cycle of studies on big data processing optimization using python.

In addition to fact that telecommunication companies data real-time processing and interpreting require high-power computing resources, new algorithms and parallel data processing approaches are also needed to accelerate computations.

This paper proposes a new approach to solving traditional problems on big data from telecommunication company analysis such as customers churn prediction and others.

Робота продовжує цикл досліджень по оптимізації обробки великих об’ємів даних з використанням мови програмування python.

Окрім того, що задачі обробки та інтерпретації даних телекомунікаційних компаній в режимі реального часу потребують високо потужних обчислювальних ресурсів, для прискорення обчислень потрібні також нові алгоритми та підходи паралельної обробки даних. В роботі пропонується новий підхід до рішення традиційних задач аналізу великих даних для телекомунікаційної компанії таких, як прогнозування відтоку клієнтів (churn predict) та інших.

Запропоновано використовувати розподілені асинхронні черги для вибору оптимальної моделі із певного набору моделей, що найкраще описують та моделюють вхідні дані. Також вперше запропоновано використовувати саме такі черги для підбору оптимальних (найкращих) параметрів вибраної моделі.

Вступ. На сьогодні вже є розроблені та апробовані алгоритми з використанням моделей бібліотеки Scikit-learn для обробки та аналізу великих даних, що можуть використовуватися в локальних та хмарних ресурсах [1, 2]. Так, як час роботи локальних систем, так особливо хмарних є доволі не дешевим при довготривалій роботі, то пошуки можливості зменшення часу обробки даних, а відповідно і фінансових затрат є актуальними постійно. Зменшення часу обробки даних можливе при використанні нових, оптимальніших алгоритмів, що при існуючих

обчислювальних ресурсах зменшать час обробки даних. Для телекомунікаційних компаній така задача є актуальною, адже обробка та аналіз великих об'ємів даних проводиться постійно.

В своїх роботах автори адаптують існуючі та створюють нові алгоритми для обробки та аналізу великих даних за допомогою мови програмування python.

Перш ніж обробляти чи аналізувати дані, необхідно створити моделі чи підібрати уже з існуючого набору бібліотек для python ту яка найкраще буде описувати існуючі дані. Або певні їх проміжки. Тобто для одних і тих даних можливо буде необхідним застосовувати різні моделі на різних проміжках.

Отже при аналізі даних телекомунікаційної компанії, часто необхідно на тестовій вибірці підібрати найоптимальніші параметри для однієї і тієї ж моделі аналізу даних, або із кількох моделей вибрати найкращу для конкретних даних. Традиційно такі задачі виконують послідовно: запускається задача з одними параметрами, отримується результат, потім з іншими і таких запусків може бути багато, а в кінці порівнюються отримані результати і вибираються найкращі параметри та моделі.

Запропонований підхід. Запропоновано для рішення задачі не тільки аналізу та обробки великих даних використати Celery, що є реалізацією розподіленої асинхронної черги завдань, з широким функціоналом [3]. В даному підході вперше запропоновано використати асинхронні черги для вибору найоптимальнішої моделі та підбори оптимальних її параметрів, а вже потім аналіз та обробка даних.

Використовуючи розподілену чергу завдань Celery на сучасних обчислювальних ресурсах можливо запускати одночасно багато процесів аналізу даних, пошуку оптимальних моделей та підбір для них найкращих параметрів. Також з Celery можна працювати з різними розподіленими обчислювальними ресурсами, як з одним централізованим ресурсом.

На рис. 2 показано схему запропонованого алгоритму.

Звичайно, створювати черги, їх програмно контролювати, налаштовувати програмні продукти для рішення цих задач не просто, але це реально і дає необхідний ефект. Проведені експерименти показали значну продуктивність використання черги Celery з python. Детально алгоритм пошуку оптимальної моделі та її найкращих параметрів, формули та результати буде наведено в доповіді.

Висновок. Використання Celery в програмах python при обробці великих об'ємів даних:

- дає можливість одночасно виконувати кілька підзадач в асинхронному режимі і відповідно оптимальніше використовувати всі наявні ресурси, як сучасних настільних комп'ютерів, обчислювальних кластерів та хмар;

- встановлюється та керується як з використанням Docker так і без під різні операційні системи;
- не потребує додаткової адаптації при роботі з різними операційними системами або хмарними обчислювальними ресурсами (наприклад, Amazon);

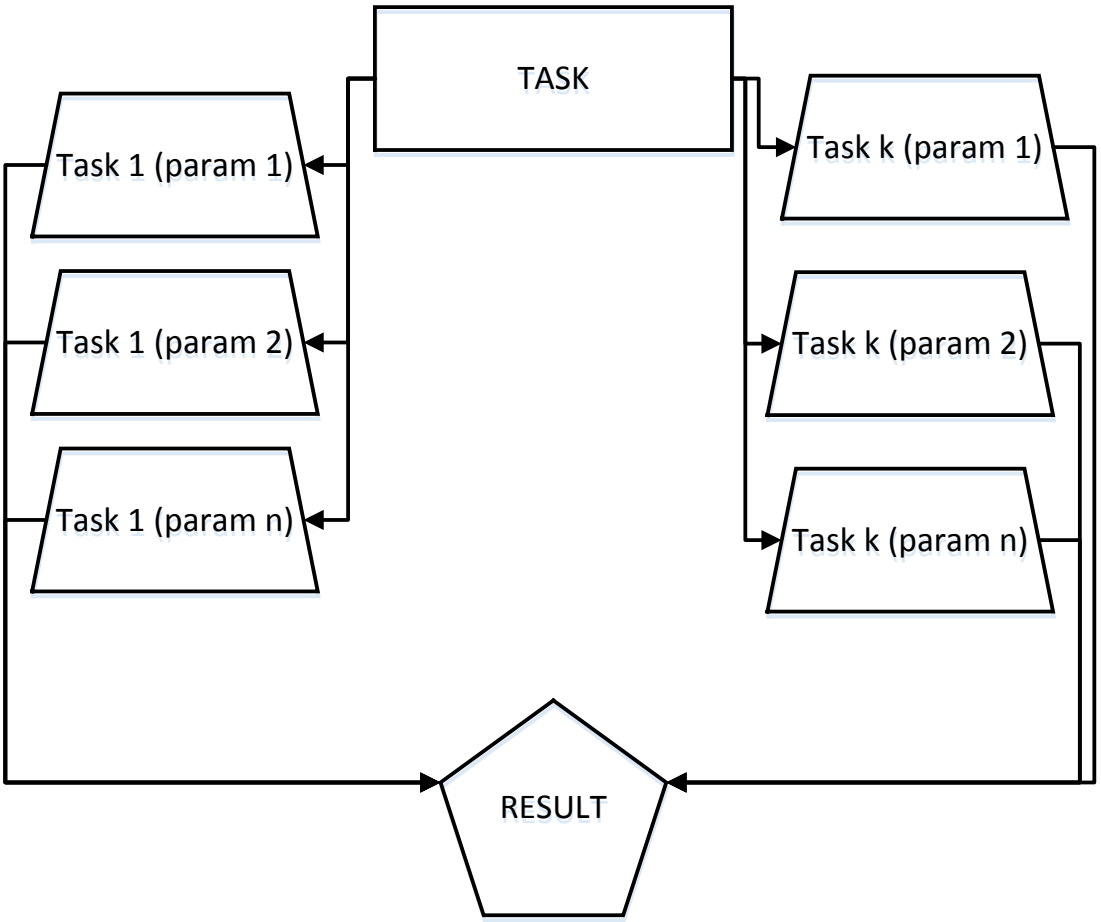


Рис. 2. Підбір моделей та їх оптимальних параметрів з використанням черг та Celery.

Слід зазначити, що запропонований підхід може бути успішно використаним при обробці великих об'ємів даних не тільки в телекомунікаційних компаніях.

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. Лавренюк А. М., Лавренюк Л. С., Тульчинський П. Г. Оптимізація програмного забезпечення для аналізу великих даних телекомунікаційної компанії // XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2017: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 325-327.
3. Celery. //Електронний ресурс: http://www.celeryproject.org/

УДК 004.9

МЕТОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРОВОЇ ПРЕФЕРЕНЦІЇ ЛЮДИНИ

Кущ В.С., Штогріна О.С.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: vetalkushch13@gmail.com

Method for determination color's preferences of human

This article describes loading of colors of the environment on the psychophysiological state of human. Consequently, a new method is proposed which allows for the prediction of the resultant color preferences of a human, as well as a program that allows using this method for the analyze him.

Уже 23 роки Україна проводить наукові дослідження на антарктичній станції «Академік Вернадський». На станції ведуться дослідження, які проводять українські учені – зимівники, в галузі геофізики, медицини, метеорології, біології. Результати досліджень вже зараз дозволяють не тільки підтримати престиж країни, а й можуть використовуватися при розвідці корисних копалин, глобальному прогнозуванні змін клімату та довгостроковому прогнозуванні погоди, зокрема в Південній півкулі, розробці біотехнологій. Під час перебування в Антарктиді організм зимівників перебуває під великим впливом специфічного клімату та середовища. Кольори – це один із найпотужніших факторів впливу на людину, на даному материку їх замало, тому не можливо уникнути впливу переходу із сучасного світу повного різноманіття кольорів до однотонного середовища, де знаходиться антарктична станція.

Психологи досліджують психофізіологічний стан зимівників, та вплив кольорів на нього під час перебування зимівників в Антарктиді та під час перебування на материку. Постійно відбувається збір даних: проводяться різноманітні тести: тест преференцій, досліджується реакція організму на специфічні кольорові картинки. Зібрані дані досліджують за допомогою математичних методів, шукають кореляцію та залежності, на базі яких можна отримати оцінку психофізіологічного стану та сформувати методику для підтримання і покращення загального самопочуття зимівників [1]. Аналіз отриманих даних дуже громіздкий та потребує великого досвіду роботи з даними, використання математичних методів та визначення закономірностей і залежностей різних функцій. Тому доцільно розробити новий метод визначення кольорової преференції людини, яка є частиною дослідження психофізіологічного стану, який би пришвидшив роботу психологів. А на основі методу реалізувати програмне забезпечення (ПЗ), яке допоможе, при відомих вхідних параметрах, визначати результуючу кольорову преференцію [2] по зібраним даним із заданою точністю та зможе надавати наочну візуалізацію отриманих результатів.

Для вирішення поставленої вище задачі було поєднано методи

машинного навчання для задачі класифікації: метод підтримки векторних величин, який використовується для оцінки та прогнозів вихідних значень та метод мультикласової класифікації [3], що визначає класифікатори для кожного значення кольорової преференції. Об'єднання цих методів дозволило запропонувати новий метод для визначення кольорової преференції людини, який полягає у передбаченні кольорової преференції лише з відомими вхідними параметрами про зимівника. Розроблений метод визначає алгоритм, який формується в залежності від тестових даних, в даному випадку, на вибірці отриманих даних про зимівників від НАНЦ України. Після того, як алгоритм буде визначено, з його допомогою можна передбачати кольорову преференцію, подавши на вхід дані про тест преференцій.

Використання методів машинного навчання поширене при роботі з великим набором даних, тому що вони показують достатньо високу точність отриманих даних на виході, тому їх було використано при розробці методу для визначення кольорової преференції. На базі розробленого методу розроблено ПЗ, за допомогою якого можна вводити дані про проходження тесту зимівника з клавіатури та відразу отримувати результат цього тесту преференцій на монітор.

ПЗ може зберігати дані про тести, які було введено раніше, що в свою чергу дозволяє проводити моніторинг зміни станів. На рис. 1 зображено представлення одного тесту у вигляді рядка, який поділений на комірки, в якому. Також, окрім даних про тест преференцій, присутні дані про зимівника, якому належать ці дані. Це суттєво покращує розуміння того, що знаходиться на моніторі та допомагає користувачу зорієнтуватися в системі та працювати продуктивніше. Також для розширеної роботи із ПЗ присутня можливість фільтрування даних, яка допомагає при пошуку закономірностей в ручному режимі та дослідження припущень психологів.

Рис. 1. Приклад частини інтерфейсу користувача:
дані про тест та його результуюча кольорова преференція.

Дані про зимівників, які збирали протягом декількох років, та їх результати важко аналізувати через їх об'єм. Тому було реалізовано можливість побудови графіку, зображеного на рис. 2. Він створений на базі даних, отриманих після проходження тестів. На ньому зображено класифікацію отриманих кольорових преференцій, розмежування, їх густоту та граничні показники, відповідно до яких стан зимівника може змінюватися із одного класу станів на інший. Таке представлення дозволяє оцінити психофізіологічну картину стану зимівника на протязі довгого періоду часу, визначення критичних точок, та в який період стан відхилявся від норми. Психологи можуть, використовуючи отриману оцінку, формувати запобіжні дії для попередження екстремального стану, а також для його передбачення.

Згадані методи із машинного навчання використано з бібліотеки Scikit-learn, також було вибрано мову програмування Python, для налагоджування роботи коду використовувався блокнот Jupyter Notebook. Дані було зібрано у файл формату .xlsx, що дозволяє легко обмінюватися файлом, читати його та зберігати, а також використати бібліотеку Pandas, яка має інтерфейси для взаємодії ПЗ із даним типом файлу.

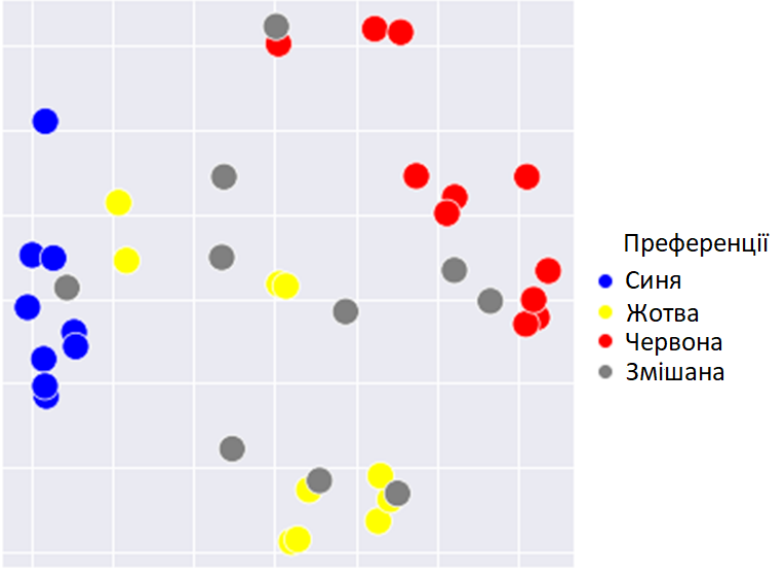


Рис. 2 Приклад частини інтерфейсу:
обчислені кольорові преференції зимівника

Було розроблено метод, який дозволяє визначати кольорову преференцію людини шляхом передбачення, базуючись на отриманих даних від НАНЦ України про зимівників. На основі цього методу розроблено ПЗ, для якого достатньо подати на вхід лише дані по пройденому тесту преференцій для отримання результуючої кольорової преференції. В свою чергу, таке рішення гарантує точність та надійність подальших обчислень, тому що для тренування використано реальні дані з точно обчисленими кольоровими преференціями. Також ПЗ дозволяє будувати статистику отриманих результатів, щоб можна було наочно побачити загальну ситуацію психофізіологічного стану зимівників, що забезпечує продуктивність роботи психологів. Розроблене ПЗ передбачає легку інтеграцію з уже існуючим ПЗ НАНЦ України. Також його можна використати як хмарний сервіс, що дозволить користуватися ним лише при наявному доступі до мережі та в будь якому місці.

Література

1. Мадяр А.Й. Спосіб корекції психофізіологічного стану людини. / А.Й. Мадяр, О.Е. Ковалевська, В.В. Арбатов, В.Н. Бережанський, М.В. Луцюк, Є.В. Моісенко, С.В. Чорний // Патент на корисну модель №28058 від 26 листопада 2007 року.
2. Мадяр С. - А. И. Инновационные методы исследований в психофизиологии цветового восприятия: Методическое пособие / С. - А. И. Мадяр, Е. В. Моисеенко, Е. Э. Ковалевская // – К., 2015. – с. 1 – 30
3. Erin J. Bredensteiner and Kristin P. Bennett. Multicategory classification by support vector machines. Computational Optimization and Applications, 12:53–79, January 1999.

УДК 004.9

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ DATA MINING В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Мороз А.М., Глоба Л.С.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: a.moroz2708@gmail.com

Application of Data Mining Methods in Telecommunication Systems

Currently, there is an intensive development of telecommunication systems, accompanied by tough competition for the client. Data analysis aimed at identifying hidden patterns is implemented using the methods of modern information technology Data Mining.

Раніше в сфері обробки знань застосовувалась прикладна статистика. Вона оцінювала, перевіряла гіпотези, але давала грубі і усереднені результати. Завдяки технічному прогресу люди почали зберігати величезні обсяги інформації, яка була різнорідна, і яку треба було обробляти. Прикладна статистика не справлялась зі своїми задачами в повній мірі. Стало зрозуміло, що необхідна нова технологія обробки даних, яка зможе забезпечити глибинний аналіз і дати точніші результати. Оператор телекомунікацій більше не може вирішувати завдання, застосовуючи статистику. Необхідно структурувати великі обсяги даних і витягувати з них корисну інформацію для того, щоб:

- успішно проаналізувати ці дані в майбутньому
- спроектувати бази нечітких знань за допомогою нечіткої логіки
- візуалізувати ці дані для легкого сприйняття людиною

Метою даної роботи є виявлення особливостей існуючих математичних методів Data Mining, що використовуються операторами телекомунікацій для вирішення проблем, що виникають внаслідок нових інформаційних технологій, таких як IoT, M2M та інші. Більш докладно розглянемо метод обробки великих даних - Data Mining.

На сьогоднішній день рішення Data Mining широко застосовуються операторами телекомунікацій, операторами мережі та Інтернет-провайдерами, з метою поліпшення обробки неструктурованих великих обсягів даних для прийняття більш вдалих рішень у своєму бізнесі. Аналітика дозволяє провайдерам телекомунікацій значно підвищити економічну ефективність у сфері надання послуг.

DataMining - це інтелектуальний аналіз даних. Це технологія, яка допомагає виявляти приховані зв'язки в базах даних дуже великих розмірів [1].

Метою DataMining є знаходження таких моделей, які не можу бути знайдені звичайними методами. Існує два види моделей: передбачувані і описові.

Передбачувані моделі: позиціонуються на наборі даних з відомими результатами. І використовуються для передбачення результатів на підставі інших наборів даних. Це моделі класифікації (описують правила, за якими можна віднести опис об'єкта до одного з класів) і моделі послідовностей (вони

описують функції, за якими можна прогнозувати зміну безперервних числових параметрів).

Описові моделі: вони приділяють особливу увагу суті залежностей в наборі даних, взаємного впливу різних чинників, побудови емпіричних моделей. Є легкими для сприйняття людиною [5].

Типи закономірностей, які може знайти технологія DataMining:

- Асоціація - застосовується, коли кілька подій пов'язані між собою. Наприклад, трапляється, що абонент перестає користуватися телекомунікаційними послугами оператора, оскільки вся його родина користується послугами іншої телекомунікаційної компанії. Таким чином, абонент починає користуватися телекомунікаційними послугами компанії, які використовує його сім'я.
- Класифікація - виявлення рис, які будуть характеризувати групу, до якої належить об'єкт, на основі навчання на вже класифікованих об'єктах.
- Кластеризація - відрізняється від класифікації тим, що групи заздалегідь не відомі і засоби DataMining самостійно виявляють різні однорідні групи даних.
- Послідовність - застосовується при існуванні ланцюжка подій, пов'язаних у часі.
- Прогнозування - створення або знаходження шаблонів, які будуть істинно показувати тенденцію поведінки необхідних показників по часових рядах. За допомогою них можна передбачити поведінку системи в майбутньому [2].

Сфери застосування технології інтелектуального аналізу даних обмежується виключно наявністю великої кількості інформації. Тому керівники і аналітики, ис пользующие дану технологію, можуть отримувати відчутні переваги в конкурентній боротьбі.

В телекомунікації дуже важливо виявляти категорій клієнтів зі схожими стереотипами використання послуг, як наслідок – йде розробка цінової політики; проведення аналізу відмов; передбачення пікових навантажень.

В силу того, що DataMining було розвинуто на стику багатьох областей, то можна привести класи і методи, які використовують цю технологію: нейронні мережі, дерева рішень, генетичні алгоритми, алгоритми обмеженого перебору, асоціативні правила, кластерний аналіз та інші [4].

Більш того, методи інтелектуального аналізу даних дозволяють ефективно вирішувати завдання структурного інженерного проектування інноваційних технічних систем в телекомунікаціях [3]. Дані методи мають багато спільного з методами вирішення проблем класифікації, діагностики та розпізнавання образів. Тим не менш, однією з їхніх головних відмінних ознак є функція інтерпретації закономірностей, що формують основні правила для включення об'єктів у класи еквівалентності. Тому логічні методи стають все більш поширеними сьогодні.

Розробка інтелектуальних методів обробки даних для телекомунікаційних компаній необхідна для:

- Зменшення обчислювальної складності методів обробки великих даних для надання послуг оператором абоненту з заданою якістю обслуговування;
- Передбачення ризиків, які можуть виникнути внаслідок роботи телекомунікаційної системи;
- Щоб мати можливість ідентифікувати несправності в системі та з'ясувати причину їх виникнення.

Деякі з існуючих алгоритмів можуть бути адаптовані для обчислення великих розподілених інформаційних масивів. У той же час серйозні труднощі можуть виникнути при візуальному поданні результатів - через величезну кількість інформації, що надходить на вхід, кількість різних звітів на виході різко зростає. Для їх зручного подання необхідні нові математичні методи, які принципово відрізняються від генераторів звітів, що використовуються для традиційного зберігання.

Висновок. У цьому огляді проаналізовано методи обробки великих даних, що стосуються оператора зв'язку. Існує багато проблем для вибору методів обробки даних:

- Проблема великих даних - потребують математичних методів для структурування даних і знань (у подальшій роботі пропонується використовувати онтологію).
- Проблема прогнозування - пропонується використовувати моделі бази знань і нечітку логіку.

Всі перераховані вище проблеми можна усунути шляхом розробки нових методів обробки великих даних, які: успішно аналізують ці дані, розробляють нечітку базу знань і візуалізують ці дані для легкого сприйняття людини.

Подальша робота полягає у вивченні методів структурування даних та проектування нечіткої бази знань для оператора зв'язку.

Література

1. Dr. Mehmet Ulema. (Professor of Computer Information Systems Manhattan College, Riverdale New York, USA) “Big Data and Telecommunications” [Electronic resource], 4th International Black Sea Conference on Communications and Networking, 2016.
2. Technologies of data analysis: DataMining, VisualMining, TextMining, OLAP training. allowance. 2 nd ed. / A. A. Barsegyan, M. S. Kupriyanov, V. V. Stepanenko, I. I. Kholod. SPb .: 2007. 59 p.
3. Educational-methodical complex on the discipline "Information Technologies" of the Institute of Economics and Management [Electronic resource]. URL: http://www.sergeeva-i.narod.ru/inform/page11.htm.
4. Chubukova I.A. Course DataMining [Electronic resource]. URL: http://www.intuit.ru/department / database / datamining /5. *Ильченко М.Е.* Электродинамика диэлектрических резонаторов / М.Е. Ильченко, А.А. Трубин. - К.: Наук. думка, 2004. — 264 с.
5. On the solution of the problem of the optimal choice of feeding parameters of a linear induction machine by a genetic algorithm with local search / S.S. Bezhitsky, E.A. Golovenko, V.A. Goremykin, M.V. Pervukhin // Bulletin of Siberian State University of Automation. 2010. Issue. 4. C. 23-27.

УДК 004.051

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕБ-СЕРВІСІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ БЕЗСЕРВЕРНИХ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Черешня В.Р., Курдеча В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: vitas.cherry@gmail.com

Evaluating the effectiveness of web services based on the serverless cloud computing technology

The basic metrics of the web services effectiveness are summarized. The results of the selection of criteria that are suitable for web services based on the serverless cloud computing technology are presented.

Безсерверні обчислення, або просто Serverless, є гарячою темою у світі архітектури програмного забезпечення. «Велика трійка» вендорів – Amazon, Google і Microsoft – активно інвестують у безсерверні технології та вдосконалюють свої платформи для розробників [1].

Попри безліч плюсів в використанні безсерверних обчислень, як і в традиційних веб-сервісах в них існують слабкі місця. Щоб ідентифікувати ці слабкі місця потрібно вміти правильно оцінити ефективність веб-сервісу.

Коли йдеться про високу ефективність (або продуктивність) веб-сервісу, може бути задіяно один або декілька таких факторів:

- Короткий час відгуку для даної частини роботи.
- Низьке використання обчислювального ресурсу.
- Висока доступність веб-сервісу (англ. High availability).
- Швидке (або дуже компактне) стиснення і декомпресія даних.

Метрики (показники які можна виміряти) ефективності веб-сервісів включають: затримка, доступність, коефіцієнт стиснення, швидкість обробки, масштабованість, час відгуку тощо.

Затримка. Проявляється у двох випадках – при передачі та обробці данних веб-сервісом. Затримка передачі даних (англ. Round-trip delay time, також відомий як час пінгування) залежить тільки від швидкості та надійності інтернет-з’єднання. Під затримкою обробки запиту веб-сервісом мається на увазі як довго запит повинен чекати в черзі перед тим як його передадуть на виконання.

Доступність. Суть властивості полягає в тому, що потрібний інформаційний ресурс знаходиться у вигляді, необхідному користувачеві, в місці, необхідному користувачеві, і в той час, коли він йому необхідний. Простіше кажучи, доступність – це частка часу, коли веб-сервіс перебуває у стані функціонування.

Коефіцієнт стиснення. Коефіцієнт стиснення характеризує ступінь стиснення та в загальному випадку дорівнює відношенню обсягу пам'яті, необхідної для зберігання вихідної (результуючої) послідовності даних, до

обсягу памяті вхідної послідовності даних. Тому чим менше значення коефіцієнта стиснення, тим ефективніший метод стиснення.

Стиснення відбувається на трьох різних рівнях:

- спочатку деякі формати файлів стискаються за допомогою конкретних оптимізованих методів,
- тоді загальне шифрування може відбуватися на рівні HTTP (ресурс передається стиснутим від одного кінця до іншого),
- і, нарешті, стиснення може бути визначене на рівні з'єднання між двома вузлами HTTP-з'єднання.

Швидкість обробки (FLOPS). Дана величина визначається шляхом запуску на обчислювальній машині тестової програми, яка вирішує задачу з відомою кількістю операцій та підраховує час, за який вона була вирішена.

Масштабованість. Коли мова йде про веб-сервіси, ця властивість означає, наскільки швидко та легко веб-сервіс може розширитись для задоволення великого обсягу користувачів. Масштабованість може бути по вертикалі – перейти на більш потужний сервер, або по горизонталі – додати більше серверів. Проектування горизонтальної масштабованості більш бажано, якщо планується підтримка великої кількості користувачів. В такому випадку механізм балансування навантаження (англ. Load balancing) використовується для розподілу запитів над набором серверів.

Час відгуку. В загальному випадку, час відгуку – це сума трьох чисел:

- Часу обслуговування – скільки часу потрібно щоб виконати роботу.
- Часу очікування – як довго запит повинен чекати в черзі.
- Часу передачі – скільки часу потрібно щоб доставити запит до веб-сервісу та відповідь назад користувачу по мережі.

Вимірювання часу обслуговування веб-сервіса зображено на рис. 1.

Рис. 1. Вимірювання часу обслуговування веб-сервіса.

Вибір метрик.

Коли мова йде за сумісність метрик з веб-сервісами, то мається на увазі що, деякі з них можуть бути не корисними через особливості реалізації безсерверної архітектури. Вибір критеріїв, що мають найбільший вплив на задоволеність кінцевого споживача інформаційного ресурсу наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Сумісність різних метрик ефективності з веб-сервісами за технологією безсерверних хмарних обчислень.

Назва критерію	**Сумісність**	**Пояснення**
Доступність	Ні	Хмарні технології гарантують високу надійність, захищеність та доступність прямо «з коробки» [2].
Масштабованість	Ні	Через особливість реалізації безсерверної архітектури (один запит – один вільний екземпляр веб-сервісу) маштабування по горизонталі виконується автоматично.
Швидкість обробки	Ні	Через особливість реалізації безсерверної архітектури за однакових тестових умов результати замірів швидкості обробки не мають відрізнятися.
Затримка	Ні	У випадку затримки передачі даних проблема вирішується автоматичним додованням екземпляра веб-сервіса у потрібний регіон чи зону доступу – для зменшення затримки через відстань, помилки передачі і обмежень пропускної здатності. А через особливість реалізації безсерверної архітектури (кожен запит обслуговується окремим вільним екземпляром веб-сервісу) затримки обробки взагалі не буде.
Коефіцієнт стиснення	Ні	З експертної точки зору приріст у продуктивності при ефективному стисненні даних буде мізерним у порівнянні з головною проблемою – затримкою при ініціалізації нового екземпляра веб-сервіса для нового запиту, якщо всі інші екземпляри вже зайняті.
Час відгуку	Так	Ігноруючи час передачі (вважаємо з'єднання дуже швидким і надійним), час відгуку – це сума часу обслуговування і часу очікування. Так як кожний запит обслуговується тільки одиним вільним інстансом сервісу то і часом очікування можна знехтувати. В результаті маємо: час відгуку дорівнює часу обслуговування.

У результаті, щоб оцінити ефективність веб-сервісу потрібно виміряти час обслуговування (подібні метрики надаються платформою вендора [2]), який залежить від часу ініціалізації середовища та часу виконання коду. Час виконання можна покращити, замінивши код на більш швидкодіючий, а от час ініціалізації – тільки розробивши метод «розігрівання» [3] веб-сервіса.

Література

1. D. Smith, L. Leong, R. Bala, Magic Quadrant for Cloud Infrastructure as a Service, Worldwide / Gartner, 2018.
2. Serverless Architectures. AWS Lambda and Fn Project / F. Munz // presented at Devoxx, Casablanca, Morocco, 2017.
3. Become a Serverless Black Belt: Optimizing Your Serverless Applications – SRV401 / presented at AWS re:Invent, Las Vegas, USA, 2017.

УДК 681.513

СТРУКТУРНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В КЛАССЕ БИНАРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Зайченко Ю.П., Васильев В.И., Вишталь Д.М., Любашенко Н.Д.
НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского»
E-mail: d.vishtal@kpi.ua

Structural decomposition of communication networks in the class of binary stochastic models

Questions of decomposition of networks of big dimension with complex structural organization are considered. Characteristics of quality and efficiency of functioning of a network depend on structure of a network and weight parameters of elements.

Для сетей со сложной структурной организацией, состоящей из многих элементов, отказ отдельных элементов, в силу структурной избыточности, необязательно приводит к отказу в предоставлении сетевой услуги. Для оценки качества и эффективности функционирования коммуникационных сетей 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 $\varphi(x_1(t)\ldots x_n(t))$ – структурная функция, соответствующая некоторому виду сетевой услуги. Функция $x_i(t)$ (i=1,…,n) равна 1, если в момент t *i*-й элемент доступен для выполнения сетевой услуги и равна 0 – в противном случае. Функция φ(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].
3) Вектор состояния элементов однозначно определяет состояние доступности (недоступности) сетевой услуги.
4) Пространство состояний элементов рассматривается как булева векторная решетка [4].
5) В качестве критериального пространства сети рассматривается множество всех изотонных отображений булевой векторной решетки в множество B_2 [5].
6) Существует $\lim\limits_{t\to\infty} P\{x_i(t)=1\} = \dfrac{M\theta_i}{M\theta_i + M\xi_i} = P_i$, где $M\theta_i$, $M\xi_i$ - средние стационарные интервалы доступности (недоступности) i-го элемента для выполнения сетевой услуги.

Условия независимости функционирования элементов и существования вероятностей $P_i, i=1,...,n$ определяют существование и единственность вероятностной меры на булевой алгебре всех подмножеств булевой векторной решетки.

В этих условиях требуется оценить точно или приближенно следующие сетевые характеристики:

$h_\varphi(P_1,...,P_n)$ – 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 трудно вычислимость сетевых характеристик. Можно поднять порог вычислимости, используя декомпозицию структурной функции, свойство дуальных автоморфизмов булевой алгебры и алгоритмы представления структурной функции в ортогональной бесповторной форме. Декомпозиция структурной функции позволяет осуществить структурно-фазовое укрупнение состояний сети [6].

Детерминированные свойства структурных функций определяются следующими тождествами:

$$\bigvee_{\{\alpha_i\}\in I}\Big(\bigwedge_{k_i\in\{\alpha_i\}} x_{k_i}\Big) = \varphi(x_1,\ldots,x_n) = \bigwedge_{\{\beta_j\}\in J}\Big(\bigvee_{r_j\in\{\beta_j\}} x_{r_j}\Big) \qquad (1)$$

$$\bigvee_{\{\beta_j\}\in J}\Big(\bigwedge_{r_j\in\{\beta_j\}} x_{r_j}\Big) = \varphi^*(x_1,\ldots,x_n) = \bigwedge_{\{\alpha_i\}\in I}\Big(\bigvee_{k_i\in\{\alpha_i\}} x_{k_i}\Big) \qquad (2)$$

$$\bigvee_{\{\beta_j\}\in J}\Big(\bigwedge_{r_j\in\{\beta_j\}} \overline{x}_{r_j}\Big) = \overline{\varphi}(x_1,\ldots,x_n) = \bigwedge_{\{\alpha_i\}\in I}\Big(\bigvee_{k_i\in\{\alpha_i\}} \overline{x}_{k_i}\Big) \qquad (3)$$

$$\bigvee_{\{\alpha_i\}\in I}\Big(\bigwedge_{k_i\in\{\alpha_i\}} \overline{x}_{k_i}\Big) = \overline{\varphi^*}(x_1,\ldots,x_n) = \bigwedge_{\{\beta_j\}\in J}\Big(\bigvee_{r_j\in\{\beta_j\}} \overline{x}_{r_j}\Big) \qquad (4)$$

где $\bigwedge_{k_i\in\{\alpha_i\}} x_{k_i} = \alpha_i(x)$ – i-я простая импликанта функции $\varphi(x)$,

$\{\alpha_i\}$ - набор индексов существенных переменных i-ой импликанты,

$\bigwedge_{r_j \in \{\beta_j\}} x_{r_j} = \beta_j(x)$ – j-я простая импликанта $\varphi^*(x)$,

$\{\beta_j\}$ - набор индексов существенных переменных j-ой импликанты,

$\bigvee_{k_i \in \{\alpha_i\}} x_{k_i} = \alpha_i^*(x)$ – двойственная по отношению к $\alpha_i(x)$ функция,

$\bigvee_{r_j \in \{\beta_j\}} x_{r_j} = \beta_j^*(x)$ - 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 $I=\{\{\alpha_i\}\}_{i=1}^{|I|}$ и $J=\{\{\beta_j\}\}_{j=1}^{|J|}$ образуют два двойственных семейства минимальных трансверсалей.

3) Знание $M\theta_i$, $M\xi_i$, 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 декомпозиции структурной функции в ортогональной бесповторной форме. С этой целью используется разложение Шеннона и, при необходимости, обобщенные формулы Де Моргана. 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. К. Райншке, И. Ушаков. Оценка надежности систем с использованием графов.- М.: Радио и связь - 1988.- 208 стр.
4. Г. Биркгоф, Т. Барти. Современная прикладная алгебра.- М.: Мир - 1976.
5. Г. Биркгоф. Теория решеток - М.: Наука, 1984.
6. 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.

УДК 004.62

ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ-ПОСТАЧАЛЬНИКА ІНТЕРНЕТ-ПОСУЛГ

Попова М. А., Юшко Н. А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: pma1701@gmail.com, natalia.yushko@outlook.com

The functional model of internet provider company

The relevant of the work is that at the moment the problem of the correct construction of the data structure for the organization of any type is acute. Therefore, the functional model is one of the main models, which is a complex of informative and structural tasks with a high degree of information exchange relations between tasks. This means the tasks under a process of information processing with a clearly defined input and output data. So, the **main purpose** of this work is to create a functional structure for the organization of the Internet service provider, and to simulate the main processes for this organization.

Актуальність роботи полягає у тому, що на даний момент гостро стоїть проблема правильної побудови інформаційної системи управління організацією будь-якого типу. Тому функціональна модель є однією з основних моделей, що являє собою комплекс інформаційних та структурних складових, що виконують завдання, з високим ступенем інформаційного обміну між ними. При цьому під завданнями розуміється певний процес обробки чітко визначених вхідних та вихідних даних. Виходячи з цього, **метою роботи** є створення функціональної структури для організації-постачальника інтернет-послуг та моделювання основних процесів в ній.

Функціональна модель інформаційної системи (ІС) представляє собою комплекс різнотипних завдань з високим ступенем інформаційних обмінів (зв’язків) між завданнями. При цьому під завданням розуміється певний процес обробки інформації, що надходить у вигляді заявок на обслуговування чи підключення, повідомлень про облік наявного обладнання, витрати матеріалів, оформлення замовлення на закупівлю тощо. Склад функціональних підсистем багато в чому визначається особливостями інформаційної системи організації, її галузевої приналежності, форми власності, розміру, характеру діяльності. В даній роботі будемо розглядати функціональну систему організації-постачальника інтернет-послуг (провайдера).

Функціональна модель описує реалізацію обчислень в системі. Вона показує яким чином вхідні дані перетворюються на вихідні, не розглядаючи порядок та спосіб реалізації обчислень. Функціональна модель складається з набору онтографічних описів функцій системи, які відображають потоки значень від зовнішніх надходжень через операції об’єктної моделі, та дій динамічної моделі, а також обмеження на об’єктну модель.

Однією з функціональних моделей є IDEFo. Метод SADT (IDEF0) (Structured Analysis and Design Technique) вважається класичним методом процесного підходу до управління. Основний принцип процесного підходу полягає в структуруванні діяльності організації відповідно до її бізнес-процесів, а не організаційно-штатною структурою.

Результатом застосування методу SADT є модель, яка складається з глосарію та контекстів описів функцій, пов'язаних семантично, у вигляді онтографів. Онтографи - головні компоненти моделі, всі функції організації і інтерфейси на них представлені як блоки і дуги (шлюзи) відповідно. Місце з'єднання шлюзу з блоком визначає тип інтерфейсу. Керуюча інформація входить в блок зверху, в той час як вхідні дані, що піддаються обробці, показані з лівого боку блоку, а результати (вихід) показані з правого боку. Механізм (людина або автоматизована система), який здійснює операцію, представляється дугою, що входить в блок знизу (Рис. 1).

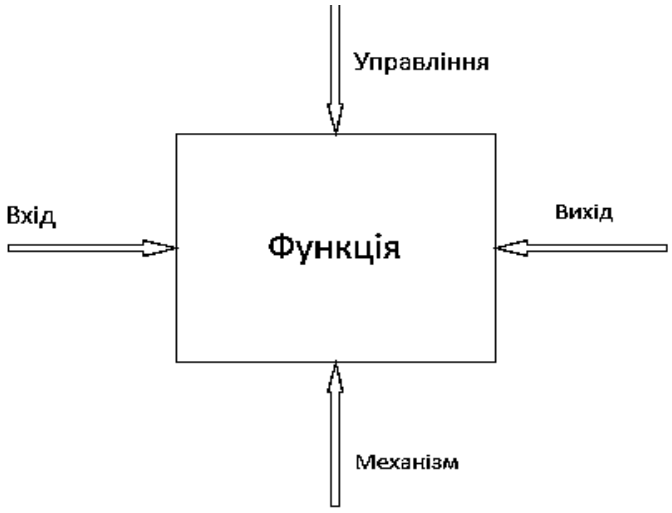


Рис. 1. Структура функції в IDEFo.

Для того, щоб побудувати функціональну модель для організації-постачальника інтернет-послуг виділимо основні типи провайдерів: провайдери доступу, хостинги, магістральні провайдери, канальні. У кожного з них є спільні бізнес-процеси, які мають відображатися у функціональній моделі. Тому аналітичний опис існуючих бізнес-процесів організації, вхідні та вихідні потоки інформації, а також механізми за допомогою яких відбувається управління даними потоками зображені у Таблиці 1.

Після того як контекст описаний, проводиться побудова онтографів в ієрархії (Рис. 2). Кожен наступний блок онтографа є більш докладним описом (декомпозицією) однієї з робіт на попередньому онтографі. Приклад декомпозиції контекстної роботи показаний на Рисунку 3. Для організації-провайдера вхідною інформацією буде заявка клієнта на підключення.

Отже, декомпозуючи кожен з бізнес-процесів (заявку клієнта, монтажні роботи, технічне обслуговування, та занесення інформації до СД) можна отримати детальну функціональну модель процесів, яка буде описувати головні взаємозв'язки між об'єктами, процесами та залежною до них інформацією.

Таким чином, проаналізувавши даний підхід можна зробити **висновок,** що функціональне моделювання дозволяє виконати детальний аналіз роботи системи, її функціонально-вартісний аналіз, розглянути і проаналізувати напрямки удосконалення інформаційних можливостей системи, а також визначити участки можливої автоматизації системи. Якщо розглядати тільки технічні системи, то дана модель дозволяє вирішити проблеми раціонального проектування складних технічних систем, зробити їх більш дешевими, простими, функціонально спрямованими.

Таблиця 1. Аналітичний опис бізнес-процесів організації .

Вхідна інформація	Вихідна інформація	Управління	Механізм
Обробка заявки клієнта			
Заявка клієнта	Інформація про операційні витрати, час обробки заявки, інформація про продуктивність обробки заявок, час реагування на претензії, замовлення, договір, чек/квитанція	Статут організації	Персонал
Монтажні роботи			
Замовлення	Інформація про операційні витрати, терміни проведення технічних робіт, час реагування на претензії, інформація про оплату.	Статут організації, ліцензія організації	Персонал, технічні засоби
Занесення інформації до СД (Сховище Даних)			
Інформація про операційні витрати, терміни проведення технічних робіт, інформація про зростання продуктивності праці, час реагування на претензії, час впровадження нових технологій, час обробки заявки клієнта.		Статут організації	Персонал, технічні засоби.
Технічне обслуговування			
Інформація про оплату	Час впровадження нових технологій, інформація про зростання продуктивності праці, час ліквідації несправностей, інформація про операційні витрати, надання послуг	Ліцензія організації, статут організації	Персонал, технічні засоби

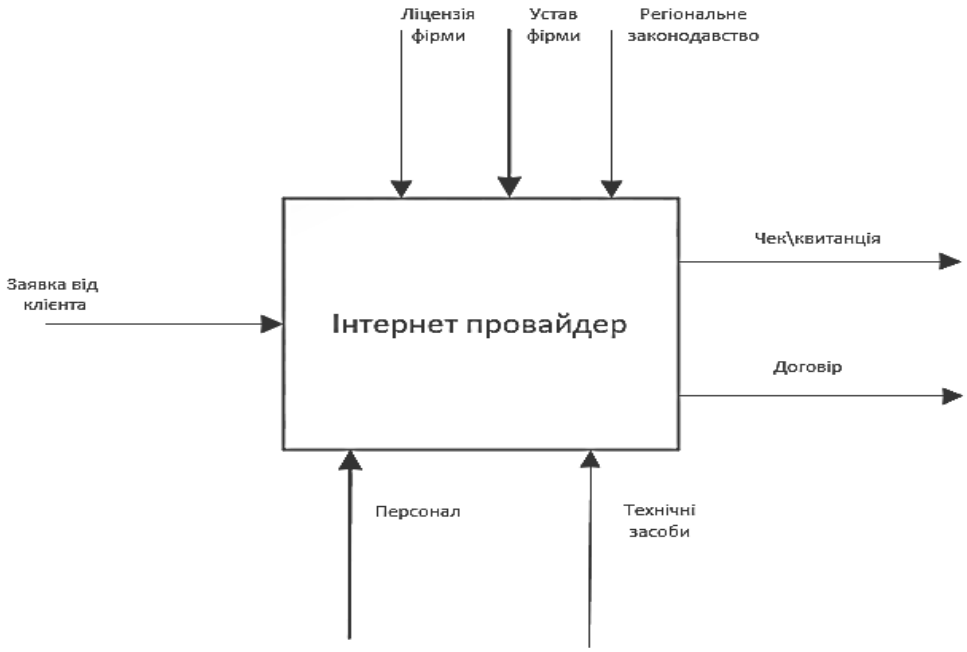


Рис. 2. Первинний блок онтографа для інтернет-провайдера в IDEF0.

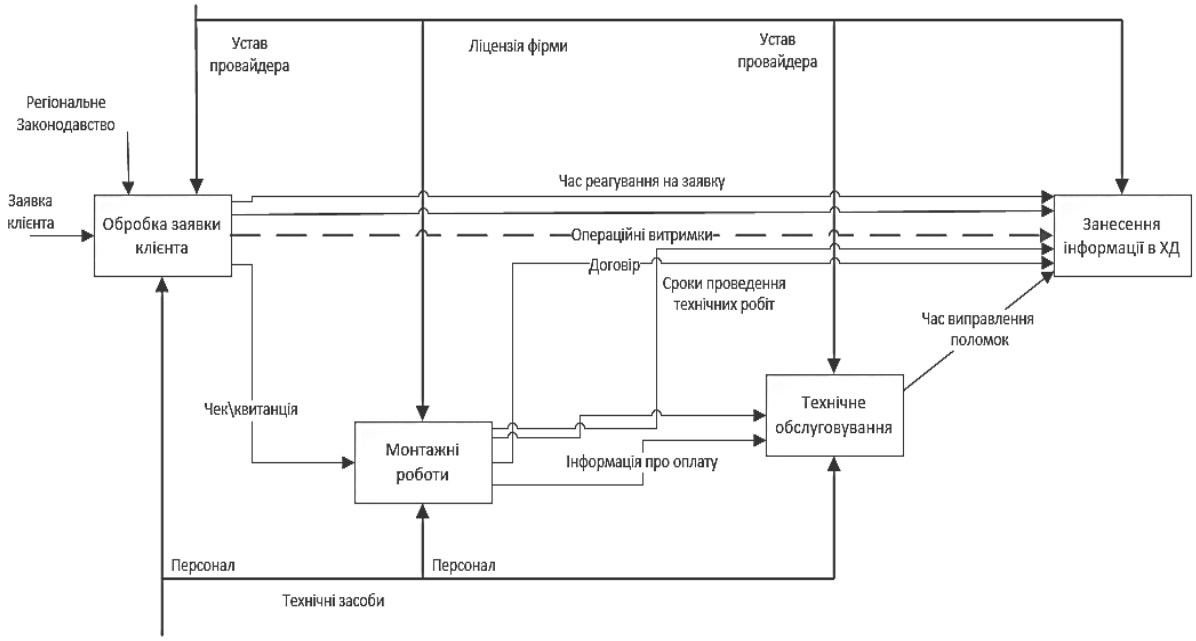


Рис. 3. Декомпозиція контекстної діаграми «Інтернет-провайдер» в IDEF0.

Література

1. IEEE Std 1209-1992. IEEE Recommended Practice for the Evaluation and Selection of CASE Tools.
2. Сорока К.О. Основи теорії систем та системного аналізу: Методичні вказівки до виконання практичних та лабораторних робіт з курсу. – Харків : ХДАМГ, 2000. – 46 с.
3. Guidelines for Implementing the ISO 19100 Geographic Information Quality Standards in National Mapping and Cadastral Agencies. EuroGeographics Expert Group on Quality. Edited by Antti Jakobsson, Jørgen Giversen. – EuroGeographics. – 2007. – 68 p.

УДК 004.93

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПОВТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДЕЙ В ПРИМІЩЕННІ

Остапенко М.С., Штогріна О.С.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: mak7.ostapenko@gmail.com

Approach for building an indoor person re-identification system

In this paper, we propose the whole pipeline of person re-identification system. Re-identification problem is one of the oldest problems in computer vision. The main contributions of the paper first are describing challenges during building and adjusting system and second is the approach for choosing the main parts of re-identification pipeline based on research and production experience.

В останні роки спостерігається підвищена зацікавленість до систем повторної ідентифікації в області безпеки та персоналізації послуг різними установами. Для забезпечення безпеки найбільш широко використовуються системи ідентифікації на основі електромагнітних перепусток. Їх недоліки це відсутність гарантії того що перепустка не попаде до сторонніх осіб та не буде підроблена. Для покращення надання персоналізованих послуг використовуються картки лояльності. Проблема пов’язана із картами лояльності - складність їх поширення. Тому для вирішення задачі повторної ідентифікації зростає зацікавленість в системах, які базуються на комп’ютерному зорі.

В даній роботі було взято за мету проаналізувати складові для системи комп’ютерного зору повторної ідентифікації (СКЗПІ), описати основні проблеми при їх побудові та описати розроблену СКЗПІ.

СКЗПІ приймають на вхід відеопотік з камер відеоспостереження, а видають аналітику пов’язану із людьми, які були в кадрі. Переваги таких систем перед іншими: можливість до масштабування, практично повна автономність системи, ліквідація витрат на поширення електронних перепусток та їх підтримку. Зовнішні фактори, що впливають на якість і складність СКЗПІ:

1) потужність обчислювальних ресурсів для аналізу відеопотоку;
2)положення камери в просторі по відношенню до цільових об’єктів;
3) роздільна здатність камери та швидкість зйомки;
4) наявність світло відбиваючих поверхонь;
5) умови освітленості в приміщенні.

Основна ідея СКЗПІ полягає в описанні унікальної людини унікальним вектором-дескриптором і прийняття рішення ідентифікації порівнюючи дескриптори. В загальному СКЗПІ складається із наступних частин: детектор, модель відстеження або кластеризації, модель отримання

дескрипторів об’єкта, модель пошуку в базі даних (БД) та модель прийняття рішення авторизації.

Базовим детектором лиць та його ключових точок є MTCNN [1]. Під час роботи із MTCNN були виявлені його недоліки: багато негативних детекцій, та недостатня швидкість для систем реального часу, тому що в його основі лежать три послідовні нейронні мережі (НМ). Детектор SSD [2] за рахунок базової НМ та ієрархічної структури прийняття рішення є швидшим та точніший за MTCNN, але не має блоку знаходження ключових точок лиця. Архітектура детектора YOLO [3] схожа на SSD, за виключенням відсутності ієрархічного прийняття рішення. YOLO більш швидкий за SSD, але програє йому по точності детекції.

Відомим алгоритмом відслідковування об’єктів є KLT Tracker [4]. Із-за того що після ініціалізації об’єктів KLT Tracker намагається працювати паралельно із детектором, то його слід використовувати при великій кількості негативних спрацювань детектора. Більш простішим та швидким є IoU Tracker [5]. Його доцільно використовувати при швидкому та точному детекторі.

В якості базової моделі отримання дескрипторів рекомендовано обирати згорткові НМ [6] типу ResNet [7] переднавчені на наборі даних ImageNet на 1200 класів. Необхідно, щоб дескриптори, які належать до одного класу були сконцентровані із малою дисперсією в певній області гіперпростору, а дескриптори, які належать до різних класів, мали достатньо велику дисперсію в гіперпросторі, щоб їх можна було розділити гіперплощиною для класифікаї. L2-constrained Softmax Loss [8] - стандартна функція помилок для класифікації, але вона не забезпечує попередньо висунутих умов. Center Loss [9] дозволяє згуртувати всі дескриптори одного класу в певній частині гіперсфери. Triplet Loss [10] дозволяє відділити між собою дескриптори різних класів.

В якості моделі пошуку схожих дескрипторів найбільш простою є k-Nearest Neighbors [11]. Його основний недолік - швидкість пошуку у великих БД. Для прискорення пошуку можна використовувати кластеризацію або індексацію дескрипторів. Один із найефективніших наближених алгоритмів пошуку є Faiss [12]. Важлива перевагою Faiss є можливість паралельного пошуку та виконання на графічних процесорах.

Для порівняння дескрипторів та прийняття рішення ідентифікації зазвичай використовують порогове порівняння дескрипторів, моделі бінарної класифікації та поєднання різних моделей в ансамблі.

В запропонованому підході СКЗПІ на основі проведеного аналізу були вибрані основні частини. Для детекції лиць обраний SSD. Використовуючи техніки одночасного навчання НМ [13], до SSD був доданий блок детекції ключових точок лиця. Для відслідковування об’єктів між кадрами був обраний IoU Tracker, оскільки детектор є досить точним.

В якості базової моделі отримання дескрипторів була обрана НМ ResNet18. Кількість нейронів в передостанньому повнозв’язному шарі НМ була вибрана 512, оскільки 128 і 256 під час експериментів виявились не

достатніми, а більше 512 нейронів не призвели до значного зростання якості. Далі НМ була натренована на класифікацію людських лиць використовуючи набір даних WIDER FACE [14]. Під час навчання в якості метрики помилок використовувалась зважена сума L2-constrained Softmax Loss, Center Loss та Triplet Loss.

Для швидкого пошуку схожих дескрипторів в БД був обраний Faiss. Далі для прийняття рішення авторизації був розроблений ансамбль методів. Методи, що входять в ансамбль прийняття рішень: попарне порогове порівняння дескрипторів, CatBoost [15] поверх категоризованих дескрипторів.

Запропонований підхід дозволяє побудувати СКЗПІ з можливістю подальшого використання в реальному світі. Подальша робота над описаною СКЗПІ буде полягати в продовженні експериментів з моделями розпізнавання лиць та пошуку по БД підвищенню їх якості та швидкості роботи.

Література

1. Kaipeng Zhang, Zhanpeng Zhang, Zhifeng Li, Yu Qiao “Joint Face Detection and Alignment using Multi-task Cascaded Convolutional Networks”. arXiv:1604.02878, 2016.
2. Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg “SSD: Single Shot MultiBox Detector”. arXiv:1512.02325, 2016.
3. Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”. arXiv:1506.02640, 2015.
4. Carlo Tomasi and Takeo Kanade. Detection and Tracking of Point Features. Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, April 1991.
5. E. Bochinski, V. Eiselein, T. Sikora. High-Speed Tracking-by-Detection Without Using Image Information. In International Workshop on Traffic and Street Surveillance for Safety and Security at IEEE AVSS 2017, 2017.
6. A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. Hinton ”Imagenet classification with deep convolutional neural networks”. InNIPS, 2012.
7. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun “Deep Residual Learning for Image Recognition”. arXiv:1512.03385, 2015.
8. Rajeev Ranjan, Carlos D. Castillo, Rama Chellappa “L2-constrained Softmax Loss for Discriminative Face Verification”. arXiv:1703.09507, 2017.
9. Yandong Wen, Kaipeng Zhang, Zhifeng Li and Yu Qiao. A Discriminative Feature Learning Approach for Deep Face Recognition. The Chinese University of Hong Kong, Sha Tin, Hong Kong, 2016.
10. Florian Schroff, Dmitry Kalenichenko, James Philbin “FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering”. arXiv:1503.03832, 2015.
11. Cover TM, Hart PE (1967). Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory. 13 (1): 21–27.
12. Johnson, Jeff and Douze, Matthijs and J'egou, Herv'e “Billion-scale similarity search with GPUs”. arXiv:1702.08734, 2017.
13. Sebastian Ruder “An Overview of Multi-Task Learning in Deep Neural Networks”. arXiv:1706.05098, 2017.
14. Yang, Shuo and Luo, Ping and Loy, Chen Change and Tang, Xiaoou. WIDER FACE: A Face Detection Benchmark. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
15. Anna Veronika Dorogush, Vasily Ershov, Andrey Gulin "CatBoost: gradient boosting with categorical features support". Workshop on ML Systems at NIPS 2017.

УДК 004.72:621.39

СИСТЕМА ВІДСТЕЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОМП'ЮТЕРА ТА БІБЛІОТЕКИ OPENCV

Могильний С.Б., Миніч М.А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: isearch@ukr.net, marinka43753@gmail.com

Monitoring system for moving objects using Raspberry PI and library OpenCV

The system under consideration allows you to process data on a client device and only transfer useful information to the user. An analysis of the algorithms belonging to the OpenCV library used to track objects using the Raspberry PI.

Розглянута система дозволяє обробляти дані на клієнтському пристрої і лише передавати корисну інформацію користувачеві. Аналіз алгоритмів, що належать бібліотеці OpenCV для відстеження об'єктів за допомогою Raspberry PI.

Сьогоднішній попит на використання пристроїв, пов'язаних між собою мережею, спровокував появу такого поняття як Інтернет речей (IoT – Internet of Things). Можливість віддалено керувати пристроями приваблює, адже така технологія дає змогу раціонально використовувати свій час та контролювати процеси. Наприклад, в розумному будинку керувати кліматом, побутовими пристроями, освітленням та безпекою приміщень.

Уся система IoT потребує передачі даних, як невеликих об'ємів (температура, вологість, загазованість), так і достатньо великих, таких як зображення у системах відео спостереження. Передача відеопотоку або кадрів вимагає різкого збільшення пропускної здатності каналів передачі даних. Хоча часто більшість кадрів не містить корисну інформацію для кінцевого користувача. Тому, щоб уникнути надмірного завантаження каналів передачі даних, пропонується виконанувати попередню обробку зображення на клієнтському пристрої. В даному випадку, клієнтський пристрій – це система з вбудованим мікрокомп'ютером. До мікрокомп'ютера приєднана відеокамера, що захоплює (формує) зображення в той момент, коли об'єкт знаходиться близько до центру кадру і, повертаючись, надалі відстежує місцеположення рухливого об'єкту, тримаючи його в центрі кадру. Такий підхід дозволяє отримувати зображення з максимально корисною інформацією про об'єкт і відповідно, зменшується кількість кадрів для передачі через каналу зв'язку.

Табл. 1 Порівняльна характеристика алгоритмів стеження в бібліотеці OpenCv

Назва алгоритму	***Опис***	***Переваги***	***Недоліки***
Boosting	На основі онлайн версії AdaBoost. Класифікатор навчається на позитивних та негативних прикладах, проте не враховує суміжні області, а вважає їх фоном.	Відстеження у реальному часі.	Продуктивність середня, не надійний в моменти втрати об'єкту.
MIL	Поточне місце розташування об'єкта та зона навколо нього сприймаються, як колекція позитивних прикладів, тому є вірогідність, що принаймні одне зображення з колекції буде відцентровано.	Відновлюється під час часткового перекривання.	Не надійний при повідомленні помилки відстеження, не відновлюється після повного перекривання.
KCF	Поєднано властивості MIL та Boosting, використовується перетворення Фур'є, щоб підраховувати відгук за одну згортку.	Точність і швидкість краще ніж у MIL та Boosting	Не відновлюється під час повного перекривання.
TLD	Трекер слідкує за об'єктом від кадру до кадру. Детектор локалізує всі зовнішності об'єкта, і у разі необхідності коригує трекер.	Працює зі змінами в масштабі та за перекриванням на багатьох кадрах.	Не працює у випадку повного обертання поза площиною.
MEDIANFLOW	Відстежує об'єкт як в прямому, так і в зворотньому напрямках і часі та вимірює розбіжності між цими двома траєкторіями.	Звітує про відсутність відстеження. Переважно для об'єктів, що не перекриваються.	Непридатний для відстеження тривалого руху
GOTURN	Базується на нейромережі	Надійний при зміні освітлення та деформації об'єкта	Додатково необхідно завантажувати модель Caffe та proto.txt
MOSSE	Використовує адаптивну кореляцію для відстеження об'єктів, яка виробляє стабільні кореляційні фільтри при ініціалізації за допомогою одного кадру.	Надійних при змінах в освітленні, масштабі, позі та нежорстких деформаціях. Виявляє перекриття.	В масштабах продуктивності поступається трекерам deep learning.
CSRT	Використання карти просторової надійності для налаштування підтримки фільтра на частину вибраної області кадра для відстеження	Точність у відстеженні, поліпшене відстеження непрямокутних областей.	Порівняно з іншими трекерами працює з меншою кількістю кадрів в секунду (25fps)

Одним із важливих етапів створення системи відстеження є вибір алгоритму для стеження за об’єктом в кадрі. Бібліотека з відкритим кодом OpenCV (Open Source Computer Vision) спеціально розроблена для обробки зображень, комп’ютерного зору та алгоритмів загального призначення. Для задачі утримування об’єкта при його частковому перекриванні та стеженні за об’єктом у реальному часі доцільно використовувати саме цю бібліотеку. Так як існує не один алгоритм, а їх набір, необхідно провести порівняльний аналіз та вибрати найбільш відповідний вимогам поставленої задачі.

Мета алгоритму стеження – знайти об’єкт в поточному кадрі, якщо відстеження об’єкту було успішним у попередніх кадрах. Оскільки, об’єкт відстежувався до поточного кадру, то відомі параметри моделі руху. Модель руху – це відомості про розташування та швидкість об’єкта у попередніх кадрах. Якщо нічого іншого про об’єкт невідомо, то на основі моделі руху можна передбачити його нове розташування.

Бібліотека OpenCV містить вісім алгоритмів, що використовуються для стеження за об’єктами: BOOSTING, MIL, KCF, TLD, MEDIANFLOW, GOTURN, MOSSE і CSRT.

Беручи до уваги наведені дані, можна зробити висновок, що ідеального алгоритму сьогодні не існує, тому потрібно чимось жертвувати. Для даної задачі підходить алгоритм TLD, так як він підтримує часткове перекривання об’єктів та здатний вносити корегування до трекера в залежності від умов та масштабу.

Література

1. Zdenek Kalal, Krystian Mikolajczyk, Jiri Matas: Tracking-Learning-Detection.
2. Satya Mallick: Object Tracking using OpenCV.
3. Z. Kalal, et. al, “P-N Learning: Bootstrapping Binary Classifiersby Structural Constraints,”CVPR, 2010.

УДК 621.391.3

ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ ЛОГІЧНИХ СТРУКТУР

Савчук З.Р., Бугаєнко Ю.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: savchukzahar33@gmail.com

Ways of visualization for complex logical structures

The article describes the method of visualization of graphs using a metagraph as a new method of graphical analysis for complex logical structures. This method can be an effective tool that will allow you to visualize the base of fuzzy knowledge, which causes the simplicity of their perception and the ability to clearly identify dependencies and anomalies.

У статті наводиться опис методу візуалізації графів за допомогою метаграфа, як нового методу графічного аналізу складних логічних структур. Даний спосіб може стати ефективним інструментом, який дозволить візуалізувати бази нечітких знань, що обумовлює простоту їх сприйняття та можливість наочно виявляти залежності та аномалії.

На сьогоднішній час візуалізація інформації зазнала широкого розповсюдження у багатьох сферах. Завдяки візуалізації ми можемо розкрити складну внутрішню структуру даних та логічних зав’язків між елементами, які неможливо відобразити в інший спосіб. Тому в кінці XX століття почав розвиватись самостійний напрям, як «Візуалізація графів та структур даних». Сучасні методи візуалізації графів дозволяють широко використовувати їх в задачах комунікацій, в системах обробки інформації для подальшої підтримки прийняття рішення, в системах нечіткого логічного виведення призначені для перетворення значень вхідних змінних у вихідні змінні на основі використання нечітких правил. Але не всі ці методи відповідають вимогам по швидкості проведення логічного виведення та аналізу на відповідність основним властивостям, виправлення помилок та неточностей.

Наприклад, за допомогою простого графа ми не можемо описати та візуалізувати логічні зв'язки взаємозв'язаних множин елементів та їх взаємодію з іншими групами елементів. У такому випадку даний метод генерації зображень графів і графових структур враховують критерії, які показують, яке зображення вважатиметься хорошим. Математичне подання цих критеріїв відображається у цільовій функції, що зв’язується з моделлю. Тому найкращим варіантом у вирішенні питання швидкого проведення нечіткого логічного виведення та аналізу запропоновано використання метаграфа.

Взявши для порівняння, найпростішими є алгоритми візуалізації графів малого розміру, засновані на фізичних аналогіях або силових алгоритмах. Вони інтуїтивні й придатні для побудови графів довільного виду. До цієї групи відносяться «пружинні алгоритми» [1, 2], алгоритми, що імітують дію сил гравітації [3] і магнітних сил, а також алгоритми, засновані на мінімізації енергії [4].

Експериментальні порівняння алгоритмів візуалізації графів розглянуті у роботах [5, 6]. Порівняння проводились для різноманітних типів графів, з кількістю вершин до ста тисяч. Також порівнювались результати зображення розріджених і сильно пов'язаних графів, сіткових графів, графів типу «зірка», графів з тривимірними координатами. Важливим параметром порівняння є кількість вершин, візуалізація якої не займає порівняно багато часу. Також на час візуалізації у свою чергу впливає і кількість ребер, але у меншій мірі. Методи візуалізації переважно не враховують напрям ребер графів для того щоб не збільшувати час роботи алгоритму, тому більшість методів не має механізмів для зображення орієнтованих графів. Методи для візуалізації графів великого розміру частіше не враховують і вимоги малої кількості перетинів ребер[7].

Існують такі ситуації коли для визначення стану системи неможливо використати метод статистичного аналізу, тому постає необхідність моделювання знання експертів. В даному випадку розробляються інтелектуальні системи, які базуються на базах знань. Необхідність використання якісних показників та нечітких понять для оцінки стану системи потребує використання бази нечітких знань, де міститься інформація про залежність між вхідними та вихідними змінними у вигляді правил «ЯКЩО-ТО» [7].

Найкращим засобом подання бази нечітких знань являється візуалізація графових структур, але на сьогоднішній день, ні один із приведених алгоритмів не використовував можливість її подання за допомогою метаграфа. Саме тому виникає доречність та актуальність створення автоматичної побудови даного засобу, який буде візуалізовувати складні логічні структури. Це дозволить наочно редагувати логічні структури, визначати та аналізувати її властивості, які важко виявити, використовуючи текстове або формальне подання. Часта зміна інформації у базі нечітких знань призводить до необхідності оновлення зображення метаграфа автоматично, оскільки це складно реалізувати вручну.

Метаграф – це направлений граф між наборами елементів, де кожен набір є вузлом і ребро в графі являє собою зв'язок між множинами.

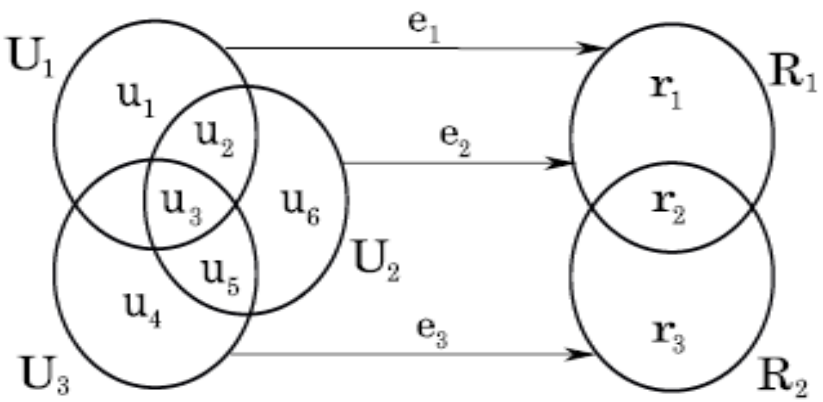


Рис.1. Приклад простого метаграфа.

Розглянемо переваги даного методу більш детально:

- Метаграфи дозволяють виразити залежності:
  - природно,
  - коротко,
  - без втрати інформації про групування,
  - підтримують математичні оператори для аналізу основних властивостей;
- Меташлях:
  - визначає досяжність між джерелом і цільовим вузлом,
  - являє собою набір ребер;
- Край домінування (edge-dominance):
  - визначає, чи меташлях має зайві ребра;
- Можна використовувати в:
  - системи підтримки прийняття рішень,
  - системи управління,
  - платформи мережевої конфігурації.

Висновки.

В даній статті було проведено аналіз методів та алгоритмів візуалізації графових структур, визначено їх основні переваги та недоліки. Було запропоновано використання візуалізації метаграфа, як нового методу графічного аналізу складних логічних структур. Даний спосіб дозволяє описати та візуалізувати логічні зв'язки взаємозв'язаних множин елементів та їх взаємодію з іншими групами елементів. Крім цього, в подальшій роботі це може стати ефективним інструментом, який дозволить візуалізувати бази нечітких знань, що обумовлює простоту їх сприйняття та можливість наочно виявляти залежності та аномалії.

Література

1. Eades P. A heuristic for graph drawing // Congressus Nutnerantiunt. 1984. N 42. – pp. 149 – 160.
2. Fruchterman T.M.J., Reingold E.M. Graph Drawing by Force-Directed Placement // Software-Practice and Experience. 1991. V. 21. N 11. – pp. 1129 – 1164.
3. Barnes J., Hut P. A hierarchical O(N log N) force-calculation algorithm // Nature. December 1986. V. 324. N 4. – pp. 446 – 449.
4. Kamada T., Kawai S. An algorithm for drawing general undirected graphs // Information Processing Letters. 1989. V. 31. – pp. 7 – 15.
5. Branderburg F. J., Himsolt M., Rohrer C. En Experimental Comparsion of Force-Directed and Randomized Graph Drawing Algorithms // Computational Geometry 7. 1997. Vol. 7. – pp. 303 – 325.
6. Hachul S., Jünger M. An Experimental Comparison of Fast Algorithms for Drawing General Large Graphs // LNCS, Springer. 2006. Vol. 3843. – pp. 235 - 250.
7. Штогріна О.С., «Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів», ст 35-48, Київ 2016.

УДК 621.391.3

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ IOT

Гребініченко М.В. Бугаєнко Ю.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Email: grebinichenko.maria@gmail.com

Cluster analysis for reducing load in IoT Networks

In this article is studying problem of proceeding big amount of data in IoT networks. One of the methods for resolving this problem is cluster analysis. The benefits of application of this method are presented and described.

Зі стрімким розвитком розумних систем Internet Of Things, які мають обробляти великі масиви даних, з’явилася необхідність оптимізації традиційної архітектури мережі для забезпечення передачі та обробки цих даних з якомога більшою ефективністю та використовуючи при цьому меншу полосу пропускання.

Інтернет Речей можна символічно представити у вигляді такої формули:

Інтернет Речей = Сенсори + Дані + Мережі + Послуги

У будь-якій системі Інтернету Речей чільне місце займає процес передачі даних від сенсорів, що збирають інформацію, до серверів, що здійснюють її подальшу обробку та зберігання. За короткий проміжок часу по мережі може передаватись величезна кількість даних, що викликає перевантаження, а відповідно й затримки, втрати інформації та інші проблемні ситуації.

Класичного статистичного аналізу даних вже не достатньо при роботі з великими обсягами даних. Необхідний механізм більш оптимального аналізу даних та відповідно потрібною є модифікація архітектури мережі Інтернету Речей для забезпечення більш ефективної роботи з даними, а саме блоків передачі та обробки даних.

Блок обробки даних повинен мати невисоку обчислювану складність, і при тому дозволяти розподіляти їх. Одночасно блок передачі даних має передавати ці дані до інших компонентів системи згідно певних шаблонів, що будуть відповідати ефективній передачі саме цих даних, що збираються в мережі. Для різних наборів даних мають застосовуватись різні шаблони, наприклад, окремо для аудіо-, відеотрафіку і т.д . З цього випливає, що застосування цих шаблонів вимагає класифікації трафіку.

Ця задача має вирішуватись у блоці обробки даних, який ми також модифікуємо. Всередині нього повинні застосовуватись деякі логічні правила аби уникнути великих обсягів обчислень та класифікувати інформацію. Для формування цих правил ми будемо використовувати методи модифікованого алгоритму кластеризації та математичного апарату нечіткої логіки. Застосування підходу кластерного аналізу в системах Інтернету речей дозволить оптимально структурувати необхідні дані для передачі по мережі, і, відповідно, знизити навантаження на неї.

Метою кластерного аналізу є призначення об'єктів в наборі даних у

відповідні класи таким чином, щоб об'єкти в одному класі були більше схожими один на одного, ніж з тими, що в інших класах. Метод кластеризації відноситься до засобів, за допомогою яких формуються кластери або групи. Кластерний аналіз буде відноситись до загальної послідовності кроків, які представляють аналіз.

Вибір методу кластеризації є критичним етапом процесу кластеризації. Під час вибору методу слід враховувати, що метод повинен бути спроектований для відновлення типів кластерів, які імовірно присутні в даних, бути ефективним при відновленні структур, для яких він був розроблений та мати можливість протистояти наявності помилок у даних.

В літературі запропоновано багато методів кластеризації. Було проведено дослідження по порівнянню методів кластеризації з точки зору здатності відновлювати кластерні структури. Для цих цілей підходять алгоритми нечіткої логіки, що мають одразу кілька переваг для використання у IoT-системах: можливість кластерного аналізу для наборів інформації, що вимірюються багатьма параметрами, забезпечення більшої гнучкості у розподілі даних на кластери.

Основна ідея нечіткої логіки полягає в тому, що інтелектуальний спосіб міркувань, що спирається на природну мову спілкування людини, не може бути описаний традиційними математичними формулами.

Вхідною інформацією для кластеризації служить таблиця спостережень
$T = \{t_1, t_2, ..., t_M\}$, де k-й елемент $t_k = (x_k, y_k)$, $x_k=[x_{k1}, x_{k2},\ldots,x_{kn}]$ - вектор вхідних значень, y_k — вихідне значення, M — число спостережень, $x_k \in DX$, $y_k \in DY$. Нехай $P(T)$ — множина всіх підмножин множини T. Нечітке c-розбиття T є множина $\{A_i|A_i \in P(T), 1 \le i \le c, 2 \le c \le M\text{-}1\}$, c — число кластерів. Кластери характеризуються матрицею нечіткого розбиття $F = [\mu_{ki}]$, яка має такі властивості:

$$\forall_{\kappa=\overline{1,M}}\left(\sum_{i=1}^{c}\mu_{ki}=1\right), \qquad \forall_{i=\overline{1,c}}\left(0<\sum_{i=1}^{c}\mu_{ki}<M\right)$$

Центральне місце в нечіткій логіці займає нечіткий логічний висновок, результатом якого є чітке значення змінної. Для того щоб виконати нечіткий логічний висновок необхідні наступні умови:

1. Повинно існувати як мінімум одне правило для кожного терма вихідної змінної.
2. Для будь-якого терма вхідної змінної повинно бути хоча б одне правило, в якій цей терм використовується в якості передумови.
3. Між правилами не повинно бути суперечностей і кореляції.

На рис. 1 зображена послідовність дій при використанні процесу нечіткого логічного висновку.

На етапі фазифікації у блоці обробки інформації має визначатися шаблон, згідно якого у подальшому дані мають передаватися, та застосовуватись первний протокол щодо передачі даних.

Якщо розглянути приклад невеликої системи IoT, що одночасно збирає

інформацію з сенсорів температури, смартфона користувача, що відправляє певні дані зі свого смартфону до пристрою, підключеного до мережі, та приладу, що посилає сигнал аварійної ситуації. Цю інформацію можна розбити на кластери за типом трафіку, що передається, та за важливістю.

Рис. 1. Послідовність дій при використанні процесу нечіткого логічного висновку.

Переваги:

1. Зменшення кількості та тривалості затримок при передачі інформації, часу на передачу інформації;
2. Зменшена кількість відмов, ймовірності втрати даних;
3. Зрозумілість та інтерпретування моделей;
4. Індивідуальний підхід передачі для кожного типу кластеризованих даних.

Недоліки:

1. Високі обчислювальні витрати проведення нечіткого виведення;
2. Збільшення часу на обробку інформації.

Висновки: В процесі роботи над статтею було проаналізовано такий спосіб оптимізації навантаження в мережах як кластерний аналіз та застосування нечіткої логіки. У процесі досліджень ми дійшли висновку, що керування цими процесами може відбуватися на основі логічних правил. Було розглянуто певні методи кластерного аналізу, що дозволяють будувати такі правила та визначати приналежність даних до одного або іншого типу з подальшим застосуванням шаблонів передачі. Це створює передумови зменшення навантаження на мережу, обсягу трафіку. У подальшій роботі необхідно дослідити та запропонувати модифікацію блоків обробки та передачі даних мережі Інтернету Речей.

Література

1. Lea R. Smart cities: An iot-centric approach / R. Lea, M. Blackstock. // Proceedings of the 2014 International Workshop on Web Intelligence and Smart Sensing, IWWISS'14. – 2014. – P. 12–15.
2. Almasri M. Data Fusion Models in WSNs: Comparison and Analysis / M. Almasri // Conference of the American Society for Engineering Education IEEE 2014.
3. Globa L.S. INTELLIGENT SUPPORT SYSTEM FOR E-HEALTH / L.S. Globa, I.O. Ishchenko, A.G. Zakharchuk // 20th International Multi-Conference on Advanced Computer Systems Międzyzdroje, Poland – 2016. – P. 8.
4. Куташов П. Д. Городские координатные АТС типа АТСК / П. Д. Куташов, Б. С. Лившиц, А. Л. Пошерстник, Г. Б. Ханин // М.: Связь – 1970. – С. 304.

УДК 621.382

АЛГОРИТМ ОЧИСТКИ ТА ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАДАЧ

Хрищенюк Р.А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: khryshcheniuk@gmail.com

Algorithm of cleaning and processing of large data for solving analytical tasks

The main problems of storing large data are considered. The methods of clearing and processing of large data are given.

Розглянуто основні проблеми зберігання великих даних. Наведено методи очищення та обробки великих даних.

Великі дані (Big Data) - загальна назва для структурованих і неструктурованих даних величезних обсягів, які ефективно обробляються з допомогою масштабованих програмних інструментів.

По суті поняття великих даних має на увазі роботу з інформацією величезного обсягу і різноманітного складу, вельми часто оновлюваної і знаходиться в різних джерелах з метою збільшення ефективності роботи, створення нових продуктів і підвищення конкурентоспроможності.

У великих даних є певні характеристики:

Volume; Velocity; Variety; Veracity; Validity; Value; Variability; Venue; Vocabulary; Vagueness.

Але три з них основні, їх ще називають «правило VVV» - три ознаки, якими великі дані повинні володіти.

Volume - обсяг (дані вимірюються за величиною фізичного обсягу документів).

Velocity - дані регулярно оновлюються, тому їх потрібно постійно оброблювати.

Variety - різноманітні дані можуть мати неоднорідні формати, бути неструктурованими або структурованими частково.

Програми, орієнтовані на обробку великих обсягів даних, мають справу з файлами даних об'ємом від декількох терабайт до петабайта. На практиці ці дані зберігаються в різних форматах, можуть мати пробіли, містити параметри, які можуть бути не потрібні для подальшої обробки. Обробка подібних наборів даних зазвичай відбувається в режимі поетапного аналітичного конвеєра, що включає стадії очищення, перетворення та нормалізацію даних.

По-перше, більшість анкетних даних вводяться респондентами або операторами вручну. Через неуважність або з інших причин вони допускають помилки в словах, не заповнюють обов'язкові поля анкет, скорочують назви вулиць або інших об'єктів, заносять відомості не в ті поля.

По-друге, не у всіх програмах, в які вносять відомості, налаштовані обмеження на значення, що вводяться. Наприклад, в MS Excel можна забивати інформацію, не ставлячи навіть тип даних. Якщо ж програма розроблена фахівцями під наявне завдання, то вона включає в себе обмеження навіть на внесений формат даних або допускає введення тільки дозволених символів.

По-третє, дані не заповнені або заповнені не до кінця. Деякі поля залишаються респондентами порожніми. Також слід відмітити дублювання даних. Кілька записів мають один і той же зміст.

Тому перший і найважливіший етап, з точки зору обробки великих даних, є очищення даних.

Очищення даних (data cleaning, data cleansing або scrubbing) займається виявленням і видаленням помилок і невідповідностей в таблиці даних з метою поліпшення якості даних. Для очищення і спрощеної подальшої обробки даних був розроблений такий алгоритм дій (рис.1).

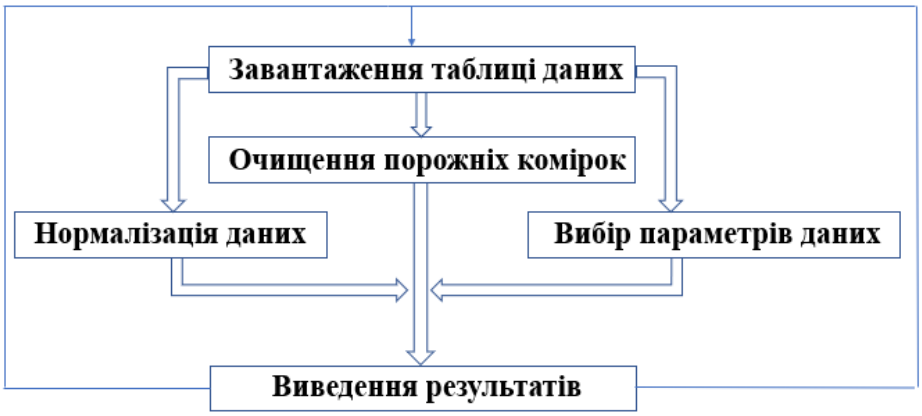


Рис. 1. Алгоритм обробки великих даних.

Спершу отримуємо таблицю даних, наприклад, в форматі xls, для цього перевіряємо формат файлу, в якому він має бути завантажений і якщо формат вірний - зберігаємо завантажену версію файлу, без змін в певній директорії, якщо ж ні то з'являється спливаюче вікно з помилкою. Потім користувач має можливість вибрати певну обробку над своїми даними.

«Очищення порожніх комірок» відповідає за виявлення та видалення порожніх комірок в таблиці даних. Методом перебору всіх даних в таблиці знаходимо порожні комірки і видаляємо їх. Змінену версію зберігаємо в певній директорії.

«Вибір параметрів даних» надає можливість користувачу обробляти саме ті параметри даних, які йому потрібно. Завантаживши таблицю даних і вибравши цей етап обробки, користувач отримує повний список параметрів даних з таблиці, після чого він має обрати ті параметри, які йому потрібні для обробки, інші параметри даних будуть видалені з таблиці. Змінену версію таблиці даних зберігаємо в певній директорії.

«Нормалізація даних» реалізовує нормалізацію всіх даних в певному діапазоні. Наприклад, потрібно нормалізувати всі значення в діапазоні від 0 до 1. Методом перебору всіх даних в таблиці знаходимо комірки зі значеннями, які не відповідають потрібному діапазону. Отримуючи такі комірки, їх потрібно конвертувати в числовий формат, адже отримуємо комірку таблиці даних ми в вигляді рядка символів. Після конвертації та отримавши числове значення комірки, його потрібно нормалізувати. Для нормалізації даних найчастіше використовують метод(1)

$$y(x) = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}.$$

Отримане значення позначається «x», x_{min} – мінімальне значення з таблиці даних, x_{max} – максимальне значення з таблиці даних. Після пройдених дій всі дані в таблиці відповідають діапазону від 0 до 1. Змінену версію таблиці даних зберігаємо в певній директорії.

Після обробки користувач отримує результуючу таблицю даних з певними змінами і має можливість повернутись на початковий етап алгоритму, аби завантажити іншу таблицю даних. Окрім завантаження іншої таблиці даних, користувач має можливість завантажити змінені версії таблиці даних, яку він обробляв, аби повторити обробку, наприклад, з іншими параметрами даних.

Висновок: При розробці алгоритму ключовим етапом є розбиття загальної задачі на ряд підзадач, кожна з яких буде виконуватися окремим потоком. Потік представляє деяку частину коду програми. За допомогою багатопоточності ми можемо виділити в програмі кілька потоків, які будуть виконувати різні завдання одночасно, витрачаючи менше часу на виконання. При виконанні деяких завдань такий розподіл може досягти ефективнішого використання ресурсів комп'ютера, а також незалежність від інших підзадач. При цьому під незалежністю розуміється використання своїх власних ресурсів, мінімум в потребі синхронізації з іншими потоками. При обробці згідно даного алгоритму, користувач отримує очищену та більш структуровану таблицю даних.

Удосконалення даного алгоритму полягає в розбитті великих таблиць даних на декілька підтаблиць певного розміру, що дозволяє працювати з таблицями великих об’ємів даних та надає можливість виконувати певну обробку над потрібною частиною таблиці даних.

Література

1. Большие данные (Big Data) [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.tadviser.ru/a/125096.
2. Чехарин Е. Е. Большие данные: большие проблемы / Е. Е, Чехарин. // Международный электронный научный журнал. – 2016.
3. Латышева А.М. Big data. Актуальность и перспективы использования / А.М. Латышева, Ю.Е. Гапанюк // ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э.Баумана».
4. Очистка данных: проблемы и актуальные подходы [Електронний ресурс] // Журнал BPM World. – 2000. – Режим доступу до ресурсу: http://iso.ru/ru/press-center/journal/1789.phtml
5. Очистка персональных данных [Електронний ресурс] // BaseGroup Labs – Режим доступу до ресурсу: https://basegroup.ru/community/articles/person-data-part1.

УДК 621.382

ПРИСКОРЕННЯ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ РЕАЛІЗОВАНИХ НА ОСНОВІ ГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСОРІВ

Пилипчук А.О., Правило В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: pylypchukangelina@gmail.com

Accelerate encryption algorithms implemented on graphic processors

In modern symmetric algorithms accelerates encryption by implementing them on graphic processors using CUDA and OpenCL technologies.

В сучасних симетричних алгоритмах прискорюють шифрування за допомогою їх реалізації на графічному процесорі з використанням технологій CUDA та OpenCL.

Потужності сучасних відеокарт вистачає тільки для масивно розпаралелених алгоритмів. Для криптографії такі алгоритми можуть викликати падіння криптостійкості через обмеженість у виборі режиму шифрування. З урахуванням останніх тенденцій найкращим рішенням є застосування алгоритмів шифрування на графічних процесорах.

Таким чином, швидке і ефективне використання графічних процесорів для нових алгоритмів шифрування має попит не тільки для збільшення швидкості шифрування, але і для криптоаналізу.

Реалізації розглянутих криптографічних перетворень, призначені для виконання на графічному процесорі, були здійснені за допомогою найбільш популярних на даний момент технологій - CUDA і OpenCL. Вибір технології CUDA обумовлений її перевагою в порівнянні з аналогами в можливостях мови і компілятора, OpenCL має схожі моделі пам'яті і обчислень, що дозволяють здійснювати ефективне використання графічних процесорів, забезпечуючи при цьому кроссплатформенність.

Розглянемо детальніше реалізацію AES шифрування на CUDA GPU.

Advanced Encryption Standard (AES) - симетричний алгоритм блочного шифрування, який шифрує і дешифрує блоки простого тексту і шифрованого тексту за допомогою 128-розрядної, 192-розрядної або 256-розрядного ключа.

CUDA - це програмно-апаратна архітектура паралельних обчислень, що дозволяє істотно збільшити обчислювальну продуктивність завдяки використанню графічних процесорів NVIDIA.

Графічні процесори є відмінною і дуже швидкою лічильною машиною. Але не позбавлені ряду недоліків. Перший з них - вузька сфера застосування. GPU зробили крок далеко вперед центрального процесора в плані нарощування обчислювальної потужності і загальної кількості ядер (відеокарти несуть на собі обчислювальний блок, що складається з більш ніж сотні ядер), проте така висока щільність досягається за рахунок максимального спрощення дизайну самого чіпу.

Ступінь деталізації показує розмір завдання, призначеної для відправки на скалярний процесор. Ступінь деталізації визначає, як розпаралелить алгоритм AES. Важлива стратегія розподілу пам'яті CUDA, тому що є декілька різних типів пам'яті. Особливості кожного типу пам'яті відрізняються в досить сильному ступені.

Визначено ступені деталізації чотирьох типів:

1. Використання розпаралеленого підходу 16 байт / потік означає, що кожний потік незалежно обробляє кожен блок відкритого тексту з 16 байтів. Перевагою реалізації є зниження накладних витрат. Вона не вимагає ніякої синхронізації і загальних даних між потоками. Цей ступінь деталізації використовує паралелізм тільки між блоками відкритого тексту.
2. Ступінь деталізації в 8 байт / потік обробляє один блок відкритого тексту двома потоками. Цей підхід використовує паралелізм між блоками відкритого тексту і внутрішньої обробки відкритого тексту одночасно.
3. Ступінь деталізації в 4 байта / потік обробляє один блок відкритого тексту чотирма потоками. Цей метод відрізняється від 8 байт / потік кількістю потоків для обробки блоку відкритого тексту. Колективна пам'ять і синхронізація необхідна з тієї ж самої причини, як у випадку 8 байт / потік. Ці ступені деталізації використовують більше паралелізму, ніж 16 байт / потік, хоча вони використовують синхронізацію і пам'ять, що розділяється.
4. Краще здійснювати AES обробку, шифруючи, хоча б, 32 бітовими блоками, тому що алгоритм шифрування AES, оптимізований для 32-бітної обробки. Однак він в змозі обробити 1 байт даних в потоках. 1 байт / потік означає, що 16 потоків обробляють блок відкритого тексту узгодженим способом.

Розглянемо доступ до пам'яті при розпаралеленому шифруванні AES на CUDA GPU. AES містить структури даних трьох видів:

1. Звичайний текст, зашифрований текст і проміжні дані.
2. T-box.
3. Раунд ключ (раунд ключ обчислений за секретного ключа).

Коли шифрування розпочато, всі дані зберігаються в пам'яті на хості. На початку обробки AES з використанням CUDA GPU, відкритий текст, раунд ключ і таблиці T-box передаються в глобальну пам'ять і константну пам'ять на GPU. Щоб прискорити обробку, дані передані іншій швидкодійній пам'яті, такий як регістри GPU і колективна пам'ять. Необхідно розглянути особливості цих типів пам'яті для зберігання даних в придатному місці для цих даних. Схема взаємодії центрального і графічного процесора представлена на Рис1.

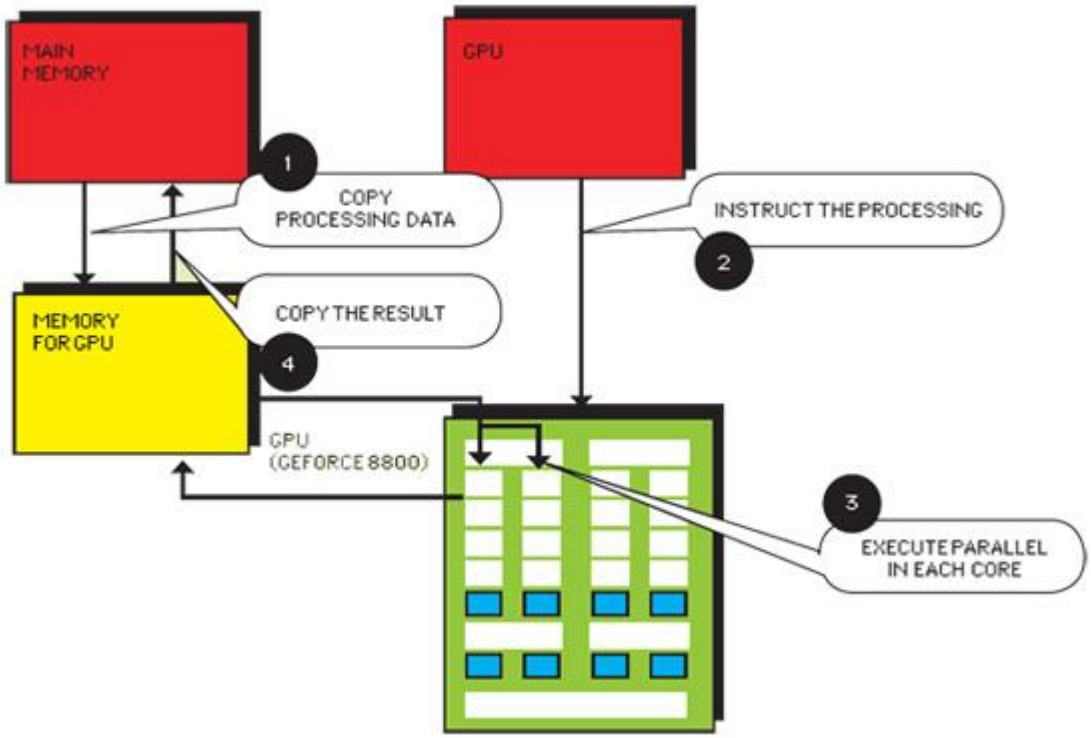


Рис.1. Схема взаємодії між CPU і GPU.

Також необхідно розглянути витрати, які пов'язані з передачею даних між центральним процесором і GPU, щоб ефективно використовувати продуктивність. Для того, щоб приховати ці витрати, CUDA забезпечує перекривання передачі даних та обробки.

На сьогоднішній день існує багато реалізацій, які використовують дані технології. Але ефективність AES шифрування відрізняється за різних умов, таких як ступінь паралельності обробки і різні варіанти використання пам'яті. Тому необхідно визначити за яких умов буде найкращий показник швидкодії.

Література

1. Удальцов В.А., Кармановский Н.С. «Исследование способов скоростной реализации элементов симметричных алгоритмов шифрования при проведении вычислений на графическом процессоре» Журнал Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики (https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sposobov-skorostnoy-realizatsii-elementov-simmetrichnyh-algoritmov-shifrovaniya-pri-provedenii-vychisleniy-na).
2. Гибадуллин Р.Ф., Яковлев А.С., Новиков А.А., Перухин М.Ю. «Ускорение aes шифрования на аппаратно-программной платформе Nvidia CUDA», Журнал Вестник Казанского технологического университета (https://cyberleninka.ru/article/n/uskorenie-aes-shifrovaniya-na-apparatno-programmnoy-platforme-nvidia-cuda).
3. Лебеденко Е.В., "Бондарева Н.В. Возможности технологии CUDA для распараллеливания вычислений в криптографических методах", Журнал Новые информационные технологии в автоматизированных системах (https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-tehnologii-cuda-dlya-rasparallelivaniya-vychisleniy-v-kriptograficheskih-metodah).
4. Знакомство с программно-аппаратной архитектурой CUDA , O.Montgomeri, 07.03.2018 (https://proglib.io/p/cuda/).

УДК 621.391+004.7

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВ'ЯЗКИ ДО ВУЗЛІВ АГРЕГАЦІЇ ТРАФІКУ ВІРТУАЛІЗОВАНИХ СЕРВІСІВ

Суліма С.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: itssulima@gmail.com

Method of assignment for traffic aggregation points of virtualized services

The basic trends of mobile services providing are summarized. The method of determining the assignment of base stations to traffic aggregation points and their number in virtualized networks is proposed, which allows solving the problem of calculating the topology of EPC as a service, while taking into account the cost of organizing the service environment with minimizing delay and rational use of channels throughput capacity.

Зі зростанням об'єму трафіку мобільних даних та числа сервісів, які надаються мобільною мережею, зростають і потоки службового навантаження, що викликає необхідність у зміні принципів, моделей та методів організації обслуговування телекомунікаційних потоків з метою забезпечення заданої якості надання широкого кола послуг гнучким та економічно ефективним способом. Наявність потужних дата центрів значно розширює можливості організації процесу надання послуг на сучасному телекомунікаційному ринку. Переваг масштабованості та еластичності з підтримкою високого показника коефіцієнту використання технічних ресурсів мережі можна досягти з використанням технологій віртуалізації.

Одним з ключових аспектів у області віртуалізації мережі є розподіл фізичних ресурсів для віртуальних функцій мережі, що передбачає відображення віртуальних мереж на фізичні мережі. Оптимальність і гнучкість розподілу ресурсів є основними факторами для успішної віртуалізації.

Нехай визначення місця розміщення та необхідної ємності віртуальних зарезервованих обчислювальних ресурсів у разі виникнення перевантаження фізичної мережі здійснюється відповідно до [1]. Доповнимо цей метод.

Кількість сервісних ланцюгів віртуальних мереж, що будуть відображатися на хмарну інфраструктуру потрібно визначити заздалегідь. Крайнім випадком був б розгляд одного сервісного ланцюга на стільник/eNodeB. Оскільки реалістичні сценарії для мобільних мереж складають 10000 eNodeB, результуюча оптимізаційна модель буде величезна, і для її вирішення потрібен досить тривалий час обчислення. Тому приймаємо обґрунтовано великі кластери eNodeBs і припустимо, що кожен з цих кластерів eNodeB звертається до одного сервісного ланцюга базової мережі.

Більшість сучасних досліджень не розглядає задачу визначення кількості мереж LTE EPC як сервісів, а передбачається їх наперед задана кількість. Найбільш близькою виступає задача з дослідження [2], яка, проте, направлена на визначення розміщення та прив'язки RRH сайтів до BBU

серверів у мережах з застосуваннях технології NFV і не враховує обмежень затримки та пропускної здатності.

Далі описано алгоритм вибору вузлів агрегації трафіку. Розглядаємо випадок, коли провайдер телекомунікаційних послуг вже має існуючу топологію базових станцій. Потрібно визначити підмножину мережевих вузлів, де будуть розміщені блоки агрегації навантаження, які будуть формувати запити до одного віртуалізованого сервісу EPC. Після цього для кожного сайту базових станцій призначаємо вузол агрегації (Traffic Aggregation Point – TAP).

Нехай x_i – це бінарна змінна рішення, яка приймає значення 1, якщо в точці i необхідно розмістити TAP, та 0 – в іншому випадку. Крім того, визначаємо y_{ji} як бінарну змінну, яка приймає значення 1, якщо базова станція j направляє навантаження в i-у TAP, і 0 – в іншому випадку. Необхідно визначити значення x_i та y_{ji}, так щоб знайти оптимальне значення цільової функції.

Цільова функція (1) прагне мінімізувати мережеві затримки. Цільова функція (2) представляє загальну умовну вартість встановлення вузлів агрегації трафіку та вартість встановлення каналів між базовими станціями та відповідними TAP, що їх обслуговують. Цільова функція (3) має на меті залишати більше вільної пропускної здатності на кожному фізичному каналі. Максимізується залишкова пропускна здатність по всіх каналах, оскільки значно завантажені канали можуть призвести до перевантажень у мережі, тому бажано отримати рішення, де залишається більше потужностей каналів.

Ці цілі оптимізації можуть бути корисними для мережевих операторів для планування найкращої стратегії розгортання.

$$\min_{x_i, y_{ji}} \left(\sum_i \sum_j y_{ji} \cdot L_{ji} \right), \tag{1}$$

$$\min_{x_i, y_{ji}} \left(\sum_i x_i \cdot cost_i + \sum_i \sum_j y_{ji} \cdot costl_{ji} \right), \tag{2}$$

$$\max_{x_i, y_{ji}} \left(\sum_i y_{ji} \cdot \left(c_{ji} - B_{ji} \right) \right), \tag{3}$$

де L_{ji} – затримка каналу зв’язку між сайтом j і TAP i;

$cost_i$ – вартість, яка складається з двох частин: фіксованої початкової вартості f_i, яка відповідає за фіксовані інвестиції, такі як простір та встановлення обладнання, а також додаткові витрати $costN_i$ на одиницю обробної потужності, встановленої на обчислювальному вузлі, де d_i – обсяг задіяних обчислювальних ресурсів обробки: $cost_i = f_i + costN_i d_i$;

$costl_{ji}$ – вартість встановлення зв'язку між сайтом j і TAP i, визначається як лінійна комбінація початкової фіксованої вартості fl_{ji} та змінної частини залежної від смуги пропускання B_{ji}, необхідної каналу, та вартості одиниці пропускної здатності $costL_j$: $costl_{ji} = fl_{ji} + costL_i B_{ji}$;

c_{ji} – доступна пропускна здатність.

Можливо використовувати лінійну комбінацію (4) виразів (1)-(3) з ваговими коефіцієнтами *a, b, c*, які можуть використовуватись не лише щоб задати більшу вагомість тої чи іншої складової, але також щоб масштабувати значення виразів з метою зведення до порівнюваних значень та мати значуще складення:

$$\min_{x_i, y_{ji}} \left(a \cdot \sum_i \sum_j y_{ji} \cdot L_{ji} + b \cdot \left(\sum_i x_i \cdot cost_i + \sum_i \sum_j y_{ji} \cdot costl_{ji} \right) - c \cdot \left(\sum_i y_{ji} \cdot \left(c_{ji} - B_{ji} \right) \right) \right) \quad (4)$$

Обмеження:

$$\sum_i y_{ji} = 1 \; \forall j, \quad (5)$$

$$y_{ji} \le x_i \; \forall j \forall i, \quad (6)$$

$$\sum_i x_i \le p, \quad (7)$$

$$\sum_j y_{ji} \cdot d_j \le p_i \; \forall i, \quad (8)$$

$$\sum_i y_{ji} \cdot (c_{ji} - B_{ji}) \ge 0 \; \forall j, \quad (9)$$

$$\sum_i y_{ji} \cdot L_{ji} \le T_j \; \forall j. \quad (10)$$

Обмеження (5) гарантує, що кожна базова станція буде приєднана до одного ТАР. Обмеження (6) гарантує, що між сайтом базової станції *j* та ТАР *i* створюється канал, тільки якщо *i* було розміщено.

Обмеження (7) гарантує, що максимальна кількість ТАР не перевищує бюджет *p*, тоді як (8) є обмеженням потужності, що гарантує, що загальні вимоги до обробки всіх базових станцій, призначених для конкретного ТАР, не перевищують фактичні встановлені фізичні ресурси p_i. Обмеження (9) гарантує достатність канальних ресурсів для встановлення каналів, а (10) – допустимість значення затримки, тобто не перевищення порогу T_j.

Окреслені перспективні напрямки досліджень у сфері надання послуг мобільного зв’язку. Запропоновано метод визначення прив’язки базових станцій до вузлів агрегації трафіку та їх кількості у віртуалізованих мережах, який дозволяє вирішити задачу розрахунку топології EPC як сервісів, при цьому враховуючи вартість організації обслуговуючого середовища з мінімізацією затримки та раціональним використанням пропускної здатності.

Література

1. Globa L. Method for resource allocation of virtualized network functions in hybrid environment / L. Globa, M. Skulysh, S. Sulima // 2016 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), 6–9 June 2016 : conference proceedings. — Varna, Bulgaria, 2016. — P. 1–5.
2. Mijumbi R. Server placement and assignment in virtualized radio access networks / R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, J. Rubio-Loyola, S. Davy // 2015 11th International Conference on Network and Service Management (CNSM). – Barcelona, 2015. – P. 398-401.

УДК 621.396

ВЕЛИКІ ДАНІ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНДУСТРІЇ

Немченко К.В., Міночкін Д.А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: knemchenko@srs.kpi.ua

Big data in Telecom Industry

This publication about using Big Data in telecom industry. This paper reveals the main challenges of a telecommunications operator, main types of data produced by customer and the possibilities of their use.

Телекомунікаційні оператори викорстовують великі аналітичні дані для прийняття бізнес рішень, вони можуть підтверджувати або спростовувати гіпотези, що в кінцевому підсумку створ.є конкурентні переваги на ринку телекомунікаційних послуг. Великі дані пропонують наступні можливості для телекомунікаційних операторів:

- **Підготувати мережу до майбутніх викликів.** Великі дані допомагають компаніям покращити надійність, оптимізовувати та прогназувати масштабування мережі. Аналіз мережевого трафіку в режимі реального часу допомогає підвищити якість обслуговування.
- **Зрозуміти поведінку клієнта.** Вивчення поведінки користувачів також може відігравати важливу роль у розумінні того, як краще взаємодіяти з клієнтов, і таким чином безпосередньо впливати на нього. Великі дані, полегшують детальне розуміння потреб клієнтів з аналізу мережевих даних та інформації з соціальних медіа, що допомагає встановити потреби клієнта. Дослідження можуть бути розгорнуті в центрах обслуговування абонентів, щоб краще відповідати і вирішувати проблеми клієнта по телефону і дозволяють їм гнучко і прибутково адаптувати маркетингоі кампаній до окремих клієнтів, які використовують технології визначення. Вони також можуть бути використані в центрах моніторингу й для виявлення та вирішення проблем для великих груп користувачів. Там можна зібрати інформацію про користувачів у реальному часі. Наприклад, співробітники колл-центру могли побачити, чи є у клієнта на телефоні виникли проблеми в певному місці або під час використання певної послуги. Результатом є поліпшення обслуговування клієнтів, більш високий рівень задоволеності клієнтів, а також зниження швидкості відтоку від оператора. Великі дані також можуть допомогти аналізувати записи даних викликів у реальному часі для негайного виявлення шахрайських дій. [1]

Класифікацію данних, які зазвичай збираються телекомунікаційні оператори можно побачити на рисунку 1.

Рис. 1. Дані, які зазвичай збирають телекомунікаційні оператори.

На макрорівні аналітика великих даних є певним викликом для телекомунікційного оператора через їх різноманітність, швидкість і складність:

• **Різноманітність.** Соціальні мережі, підключені пристрої , записи даних викликів, платіжна інформація, і т.д., виробляють величезну кількість даних, як показано на малюнку вище. Більшість даних, що надходять з різних джерел, є неструктурованими. Телекомунікаційні оператори повинні накопичувати та структурувати свої данні за певними критеріями: місцезнаходження, фінансова інформація, тип клієнта тощо

• **Швидкість.** Кожну хвилину люди витрачають 1,85 млн. євро на покупки в Інтернеті. Майже 100 годин відео розповсюджується на YouTube кожну хвилину. Щоденна аудиторія інтернету в Україні становить близько п’ятнадцяти мільйонів людей. 90% щодня відвідують бодай одну соціальну мережу. [2] Цей обсяг даних вимагає нових оперативних можливостей у реальному часі для різних функцій і, в свою чергу, вимагає збільшення сховища даних для відповідності та потенційного використання в

майбутньому, а також нових інструментів для посередництва, керування та архівування даних у межах наявних часових рамок.

• **Складність.** Дані, створені користувачем, в основному неструктуровані і складні через відсутність стандартного формату для зберігання даних. У старих мережах і пристроях зберігання даних немає спеціального формату для зберігання даних, які можуть бути релевантними для розширеної аналітики. Дані змінюються залежно від демографії, географії, стилю життя тощо. Analytics може надавати небажані результати, якщо дані не фільтруються належним чином.

На мікрорівні телекомунікаційні компанії стикаються з іншими проблемами:

- Визначення стратегію використання великих даних;
- Визначення критеріїв оцінки прибутковості інвестицій;
- Визначення та отримання наборів навичок, необхідних для розуміння та використання великих даних;
- Організація команди бізнес-аналітиків з глибокими знаннями про структуру компанії;
- Гнучкість інфраструктури для взаємодії з різними форматами даних і великими обсягами;
- Витрати та зусилля, пов'язані з масштабованістю;
- Визначення програмних для аналізу великих данних;
- Модернізація телекомунікаційної системи та вибір пріорітетів;
- Компроміс якості через обсяг та різноманітність даних;
- Витрати на підтримку та зберігання данних (повнота, обґрунтованість, цілісність, послідовність, своєчасність, точність);
- Проблеми конфіденційності, пов'язані з прямим та непрямим використанням джерел великих даних.

Для аналізу великих даних потрібні професійні аналітики, які розуміють технологію аналітики даних і зможуть робити правильні висновки для покращенняз бізнес стратегії оператору зв’язку. Інфраструктура для аналізу даних потребує високих обчислювальних можливостей і місця для зберігання даних. Вона також потребує гнучкості для аналізу різних форматів даних.

Таким чином великі дані дають великі можливості телекомунікаційному оператору у боротьбі за нових клієнтів, які створять нові доходи. Завдяки аналізу задоволених клієВін надає їм безліч інформації про поведінку, уподобання та рухи своїх клієнтів. Тим не менш, багато ССП намагаються повністю отримати найбільшу цінність від великих даних.

Література

1. Kan Zheng, Zhe Yang,, Kuan Zhang , Periklis Chatzimisios, Kan Yang, and Wei Xiang (2016). Big Data Driven Optimization for Mobile Networks towards 5G. IEEE Network, 30, 44-51.
2. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв`язку та інформатизації іональна комісія, що здійснює. (2018).
3. Kibria M. G., Nguyen K., Villardi G.P., Zhao O., Ishizu K., Kojima F.. (2018). Big Data Analytics, Machine Learning, and Artificial Intelligence in Next-Generation Wireless Networks. IEEE Access 6, 32328 – 32338.

УДК 520.6.05

ГІБРИДНА СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ

Явіся В.С.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya@bigmir.net

Hybrid system of telecommunication nanosuputniki orientation

An analysis of the ways of orientation and stabilization of nanosatellites is carried out. Known methods are evaluated for the possibility of their practical implementation with restrictions on weight, dimensions, energy consumption. The hybrid method of orientation and stabilization is proposed, which allows to change the orbit of such spacecraft.

За останні роки завдяки мініатюризації електронних компонентів відбувається стрімкий розвиток нового виду космічної техніки – наносупутників (НС). Сфера їх застосування в перспективі виявляється навіть ширше, ніж звичайних супутникових платформ. Ряд застосувань НС можливий тільки у випадку рішення завдання забезпечення стабільного та керованого положення НС на орбіті.

Завдання орієнтації й стабілізації вирішується двома методами [1]: пасивним та активним. На відміну від активних, пасивні методи (гравітаційний, аеродинамічний, тиском сонячних променів, обертанням) не вимагають витрат енергії, яку необхідно запасати на борті супутника. Активні методи стабілізації реалізують за допомогою двигунів-маховиків, моментного магнітопривіду або реактивних двигунів (РД). Причому РД вимагають наявності на борту значних запасів палива, тому, останнім часом широко застосовують іонні двигуни (ІД), для роботи яких необхідна на порядок менша кількість палива, ніж для звичайних РД.

Можливість застосування однієї з перерахованих систем стабілізації залежить від сукупності вимог до НС, які випливають з його призначення.

Коли НС вирішує завдання, не пов'язані з необхідністю змінювати просторове розташування протягом усього строку експлуатації, доцільно впроваджувати пасивні методи. В інших випадках, наприклад при використанні НС в якості елемента системи супутникового зв’язку, обґрунтованим буде застосування активних методів, оскільки вони, окрім стабілізації, здатні забезпечити зміну орієнтації всього НС або його зовнішніх конструктивних елементів в продовж коротких інтервалів часу. Таким чином, система орієнтації телекомунікаційного НС повинна будуватись на активних методах.

Для оцінки ефективності активних методів орієнтації зробимо ряд уточнень. НС стандарту CubeSat являє собою куб з ребром $R = 0{,}1$ м та масою близько $m_{нс} = 3$ кг. При використанні двигунів-маховиків на одній осі

розташовується два маховики, які працюватимуть синхронно. При реалізації моментного магнітопривіду для орієнтації по одній осі необхідне застосування двох котушок, розташованих під прямим кутом одна відносно іншої. ІД розташовуються на краю поверхні певних сторін CubeSat. Оскільки, для системи на двигунах-маховиках зміна швидкості обертання маховиків відбувається майже миттєво, при розрахунках цей час можна не враховувати. У свою чергу робота систем з моментним магнітоприводом та з ІД фактично відбувається в два однакові за тривалістю етапи – на першому відбувається розгін до певної кутової швидкості обертання, а на другому – гальмування [2].

Тоді, можна показати, що кут повороту НС навколо певної осі для різних систем орієнтації визначають наступні вирази:

- для системи на двигунах-маховиках:

$$\alpha_{нс}(t) = 3\frac{m_м r^2}{m_{нс} R^2}\omega_м t \tag{1}$$

де $m_м$ – маса маховика; r – радіус диска маховика; $\omega_м$ – швидкість обертання маховика;

- для системи з моментним магнітоприводом:

$$\alpha_{нс}(t) = \frac{3IpSB}{2m_{нс}R^2}t^2 \tag{2}$$

де I – струм котушки; p – число витків котушки; S – площа рамки котушки; B – індукція магнітного поля Землі;

- для системи з ІД:

$$\alpha_{нс}(t) = \frac{3F}{4m_{нс}R}t^2 \tag{3}$$

де F – сила, що розвивається ІД.

Зазначимо, що для системи на двигунах-маховиках кут обертання є лінійною функцією часу, а для систем з моментним магнітоприводом та з ІД – залежність квадратична. Для порівняння активних систем були обрані наступні значення параметрів, що входять до формул (1-3): $m_м = 0{,}02$ кг, $r = 0{,}03$м, $\omega_м = 1{,}16$ рад/с (в середньому 4000 обертів за хвилину), I = 0,43 А, p = 100, S = 0,005 м^2, B = 30 мкТл, F =100 мкН.

Часова залежність величини кута повороту для певної системи із урахуванням зазначених вище допущень представлена на рис. 1.

Виходячи з характеристик, які наведені на рис. 1, можна заключити, що всі три системи володіють приблизно однаковими можливостями на інтервалі часу до 15 с, впродовж якого кутове положення НС змінюється майже на 0,7 рад або 4 градуси. Причому добір параметрів та аналіз проведений за умови, що системи мають близькі ваго-габаритні характеристики та показники енергоспоживання. Повний оберт навколо певної вісі відбудеться менш ніж за дві хвилини. Зазвичай такої швидкодії системи орієнтації для телекомунікаційного НС цілком достатньо. Але кожна

із систем має певні недоліки: системи на двигунах-маховиках потребують періодично здійснювати їх розвантаження; системи із моментним магнітопривідом не забезпечують одночасну тривісну орієнтацію, що пов'язано із структурою магнітного поля Землі; системи з ІД мають ресурс роботи, який обмежений запасами палива.

З погляду на це обґрунтованим буде одночасне використання хоча б двох систем. Наприклад, орієнтацію може забезпечувати система на двигунах-маховиках, а їх розвантаження буде виконуватись моментним магнітопривідом. Однак, лише компактні іонні прискорювачі дозволять НС змінювати орбітальну позицію або утримуватись на ній тривалий час.

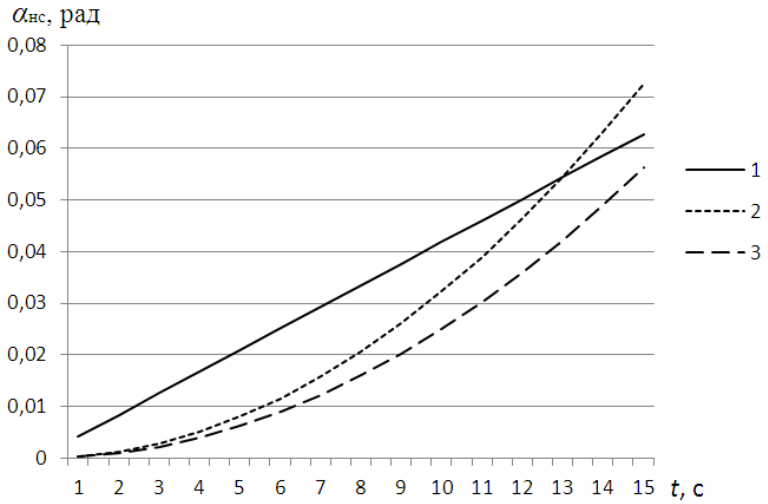


Рис . 1. Часова залежність величини кута повороту НС: 1 – для системи на двигунах-маховиках, 2 – для системи із моментним магнітопривідом, 3 – для системи з ІД.

Також двигуни малої тяги можуть використатися для керованого сходу з орбіти ушкоджених НС. Це змусить їх згоряти в атмосфері Землі й частково вирішить проблему космічного сміття. Оскільки системи орієнтації на двигунах-маховиках та магнітних виконавчих органах не дозволяють здійснювати зміни орбіти НС, найбільш доцільним буде використання комбінованої системи, яка може бути реалізована в двох варіантах. В першому, вона складається з двигунів-маховиків та ІД, в другому – з магнітних котушок та ІД. Двигуни-маховики або магнітні котушки дозволяють вирішувати завдання стабілізації й орієнтації. ІД в першому варіанті реалізації будуть задіяні, в основному, для періодичного розвантаження двигунів-маховиків, в другому – для допомоги системі з моментним магнітопривідом виконувати одночасну тривісну орієнтацію. Але в обох варіантах ІД забезпечать можливість зміни орбіти НС, що в цілому дозволить значно збільшити їхній термін служби, а також здійснювати плановий відхід з орбіти по закінченні експлуатації.

Література

1. Левантовский В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука, 1980. 512 с.
2. Явися В.С., Лысенко А.И. Анализ методов ориентации и стабилизации наноспутника // Науковий вісник Академії Муніципального Управління, Збірник наук. праць АМУ. Серія «Техніка». – Вип.1-2(11)–2016. – К.: АМУ, 2016. – С. 262–270.

УДК 621.396.946

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ

Явіся В.С.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya@bigmir.net

Energy calculation of telecommunication nanosatellites

When using nano satellites to create a satellite communication system, it is necessary to ensure their operation by the appropriate power plant. The calculation of the specific energy consumption of the main telecommunication nanosatellite systems was carried out and the format of the power plant was proposed.

Існуючи системи супутникового зв'язку (ССЗ) умовно можна розділити на дві групи за орбітальною ознакою, тобто низькоорбітальні та геостаціонарні. Причинами стримування подальшого розвитку геостаціонарних ССЗ є: перенасиченість геостаціонарної орбіти, не спроможність створення глобального покриття поверхні Землі, і головне – значна затримка сигналів, а відповідно – складність забезпечення нормативної якості обслуговування. Низькоорбітальні ССЗ не мають зазначених недоліків.

В перспективі такі системи замість крупно габаритних космічних апаратів можуть використовувати наносупутники (НС) формату *CubeSat*. До складу космічного сегменту буде входити кілька тисяч НС. При цьому підвищується надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики такого низькоорбітального угрупування. За функціональним призначенням НС поділяються на декілька груп, але більша частина з них необхідна для створення зон обслуговування на поверхні Землі.

Виконання такого завдання потребує певного енергозабезпечення. Зазвичай, основними споживачами є приймально-передаюче обладнання та система орієнтації НС.

Антенні системи НС повинні забезпечити формування парціальних променів, які створюють зону покриття діаметром близько 700 км, як, наприклад, це здійснюють низькоорбітальні супутники *Iridium NEXT*. Функціонально один апарат *Iridium NEXT* можна замінити певною кількістю НС. При використанні такого кластеру НС, ширина діаграми спрямованості окремого НС буде залежати від місця зони, яку він обслуговує, в межах зони відповідальності всього кластеру (покриття діаметром понад 4000 км) [1].

Зазвичай для формування такої спрямованої діаграми можна використати фазіровану антенну решітку або параболічну антену. Але такий підхід виявляється неприйнятним у випадку застосування НС в наслідок значних ваго габаритних показників зазначених антен. Тому для формування діаграми спрямованості пропонується використовувати спіральну конічну антену. За умови знаходження НС на висоті 750 км для покриття зони

діаметром 700 км, необхідна антена із шириною діаграми θ =50º. Для середньої частоти взаємодії НС і абонентського терміналу 1,6 ГГц при довжині антени *l*=21 см та діаметрі спіралі *d*= 6 см, підсилення становить *G*=9-11 дб. У згорнутому стані така антена являє собою пружину, що займатиме об'єм близько *V*=11 см^3, тобто 1,1 % від загального об'єму *CubeSat*-1. Антени НС, що формують парціальні промені на межі зони обслуговування кластеру, повинні забезпечити ширину діаграми спрямованості до θ =30º, при цьому підсилення становить *G*=13-15 дб, але довжина антени збільшиться до *l*=56 см при тому ж діаметрі. Тоді у складеному вигляді об'єм антени збільшиться майже у 2,5 рази. [2].

Відповідно до [3], загасання для ідеальної ізотропної антени у вільному просторі визначається:

$$L = 32{,}4 + 20\lg(f) + 20\lg(d),$$

де f – частота в МГц, d – відстань в км.

Тому на межі зони обслуговування кластеру (відстань понад 1500 км) загасання становить L =160 дб.

Чутливість сучасних приймачів терміналів персонального супутникового зв'язку близько –118 дб. Враховуючи підсилення антени до *G*=15 дб, втрати, що пов'язані із формуванням спіральною антеною сигналу із круговою поляризацією – порядку 3 дб, а також можливі втрати в атмосфері до 3 дб, потужність випромінювання із «запасом» в 3 дб повинна становити:

$$P = 160 - 118 - 15 + 3 + 3 + 3 = 36 \text{ дб},$$

тобто 4 Вт. Коефіцієнт корисної дії (ККД) передавача, як правило, не перевищує 30%, що відповідає потужності споживання 14 Вт. Додатково для роботи приймача потрібно 5 Вт.

Необхідне взаємне розташування променів НС в кластері можна забезпечити лише при керованому польоті НС. Тому на кожному НС необхідно мати систему орієнтації та стабілізації. Доцільно використовувати комбіновану систему, яка буде складатись з магнітних котушок або двигунів-маховиків, що дозволяють вирішувати безпосередньо завдання стабілізації й орієнтації, а також іонних двигунів, які будуть задіяні, в основному, для зміни орбіти НС. Це дозволить здійснити конфігурування взаємного розташування НС в кластері, значно збільшити термін служби НС та здійснювати їх плановий відхід з орбіти по закінченні експлуатації. Ця система також забезпечить необхідне положення сонячних батарей відносно Сонця. Всього система стабілізації споживає близько 4-8 Вт [4].

При цьому необхідно врахувати той факт, що частина електричної потужності витрачається на підзарядку акумулятора, який забезпечує роботу НС під час знаходження його в тіні Землі. Виходячи з цього, сонячна батарея повинна забезпечити потужність живлення на рівні 45 Вт [5].

Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі, складає близько 1366 ват на квадратний метр [6]. На сьогодні

переважна більшість виробників сонячних батарей представляють продукцію з ККД, що не перевищує 20%. [7], хоча є заяви про нові гелієві сонячні панелі, виготовлені із застосуванням нанотехнологій та нових напівпровідникових матеріалів з ККД до 35% [8].

За умов розташування поверхні сонячної батареї НС перпендикулярно напрямку поширення сонячних променів (із допуском на незначне відхилення до 15 градусів), електрична потужність, яка виробляється, може бути знайдена:

$$P = 1366 \times \eta \times S$$

де η – коефіцієнт корисної дії сонячної батареї; S – площа поверхні сонячної батареї.

Для отримання необхідної потужності живлення площа поверхні сонячної батареї повинна бути не меншою, ніж:

$$S = \frac{P}{1366 \times \eta},$$

тобто $S = 0{,}165$ м^2. Стандартний розмір НС формату *CubeSat*-1 – куб із стороною 10 см. За умови використання двох симетричних батарей, одна сторона якої дорівнює зазначеним 10 см, інша, за умови округлення розрахункового значення у більший бік, кратний 10 см – повинна мати довжину 90 см.

Виходячи з цього та враховуючи необхідність наявності акумулятора у конструкції НС, його формат можна визначити як *CubeSat*-2, коли в одному кубі із стороною 10 см будуть розташовані елементи енергоустаткування (сонячні батареї та акумулятор), а в іншому – обладнання відповідно до функціонального призначення.

Література

1. Wind-sail, сайт компании. Космический сегмент спутниковой связи Иридиум. /Электронный ресурс/ https://wind-sail.ru/equpment/svyaz/sistema-mobilnoj-sputnikovoj-svjazi-iridium.
2. Неганов Н.А., Клюев Д.С., Табаков Д.П.Устройства СВЧ и антенны. Теория и техника антенн. Часть 2. – М.: Едиториал УРСС, 2016. – 728 с.
3. Рекомендації Міжнародного союзу електрозв’язку ITU-R P.525-2.
4. Явися В.С., Лысенко А.И. Анализ методов ориентации и стабилизации наноспутника // Науковий вісник Академії Муніципального Управління, Збірник наук. праць АМУ. Серія «Техніка». – Вип.1-2(11)–2016. – К.: АМУ, 2016. – С. 262–270.
5. Явіся В.С., Лисенко О.І., Петрова В.М. Оцінка питомого енергоспоживання телекомунікаційними наносупутниками // XI Науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв’язку та автоматизації в операції Об’єднаних сил». Доповіді та тези доповідей. – К.: ВІТІ. – 2018. – С. 240.
6. Энциклопедия по машиностроению XXL /Электронный ресурс/ http://mash-xxl.info/info/495944.
7. Альтернативная энергетика /Электронный ресурс/ http://b-eco.ru/solar_panels.
8. Солнечные батареи в космическом пространстве /Электронный ресурс/ http://solarb.ru/solnechnye-batarei-v-kosmicheskom-prostranstve.

УДК 681.51 + 519.8

ЗАДАЧА УПРАВЛІННЯ РУХОМИМИ ЗАСОБАМИ ДЛЯ РОЗВІДКИ ТА МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОЇ, ХІМІЧНОЇ, БІОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

Слободяник В.А.[1], Лисенко О.І.[2]
1. *Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України*
2. *Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*
E-mail: Slobo19dianyk64@ukr.net

Problem of management by movements for reconnaissance and monitoring of radiation, chemical, biological situation

The mathematical problem of management for mobile intelligence and monitoring of radiation, chemical, biological situation is proposed. By its statement, the problem relates to a class of continuous linear multiproduct problems of optimal splitting of sets with the search for the coordinates of the centers of subsets. Its decision requires forecasting the behavior of a two-dimensional field of risk in time.

В системі захисту військ та населення від загроз радіаційного, хімічного, біологічного (далі РХБ) характеру важливу роль відіграє підсистема розвідки та моніторингу РХБ обстановки. Під моніторингом будемо розуміти постійне спостереження за певною ділянкою місцевості, а під розвідкою - обстеження деякої території для отримання інформації про РХБ обстановку, що склалася.
Моніторинг РХБ обстановки здійснюється мережею стаціонарних спостережних постів, до складу яких входять прилади РХБ розвідки та засоби зв'язку. Автоматизовані спостережні пости (Рис.1) зав'язуються в єдину мережу, формуючи локальну автоматизовану систему управління РХБ моніторингом. До складу мережі додатково входить метеорологічний комплект та пункт управління з технічними і програмними засобами збору, обробки, відображення і передачі РХБ інформації вищестоящим штабам, та оповіщенням військ (населення) в разі загрози РХБ ураження. Головне завдання локальних систем моніторингу – захист персоналу об'єктів критичної інфраструктури як військового, так і цивільного призначення.

Рис. 1. Вигляд технічних засобів оснащення автоматизованих спостережних постів за РХБ обстановкою EnVision Gossamer (виробництва Environics, Фінляндія) та шведського рухомого засобу розвідки Patria XA-203 (виробництва Patria, Фінляндія).

Рухомі засоби (рис. 1) є більш універсальними та можуть виконувати завдання як моніторингу, так і розвідки РХБ обстановки. Вони включають в себе як вузькоспеціалізовані лабораторії для окремого виду розвідки – радіаційного, хімічного або біологічного, так і комбіновані рухомі засоби – машини РХ розвідки, РХБ розвідки, машини РХБ розвідки з дистанційними засобами виявлення вражаючих факторів РХБ характеру, тощо. Всі рухомі засоби за принципом побудови та функціонування є складними системами, до складу бортового обладнання яких входять різноманітні прилади РХБ розвідки, засоби обробки інформації, зв'язку та передачі даних, засоби відбору та збереження проб, маркування місцевості, топонавігації, тощо.

Рухомі засоби для розвідки та моніторингу РХБ обстановки також зав'язуються в єдину мережу, конфігурація якої весь час змінюється в залежності від обстановки. Керування такою системою на даний час є слабоформалізованим та більшою мірою залежить від досвіду осіб, що приймають рішення.

В роботах [1],[2] розглянуто підходи до формалізації процесів керування такими системами, що дозволяють зменшити ефект суб'єктивності при прийнятті управлінських рішень. Проте математичні постановки задач управління для такого класу систем представлені лише у загальному вигляді.

Сформулюємо постановку задачі управління рухомими засобами для розвідки та моніторингу радіаційної, хімічної, біологічної обстановки. Розглянемо дві групи полів – $R^j(x,y,t), \psi^j(x,y,t)$, де j - фактори ураження радіаційного, хімічного та біологічного характеру. Поля $R^j(x,y,t)$ назвемо полями ризику, що характеризують ймовірність ураження незахищеного особового складу (населення) в області двомірного простору Ω в момент часу t, а поля $\psi^j(x,y,t)$ - відповідно полями моніторингу та розвідки, що характеризують ймовірність виявлення $j-\tilde{a}\hat{i}$ вражаючого фактору в точці $(x,y)\in\Omega$ в момент t.

Припустимо, що в деякому районі двомірного простору Ω в момент часу $t=t_0$ розташовані N рухомих засобів розвідки та моніторингу РХБ обстановки, кожен з яких формує певне первинне мобільне поле моніторингу та розвідки $\varphi^j_{i\,\hat{i}\,\acute{a}}(x,y,t_0,\tau_{k0}); j=\overline{1..J}; k=\overline{1..N}$ по множині вражаючих факторів J. Додатково нехай виконується умова $\exists t\in[t_0,t_0+T], \exists\, \mathrm{j}\in \mathrm{J}, \exists (x,y)\in\Omega: R^j(x,y,t)\geq R_{\ddot{i}\,\hat{i}\,\tilde{o}\hat{i}\,\tilde{a}}$, яка характеризує наявність зон підвищеного ризику РХБ ураження на проміжку часу T. Необхідно на задані моменти часу $t_0\leq t_c\leq t_0+T;\ c=\overline{1..C}$ визначити координати рухомих засобів $\tau_{kc};\ k=1...N(t_c)$ та знайти такі функції $\psi^j(x,y,t_c)$, щоб виконувалась умова:

$$\sum_{c=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\iint_{\Omega_C} R^j(x,y,t_c)\left[1-\psi^j(x,y,t_c)\right]dxdy\to\min \qquad (1)$$

$$\psi^j(x,y,t_c)=1-\overline{\varphi}_{\tilde{n}\grave{o}\,\grave{a}\ddot{o}}(x,y)\overline{\psi}^j_{i\,\hat{i}\,\acute{a}}(x,y,t_c);\ \psi^j_{i\,\hat{i}\,\acute{a}}(x,y,t_c)=1-\prod_{k=1}^{N(t_c)}\overline{\varphi}^j_{i\,\hat{i}\,\acute{a}}(x,y,t_c,\tau_{kc});\ j=\overline{1..J} \qquad (2)$$

з обмеженнями:

$$\forall c, \forall j : \Omega_{ic}^{j} \bigcap \Omega_{nc}^{j} = \varnothing; \ \forall j : \bigcup_{n} \Omega_{nc}^{j} = \Omega_{c}^{j} \equiv \Omega_{c}; \ \mathrm{i}, \mathrm{n} \in 1 \ldots N; \mathrm{i} \neq n \quad (3)$$

$$\left\{ \tau_{kc} : \iint_{x,y \in S(\tau_{kc})} R^{j}(x, y, t_{c}) dxdy > 0 \right\}; \ j \in \{1 \ldots J\} \quad (4)$$

$$\forall j : 0 \leq \varphi_{i\,\hat{\imath}\,\acute{a}}^{j}(x, y, t_{c}, \tau_{kc}); \varphi_{c\grave{o}\,\grave{a}\ddot{o}}^{j}(x, y); \mathrm{R}^{j}(x, y, t_{c}) \leq 1 \quad (5)$$

$$\exists \Omega_{z} \subset \Omega_{c} : \forall k, \forall c : \tau_{kc} \notin \Omega_{z}; \mathrm{z} = 1, \ldots, \mathrm{Z}; \quad (6)$$

$$\left\| \tau_{\mathrm{k(c+1)}} - \tau_{kc} \right\| \leq \bar{\upsilon}(t_{c+1} - t_{c}) \quad (7)$$

де $\varphi_{\tilde{n}\grave{o}\,\grave{a}\ddot{o}}(x, y)$ - статична частина поля моніторингу та розвідки, яка формується стаціонарними спостережними постами, та вважається незмінною на проміжку часу T, причому $\bar{\varphi}_{\tilde{n}\grave{o}\,\grave{a}\ddot{o}}(x, y) = 1 - \varphi_{\tilde{n}\grave{o}\,\grave{a}\ddot{o}}(x, y)$; $S(\tau_{0k})$ - круг радіуса r_{g} з центром в точці - τ_{0k}, являє собою максимальну площу, що контролюється k-им рухомим засобом; Ω_{z} - зони забороненого доступу, в яких розміщення рухомих ресурсів не можливе; $\bar{\upsilon}$ - середня швидкість переміщення рухомих засобів.

Задача (1)-(2) з обмеженнями (3)-(7) по своїй постановці може бути віднесена до класу безперервних лінійних багатопродуктових задач оптимального розбиття множин з пошуком координат центрів підмножин, що розглянуті у роботах Е.М.Кисельової та її школи [3],[4]. Рішення таких задач потребує знання функцій $R^{j}(x, y, t)$, що можуть бути знайдені за допомогою підходів, висвітлених у роботах [5],[6],[7].

Література

1. Слободяник В.А, Бичков А.М., Долгаленко О.В. Аналіз структури та функцій перспективної автоматизованої системи управління РХБ захистом військ // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.:ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2013. – Вип. № 1 (48). - С.187-195.
2. Слободяник В.А. Підхід до створення перспективної автоматизованої системи управління РХБ захисту військ // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.:ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2016. – Вип. № 1 (60). - С.156-162.
3. Киселева Е.М. Теория оптимального разбиения множеств в задачах распознавания образов, анализа и идентификации систем / Е.М.Киселева, Л.С.Коряшкина, С.А.Ус / МОН Украины; Нац. ун-т. – Д.:НГУ,2015.-270с.
4. Киселева Е.М. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств и r-алгоритмы / Е.М.Киселева, Л.С.Коряшкина; Днепропетр. Нац. ун-т им.Олеся Гончара. – Киев: Наукова думка, 2015.-398с.
5. Слободяник В.А., Чумаченко С.М. Оцінка ризику застосування зброї масового ураження та еквівалентних за наслідками руйнувань особливо небезпечних об'єктів протягом воєнного конфлікту// ІПММС НАНУ, Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика, 2008. - С. 49-52.
6. Lysenko O. Resource-constrained project scheduling task and their application for conflict scenarios modelling / O.Lysenko, E.Tachinia, V.Slobodianyk // Proceedings of the third world congress Aviation in the XXI-st century. Safety in aviation and space technology. Volume1. September 22-24, 2008. Kyiv, Ukraine. – Paige 15.38-15.40
7. V.Slobodianyk Control system CBRN protection of troops, based on the fields of CBRN risks // ЗНП ВІКНУ КНУ. – К.: ВІКНУ КНУ, 2012. - №36. – С.77-80.

УДК 621.396.946

ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ТА РОЗМІЩЕННЯ КЛАСТЕРІВ НАНОСУПУТНИКІВ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ CLEAR SPASE

[1]Явіся В.С., [1]Лисенко О.І., [1]Алексеева І.В., [2]Тачиніна О.М.
[1]Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya@bigmir.net
[2]Національний авіаційний університет
E-mail: tachinina5@gmail.com

The method of creation and allocation of nanosatellite clusters of clear space satellite communication system

It is proposed to create a group of nanosatellites of CubeSat format, which will consist of clusters. Each cluster will be similar functionally to Iridium satellite.

Для створення глобальної системи супутникового зв'язку на базі угрупування наносупутників (НС) формату *CubeSat,* яка б за об'ємом виконуваних функцій була аналогічна системі *Iridium,* необхідно буде розташувати на шести орбітах мінімум 66 кластерів НС (по 11 на кожній орбіті) [1-7].

Склад кластеру із НС може бути не однорідним з погляду на функції, що виконуються окремими апаратами: основна частина НС може використовуватися для зв'язку із абонентськими терміналами, інші – для концентрації і комутації навантаження всередині кластеру, зв'язку із сусідніми кластерами НС, які розташовані на власній та суміжних орбітах, а також для зв'язку із наземними станціями. Оскільки відстань між НС кластеру складає лише кілька десятків метрів, взаємодія між ними може здійснюватися за допомогою *Wi-Fi* або оптичного сигналу.

Мінімальна кількість НС у одному кластері визначиться наступним чином. Для зв'язку із абонентськими терміналами, за умови формування одним НС одного парціального променю, потрібно 32 апарати. Функцію концентрації і комутації навантаження всередині кластеру буде виконувати один НС (бажано із дублюванням). Для зв'язку із іншими кластерами на власній та суміжних орбітах – чотири НС, для зв'язку із наземними станціями – два НС. Таким чином, для виконання функцій аналогічних за обсягом тим, що виконує супутник *Iridium NEXT*, в кластері повинно бути не менше 40 НС.

Для формування діаграми спрямованості, яка забезпечить обслуговування території, що за площею співвідноситься із зоною обслуговування одного парціального променю супутника *Iridium NEXT,* пропонується використовувати спіральну конічну антену [1].

Виходячи з питомого енергоспоживання НС, його формат можна

визначити як *CubeSat*-2, коли в одному кубі із стороною 10 см будуть розташовані елементи енергоустаткування (сонячні батареї та акумулятор), а в іншому – обладнання відповідно до функціонального призначення. Загальна вага такої конструкції буде знаходитись в межах 9 кг. При масовому виробництві вартість одного НС формату *CubeSat*-2 не буде перевищувати 150 тис доларів. Тому сукупна вартість кластеру складатиме 6 млн доларів.

При виведенні апаратів на орбіту з висотою 750 км ракетою-носієм *Falcon* 9 вартість одного кг КН, складатиме близько 11630 доларів [3].

Оцінимо ефективність системи супутникового зв'язку, яка побудована на угрупуванні НС. Будемо використовувати параметри, що відповідають одному кластеру НС: кількість одночасних підключень $V_{\text{НС}} = 3840$; вартість всіх сорока НС кластеру з урахуванням витрат на запуск (визначиться добутком маси одного НС та вартості одного кг КН, що виводиться на орбіту) складатиме: $C_{\text{НС}} = 40 \times (150000 + 9 \times 11630) \approx 10{,}2$ млн. доларів, а відповідно $E_{\text{НС}} = 2653$ доларів за підключення.

Слід зазначити, що розрахунки проводились за умови використання ракети-носія без повернення першої ступені. Якщо скористатися національними аерокосмічними системами «Оріль», «Світязь» або «MAKS» і при цьому виконувати первинне розміщення НС (рис. 1) за наведеною нижче математичною постановкою задачі [8], то вартість кластерної наносупутникової системи зв'язку значно зменшиться порівняно із існуючими системами:

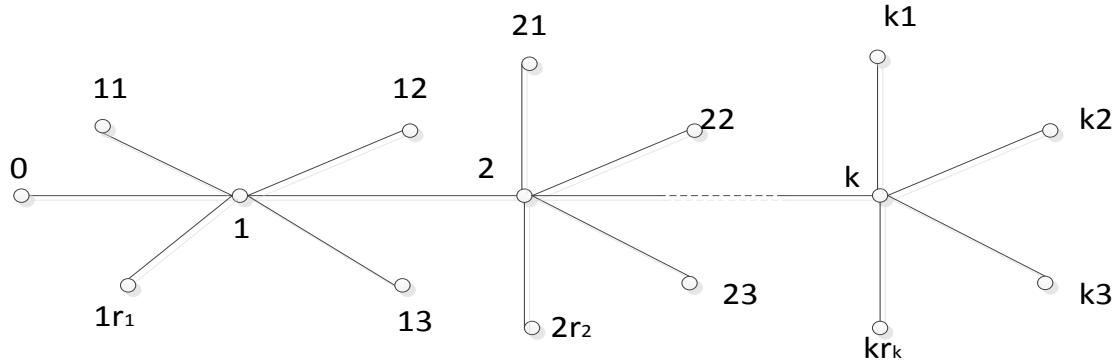


Рис. 1. Структурна схема траєкторії розміщення кластерів наносупутників

$$\dot{x} = f(x,u,t), t \in [t_0, t_f], \ x \in E^n, , u \in \Omega \subset E^m, \tag{1}$$

$$g_l^{(0)}(x_l(t_0), t_0) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, k_g^{(0)};} \\ \le 0, l = \overline{k_g^{(0)} + 1, n_g^{(0)}}; \end{cases} \tag{2}$$

$$g_l^{(i)}(x_i(t_i), t_i) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, k_g^{(i)};} \\ \le 0, l = \overline{k_g^{(i)} + 1, n_g^{(i)}}; \end{cases} \quad (t_{i-1} < t_i, i = \overline{1,k}), \tag{3}$$

$$g_l^{(ij)}(x_{ij}(t_{ij}),t_{ij})\begin{cases}=0,\ l=\overline{1,k_g^{(ij)}};\\ \le 0,\ l=\overline{k_g^{(ij)}+1,n_g^{(ij)}};\end{cases}\quad (i=\overline{1,k};\ j=\overline{1,r_i}) \tag{4}$$

$${}_\beta\dot{x}={}_\beta f({}_\beta x,{}_\beta u,t),t\in[t_{\beta^*},t_\beta],\ (\beta=i,\beta^*=i\text{-}1;\beta=ij,\beta^*=i;i=\overline{1,k};\ j=\overline{1,r_i}); \tag{5}$$

$$q_l^{(\beta)}({}_\beta x,{}_\beta u,t)\begin{cases}=0,l=\overline{1,k_q^{(\beta)}};\\ \le 0,l=\overline{k_q^{(\beta)}+1,n_q^{(\beta)}};\end{cases}\quad t\in[t_{\beta^*},t_\beta] \tag{6}$$

$$\begin{aligned}&{}_i x(t_i)-{}_{ij}x(t_i)=0\quad (i=\overline{1,k};\ j=\overline{1,r_i});\\ &{}_i x(t_i)-{}_{i+1}x(t_i)=0\quad (i=\overline{1,k-1})\end{aligned} \tag{7}$$

$${}_i x_n(t_i)=\xi(i)\,{}_{i+1}x_n(t_i)+\sum_{j=1}^{r_i}{}_{ij}x_n(t_i); \tag{8}$$

$$i=\overline{1,k},\ j=\overline{1,r_i},\xi(i)\begin{cases}1,i=\overline{1,k-1},\\ 0,i=k.\end{cases} \tag{9}$$

Таким чином, поєднання ідеї щодо створення низькоорбітального багатоцільового кластерного наносупутникового оперативно відновлюваного угрупування дозволяє на системній основі задовольнити потреби суспільства у надійному інформаційному забезпеченні і при цьому не засмічує ближній навколоземний космічний простір.

Література

1. SatcomDV. Информация о системах спутниковой связи. /Электронный ресурс/ http://www.satcomdv.ru/informaciya_o_sistemah_ sputnikovoj_sa.
2. Явіся В.С., Вакуленко О.В. Аналіз способів побудови систем супутникового зв’язку // X Науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв’язку та автоматизації в АТО». Збірник тез. – К.: ВІТІ. – 2017. – С. 274-275.
3. Все спутники связи. Каталог. /Электронный ресурс/ http://ecoruspace.me.
4. Wind-sail, сайт компании. Космический сегмент спутниковой связи Иридиум. /Электронный ресурс/ https://wind-sail.ru/equpment/svyaz/sistema-mobilnoj-sputnikovoj-svjazi-iridium/
5. Satlink. Технические характеристики спутниковой системы связи Iridium /Электронный ресурс/ http://www.satlink.ru/Spytnikovaia_sviaz/Iridium/ Tehnicheskie_ harakteristiki.html.
6. Космос Я. Расчет стоимости производства, обслуживания и запуска ракет Falcon 9 и Falcon Heavy компании SpaceX Электронный ресурс/ http://www.astronews.space/spacecrafts-2/252.
7. Явіся В.С., Лисенко О.І. Антенні пристрої для наносупутникової системи фіксованого зв’язку // XI Науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв’язку та автоматизації в операції Об’єднаних сил». Доповіді та тези доповідей. – К.: ВІТІ. – 2018. – С. 241.
8. Lysenko O.I., Tachinina O.M., Alekseeva I.V. Path constructing method of unmanned aerial vehicle// IEEE 4th International Conference, «Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments» (Kyiv, Ukraine, October, 17-19, 2017).– K.: NAU, 2017. – pp. 254-259.

УДК 621.396

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МАНЕВРУЮЧИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У МЕРЕЖАХ FANET

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: cukanov-o@ukr.net

Determination of motion parameters of flying aerial vehicles in flying sensor networks FANET

The task of estimating the motion parameters of constantly maneuvering unmanned aerial vehicles as elements of flying FANET sensor networks is considered. An algorithm for dynamic filtering without a maneuver detection unit based on the estimation of the component accelerations and the specification of the values of the control vector are proposed. The results obtained make it possible to ensure the stability of the motion parameters, which will ensure the efficient management of the elements of the FANET wireless sensor network.

Для ефективного управління безпілотних літальних апаратів **(**БПЛА) як елементів літаючих сенсорних мереж FANET [1] на наземному пункті управління недостатньо знати тільки їх поточні координати в реальному масштабі часу. Більш того, для вирішення завдання управління БПЛА, що маневрує необхідна інформація про їх швидкостях і прискореннях. Граничні значення цих параметрів визначаються в основному технічними характеристиками конкретного літального апарату і параметрами атмосфери, в першу чергу, швидкості вітру на траєкторії його польоту.

При наявності вітру траєкторія польоту кожного БПЛА може розглядатися як "політ з маневром". Один з підходів оцінювання параметрів руху маневрують БПЛА розглянуто в [2], суть якого полягає в визначення ймовірності наявності маневру і на основі цієї інформації розрахунку коефіцієнта посилення динамічного фільтра. У той же час, ймовірність маневру на кожному кроці непостійна, а тому для постійно маневрують БПЛА такий алгоритм не працездатний.

Пропонується алгоритм побудований на уточнення значень прискорень за координатами, визначеними одночасно з вектором стану (ВС) в "ковзному вікні".

Вважаємо, що початкові координати БПЛА FANET можуть бути визначені як за допомогою датчиків GPS встановлених на всіх БПЛА так і шляхом взаємного вимірювання відстаней D_{ij} між *i-тим і j-тим* БПЛА, наприклад, з використанням протоколу IEEE 802.15.4 (ZigBee) [3] (в такому випадку датчиками GPS оснащуються тільки 3-4 БПЛА мережі).

Інформацію про параметри руху представляється у вигляді ВС, а інформацію про помилки у вигляді кореляційної матриці помилок (КМО). Стійкість процесу оцінювання ВС кожного з БПЛА мережі залежить від багатьох факторів, основними з яких є помилки визначення координат БПЛА.

Математична постановка задачі оцінювання ВС (параметрів руху) БПЛА FANET виглядає наступним чином. На підставі наявної інформації про координати $\widetilde{x_i}$, $\widetilde{y_i}$, $\widetilde{z_i}$,, і їх помилки $\widetilde{\sigma x_i}$, $\widetilde{\sigma y_i}$, $\widetilde{\sigma z_i}$, необхідно визначити параметри руху маневрового БПЛА, а саме:

1) оцінки ВС $\widehat{X_{in}}$ координати $\widehat{x_i}, \widehat{y_i}, \widehat{z_i}$, похідних (швидкостей) $\widehat{\dot{x}_i}, \widehat{\dot{y}_i}, \widehat{\dot{z}_i}$;

2) КМО оцінки координат елементів $\widehat{K_{in}}$;

3) вимірювання координат БПЛА накопичення в "ковзному" вікні та уточнення значень прискорень $a_{x,n-1}, a_{y,n-1}, a_{z,n-1}$ у векторі управління.

Помилки вимірювання координат БПЛА при використанні тільки датчиків GPS $\widetilde{\sigma x_i}$, $\widetilde{\sigma y_i}$, $\widetilde{\sigma z_i}$, визначаються багатьма факторами і залежать від динаміки (швидкості і прискорення польоту БПЛА) сезонної, тимчасової нестабільності гравітаційного поля Землі, від умов поширення радіохвиль.

Для отримання високоточних оцінок параметрів руху БПЛА, що маневрують, на основі вимірювання координат пропонується використовувати як рекурентні методи, так і оцінювання методом найменших квадратів (МНК) в "ковзному вікні" [4].

Початковими умовами запропонованого алгоритму оцінювання є ВС параметрів руху X_{in-1} і КМО K_{in-1} на *n-1* кроці оцінювання. ВС має вигляд:

$$X_{in}{}^{T} = |x_{in},\ \dot{x}_{in},\ y_{in},\ \dot{y}_{in}, z_{in}, \dot{z}_{in}|,$$

а вектор вимірювань –

$$Y_{in}{}^{T} = |\widetilde{x_{in}}\ ,\ \widetilde{y_{in}},\ \widetilde{z_{in}}|.$$

При цьому екстрапольовані значення ВС X_{in}^{e} і КМО оцінки K_{in}^{e} можна представити у вигляді [5]:

$$X_{in}^{e} = F_{in,n-1}X_{in-1} + G_{n-1}U_{in-1}, \quad (1)$$

$$K_{in}^{e} = F_{in,n-1}\, K_{in-1}F_{in,n-1}{}^{T} + G_{n-1}S_{in-1}^{*}G_{n-1}^{T}, \quad (2)$$

де $F_{in,n-1}$ - матриця екстраполяції, S_{in-1} - КМО вектора управління, який представляє собою середнє квадратичне відхилення оцінок прискорень за координатами *x,y,z*; U_{in-1} - вектор управління; G_{n-1} - матриця управління.

Матричний коефіцієнт посилення динамічного фільтра має вигляд:

$$H_{in} = K_{in}^{e}(K_{in}^{e} + Q_{in})^{-1}. \quad (3)$$

Тут Q_{in} - КМО вектора Y_{in}, на *n* - ому кроці вимірювань. Тоді оцінки ВС $\widehat{X_{in}}$ і КМО оцінювання $\widehat{K_{in}}$ визначаються як:

$$\widehat{X_{in}} = X_{in} + H_{in}(Y_{in} - X_{in}^{e}), \quad (4)$$

$$\widehat{K_{in}} = K_{in}^{e} - K_{in}^{e}\ H_{in}, \quad (5)$$

Одночасно здійснюється уточнення значень вектора управління $\widehat{a_{x,n-1}}$, $\widehat{a_{y,n-1}}$, $\widehat{a_{z,n-1}}$, за результатами апроксимації оцінювання координат в "ковзному вікні" шириною $\Delta t = [t_{к-1},\ t_{к-m}]$.

В якості виміряних значень приймаються координати місця розташування i -ого БПЛА $Z_{\Delta t}$

$$Z_{\Delta t} = |x_{\Delta t},\ y_{\Delta t},\ z_{\Delta t}|.$$

де $x_{\Delta t},\ y_{\Delta t},\ z_{\Delta t}$ масиви значень по координатам на інтервалі часу Δt.

Здається модель руху маневрового БПЛА, яка описується алгебраїчним поліномом по кожній координаті вектора Z_i:

$$\widetilde{Z}_{t-1} = c_0 + c_1\, t_{i-2} + c_2\, t_{i-2}{}^2 \qquad (6)$$

Далі за МНК визначається в "ковзному вікні" вектор коефіцієнтів по кожній з координат:

$$C = (N^T N)^{-1} N^T Z, \qquad (7)$$

Отримані коефіцієнти c_2 є елементами вектора управління

$$U_{n-1} = |\widehat{a_{x,n-1}}, \widehat{a_{y,n-1}}, \widehat{a_{z,n-1}}|$$

на *n-1* кроці.

Вирази (1) - (7) представляють собою пропонований стійкий алгоритм оцінювання. Завдання забезпечення стійкості алгоритму оцінювання параметрів руху БПЛА, який постійно маневрує, вирішена шляхом обмеження знизу значень елементів матричного коефіцієнта посилення H_{in} за рахунок роботи фільтра Калмана (1)-(5) тільки на перехідній ділянці та уточнення елементів вектора управління U_{in-1}.

Розглянутий алгоритм уточнення моделі руху дозволяє забезпечити стійке оцінювання без блоку виявлення маневру при раптовій зміні траєкторії руху БПЛА. Якщо БПЛА не робить маневр тоді всі складові вектора управління $a_{x,n-1},\ a_{y,n-1},\ a_{z,n-1}$ становлять близькими до нуля.

Результати імітаційного моделювання для БПЛА, якій постійно маневрує з максимальної швидкістю 40 м/с і з різними типами маневру, підтверджують працездатність запропонованого алгоритму. Аналіз графічних залежностей помилок оцінювання від часу по координатами і швидкостям надані в доповіді.

Література

1. Романюк В.А. Літаючі самоорганізуючі радіомережі. / Романюк В.А., Степаненко Є.О., Панченко І., Восколович О.І. // Збірник наукових праць ВІТІ К.: - 2017, № 1, С. 105-114.
2. Langdon M. "ZigBee goes underground", E&T Magazine, 2009, Aug.
3. Жук С.Я. «Адаптивная фильтрация параметров движения маневрирующего объекта в прямоугольной системе координат». / Жук С.Я., Кожешкурт В.И., Юзефович В.В. // Реєстрація, зберігання і обробка даних, - 2009, Т. 11, № 2, С. 12-24.
4. Бодрова А. А.. Позиционирование и взаимодействие в беспроводных сенсорных сетях. / Бодрова А. А., Логвин В. И. // Молодой ученый. - 2015, №6, С. 129-132.
5. Grewal M.S. «Kalman Filtering». / Grewal M.S., Andrews A.P. //Theory and Practice Using MATLAB- Wiley, 2001.

УДК 621.396

АЛГОРИТМИ РОЗПОДІЛУ УГРУПОВАННЯ З РІЗНОРІДНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.
Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»
E-mail: cukanov-o@ukr.net

Algorithms of distribution of the organization of different freeze literal apparatus for monitoring the ground objects

Algorithms for the distribution groups of the unmanned aerial vehicles which are a part of the flying touch networks to the solve the problem of monitoring the land situation at emergence of various emergency situations are considered. Algorithms are based on methods of convex and dynamic programming. The received results can be also used in problems of distribution of computing resources for various telecommunication networks.

В даний час літаючі сенсорні мережі FANET [1] на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) знаходять все більше застосування в різних областях діяльності людей, в тому числі для вирішення завдань моніторингу наслідків надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного і військового характеру.

Метою роботи є розробка алгоритмів розподілу угруповання різнорідних БПЛА для вирішення завдань моніторингу складної наземної інфраструктури з різними параметрами, що змінюються в процесі НС. Такими параметрами наприклад, є склад інформації, необхідної для оцінки обстановки та прийняття правильного рішення, визначення необхідного наряду сил і засобів для адекватного реагування на зміни, управління процесом ліквідації наслідків НС. Тому і виникає задача розподілу різнорідних БПЛА, яка повинна вирішуватися як на етапі аналізу, так і в процесі ліквідації НС.

Припустимо, що є m груп різнорідних БПЛА та інфраструктура з n наземних об'єктів. Під поняттям об'єкт може трактуватись як одиночний елемент, наприклад, будівля так і група елементів, наприклад, певна територія підприємства.

Об'єкти в тому числі і групові можуть об'єднуватися в групи, в свою чергу, група може складатися як з групових, так і одиночних об'єктів. Крім того, угруповання БПЛА може складатися з декількох груп літальних апаратів, в які входять N одиниць БПЛА одного типу.

Наземні об'єкти характеризуються коефіцієнтами (ступенями) важливості і ймовірністю моніторингу p_{ij} конкретного j - ого об'єкту i - *тим* типом БПЛА. Розподіл БПЛА по наземних об'єктах характеризується матрицею призначення $X=\{x_{ij}\}$, де x_{ij} - кількість БПЛА i - ого типу, які призначені для моніторингу j - ого об'єкту.

Необхідно розподілити різнорідні БПЛА по наземній інфраструктурі таким чином, щоб математичне сподівання аналізованих об'єктів M було максимальним

$$M = \sum_{j=1}^{n} A_j \left[1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - p_{ij})^{x_{ij}}\right] \to \max \quad (1)$$

при обмеженні на число БПЛА в групі,

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \le N_i, \ (i = 1,2,...m; \quad x_{ij} \ge 0; \ i = 1,2,...m; j = 1,2,...n.) \quad (2)$$

із заданою ймовірності моніторингу і - го групового об'єкту W_i, де

$$[1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - P_{ij})^{x_{ij}}] \le W_j, \quad j = 1,2,...n. \quad (3)$$

A_j - ступінь важливості j - ого об'єкту, причому $\sum_{j=1}^{n} A_j$.

Ці коефіцієнти A_j можуть бути обрані за правилом Фішберна [2], в разі коли кількість групових об'єктів не більше 10. Якщо ж число таких об'єктів перевищує 10, то A_j визначаться в два етапи: на першому групи - B_j , на другому всередині груп - C_s, при цьому $A_j = B_j \ C_s$.

Цільова функція (1) і обмеження (3) мають нелінійний вигляд. Аналізуючи вид залежностей можна зробити висновок, що маємо справу з задачею нелінійного програмування. Особливість рішення цієї задачі є те, що метод вирішення залежить від виду цільової функції (1) і обмежень (2), (3).

Одним з підходів до вирішення такого завдання є метод опуклого програмування [3], суть якого полягає в пошуку максимального значення в області зміни цільової функції за наступним алгоритмом:

1) знаходиться початкова дозволене рішення $S^{(0)} = \{x_{ij}\}$, яке задовольняє обмеженням (2) або (3);
2) визначаються компоненти матриці можливого напрямку пошуку оптимального рішення:

$$S^k = \{S_{ij}^{(k)}\}, \text{ де } S_{ij}^{(k)} = \widetilde{x_{ij}^{(k)}} - x_{ij}^{(k)}.$$

Елементи $\widetilde{x_{ij}^{k}}$ визначаються за допомогою матриці $\widetilde{y_{ij}^{k}}$, яка дорівнює

$$y_{ij}^{(k)} = A_j a_{ij} exp(-\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_{ij}^{(k)}), \text{ при цьому } a_{ij} = - ln (1-P_{ij}).$$

Далі в кожному рядку матриці $y_{ij}^{(k)}$ шукається максимальний елемент. Положення максимальних елементів визначає закріплення БПЛА i - тий БПЛА за j - *тим* об'єктом $x_{ij}^{(k)}$, які дорівнюють N_i, і = 1,2, ... m. Інші елементи $x_{ij}^{(k)}$ приймаються рівними 0;

3) здійснюється оцінка близькості отриманого рішення до оптимального. Для цього розраховуємо відхилення на даному етапі від оптимального $\Delta^{(k)}$ рівне

$$\Delta^{(k)} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} y_{ij}^{(k)} S_{ij}^{(k)}.$$

Якщо $\Delta^{(k)} \le \varepsilon$ - то рішення практично оптимально, якщо $\Delta^{(k)} > \varepsilon$, тоді ітераційним методом Ньютона знаходиться довжина кроку λ_k з рівняння

$$\sum_{j=1}^{n} A_j^{(k)} \exp(-\lambda_k \sum_{i=1}^{m} a_{ij} s_{ij}^{(k)}) = 0;$$

4) знаходиться рішення:

$$S^{(k+1)} = \left\{x_{ij}^{(k+1)}\right\}, \text{ де } x_{ij}^{(k+1)} = x_{ij}^{(k)} + \lambda_k S_{ij}^{(k)}.$$

5) одночасно перевіряється виконання умови (3).

Процес повторюється починаючи з кроку 2 в разі, якщо відхилення більше потрібного тоді визначається нове допустиме рішення. Недоліком цього алгоритму є необхідність визначення спеціального критерію близькості рішення до оптимального.

Для усунення цього недоліку пропонується алгоритм вирішення задачі динамічного програмування методом максимального елемента [4]. Його сутність полягає в трьох основних кроків:

1) записується матриця ймовірностей моніторингу об'єкту з урахуванням ступеня важливості A_j групового об'єкту і при $\{x_{ij}\} = 0$,

$$S^{(0)} = \{s_{ij}^0\} = \{A_i P_{ij}\}\,; \tag{4}$$

2) в матриці $S^{(0)}$ знаходиться максимальний елемент закріплюється i - тий БПЛА, за j - тим об'єктом. При цьому в матриці призначень елементи з індексами i^*, j^* збільшуються на одиницю

$$\{x_{i^*j^*}\} = \{x_{i^*j^*}\} + 1 \quad \text{із } N_{i^*} - 1, \tag{5}$$

і розраховується поточна ймовірність моніторингу цього об'єкту

$$S^{(1)} = S_{ij}^0(1 - A_i P_{i^*j^*}),\ i = 1,2,\ldots m. \tag{6}$$

3) аналізуються ресурс БПЛА (2) і обмеження відповідно до (3).

Обчислення (4) - (6) повторюються до знаходження близького до оптимального плану розподілу угруповання БПЛА.

Застосування методу максимального елемента в задачі динамічного програмування дозволяє отримати досить наочно і просто необхідний склад угруповання різнорідних БПЛА для вирішення завдання моніторингу наземних об'єктів з заданими обмеженнями і при цьому, дозволяє легко враховувати наявні обмеження (2) і (3) в задачі (1).

Метод опуклого програмування передбачає також наявність двох різних ітерацій в процесі обчислень і, крім того, вибір параметра ε - критерію зупинки обчислень. У свою чергу, метод максимального елемента не вимагає наявності додаткових параметрів.

Література

1. Романюк В.А. Метод збору інформації моніторингу в бездротових сенсорних мережах з використанням безпілотних літальних апаратів. Збірник наукових праць ВІТІ. К.:, - 2018. № 1, С. 90-99.
2. Постников В. М.. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев / Постников В. М., Спиридонов С. Б. // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 06, - С. 267–287.
3. Лисенко О.І. Математичні методи моделювання та оптимізації. ч.1. Математичне програмування та дослідження операцій./ Лисенко О.І., Тачинина О.М , Алексєєва І.В. // Підручник.-К.: НАОУ, - 2017.- 212 с.
4. Абчук В.А. и др. Справочник по исследованию операций / под ред. Матвейчука Ф.А. Воениздат, 1979 - 362 с.

УДК 621.311

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Квашенко Л.О., Кононова І.В.
Інститут телекомунікаційних систем, КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: larissa.verbitskaya@gmail.com

Analysis of energy saving methods in wireless sensor networks

The basic methods of energy conservation in wireless sensor networks are investigated. The methods of reducing power consumption are analyzed and it`s an important factor for a special or distributed, managed or self-organized sensor networks, in wireless sensor networks for data transmission.

Досліджено особливості збереження енергії в бездротових сенсорних мережах. Проаналізовані найбільш поширені методи зменшення енергоспоживання, які є важливим фактором для спеціальної або розподіленої сенсорної мережі, керованої або само організованої, в бездротових сенсорних мережах для передачі даних.

Бездротова сенсорна мережа складається з просторово розподілених автономних пристроїв, що використовують датчики для моніторингу умов навколишнього середовища. Система включає в себе шлюз, який забезпечує бездротовий зв'язок з проводовими пристроями і розподіленими вузлами [2, с. 1].

Розглянемо структуру вузла бездротової сенсорної мережі (БСМ), яка включає в себе чотири компоненти: чутливий елемент, який використовується для дослідження фізично-вимірюваного параметра; аналого-цифровий перетворювач, який перетворює аналогові сигнали в цифрові; блок обробки, що виконує базову обробку та обчислення даних; блок живлення, що відповідає за термін служби вузла датчика. На енергоспоживання мережі впливають деякі факторів, наприклад операції пов’язані з покриттям мережі, управлінням топологіями часу виконання, розподілом вузлів, адмініструванням вузлів, розгортанням мережі. Завдяки унікальним характеристикам БСМ, які відрізняються від характеристик звичайних мереж, ці задачі вирішуються, але існують більш складні енергоємні операції – маршрутизація пакетів даних [3, с. 1–3].

Метою даної роботи є підвищення енергоефективності БСМ щодо відношення до протоколу маршрутизації зв'язку.

Розглянемо протокол маршрутизації з урахуванням місцеположення (PRRP – Position Responsive Routing Protocol) та порівняємо його роботу з роботою протоколів LEACH (Low-energy adaptive clustering hierarchy – низькоенергетична адаптивна ієрархія кластеризації) і CELRP (кластерний протокол маршрутизації енергоефективного розташування) [4, 5, с. 1].

PRRP призначений для зведення до мінімума енергії, що споживається в кожному вузлі, за рахунок зменшення часу, за який вузол датчика (сенсора)

знаходиться в неактивному стані прослуховування та зменшення середньої відстані зв'язку по мережі.

Основним внеском PRRP є новий спосіб вибору заголовка кластера (ЗК) в БСМ. Порівнюючи його з існуючими протоколами, такими як LEACH і CELRP, де ЗК вибирається випадковим чином серед інших вузлів на основі їх відповідної залишкової енергії. Проводячи аналіз PRRP були розглянуті різноманітні параметри, такі як відлік, рівень енергії і середній розмір сусідніх вузлів від ЗК вузла, який показав, значне поліпшення в порівнянні з вищезгаданими протоколами з точки зору енергоефективності та продуктивності.

Розглядаючи концептуальну модель мережі для реалізації PRRP, яку показано на рис. 1 можна побачити, що у даній моделі всі вузли розташовані випадковим чином у форматі сітки.

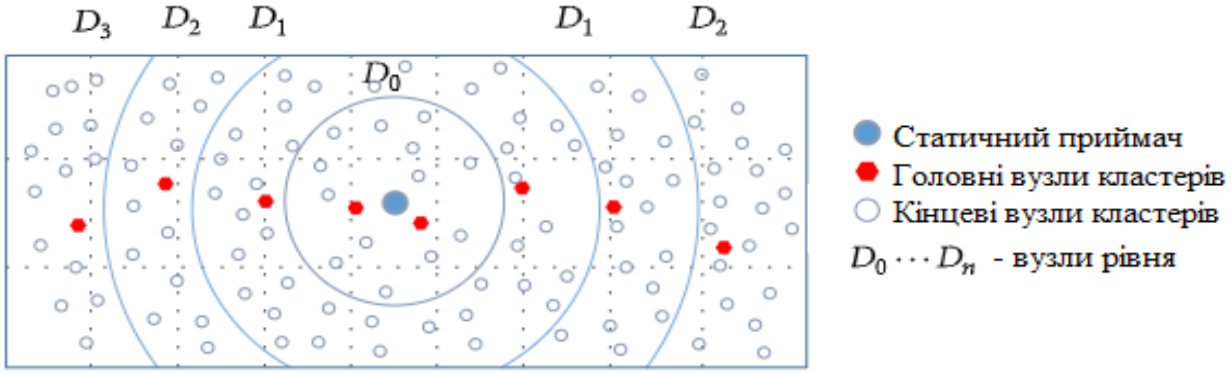


Рис. 1. Концептуальна модель мережі для реалізації PRRP

Статичний приймач знаходиться в центрі мережі, а сенсорні вузли в мережі розділені на різні групи кластерів з обох сторін приймача. З рисунка видно, що рівні визначаються в радіусах навколо приймача в межах від D_0 до D_1. Сигнал з рівнем енергії E_0 передається з приймача в мережу у тому випадку, якщо він приймається тільки вузлами, розташованими поблизу приймача. Після прослуховування сигналу ці вузли дадуть відповідь на приймач і будуть зареєстровані як вузли рівня D_0. Приймач оголосить сигнал з енергією передачі E_1, за умови що E_1>E_0. Вузли, крім D_0, повинні реагувати на цей сигнал, утворюючи вузли рівня D_1 і процес буде повторюватися, доки не буде сформовано задану кількість рівнів.

Проаналізуємо далі використання енергії, що споживається головними вузлами кластера і кінцевими вузлами, які можуть бути пов'язані з тривалістю життя вузла ЗК, який існує у трьох режимах: отримання вибірок даних від вузлів-учасників; передача власних даних; режим очікування. Термін служби каналу ЗК можна розрахувати, як кількість інтервалів вибірки (N_s):

$$N_s = \frac{E_{\text{in}} - E_{\text{th}}}{E_t + kE_r + (T_s - (k+1)\,T_t)\,P_s}.$$

де: E_{in} - початкова енергія, E_{th} - порогова енергія (мінімальна енергія

для участі в наступному раунді маршрутизації), E_r - енергія спожита під час прийому, E_t - енергія спожита при передачі одного зразка даних, T_t - час для передачі вибірок, P_s - положення приймача, T_s - час передачі і час прийому для кожного зразка, k - вузол каналу ЗК, $T_s - (k+1) * T_t$ - час для прийому вибірок.

Таким чином, з проведеного аналізу, можна сказати, що PRRP має мінімізувати відстані між вузлами і шлюзом для економії енергії під час передачі даних. Більшість вузлів залишаються в режимі очікування для економії енергії. Кожен вузол в PRRP буде передавати дані найближчому вузлу, тому відстань передачі є найкоротшою, як наслідок буде споживатися менше енергії для передачі даних, для цього приймач необхідно розміщувати в центрі мережі, а не на одному кінці, на відміну від LEACH і CELRP.

У цілому, PRRP аналогічний протоколу LEACH, де будь-який вузол може зв'язуватися з приймачем, а алгоритм збору або передачі даних є графіком, заснованим на часі. Відмінність полягає лише в тому, що в LEACH кластери і голови кластера формуються в межах кожного кластера для передачі даних (рис. 2).

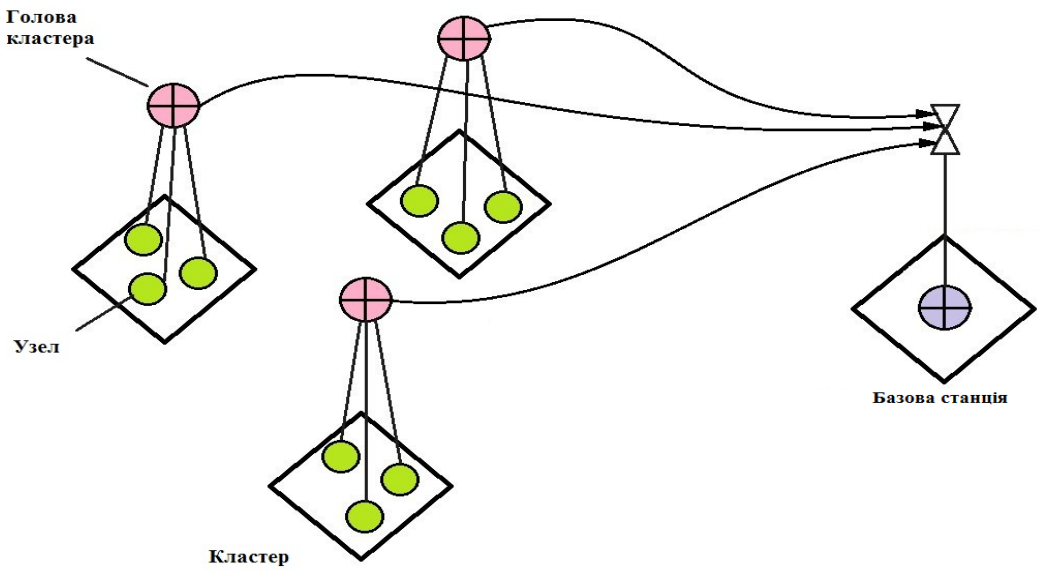


Рис. 2. Кластерне формування вузлів в LEACH.

Проводячи порівняльну оцінку продуктивності між LEACH і PRRP можна зробити висновок, що в LEACH є два типи вузлів датчиків, такі як вузол без класу і голова кластера, у той час як в PRRP існує три типи вузлів датчиків, таких як шлюзові вузли, кінцеві вузли і некінцеві вузли. Результати моделювання показують, що вузли PRRP «живуть» довше і використовують максимально енергію для більш тривалого періоду часу, після 10-ти раундного тестового запуску (рис. 3) показано, що останній вузол протоколу

LEACH помирає після 275 секунд, тоді як вузли PRRP починають помирати тільки після 350 секунд.

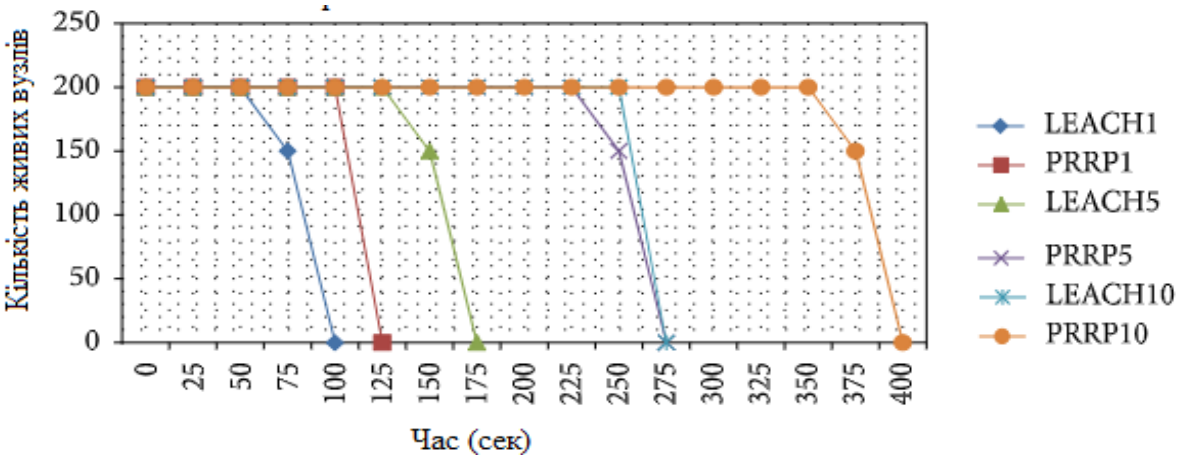


Рис. 3. Результати моделювання.

Далі необхідно провести аналіз на основі пропускної здатності. Для цієї задачі необхідно порівняти пропускну здатність мережі з точки зору доставки пакетів даних у приймач, що показано в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння між PRRP і LEACH з точки зору пропускної здатності.

Періоди	*PRRP*	*LEACH*	*Поліпшення при PRRP у %*
1 період передачі даних	15834	3607	4.38 разів
5 період передачі даних	53950	13045	4.13 разів
10 період передачі даних	64100	25640	2.50 разів

За отриманими результатами, можна побачити суттєве поліпшення пропускної здатності мережі для всіх раундів. PRRP економить велику кількість енергії під час фази передачі даних, протягом декількох періодів. Отже, зі збільшенням кількості раундів підвищується пропускна здатність мережі [3, с.14].

В даній роботі проведено оцінку PRRP та LEACH, яка показує, що існують істотні фактори впливаючі на зниження енергоспоживання мережі.

Проведений аналіз показав, що якість PRRP оцінюється на основі терміну служби, енергоспоживання та пропускної здатності мережі. PRRP виграє в порівнянні з LEACH (поліпшення терміну служби мережі, за рахунок зменшення споживання енергії, підвищення пропускної здатності мережі). Пропускна здатність збільшується в 2,5 рази, термін служби мережі підвищується більш ніж на 50%, а енергоспоживання на пакет знижується до 50%.

Література

1. https://ieeexplore.ieee.org/document/7045751.
2. http://www.ni.com/white-paper/7142/en/.
3. https://www.hindawi.com/journals/js/2016/9278701/.
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Low-energy_adaptive_clustering_hierarchy.
5. Нурхаяті, Сена ХеЧой,Кен Ой Лі «A Cluster Based Energy Efficient Location Routing Protocol in Wireless Sensor Networks», 2011р.

УДК 621.396.946

МЕТОДИ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Ковбаса А.О., Петрова В.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: antonkovbasa@gmail.com

Load balancing methods in wireless sensor networks

This article focused on the WSN load balancing problem. Load balancing is not about equable load distribution on each node of the network, but more concentrated on the strategy of certain nodes load to increase a lifetime of network and nodes. Several methods are used in WSN for load balancing. This research is dedicated to protocol methodologies of the above issue.

Бездротові сенсорні мережі (WSN) це просторово розподілені автономні датчики для контролю фізичних або екологічних умов, таких як температура, звук, тиск і т.д., та спільної передачі своїх даних через мережу в основне місце розташування. Більш сучасні мережі є двонаправленими, що дозволяє контролювати діяльність датчиків.

Розробка WSN була мотивована військовими додатками, такими як спостереження на полі бою, сьогодні такі мережі використовуються в багатьох промислових і споживчих додатках, таких як моніторинг і контроль промислових процесів, моніторинг стану машин і так далі. Багато алгоритмів і технологій використовуються в WSN. На рис.1 показана основна структура WSN.

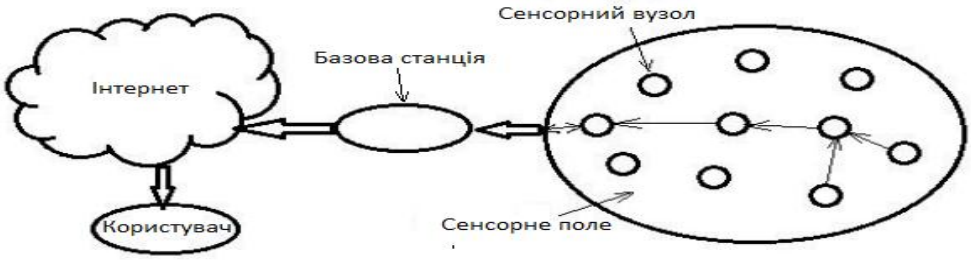


Рис. 1. Структура WSN.

Збір інформації є однією з основних проблем бездротових сенсорних мереж. Сенс самих даних не є великою річчю тут, як ці дані ефективно надсилати до базової станції є головним.

Clustering protocol. У цій частині описується кластер-орієнтований протокол зв’язку, який працює на базі багатоланкової (multi-hop) комунікації, замість одноланкової (single-hop). Існує три фази протоколу, показані на рис.2. Перша фаза – це фаза ініціалізації в якій всі вузли зв’язуються один з іншим і формують шари в залежності від відстані до базової станції. В свою чергу, друга фаза розділена на вибір головного вузла кластера, формування кластера та TDMA розкладу.

Визначальними є два фактори – кількість вузлів в кластері та

положення головного вузла кластера. Через велику кількість кластерів відбуваються колізії, що вирішує головний вузол створюючи TDMA розклад. В третій фазі відбувається передача даних. Зібрані учасниками кластеру дані відправляються до головного вузла кластеру, де після агрегації передаються до базової станції. Цей процес повторюється починаючи з першою фази для кожної ітерації збору даних.

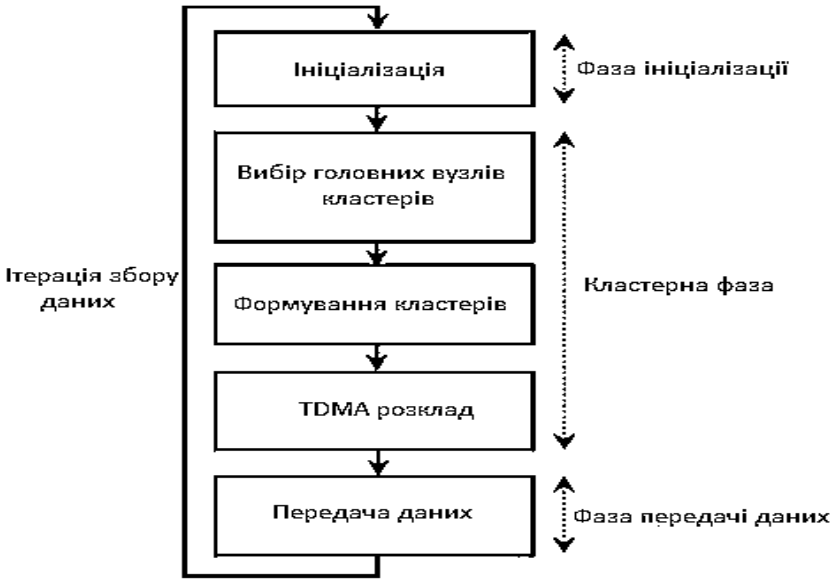


Рис. 2. Кластеризований протокол зв'язку.

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH). LEACH – ієрархічний протокол маршрутизації в бездротових сенсорних мережах. Використовує кластерну модель збору даних з розподілених вузлів нижчого рангу a Cluster Members (CM) та вузла вищого рангу Cluster Head (CH).

Головні вузли CH виконують функції маршрутизації та вибираються по випадковому принципу. Алгоритм вибору гарантує, що кожен вузол буде обраний головним вузлом тільки один раз протягом однієї ітерації. CH збирають дані з вузлів, які знаходяться в безпосередній близькості, і після агрегації відправляють їх на базову станцію. Сукупність головних вузлів CH формує основу комунікаційної інфраструктури мережі (рис. 3).

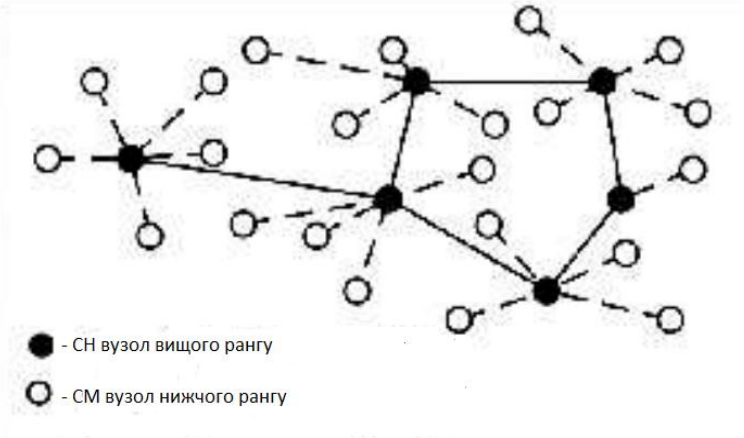


Рис. 3. Інфраструктура мережі на базі протоколу LEACH.

Two-Tier Data Dissemination (TTDD). TTDD – протокол з ієрархічним методом передачі даних. Він орієнтований на ефективну роботу в широкомасштабних бездротових сенсорних мережах з мобільними вузлами збору даних і стаціонарними сенсорами. Маршрутизація базується на інформації про місцезнаходження кожного вузла та побудові сітки ланок (рис. 4). Сенсори, які розташовуються ближче всього до точок перетину сітки, називаються вузлами розповсюдження (dissemination nodes). Вони обновлюють таблицю маршрутизації, постійно відстежуючи місцеположення приймача даних.

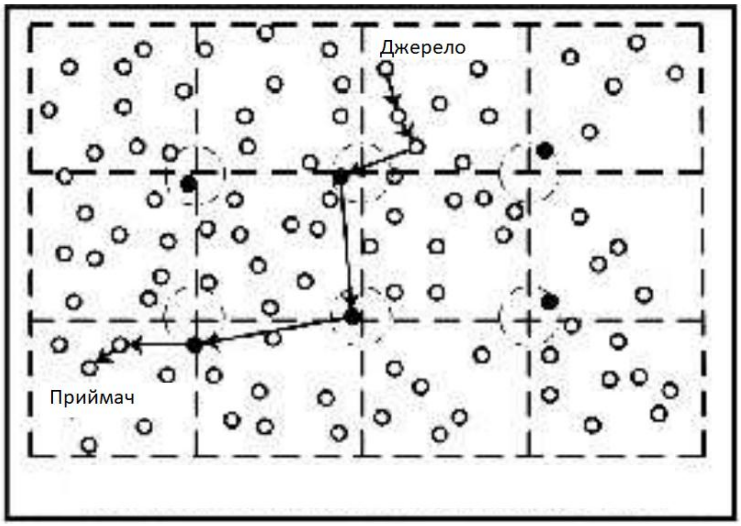


Рис. 4.Ілюстрація роботи протоколу TTDD.

Передача даних виконується в два етапи. Спочатку – всередині комірок сітки по направленню до вузла розповсюдження, далі – по вузлам розповсюдження до приймача або декількох приймачів.

Таким чином, протокол TTDD локалізує вплив пересування вузла збору даних і тільки невеликий набір сенсорів верхнього рівня повинні постійно підтримувати маршрутизацію в актуальному стані. В мережі в цілому зменшується обмін службовою інформацією а отже заощаджуються енерговитрати.

Література

1. M.A.Merzoug and A. Boukerram, “Cluster-based communication protocol for load-balancing in wireless sensor networks,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), vol. 3, no. 6, 2012.
2. D. Wajgi and N. V. Thakur, “Load balancing based approach to improve lifetime of wireless sensor network,” Int. J. Wirel. Mobile Netw, vol. 4, no. 4, pp. 155–167, 2012.
3. R. Ramesh, R. D. Charaan, N. M. Kumar, and E. Uma, “Implementation of load balancing in leach protocol for wireless sensor networks.”
4. Biradar R. Inter-Intra Cluster Multihop-LEACH Routing In Self-Organizing Wireless Sensor Networks / R. Biradar, S.R. Sawant, R. Mudholkar, V.C. Patil // International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS). – 2011. –March. –V.2, №1. – P. 124-130.

UDC 621.396.946

MATHEMATICAL MODELS IN MOBILE SENSOR NETWORKS: BALANCE BETWEEN MUTUAL TOPOLOGICAL EQUIVALENCY AND QUALITATIVE-QUANTITATIVE ADEQUACY TO PHYSICAL PHENOMENA

M. Sparavalo[1], O. Lysenko[2]

[1]*Honorary Professor, Telecommunication Dep., Institute of Telecommunication Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", USA*

[2]*Professor, Telecommunication Dep., Institute of Telecommunication Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine*

E-mail: its.tk.kpi@ukr.net

Математичні моделі в мобільних сенсорних мережах: баланс між взаємною топологічною еквівалентністю і якісно-кількісною адекватністю фізичним явищам

В роботі обговорюється конфлікт між точністю та складністю адекватних математичних моделей наближень, що описують фізичні явища. Сформулюємо задачу керування, коли контрольні функції не можуть безпосередньо діяти на фазові змінні, що визначають заданий термінальний різновид як керуючу мету через праву частину диференціальних рівнянь, що описують вивчену математичну модель. Введено ідею створення ієрархічного каскаду контрольних аттракторів - медіаторів.

The conflict between the accuracy and the complexity of the adequate mathematical modelling approximations describing physical phenomena is discussed. We formulate the control problem when the controlling functions cannot directly act on the phase variables defining a given terminal manifold as a control aim through the right-hand sides of differential equations describing a mathematical model under study. The idea of creating a hierarchical cascade of controlling attractors-mediators is introduced.

The 5-dimensional mathematical model of the longitudinal flight dynamics of a thrust-vectored aircraft in a wing-body coordinate system is governed by [1-7]:

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{dv}{dt}=\dfrac{P}{m}\cdot\cos\left(\alpha+\delta_p\right)-\dfrac{0.5\rho v^2 SC_x}{m}-g\sin\theta=A_1\left(\cdot\right), \\ \dfrac{d\theta}{dt}=\dfrac{P}{mv}\sin\left(\alpha+\delta_p\right)+\dfrac{0.5\rho v^2 SC_y}{m}-\dfrac{g}{v}\cdot\cos\theta=A_2\left(\cdot\right), \\ \dfrac{d\alpha}{dt}=q-A_2\left(\cdot\right)\Leftrightarrow\left\{\dfrac{d\vartheta}{dt}=q,\alpha=\vartheta-\theta\right\}, \\ \dfrac{dq}{dt}=\dfrac{0.5\rho v^2 S\ell C_m+P\left(y_P+x_P\sin\delta_P\right)}{I_{zz}}, \\ \dfrac{dh}{dt}=v\sin\theta \end{array}\right\} \tag{1}$$

where the expressions for aerodynamic coefficients are

$$\left\{\begin{array}{l} C_Y=C_{Y_\alpha}\sin 2\alpha+C_{Y_{\delta_m}}\delta_m,\quad C_X=C_{X_0}+kC_Y^2, \\ C_m=C_{m_\alpha}\sin 2\alpha+C_{m_{\delta_m}}\delta_m+C_{m_q}\dfrac{l}{v}q \end{array}\right\}. \tag{2}$$

The model of the earth atmosphere is $\rho = \rho(h) = 1.2256\left(1 - 0.2257 \cdot 10^{-4} \cdot h\right)^{4.256}$.

The controls are

- $\delta_m \in \left[-\bar{\delta}_m; \bar{\delta}_m\right]$, aerodynamic control as the angular deflection of an elevator or a movable horizontal stabilizer is at least continuous function of time;
- $\delta_P \in \left[-\bar{\delta}_P; \bar{\delta}_P\right]$, jet engine control as the angular deflection of a turbojet engine nozzle is at least continuous function of time;
- P, aircraft turbojet engine thrust is a controlling parameter taking on constant values within a given time segment.

Here v is airspeed; ρ is atmospheric density; S is wing area; g is gravitational constant; m is mass of the aircraft; h is flight altitude; α is angle of attack; θ is flight path angle; $\{C_Y,\ C_X,\ C_m\}$ are lift, drag and pitching moment aerodynamic coefficients of the aircraft respectfully; I_{zz} is pitch axis aircraft mass moment of inertia; q is pitch attitude angle rate of the aircraft; ϑ is pitch attitude angle; t is time; l is mean aerodynamic chord.

The control aim is to find feedback control laws for δ_m and δ_P that make the aircraft automatically track the given time program of the flight path angle in the form of $\theta = \theta(t) = \theta_m \cdot \left[1 + \sin(\omega t)\right]$ and, at that, the pitch attitude angle must be equal to some given constant value during the entire maneuver, namely $\vartheta = \vartheta'$, regardless of the values of atmospheric density, atmospheric perturbations, aerodynamic coefficients, the value of thrust, aircraft weight, etc. and the initial values of the phase variables $(v,\ \theta,\ \alpha,\ q,\ h)$ within certain given limits.

The design of the tracking control has been done with the assumption that $C_{m_{\delta_m}} \equiv 0$. This means that we use the simplified mathematical model to synthesize the control laws but we will utilize it for the original one (1) with $C_{m_{\delta_m}} \neq 0$. This move definitely makes the problem of the control design much easier to solve. In fact, we cancel only one “small” term, namely $C_{m_{\delta_m}} \delta_m$, in the equations of the original model and the degree of complexity of the problem drops dramatically. But the question arises. How much is this device justified in this specific case from the standpoint of the qualitative and quantitative adequacy of the approximate mathematical models of physical phenomena discussed in the Introduction? The computer simulation shows that the tactic does the trick via the wide-sense robustness provided by the control law that is designed with the help of the Poincaré’s-strategy-based backstepping method. The one ensures, first, mutual adequacy of the original and simplified mathematical models and, second, according to the above-formulated postulate also the adequacy of both the approximate models to the physical phenomenon under study, namely the tracking maneuver of the thrust-vectored aircraft. By mutual adequacy, we mean that the same control applied to both the approximate models of the thrust-vectored aircraft maneuvering produces the topologically equivalent (extended) phase spaces with quantitative differences with imposed limits. After using the Poincaré’s-strategy-

based backstepping method, we have obtained the following control laws:

$$\left\{\begin{array}{l}\delta_m = C_{m_{\delta_m}}\left\{\dfrac{1}{0.5\rho v^2 Sl}\left[I_{zz}\left(B_1(\cdot)+B_2(\cdot)\right)-P\left(y_P+x_P\sin\delta_P\right)\right]-B_3(\cdot)\right\},\\ B_1(\cdot)=a_3\left(q-a_2\left(\alpha-\varphi(\cdot)\right)-A_2(\cdot)-\dfrac{d\varphi(\cdot)}{dt}\right),\\ B_2(\cdot)=a_2\left(\dfrac{d\alpha}{dt}-\dfrac{d\varphi(\cdot)}{dt}\right)+\dfrac{dA_2(\cdot)}{dt}+\dfrac{d^2\varphi(\cdot)}{dt^2},\quad B_3(\cdot)=C_{m_\alpha}\sin 2\alpha+C_{m_q}\dfrac{l}{v}q\end{array}\right\}, \tag{3}$$

$$\left\{\begin{array}{l}\dfrac{d\delta_P}{dt}=\left\{\dfrac{\partial\varphi(\cdot)}{\partial\delta_P}\right\}^{-1}\left\{D_1(\cdot)+D_2(\cdot)-D_3(\cdot)\right\},\\ D_1(\cdot)=a_4\left(\vartheta-\hat{\vartheta}\right)-a_2\left(\alpha-\varphi(\cdot)\right)-\dfrac{P}{mv}\sin\left(\alpha+\delta_P\right),\\ D_2(\cdot)=\dfrac{g}{v}\cos\theta-\dfrac{0.5\rho vS\sin 2\alpha}{m}-\dfrac{\partial\varphi(\cdot)}{\partial t},\\ D_3(\cdot)=\dfrac{\partial\varphi(\cdot)}{\partial v}A_1(\cdot)+\dfrac{\partial\varphi(\cdot)}{\partial h}v\sin\theta+\dfrac{\partial\varphi(\cdot)}{\partial\theta}A_2(\cdot)\end{array}\right\}, \tag{4}$$

where the function $\varphi(\cdot)$ is a solution to the functional equation

$$\left\{\begin{array}{l}\dfrac{P}{mv}\sin\left(\alpha+\delta_P\right)+\dfrac{0.5\rho vSC_Y}{m}-\dfrac{g}{v}\cos\theta-0.175\omega\cos\omega t-\\ -a_1\left[\theta-\theta_m\cdot\left[1+\sin\left(\omega t\right)\right]\right]=0\end{array}\right\} \tag{5}$$

for the variable α, that is, $\alpha=\varphi\left(t,\omega,v,h,\theta,\delta_P,\delta_m,P,m,a_1\right)$.

These control laws are implemented through a cascade of the controlling attractor-mediators consisting of the two one-codimensional manifolds as follows

$$\left\{\begin{array}{l}M_\alpha=\left\{\begin{array}{l}\dfrac{P}{mv}\sin\left(\alpha+\delta_P\right)+\dfrac{0.5\rho vSC_Y}{m}-\dfrac{g}{v}\cos\theta-0.175\omega\cos\omega t-\\ -a_1\left[\theta-\theta_m\cdot\left[1+\sin\left(\omega t\right)\right]\right]=0\Rightarrow\alpha=\varphi(\cdot)\end{array}\right\},\\ M_q=\left\{\begin{array}{l}q=a_2\left[\alpha-\varphi(\cdot)\right]+\dfrac{P}{mv}\sin\left(\alpha+\delta_P\right)+\dfrac{0.5\rho vS\sin 2\alpha}{m}-\\ -\dfrac{g}{v}\cos\theta+\dfrac{d\varphi(\cdot)}{dt}\end{array}\right\}\end{array}\right\} \tag{6}$$

It is worth reminding that the engine thrust P of the aircraft is considered a controlling parameter taking on constant values within a given time segment.

The objective of the computer simulation of the original and simplified models of the thrust-vectored aircraft flight is to show the wide-sense robustness and stability in the large, which the synthesized controls laws (3)-(4) provide the ones with. The following values of the model parameters have been used:

$$\left\{\begin{array}{l} C_{Y_\alpha}=1,\ \ C_{Y_{\delta_m}}=0.1,\ \ C_{X_0}=0.02,\ \ k=0.1,\ \ C_{m_\alpha}=-0.062,\ \ C_{m_{\delta_m}}=-0.3, \\ C_{m_q}=-0.75,\ \ S=30,\ \ m=10000,\ \ x_p=0.2,\ \ z_p=-0.25,\ \ I_{yy}=40000, \\ l=5,\ \ \theta_m=0.1,\ \ \omega=\dfrac{\pi}{5},\ \ P=90000. \end{array}\right\}. \tag{7}$$

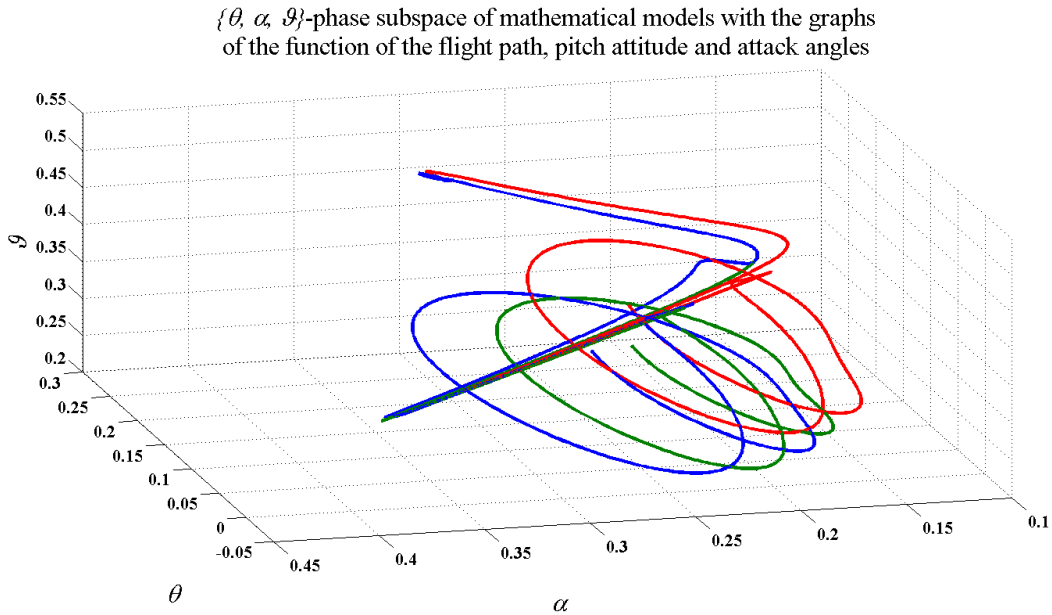


Figure 1. Comparative simulation of the original model versus the simplified one, both governed by the same designed control algorithm: the case of the normal flight simulated by the simplified model is shown in red, the case of the normal flight simulated by the original model is in green, the case of the troubled flight simulated by the original model is shown in blue.

References

1. Sparavalo, M.K.: Wide-sense robust and stable in the large terminal control for van der Pol dynamics: Poincaré's-approach-based backstepping method, Procedia Engineering, Vol. 199, 2017, pp. 850-856.
2. Sparavalo, M.K.:Algorithme du pilotage automatique en pente assurant la stabilité au sens large et la robustesse: Topologie cascadée de la dynamique non-linéaire. Thèse de Mastère spécialisé en Maintenance Aéronautique et Production, ÉNSICA, France, 1998.
3. Nicolis, G.; Prigogine, I.: Self-organization in non-equilibrium systems; Wiley: New York, NY, USA, 1977.
4. Haken, H.:Information and self-organization; Springer Verlag: Stuttgart, Germany, 1988.
5. Sparavalo, M.K.:A method of goal-oriented formation of the local topological structure of co-dimension one foliations for dynamic systems with control. Journal of Automation and Information Sciences (1992), 25(5), 65-71, 1993.
6. O. Lysenko, O. Tachinina. Method of path constructing of information robot on the basis of unmanned aerial vehicle. Proceedings of the National Aviation University. –K.: NAU, 2017. –№ 4(73). – pp. 60-68.
7. O. Tachinina, O. Lysenko, I. Alekseeva. Algorithm of Smart Prompter for Operator OF UAVS Group. IEEE 4th International Conference, "Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments"(Kyiv, Ukraine, October, 17-19, 2017).– K.: NAU, 2017. – pp. 250-254.

УДК 621.396

РОЗВИТОК СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Бобер А.С., Петрова В.М.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: amoremorteab@gmail.com

Bandwidth of wireless sensor network

This article focused on the bandwidth problem of WNS. Bandwidth is called the maximum rate of transfer of information for one specific unit of time. There are a lot of methods that are used for increasing bandwidth of WNS. This scientific work is directed on research telecommunication aero platform method.

Бездротова сенсорна мережа - розподілена мережа, що самоорганізуєтся та складається із безлічі датчиків (сенсорів) і виконуючих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіосигналу. Область покриття подібної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого.

Визначення пропускної здатності каналів ЕРМ. Пропускна здатність маршруту m_{ab} визначається мінімально пропускною здатністю каналу (ПЗ), що входить до його складу, тобто

$$s(m_{ab}) = \min_{(i,j)\in m_{ab}} \{s(c_{ij})\}, \text{ де } c_{ij} - \text{ ПЗ каналу}$$

Пропускна здатність каналу – це середня швидкість передачі пакетів, або середня кількість безконфліктно переданих пакетів за інтервал часу.

Середню швидкість передачі каналу МА-МА (мобільній абонент), що працює на частоті f_1 згідно протоколу МДСЗ, можна визначити за наступною формулою :

$$s_{ij}^{(1)} = \frac{G_{\Sigma}^{(1)}}{(\exp(2aG_{\Sigma}^{(1)})-1)((5a+\tau+0{,}5)G_{\Sigma}^{(1)}+\exp(-2aG_{\Sigma}^{(1)}))+G_{\Sigma}^{(1)}(4a+\tau+1)+1},$$

де τ – нормований максимальний час розповсюдження сигналу «зайнято»;

$G_{\Sigma}^{(1)} = \dfrac{\lambda_i^{(1)}}{\mu} = \lambda_i^{(1)}T$ - сумарна інтенсивність трафіку, що надходить в канал МА-МА, нормована до тривалість передачі пакету T.

$a = \dfrac{x \cdot V}{c \cdot L}$ – нормований максимальний час розповсюдження радіосигналу,

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Застосовуючи адаптивний протокол випадкового МД із резервуванням (АПР), значення середньої швидкості передачі у каналах МА-ТА можна визначити наступним чином :

$$s_{ik}^{(2)} = \frac{Gn\exp(-aG)}{1+GB},$$

де n – розмір блоку пакетів, що резервуються; B – середній час занятого стану каналу, який можна визначити наступним чином:

$$B = (n+b+2a-r)\exp(-aG)+b+a+r,$$

де b – тривалість пакету резервування, що надсилає абонент, та пакету дозволу на передачу, що надсилає у відповідь ретранслятор;

r – тривалість часу від надходження останнього конфліктного пакету, яку можна визначити наступним чином: $r = a - \frac{1-\exp(-aG)}{G}$.

Враховуючи, що G – це інтенсивність надходження блоків з n пакетів, пропускну здатність каналів МА-БПЛА, БПЛА-БПЛА можна записати так:

$$s_{ik}^{(2)} = \frac{Gn\exp(-aG)}{1+G((n+b+a+\frac{1-\exp(-aG)}{G})\exp(-aG)+b+2a-\frac{1-\exp(-aG)}{G})}$$

Метод підвищення пропускної здатності з телекомунікаційними аероплптформами. Топологія мобільних радіомереж (Мал. 1) носить динамічний характер і постійно розвивається, а значить, вимагає ефективної системи управління (СУ), яка буде швидко реагувати на структурні і функціональні зміни, забезпечуючи ті чи інші цілі управління, а саме:

- забезпечення зв'язності (структурної надійності);
- якість маршрутів передачі даних між абонентами (QoS);
- підвищення пропускної здатності мережі та ін.

Керуючими параметрами в даному випадку можуть виступати потужність передавачів, навантаження, взаємне положення вузлів і ін. Недостатньо вирішеною на сьогодні завдання оптимального оперативного розміщення безлічі телекомунікаційних аероплатформ для підвищення пропускної здатності мережі з одночасним забезпеченням структурно-функціональної зв'язності мобільних сенсорів. Запропоновані на сьогодні методи, закладені в СУ топологією (місцем розташування), вирішують лише часткові завдання забезпечення геометричної зв'язності роз'єднаних компонентів мережі, без урахування обмеження ємності канальних ресурсів, розподілу навантаження і обслуговування пакетів у вузлах мережі.

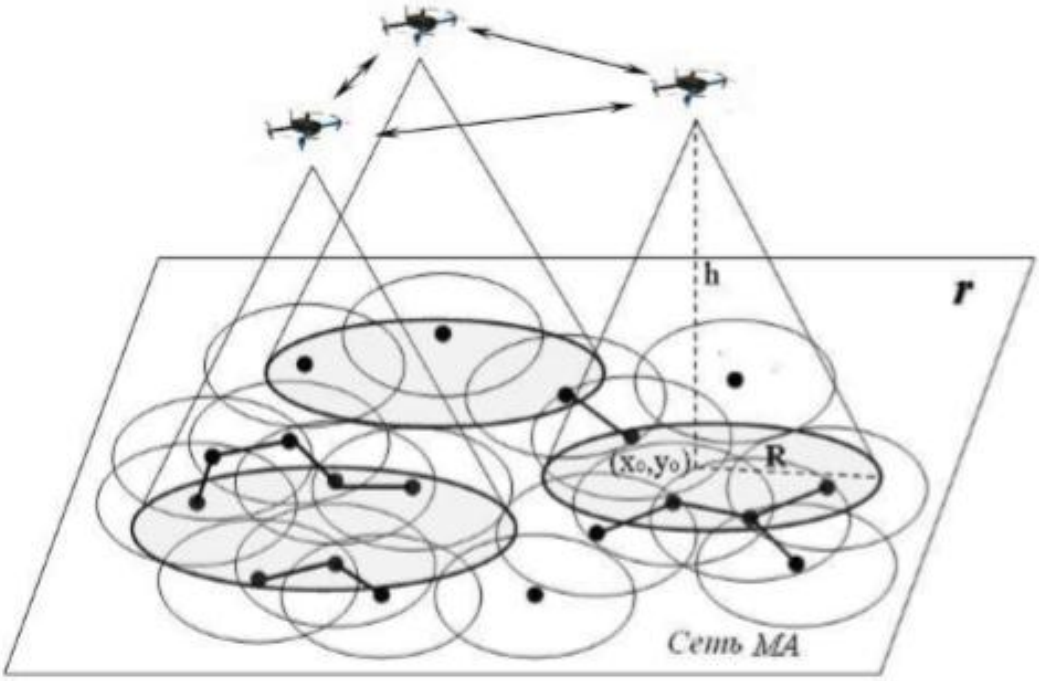


Рис. 1. Приклад архітектури МСС з ТА.

Тож більшість методів вирішують тільки статичні завдання, не враховуючи характер мобільності сенсорів і маневреність, отже, підлягають вдосконаленню. Існуючі методи планування наземних радіомереж також неефективні, оскільки мають велику складність і час обчислення, що не дозволяє відпрацьовувати отримані рішення в режимі реального часу. У зв'язку з цим, підвищення пропускної спроможності мобільних сенсорних мереж з телекомунікаційними аероплатформ з одночасним забезпеченням структурнофункциональной зв'язності мобільних сенсорів в умовах їх швидкого і непередбачуваного переміщення є актуальним завданням на сьогоднішній день.

Література

1. Basu P. Coordinated Flocking of UAVs for Improved Connectivity of Mobile Ground Nodes / P. Basu, J. Redi, V. Shurbanov // IEEE MILCOM’04: Military Communications Conference, October 31 – November 3 2004: proceedings. – Monterey, 2004. – Vol. 3. – P. 1628–1634.
2. Chandrashekar J.S. Providing full connectivity in large ad-hoc networks by dynamic placement of aerial platforms / J.S. Chandrashekar, K. Dekhordi, M.R. Baras // In Proceedings of IEEE MILCOM'04. – 2004. – V.3. – P. 1429–1436.
3. Han Z. Smart deployment / movement of unmanned air vehicle to improve connectivity in MANET / Z. Han, A.L. Swindlehurst, K.J.R Liu // in Proc. IEEE Wireless Commun. network conference. – 2006. – V.1. – P. 252– 257.
4. Bunin S.G., Voiter A.P., Ilchenko M.Y., Romaniuk V.A. Self-organizing radio network with ultra-wide-band signals. – K.: Naukova dumka, 2012. – 444 p.

UDS 621.39

A COMPARISON BETWEEN OPEN-SOURCE PLATFORMS FOR CLOUD COMPUTING

Borovskyi B. M.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: bogdanborovskij@gmail.com

Сравнение открытых программных платформ для облачных вычислений

В этом документе представлен сравнительный анализ платформ с открытым исходным кодом (OpenNebula и OpenStack), которые позволяют предоставлять ресурсы инфраструктуры в качестве службы облачных вычислений. Сравнение проведено на количественной основе - в отношении характеристик и поддерживаемых функций для вышеупомянутых решений с открытым исходным кодом.

Introduction. Cloud computing is rapidly evolving and becoming one of the most challenging paradigms in Information and Communication Technology (ICT) [1]. Many architectural paradigms from distributed computing such as service-oriented infrastructures, Grids and virtualization are incorporated into Clouds. There are three main classes in the cloud services stack:

- Infrastructure as a Service (IaaS);
- Platform as a Service (PaaS);
- Software as a Service (SaaS).

Following the aforementioned main classes in the cloud services stack, in this paper described the IaaS layer by introducing a comparison between two main open-source IaaS solutions. These refer to OpenNebula [2], with more than 30.000 downloads [3] and many companies either contributing (e.g. IBM, Akamai, etc) or using (e.g. Telefonica, Dell, Logica, SARA, etc), and OpenStack [4], with a community of 183 companies (e.g. NASA, Intel, etc). These figures highlight the wide adoption of OpenNebula and OpenStack by not only the research but also the industrial community. A quantitative comparison has been performed in terms of supported functionality and offerings, which are of importance for IaaS solutions. Eucalyptus (yet another open-source solution providing IaaS) as well as proprietary offerings from AWS, Rackspace, GoGrid, Oracle, and other public IaaS providers, are not considered under the scope of this article.

Short overview. OpenNebula is an open-source IaaS solution, initially developed within the framework of an EU-funded project (RESERVOIR). OpenNebula orchestrates storage, network, virtualization, monitoring, and security technologies to enable the dynamic placement of VMs combining both data center resources and remote cloud resources, according to allocation policies.

OpenStack is an open-source IaaS provider project supported by multiple vendors. The project was started by NASA and Rackspace in 2010, while currently more companies have joined (e.g. HP, Dell, Cisco, etc). It is released under the terms of the Apache License, including two sub-projects:

- Nova for computing resources (virtual machines, network, block storage).
- Swift for file-based storage service.

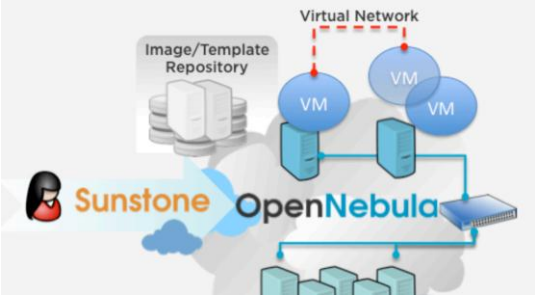


Figure 2: OpenNebula overview

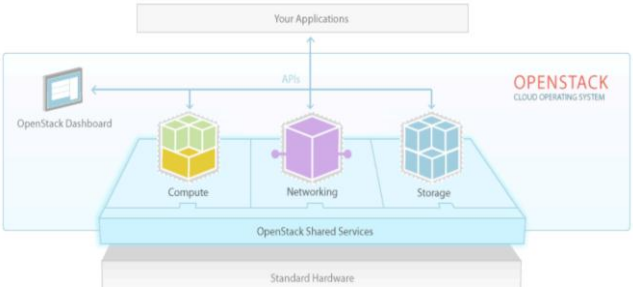


Figure 3: OpenStack overview

The criteria for a qualitative analysis, which has been used to evaluate OpenNebula and OpenStack, has been stated initially. Criteria vary from supported functionality to security. Based on that criteria, the following table (Table 1) summarizes the qualitative comparison analysis between OpenNebula and OpenStack.

Table 1: Qualitative comparison analysis.

Criteria	***OpenNebula***	***OpenStack***
Models supported	Private, public (Amazon EC2 and ElasticHosts), hybrid and federated	Private, public with APIs to Amazon EC2 and S3.
Virtualization supported	Xen, KVM, VMWare ESX, ESXi.	Nova supports: Xen, XCP, QEMU, VMWare ESX, ESXi, KVM, UML.
Access	API, Web interface and Command line interface to deploy VMs and a console to manage the VMs. Web interface also allows image deployment.	API, Web interface (i.e. Dashboard) and Command line interface to deploy VMs and a console to manage the VMs.
Image support	Image repository and creation of image instances (also by saving running VMs) in the catalog. Management of images.	Supported through Glance. Creation is supported through the Amazon EC2 API. Only Linux is supported at the moment.
Resource selection	Enabled through a scheduler that maps requirements to resources.	Not available.
Storage support	Hardware support for iSCSI, FibreChannel, NAS shared storage, SCSI/SAS/SATA. Non-shared and shared file systems (NFS, LVM with CoW, VMFS, etc).	Object and block storage supported. Volumes are persistent (data retained until the volume is deleted, VM independently). File storage is supported through Swift (organizing in containers level).

Criteria	*OpenNebula*	*OpenStack*
Auto-scaling support	Supported – also supports MySQL and SQLite.	Not available.
High-availability support	Persistent storage as a placeholder for the management information. Supports automated testing for scalability, performance and robustness.	Both for core services and some external ones (e.g. MySQL, RabbitMQ).
Monitoring capability	Monitoring of physical and virtual infrastructure.	Infrastructure monitoring available through Swift (reporting to Statsd / Graphite)
API support	Native API in Ruby and JAVA. XML-RPC API for interfaces creation. OGF OCCI & Amazon EC2 APIs.	Native API, Amazon EC2 API, CloudFiles REST API.
Security features	Authentication framework based on passwords, SSH RSA key-pairs or LDAP. Various administration roles. Multi-tenancy for public clouds.	API includes protection against DoS attacks or faulty clients. The project concept is introduced by Nova, allowing administrators to manage other user accounts and the project resources. Keystone used for identity management.
Service Level Agreements (SLA) capability	Enabled through ecosystem tools (such as Claudia and VEP).	Enabled through ecosystem tools (such as Mirantis).

Conclusion. Based on the evaluation of the obtained results from a qualitative perspective, OpenStack is optimum for application requiring rapid resource scaling. Such applications may refer to soft real-time applications (such as Virtual and Augmented Reality, Digital Film Postproduction, etc.) and to applications that may depict spikes in the requested resources - usually the ones that are open to wide user groups (e.g. web applications). On the other hand, OpenNebula would be preferable for applications that pose high elasticity requirements (not supported by OpenStack) such as smart city scenarios (for example enhanced car cruise control by on-demand obtaining and analyzing information from city sensors, other cars, smart phones, etc.) or healthcare scenarios given the OpenNebula security features.

References

1. Buyya, R., Yeo, C. S. and Venugopal, S., 2008, “Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities,” 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications.
2. OpenNebula, http://www.opennebula.org.
3. Ignacio Llorente, 2012, Cloud Computing Architecture with OpenNebula, NASA Ames.
4. OpenStack, http://www.openstack.org.

УДК 621.396

РАЗВИТИЕ СПОСОБОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В МОБИЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Осинський А.К., Петрова В.М.
Институт телекоммуникационных систем
КПИ им. Игоря Сикорского, Украина
E-mail: toni02133@gmail.com

Hybrid Localization Method for Wireless Sensor Network Nodes

The article presents a short overview of routing methods used in the wireless sensor networks (WSN). The authors consider the main principles of routing and present the routing methods in WSN by means of describing the most popular algorithms such as SPIN, DD, RR, GBR, GPSR, MCF, LEACH, TEEN, GAF and TTDD. Additionally the researchers explain application-oriented and other specifics of the methods and distinguish some modifications of the methods.

Протоколы маршрутизации в БСС решают следующие задачи:

1. Самоорганизация узлов сети (самоконфигурирование, самовосстановление и самооптимизация);
2. Маршрутизация пакетов данных и адресация узлов;
3. Минимизация энергопотребления узлов сети и увеличение общего времени жизни всей сети;
4. Сбор и агрегация данных;
5. Регулирование скорости передачи и обработки данных в сети;
6. Максимизация зоны покрытия сети;
7. Качество обслуживания (QoS);
8. Защита от несанкционированного доступа.

Протоколы маршрутизации БСС

Категория протоколов	Протоколы
Основанные на местоположении узлов	MECN, SMECN, GAF, GEAR, Span, TBF, BVGF, GeRaF
Направленные на агрегацию данных	SPIN, Directed Diffusion, Rumor Routing, COUGAR, ACQUIRE, EAD, Information-Directed Routing, Gradient-Based Routing, Energy-aware Routing, Information-Directed Routing, Quorum-Based Information Dissemination, Home Agent Based Information Dissemination
Иерархические	LEACH, PEGASIS, HEED, TEEN, APTEEN
Основанные на мобильности	SEAD, TTDD, Joint Mobility and Routing, Data MULES, Dynamic Proxy Tree-Base Data Dissemination
Мульти-ориентированные	Sensor-Disjoint Multipath, Braided Multipath, N-to-1 Multipath Discovery
Основанные на гетерогенности	IDSQ, CADR, CHR
Основанные на качестве обслуживания (QoS)	SAR, SPEED, Energy-aware routing

- **Geographic Adaptive Fidelity (GAF)**

Энергосберегающий протокол. В основе протокола лежит принцип проецирования на виртуальную решетку местоположений сенсорных узлов, получаемых с помощью GPS или других систем. Каждый из узлов сети может находиться в трех состояниях: обнаружение, активное и сон.

- **Geographic and Energy-Aware Routing (GEAR)**

Маршрутизация основана на знании каждым узлом своего местоположения узлов с помощью GPS (или другим систем) и об уровне своей остаточной. GEAR использует рекурсивный алгоритм географической эстафетной передачи для распространения пакета внутри целевого региона.

- **Trajectory-Based Forwarding (TBF)**

В TBF источник определяет маршрут в пакете, но явно не указывает маршрут в виде прыжков "хопов". Передающий сенсорный узел принимает решение определить следующий "хоп", который будет являться самым приближенным к маршруту, установленному сенсором источником.

- **Bounded Voronoi Greedy Forwarding [BVGF]**

На основании местоположения сенсоров строится диаграмма Воронова. Маршрутизация производится в соответствии с этой диаграммой, при этом, для определения пути вычисляется короткое Евклидово расстояние до пункта назначения среди всех имеющих права соседей.

- **Minimum Energy Communication Network (MECN)**

Вычисляется остовое дерево с корнем от приемника, которое называется минимальной мощностной топологией, содержащей только минимальные пути, на основании количества остаточной энергии, от каждого сенсора до приемника.

- **Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)**

Протоколы SPIN основаны на двух ключевых механизмах: на согласовании и адаптации ресурса. SPIN позволяет сенсорам производить согласование друг с другом перед любым распространением данных в сети, во избежание введения бесполезной и избыточной информации в сеть.

- **Directed Diffusion**

Протокол имеет несколько основных компонентов: именование данных, интересы и градиенты, распространение данных и укрепление. Процесс передачи данных в таком протоколе описывается как направленная диффузия.

- **Rumor Routing**

Ключевым механизмом протокола является агент-пакет с большим временем жизни, который пересекает сеть и сообщает каждому сенсору о событиях, которые он встретил на своем пути во время пересечения сети.

В данной статье представлено исследование некоторых протоколов в соответствии с приведенной классификацией. Протоколы, основанные на местоположении узлов, наиболее всего подходят для работы в физической области, где нет препятствий связи с системами определения

местоположения. В основном, это открытые территории, где возможна беспрепятственная связь со спутником. Важным здесь также являются погодные условия, при которых должна работать БСС. В целом, факт зависимости от систем определения местоположения является самой главной проблемой данной категории протоколов, что делает их ненадежными и ставит под угрозу гарантированность маршрутизации данных между узлами.

Протоколы, направленные на агрегацию данных могут быть применены для работы в условиях с плохой проходимостью радиосигнала, поскольку обеспечивает снижение объема передаваемых данных и, следовательно, могут передать необходимый объем данных в значительной малых по объему пакетах.

Одной из главных проблем в разработке протоколов маршрутизации для БСС является эффективность использования энергии, вследствие ограниченных энергетических ресурсов сенсорных узлов. Протокол должен поддерживать работоспособность сети настолько долго, насколько это возможным, тем самым, продлевая время жизни сети. При этом важно заметить, что потребление энергии, в основном, преобладает во время приема или передачи данных. Таким образом, протоколы маршрутизации в БСС должны обеспечивать сбережение энергии настолько, насколько это возможно, для того чтобы продлить время жизни отдельных узлов, и следовательно, время жизни всей сети.

Второй проблемой является обеспечение самоорганизации, при которой в работу сети будет включено как можно больше узлов. При этом, конечной целью является задействование всех узлов сети. Эта проблема возникает, поскольку при дислокации узлов в целевую область, вследствие препятствий, возможны проблемы с обнаружением узлами друг друга и в итоге, неверной или неполной самоорганизацией сети. Важным аспектом является соответствие используемого протокола маршрутизации решаемой задаче. Следовательно, необходим правильный выбор протокола в зависимости от условий, в которых предполагается его работа, а также тип и способ сбора, обработки и передачи данных.

Література

1. В. М. Безрук, Восточно-Европейский журнал передовых технологий / В. М. Безрук, А. Н. Зеленин, В. А. Власова, Ю. В. Скорик, Ю. Н. Колтун // Міжнародний наукометричний науковий журнал, 2016.
2. Зеляновський М. Ю. Методи і протоколи обміну даними сенсорних мереж[Текст] / М. Ю. Зеляновський, О. В. Тимченко. – Київ: Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України., № 46, pp. 176-183, 2008.
3. Tian H. SPEED: A stateless protocol for real–time communication in sensor networks [Text] / H. Tian, J. A. Stankovic L. Chenyang, T. Abdelzaher // 23rd International Conference on Distributed Computing Systems, 2003.
4. Villalba L. J. G. Routing Protocol in Wireless Sensor Networks [Text] / L. J. G. Villalba, A. L. S. Orozco, A. T. Cabrera, C. J. B. Abbas // Sensors. – 2009. – Vol. 9. – P. 8399–8421.

УДК 621.396.946

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО МЕТОДУ МОНІТОРИНГУ ЦІЛЕЙ У ЗОНАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Новіков В.І., Лисенко О.І.
Інститут телекомунікаційних систем КПІім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: lysenko.a.i.1952@gmail.com

Evaluating effectiveness energy saving method for monitoring purposes in the control areas of wireless sensor networks

The results of evaluating the effectiveness of the energy-saving method for wireless sensor networks, in which the construction of the network topology is carried out by controlling the transmit power of the nodes WSN.

Електроживлення вузлів безпроводових сенсорних мереж (БСМ) у більшості випадків здійснюється від батарей. У зв'язку з цим в системі управління БСМ виділена підсистема управління витратами енергоресурсу вузлів [1]. Метою її функціонування є мінімізація та перерозподіл витрат енергоресурсу вузлами для максимізації тривалості функціонування БСМ.

Управління витратами енергоресурсу вузлів БСМ може бути реалізоване за рівнями еталонної моделі OSI з використанням різних методів, які в загальному випадку можна поділити на дві групи: методи збереження енергії батарей і методи управління потужністю передачі.В роботі[2] запропоновано новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який відноситься до першої групи методів і складається з трьох етапів:

1. Знаходження верхньої межі максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі $T_{\Phi_{БСМ}}$ та матриці спостереження $|T|_{n\times m}$ (яка визначає інтервал часу, протягом якого сенсори спостерігають за цілямиу зонах спостереження).

2. Визначення сесій спостереження – розбиття матриці спостереження $|T|_{n\times m}$ в послідовність матриць (сесій) спостереження $T_{n\times m} = T_1 + T_2 +, ..., T_t$, 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.

Для підвищення ефективності енергозберігаючого методу моніторингу цілей в роботі[3]запропоновано використати в ньому нову енергозберігаючупроцедурупобудови топології мережішляхом управління потужністю передачі вузлів БСМ. Оцінка ефективності запропонованого енергозберігаючого методу моніторингу цілей у зонах спостереження БСМвключає 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, $E^б$ – початковий енергетичний резерв сенсорів, $e^{Пд}, e^{Пр}$, $e^{М}$ – енергія, що 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 безпровідної сенсорної мережі.

Процесор	ATmega1281
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. З позицій системного підходу необхідно оцінювати ефективність енергозберігаючої методики моніторингу за двома групами показників.

Глобальний показник. Моніторинг виступає в ролі підсистеми системи управління БСМ і тому, очевидно, необхідно оцінювати його ефективність за показниками функціонування самої мережі: тривалість функціонування мережі – $T_{Ф_{БСМ}} = \max\left\{\min T_{Ф_i}\right\}$ – тривалість роботи мережі до моменту відмови вузла через нульову ємність його батареї. В загальному випадку $T_{Ф_{БСМ}}$ повинно визначатися відсотком працюючих сенсорів, які дозволяють виконувати функції БСМ. Але для порівняння з іншими методами тривалість функціонування мережі буде визначати надане визначення.

Локальні показники (L_1, L_2, L_3). Методика моніторингу вимагає додаткових тимчасових витрат і ресурсів мережі для передачі службової інформації, а також ресурсів зберігання і обчислення сесій спостереження. Тому необхідно оцінити ефективність за наступним локальними показниками:

- L_1 – алгоритмічна складність;
- L_2 – зв'язна складність (кількість повідомлень необхідних для реалізації процедури збору та розсилки інформації);
- L_3 – складність зберігання (об'єм необхідної пам'яті).

3. Проведення досліджень. Оцінка ефективності методики моніторингу проводиться з використанням наступних вихідних даних: розмірність мережі: N = 100, M = 5 – 20, 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 [4].

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 методики моніторингу цілей за локальними та глобальними показниками проводилася в порівнянні з існуючим методом surveillancemethod (SM) та без використання методів моніторингу [5].

Результати дослідження оцінки ефективності розробленої методики моніторингу у порівнянні з існуючим методом SM та без використання методів моніторингу представлені на рис. 1.

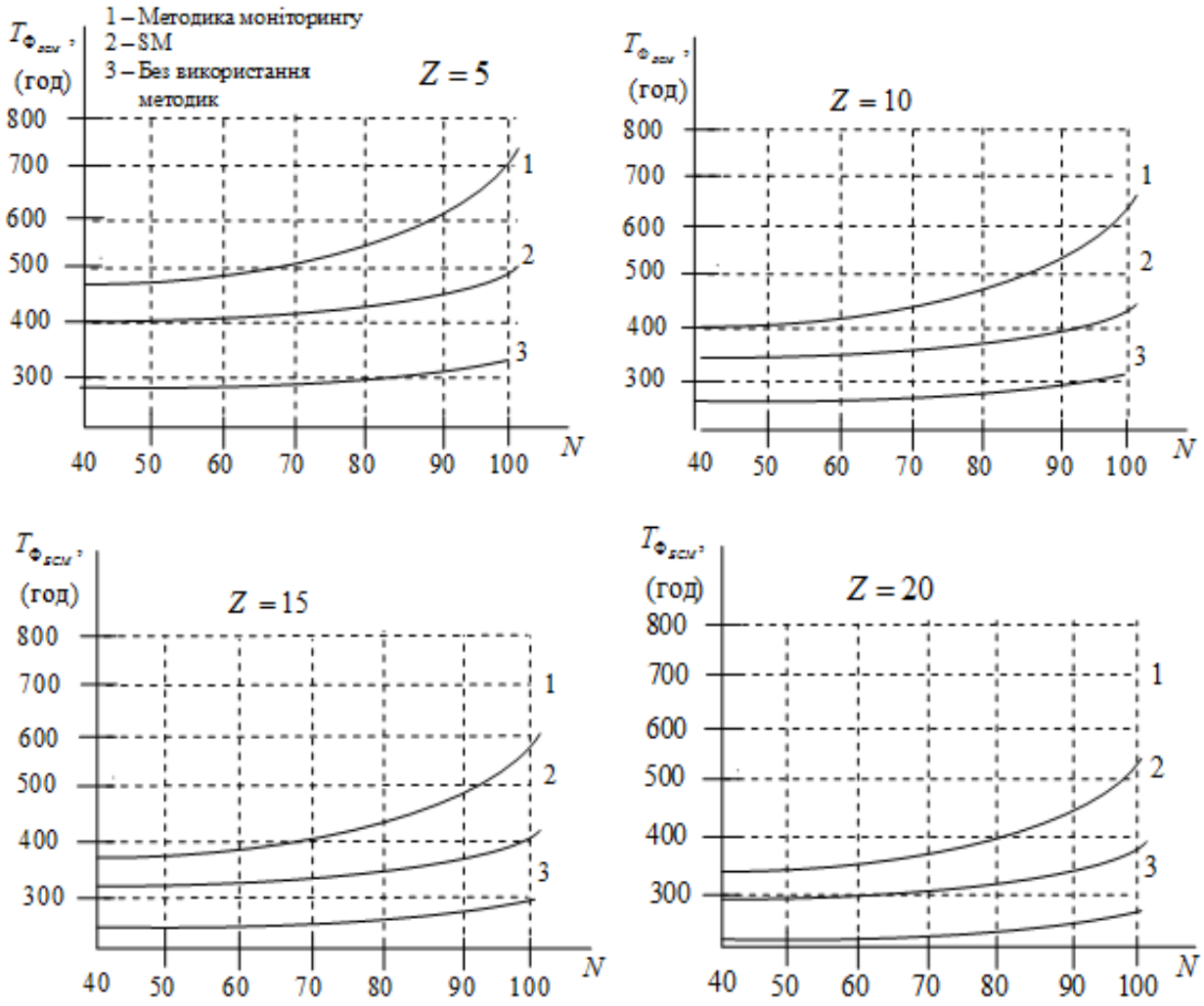


Рис. 1. Залежність тривалості функціонування $T_{Ф_{БСМ}}$ БСМ від кількості сенсорних вузлів, кількості цілей та методів моніторингу($R_М = const$; $R_П = const$).

На рис.1 зображена залежність тривалості функціонування сенсорної мережі $T_{Ф_{БСМ}}$ при використанні різних методів моніторингу та наступних параметрів: кількості сенсорних вузлів N = 40…100, кількості цілей Z = 5, 10, 15, 20, радіус моніторингу $R_М$ та передачі $R_П$ не змінний. З рисунку 1 видно, що при збільшенні кількості сенсорних вузлів значно збільшується тривалість функціонування сенсорної мережі. При цьому збільшується виграш запропонованої методики.

Оцінка ефективності методики моніторингу за локальними показниками в порівнянні з SM наведена в таблиці 3.

Таблиця 3. Характеристики методів моніторингу.

Назва методу	**Алгоритмічна складність**	**Зв'язна складність**	**Складність зберігання**
Методика моніторингу	$O(\lvert E\rvert \times n^3)$	$O(2d)$	$O(n^2)$
SM	$O(n^3)$	$O(2d)$	$O(n^3)$

Отримані результати показують, що застосування запропонованого методу забезпечує збільшення тривалості функціонування сенсорної мережі в середньому на 10-15% в порівнянні з існуючими методами.

Література

1. Лисенко О. І. Функціональна модель системи управління безпроводовою сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О. І. Лисенко, К. С. Козелкова, В. І. Новіков, Т. О. Прищепа, А. В. Романюк // Системи обробки інформації. - 2015. - Вип. 10. - С. 222-225
2. Новіков В. І. Метод збільшення часу життя безпровідної сенсорної мережі з надлишковою кількістю вузлів під час стеження за цілями моніторингу / В. І. Новіков // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - 2017. - Том 28 (67) № 2 - С. 38-43.
3. Алєксєєва І.В. Математична модель процедури побудови енергозберігаючої топології безпроводової сенсорної мережі моніторингу цілей / І.В. Алєксєєва, О.І. Лисенко, , В.І. Новіков /Міжнародна науково-технічна конференція „Проблемителекомунікацій". – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 316 – 319.
4. Yan T. Differentiatedsurveillanceforsensornetworks / T. Yan, T. He, J. A. Stankovic // 1st Int. Conf. EmbeddedNetworkedSensorSystems. − LosAngeles. −2003. – pp. 51 – 62.
5. Жук О.В. Оцінка ефективності методики моніторингу цілей в безпровідній сенсорній мережі тактичної ланки управління / О.В. Жук, В.А. Романюк, О. Я. Сова // Труди Академії. – 2008. – № 7 (87). – С. 154 – 162.

УДК 681.51 + 519.8

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

[1]Турейчук А.М., [2]Чумаченко С.М., [3]Прищепа Т.О.
[1]Національний університет оборони України імені Івана Черняховського
[2]Національний університет харчових технологій
[3]Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: a_tureychuk@ukr.net

Use of wireless sensored networs to control the environment

One of the most urgent tasks of the present is preservation of the environment. For timely response it is necessary to detect the fact of pollution in a timely manner or to control its degree. Quite often, control should be carried out in hard-to-reach places (technogenically loaded areas), in large areas without infrastructure (agricultural land, seafront, rivers, etc.). In such cases, it is advisable to use wireless sensor networks based on pollution sensors.

Одним з найактуальніших завдань сьогодення є збереження стану довкілля. Для своєчасного реагування необхідно вчасно виявити факт забруднення або контролювати його ступінь. Досить часто контролювання необхідно проводити у важкодоступних місцях (техногенно навантажені території), на великих площах без інфраструктури (сільськогосподарські угіддя, ділянки морів, річок тощо). Виникає необхідність у оперативному розгортанні системи контролювання. У таких випадках доцільно застосовувати безпровідні сенсорні мережі на основі датчиків забруднення. Структуру подібної мережі наведено на рис.1.

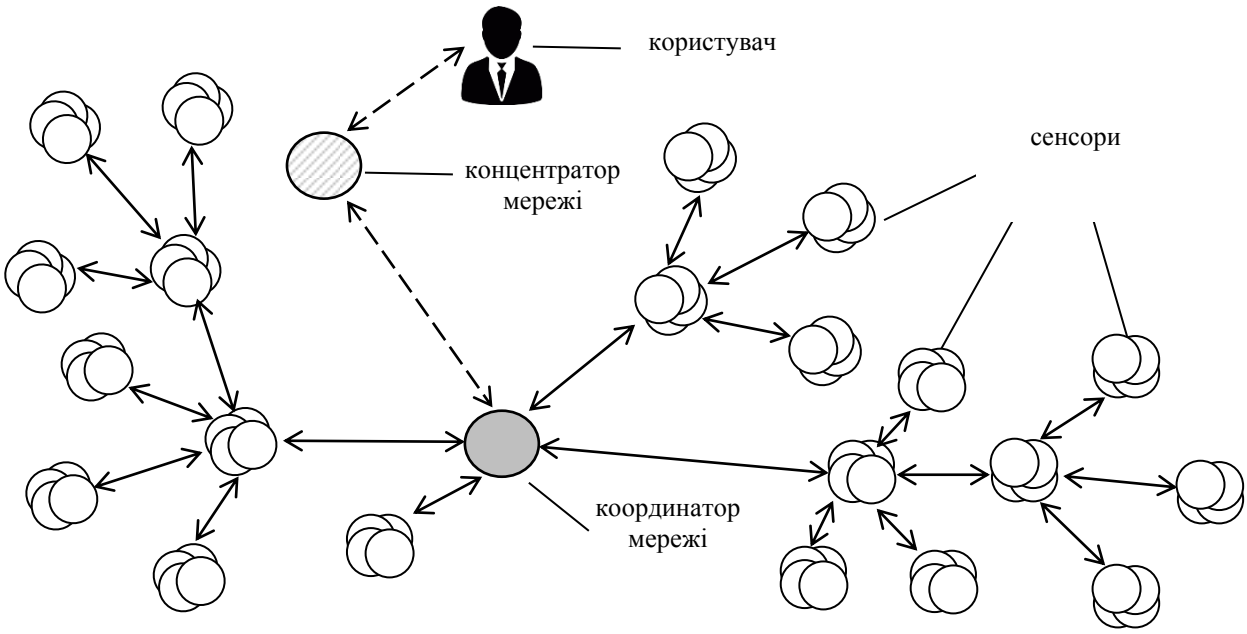


Рис.1. Структура мережі безпровідних сенсорів для контролювання ступеня забруднення довкілля.

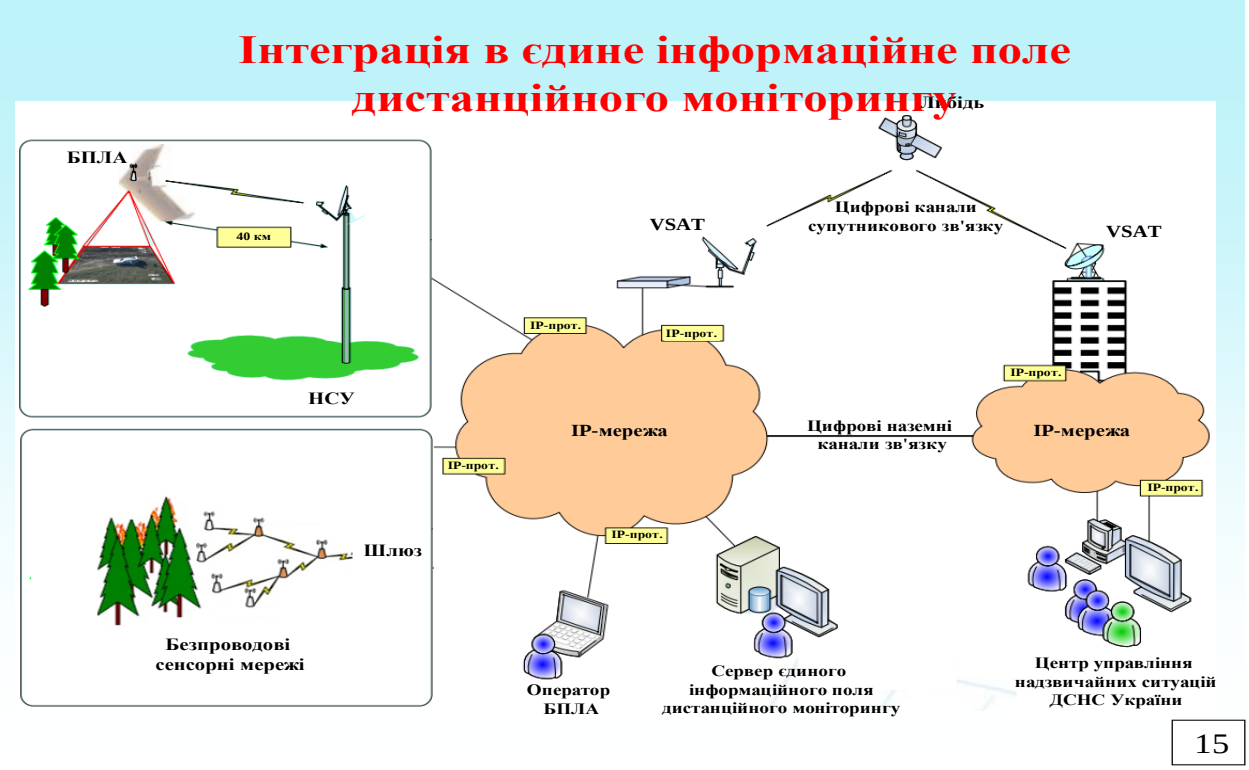
У якості сенсорів можуть використовуватися датчики, мікроконтролери, безпровідні модулі і програмне забезпечення, які здатні показувати реальні рівні забруднення та графіки забруднення у певній точці в будь-який момент часу.

Координатор мережі служить для отримання від сенсорів даних, їх зберігання та підготовки для передавання до концентратора. Також координатор організує роботу мережі сенсорів: аналізує працездатність сенсорів, усуває конфлікти при одночасному передаванні даних кількома сенсорами, керує вимірюваннями, інформує користувача про стан окремих сенсорів та мережі в цілому.

Користувач безпровідної сенсорної мережі за допомоги концентратора підтримує зв’язок з координатором мережі. За допомогою електронного меню та пульта управління, концентратор забезпечує реалізацію інтерфейсу користувача, виконання функцій збору, оброблення, накопичення та візуалізації виміряних даних, отримання та передавання службової інформації про стан сенсорів та мережі.

Дані від сенсорів можуть безпосередньо зчитуватися та оброблятися мобільними комп’ютернимиплатформами, наприклад, безпілотними літальними апаратами, або за допомогою хмарних технологій(див. рис.2).

Важливою перевагою безпровідних сенсорних мереж є їх відмовостійкість. Деякі вузли мережі можуть вийти з ладу, але це не впливатиме на роботу усієї мережі. Це забезпечується розробкою та правильним застосуванням відповідних протоколів передачі даних, алгоритмів функціонування та мережевої взаємодії.



15

Рис.2. Структура системи передачі інформації від мережі безпровідних сенсорів до споживачів.

Наявність GPS передавачів і можливість утворювати шляхи зв'язку, які можуть бути використані іншими сенсорними вузлами з обмеженими ресурсами для з'єднання з координатором мережі, дає можливість розгортати безпровідні сенсорні мережі у важкодоступних місцях шляхом встановлення сенсорів з повітря - з вертольоту або квадрокоптера.

Проте, у цьому випадку постає питання заміни батарей сенсорів. Перспективним підходом з вирішення зазначеної проблеми є оснащення сенсорів засобами отримання енергії від зовнішніх джерел: вібрація, вітер, перепад температури, сонячне випромінювання тощо. Так як кожне з перелічених джерел має свої особливості, для найбільш важливих сенсорів доцільно використовувати різні джерела енергії – сонячні фотоелементи, п'єзоелектричні елементи, які реагують на вібрацію та тремтіння, радіочастотні випромінювання тощо. Вбудовані системи можуть переводити енергію з однієї форми до іншої до її кінцевого перетворення в електричну. Таким чином, одночасно можуть використовуватися джерела енергії різних видів. Замість батарей можна використовувати конденсатори великих емностей.

Значне розширення ринку мікроелектроніки з виключно низьким рівнем енергоспоживання, наявність недорогих сенсорів для вимірювання забруднень довкілля, відсутність потреби у створенні ліній зв'язку дозволяє зробити висновок, що для вирішення важливого завдання контролювання стану довкілля доцільно використовувати безпровідні сенсорні мережі.

Література

1. WaltenegusDargie, ChristianPoellabauer. Wirelesssensornetworks. Theoryandpractice / WileySeriesonWirelessCommunicationsandMobileComputing, 2010.
2. Mao G. Wirelesssensornetworklocalizationtechniques / G. Mao, B. Fidan, B. Anderson // ComputerNetworks, 51(10), pp. 2529 – 2553, 2007.
3. Samberg Andre, Romaniuk Valery, Romaniuk Anton, Lysenko Oleksandr, Stepanenko Eugen The control system of heterogeneous wireless sensor networks. THE INTERNATIONAL EMERGENCY MANAGEMENT SOCIETY Newsletter – Special Edition - ISSUE 5 – April 2017. A TIEMS Special Issue Covering, 12-13 october 2016 TIEMS First Conference in Ukraine. P. 9-14, ISSN 2033-1614.
4. Olexandr Lysenko, Serhii Chumachenko, Stanislav Valuiskyi and Valeriy Novikov Deployment of wireless sensor networks using unmanned aerial vehicles in emergency areas THE INTERNATIONAL EMERGENCY MANAGEMENT SOCIETY Newsletter – Special Edition - ISSUE 5 – April 2017. A TIEMS Special Issue Covering, 12-13 october 2016 TIEMS First Conference in Ukraine. P. 51-56, ISSN 2033-1614.
5. O. Lysenko, O. Tachinina. Method of path constructing of information robot on the basis of unmanned aerial vehicle. Proceedings of the National Aviation University. –K.: NAU, 2017. –№ 4(73). – pp. 60-68. Google Scholar, РІНЦ World Cat.
6. O. Lysenko, O. Tachinina, Alekseeva I.V. Algorithm of Qptimal Control of UAV Group . Eletronics and control systems, №2(56). –K.: NAU, 2018.. – pp. 114-119.GoogleScholar , РІНЦ

УДК 621.396.4

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ БЕСПРОВОДОВИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ

Жук О.В., Романюк В.А., Стрела Т.С.
Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації імені Героїв Крут
E-mail: beatle135@ukr.net

The method of estimation efficiency of control methods wireless sensor networks

The method of estimation efficiency of control methods wireless sensors networks has been considered. The method allows to allocate an allowable set of control methods that meet the requirements for a specific wireless sensor network and determine the ranges of their effective use. The results will be used in the design of military tactical systems.

Безпровідні сенсорні мережі (БСМ) – розподілені мережі, що складаються з маленьких сенсорних вузлів, з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних.

Особливостями БСМ військового призначення є: особливості розміщення (детерміновано або випадково), покриття (бар'єрне, площі, цілі) поля бою, змінна топологія (щільність мережі, відмови вузлів, рівень „життя"), велика розмірність та ієрархічність, обмежені ресурси вузлів (ємність батарей, продуктивність процесора тощо), різнорідний трафік (дані, відео). Ці та інші особливості визначають ключові вимоги до методів управління (МУ) БСМ, які забезпечують різні цілі функціонування мережі (вузла) – покриття, моніторинг та передача всіх видів інформації із заданою якістю обслуговування з виконанням вимог щодо прийняття рішень в реальному часі, мінімальне завантаження мережі службовою інформацією, мінімізація використання вузлових та мережевих ресурсів (обчислювальних, енергетичних та ін.), оптимізація параметрів функціонування сенсорних вузлів та БСМ в цілому [1].

Існуючи методики оцінки ефективності методів управління телекомунікаційними мережами розраховані на статичні (квазістатичні) умови їх функціонування і не враховують особливостей БСМ. В той же час основними особливостями систем управління БСМ являються: різні цілі управління, вимоги до якості покриття, моніторингу та передачі інформації; особливості архітектури побудови системи управління БСМ; та велика залежність характеру функціонування от параметрів БСМ та зовнішніх впливів.

Запропонована функціональна модель системи управління (СУ) з виділенням наступних основних підсистем: збору та зберігання інформації про стан мережі, управління покриттям та моніторингом (розгортання, покриття, виявлення та ідентифікація цілей), управління телекомунікаційною складовою (топологія, маршрутизація, радіоресурс тощо), інтеграції та координації (координує функціонування множини методів управління за рівнями OSI (телекомунікаційна складова) з методами управління розгортанням, покриттям та моніторингом з метою оптимізації показників функціонування мережі), реалізації рішень [2].

Постановка задачі. Задані: безпроводова сенсорна мережа; система

управління мережею, яка складається з K функціональних підсистем, які реалізують множину методів управління $E=\{U_{\rho}^{k}\}$, $\rho=1...P_k$, $\hat{e}=1...\hat{E}$ (які пропонуються для реалізації в даній системі управління); та - вимоги до системи управління БСМ $\{\Theta_q\}$, $q=1...Q$: забезпечення покриття та моніторинг заданих об'єктів (зон, цілей) у заданий час і якістю; передача різних типів трафіка (данні, відео) з заданою якістю; забезпечення адаптивного і розподіленого функціонування мережі з можливістю її самоорганізації; прийняття рішень в реальному або близькому до реального масштабу часу; оптимізація характеристик мережі.

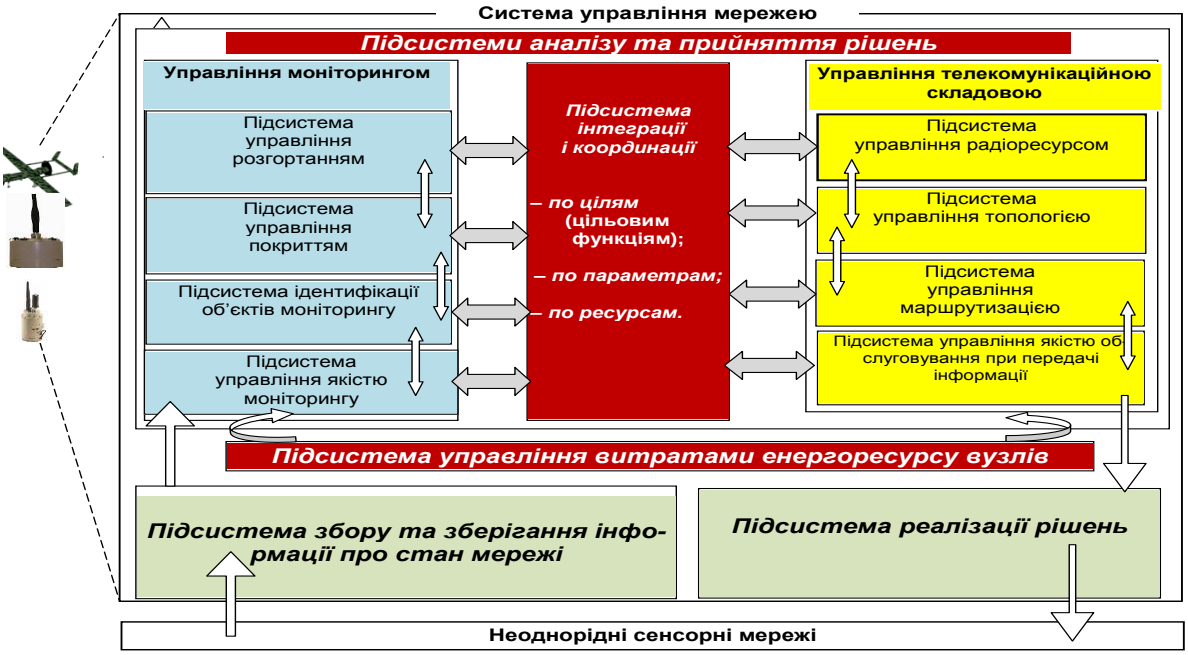


Рис. 1. Функціональна модель системи управління БСМ/

Необхідно: оцінити ефективність запропонованих методів управління та надати рекомендації по їх застосуванню в БСМ.

Методика оцінки ефективності включає наступні етапи.

1. Аналіз умов функціонування мережі та задача початкових даних у вигляді:

а) *параметри БСМ* (початкові варіанти топології БСМ: кількість сенсорних вузлів – N, діаметр мережі – d); *параметри вузлів мережі* описані на різних рівнях моделі OSI: типи сенсорних модулів (магнітний, акустичні , інфрачервоний тощо), координати розміщення (x_i, y_i), наявність системи позиціонування, енергія батареї $e_i(t)$, потужність передачі $p_i(t)$, радіус моніторингу $r_{мон}(t)$, радіус передачі $r_{пер}(t)$, $\mathbf{Q}^{\xi}$, $i=\overline{1, N}$; параметри радіоканалів: s_{ij} – пропускна спроможність каналу та ін.;

б) *параметри покриття:* площа ($к$ – покриття, $k=1...k$; α – покриття, $0<\alpha<1$), бар'єр; *моделі покриття* (секторальна, дискова модель тощо); в) *параметри інформаційного обміну в мережі*: вхідне навантаження, час доставки повідомлень; г) *множина методів управління*, запропонованих для використання у відповідних функціональних підсистемах (покриття, топології, маршрутизації) вузлової СУ на всіх рівнях моделі OSI – $U(t)$ = {$U_{пок}$, $U_{топ}$, $U_{мар}$

}; д) *вимоги до методів* $\{\Theta_q\}$, $q=\overline{1,Q}$ (децентралізоване управління, мінімальний службовий трафік, мінімальна розрахункова складність, мінімальний об'єм пам'яті).

2. Вибір показників ефективності функціонування методів управління. З позиції системного підходу необхідно оцінювати необхідно оцінювати ефективність методів управління по двом групам показників: **локальні**: часова, обчислювальна та зв'язна складність методів, а також енергетичний ресурс, що витрачається; **глобальні** (показники функціонування БСМ): *коефіцієнт покриття, максимальна тривалість функціонування мережі* (при реалізації покриття, топології, маршрутизації); *пропускна спроможність мережі*; *час передачі даних моніторингу*.

3. Оцінка ефективності методів управління *к*-ої функціональної підсистеми

а) За локальним показниками L^k_j, $j = 1\ldots J_k$, $k = 1\ldots K$. Для цього необхідно побудувати відповідні аналітичні або імітаційні моделі. Наприклад, для оцінки методів маршрутизації в БСМ запропоновано використовувати асимптотичну оцінку зв'язної, часової та обчислювальної складності алгоритмів їх реалізації. Далі здійснюється багатокритеріальна оцінка МУ і формування їх допустимої множини $\{U^k_д\} \subseteq \{U^k_р\}$ *k*-ої підсистеми, виключаючи методи, які не задовольняють вимогам $\{\Theta^k_n\}$ и $\{\Theta_q\}$;

б) За глобальними показниками G_i, $i=1\ldots I$. За допомогою системи імітаційного моделювання (наприклад, *NS*-3) будується імітаційна модель функціонування БСМ, яка включає моделі процесів функціонування кожного МУ (динаміка процесів, що відбуваються не дозволяє отримати аналітичні моделі).

Здійснюється планування і проведення експериментів для отримання залежностей G_i від $\{U^k_д\}$ при різних параметрах функціонування БСМ (тип покриття, динаміка топології, розмірність і ін.). Метою експериментів є отримання граничних діапазонів ефективного застосування методів управління *k*-ої функціональної підсистеми, а також звуження множини що розглядається $\{U^k_д\}$ за рахунок виключення методів, які показали найгірші результати.

Таким чином, запропонована методика дозволяє виділити допустиму множину методів управління, які задовольняють вимогам до конкретної БСМ та визначити діапазон їх використання. Отримані результати будуть використані при проектуванні сенсорних систем військового призначення.

Література

1. Жук О.В. Методологічні основи управління перспективними неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління військами. Тези доповідей та виступів учасників IX науково-практичної конференції [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення"], (Київ, 2016 р.) / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ", 2016. – С. 34 – 44.
2. Zhuk O.V. Monitoring and telecommunications subsystems integration in the wireless sensor networks: Report of 4th International Scientific and Practical Conference [„Problems of Infocommunications. Science and Technology / PIC S&T-2017"],.(Kharkiv, 2017 p.) / Zhuk O.V., Romaniuk V.A., Tkachenko D.V., Romaniuk A. V. – K.: KNURE, 2017. – C. 334 – 338.

УДК 519.688

ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

[1]Гордійко Н.О., [2]Томашевська Т.В.
[1]*Фізико-технічний інститут КПІ ім. Ігоря Сікорського,*
[2]*Національна академія статистики, обліку та аудиту*
E-mail: natalygor22@gmail.com; tomas_tat@ukr.net

Application of clusterization for processing of results of the environmental control

The proposed method of processing indicators of sensor sensors of environmental monitoring based on the principle of similarity on the basis of the Ward method.

Екологічний моніторинг є надзвичайно важливим для управління та регулювання навколишнього середовища. З системної точки зору, екологічний моніторинг – це інформаційна система, що займається спостереженням, оцінкою та прогнозом змін у навколишньому середовищі, які виникають при впливі антропогенної складової на природні процеси.

Система екологічного моніторингу накопичує, систематизує та аналізує інформація про: екологічний стан; причини спостережуваних і ймовірних змін в стані навколишнього середовища (джерела та фактори впливу); допустимість змін і навантажень на навколишнє середовище; існуючий потенціал стійкості біосфери.

Першим етапом моніторингу є спостереження навколишнього середовища, отримання та накопичення результатів. В роботах [1,2] був запропонований метод організації розміщення сенсорів на площині довільної форми.

Наступним логічним етапом моніторингу повинна стати обробка результатів спостереження з подальшим аналізом і оцінкою стану навколишнього середовища.

Однак, результатом спостережень зазвичай є набір певних значень параметрів в окремих точках площини. Побудова областей, що складається зі значень однакового рівня в даному випадку є досить складною задачею через наявність випадкової компоненти у виміряних параметрах. Тому задача агрегації (узагальнення) результатів спостережень є актуальною і потребує розробки спеціальних методів.

Для цього пропонується метод кластеризації, який дає можливість об’єднати в агреговані сукупності близькі значення параметрів. Перевагою даного методу є можливість об’єднувати об’єкти, що характеризуються показниками різної фізичної природи (це може бути просторові координати, значення показників сенсорів тощо).

Проведення класифікації об’єктів потребує введення деякої міри подібності (відмінності) об’єктів. Для кількісної характеристики міри подібності використовують поняття відстані між об’єктами в багатовимірному просторі. Подібність або відмінність між об’єктами встановлюється в залежності від відстані між ними.

В нашому випадку як міру відстані між об’єктами застосовуємо евклідову відстань. Якщо об’єкт описується p кількісними ознаками, то він може бути представлений як точка p-вимірного простору. Тоді евклідова відстань є реальною геометричною відстанню між об’єктами в багатовимірному просторі. Вибір даного вимірника відстані пов’язаний з тим, що в такому дослідженні всі ознаки об’єкта однаково важливі для класифікації.

Для усунення впливу на процедуру класифікації вся вихідна інформація була пронормована відносно середніх показників. Нормування показників x проводилось за такою формулою:

$$x_{ij}^{\text{Н}} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \tag{1}$$

де x^H_{ij} - нормоване значення j-ої ознаки у i-го об’єкта; x_{ij} – значення j-ої ознаки у i-го об’єкта; $\bar{x}_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ij}$ – середнє арифметичне значення j-ої ознаки; $\sigma_j^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{ij} - \bar{x}_j)^2$ – дисперсія j-ої ознаки; j та i – пробігають значення по стовпцях та рядках, відповідно.

Сутність методу полягає в такому: за допомогою кластерного аналізу набір об’єктів розділяється на основні класи, які утворюють зони з подібними характеристиками навколишнього середовища.

Для проведення кластеризації необхідно визначити правило для об’єднання кластерів, тобто метод, що дає можливість встановити відстань між кластерами. Одним з найефективніших агломеративних методів є метод Уорда [1], який призводить до створення кластерів приблизно рівних за розмірами, що мають форму гіперсфер. Метод Уорда мінімізує внутрішньогрупову суму квадратів (ВСК) відхилень для будь-яких двох кластерів, що можуть бути сформовані на кожному кроці. Тобто розглядається сума квадратів відстаней між кожною точкою (об’єктом, показником) і середньою по кластеру, що містить дану точку. В разі об’єднання кластерів I (n_1 елементів) і J (n_2 елементів) збільшення внутрішньогрупової суми квадратів змінюється на величину

$$W_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{n_i + n_j} d_{ij}^2, \tag{2}$$

де $d_{ij}^2 = (\overline{X^i} - \overline{X^j})^T (\overline{X^i} - \overline{X^j})$;

$\overline{X^i}$, $\overline{X^j}$ – середні значення по кластерах I та J.

На кожному кроці об’єднуються ті два кластери, для яких збільшення внутрішньогрупової суми квадратів є мінімальним.

Остаточно алгоритм кластеризації набуває такого вигляду:

1. Вважається, що кожний об’єкт утворює свій власний клас. Складається матриця евклідових відстаней $D = \{d_{ij}^2, i = 1,\ldots,p;\ j = 1,\ldots,p\}$ (рис. 1).

D =

	I_1	I_2	…	I_p
I_1	0	d_{12}^2	…	d_{1p}^2
I_2		0	…	d_{2p}^2
…	…	…	…	…
I_p				0

Рис. 1. Матриця евклідових відстаней.

2. Визначається $d_{ML}^2 = min\{d_{ij}^2\},\ i = 1,\ldots,j-1;\ j = 2,\ldots,p$.

3. Збільшення ВСК при об'єднанні двох кластерів I_M та I_L розраховується за формулою

$$W_{ML} = \frac{n_M \cdot n_L}{n_M + n_L} d_{ML}^2, \tag{3}$$

4. I_M змінюється на $I_M^{'}$; рядок $\{d_{iM}^2\}$ та стовпець $\{d_{M\,j}^2\}$ матриці D перераховується за формулою (4)

$$\begin{aligned} d_{iM}^2 = 2W_{iM} &= \frac{2}{n_i + n_M}\left[W_{iM}(n_i + n_M) + W_{iL}(n_i + n_L) - W_{ML}n_i\right] = \\ &= \frac{1}{n_i + n_M}\left[d_{iM}^2(n_i + n_M) + d_{iL}^2(n_i + n_L) - d_{ML}^2 n_i\right], \end{aligned} \tag{4}$$

i=1,2, …, M-1; n_i>0; j=M+1, …, p; $j \neq L$; n_j>0.

5. Припустимо, що $n_M = n_M + n_L$ і $n_L = 0$, тоді кластер I_L перетворюється на недійсну множину.

6. Записуємо елементи кластера I_L в кластер $I_M^{'}$.

7. Повертаємось до пункту 2 і повторюємо процедуру k-2 рази, де k – кількість кластерів, на яку потрібно поділити групу об'єктів.

Оскільки даний метод легко програмується, його застосування дасть можливість швидко агрегувати дані спостережувального етапу моніторингу і на їх основі здійснювати аналіз і прогнозування стану навколишнього середовища.

Література

1. *Гордійко Н.О., Томашевська Т.В.* Використання геометричних фракталів для екологічного моніторингу / Н.О. Гордійко, Т.В. Томашевська. Науковий вісник академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія "Техніка". Випуск 1-2(11) – К.:, АМУ, 2016. – с.97-104.

2. *Гордійко Н.О., Лисенко О.І., Томашевська Т.В.* Застосування методу використання геометричних фракталів для оптимального розміщення сенсорів при екологічному моніторингу / Н.О. Гордійко, О.І. Лисенко, Т.В. Томашевська. Зб. матеріалів XI Міжнар. наук.-тех. конференції «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2017, (м.Київ, 18–21 квітня 2017), с.392-394.

3. *Дюран Б., Одедд П.* Кластерный анализ/Б. Дюран, П. Одедд. М.: Статистика,1977. 128 с.

УДК 004

БІОМЕТРИЧНІ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Андріюк О.П., Чумаченко С.М., Андріюк І.В., Буряченко М.М.
Національний університет харчових техологій, Україна
E-mail: nuht_andriuk@ukr.net

Biometric systems of recognition of images

The peculiarities of biometric identification systems of a person are investigated. The methods of recognition of people and stages of the face recognition process for a photo are analyzed for revealing the position of a person in a photo and personality authentication.

Досліджено особливості біометричних систем ідентифікації людини. Проаналізовано методи розпізнання людей та етапи процесу розпізнавання обличчя за знімком для виявлення положення обличчя на фотографії та аутентифікації особистості.

Вступ. Біометричні системи ідентифікації людини набувають значного поширення. Основними залишаються динамічні та статистичні методи, але традиційні системи ідентифікації вимагають знання пароля, наявності ключа, ідентифікаційної картки або іншого ідентифікатора або документа, який можна забути, втратити або підробити. На відміну від них біометричні системи ґрунтуються на унікальних біологічних характеристиках людини, які важко підробити і які однозначно визначають конкретну людину.

Методи дослідження. Розпізнавання образів — це віднесення вихідних даних до певного класу за допомогою виділення істотних ознак, що характеризують ці дані, із загальної маси несуттєвих даних. Методи розпізнавання осіб діляться на три основні категорії: методи розпізнавання на основі загального уявлення про особу, методи розпізнавання на основі локальних фізичних особливостей і гібридні методи, які об'єднують властивості методів першої та другої категорії.

Для дослідження були розглянуті наступні методи розпізнавання обличчя: метод гнучкого порівняння на графах, нейронні мережі, приховані марковські моделі, метод головних компонент, аналіз активних моделей зовнішнього вигляду та активні моделі форми. Значна кількість прикладних задач аутентифікації особистості вимагає лише оптичного розпізнавання образів. Для нерухомих об’єктів, наприклад аутентифікація по фотографії, можна застосовувати метод перебору положень або розташувань об’єкта під різними кутами, в різних масштабах, використовувати порівняння при зсувах. Можна також знайти та виділити контур об’єкта та досліджувати його властивості, такі як зв’язність, неперервність, наявність кутів.

Многовиди є k-вимірним аналогом двохвимірних поверхонь. Многовид можна подати у вигляді об’єднання множин — кліток, кожна з яких гомеоморфна, як частковий випадок, трьохвимірному простору. Застосувавши поняття гладкості та орієнтації многовида, поняття многовида

з краєм, . таке подання дозволяє обчислити фундаментальну групу та інші гомотопічні інваріанти цих просторів та провести аутентифікацію особи.

Ще один підхід — використовувати штучні нейронні мережі, багатошарові персептрони, мережі квантування, мапи Кохонена, рекурентні мережі. Цей метод вимагає великої кількості прикладів задачі розпізнавання, які повинні зберігатися та постійно оновлюватися в базі даних, або спеціальної структури нейронної мережі, що враховує специфіку задачі.

Результати. Було досліджено 2 системи аналоги, що діють поза межами України, а саме: «Macroscop» та «Интеллект», проведено їхню детальну характеристику, тестування даних систем, аналіз функціональності систем та їх порівняння.

Програмне забезпечення для розпізнавання осіб «Интеллект» - це інструмент, покликаний підвищити ефективність систем відеоспостереження і систем контролю управління доступом. Головним завданням є розпізнавання, а також пошук схожих осіб. Даний процес відбувається автоматично, розпізнавання відбувається в реальному часі, а ідентифікація проводиться по безлічі ознак. Як матеріал для аналізу система може використовувати як дані, одержувані з камер, так і інформацію зі сторонніх баз даних, наприклад баз в розпорядженні силових і правоохоронних структур. Дана система є досить оптимізованою. Можливість різних пошуків дозволяє знайти для себе оптимальний тарифний план, але недоліком системи є неможливість пошуку тарифного плану для абонентів України.

Програмне забезпечення для розпізнавання осіб «Macroscop» - програмний модуль, що забезпечує автоматичне виділення з відеопотоку оптимального зображення особи для розпізнавання, збереження в базі даних і подальшої ідентифікації в режимі реального часу і при роботі з архівами. Модуль автоматично ідентифікує обличчя, занесені до цього часу базу даних системи.

Під час аналізу робіт було виявлено, що кожна з наведених систем містить значний набір функцій, що дозволяє по-своєму автоматизувати роботу відділу.

Розпізнавання людини по зображенню особи виділяється серед біометричних систем тим, що, по-перше, не вимагає спеціального дорогого обладнання. Для більшості додатків досить персонального комп'ютера і звичайної відеокамери. По-друге, відсутня фізичний контакт людини з пристроями. Не треба ні до чого торкатися або спеціально зупинятися і чекати спрацьовування системи. У більшості випадків достатньо просто пройти повз або затриматися перед камерою на кілька секунд. Процес розпізнання складається з декількох етапів: на першому етапі проводиться детектування і локалізація особи на зображенні, потім на етапі розпізнавання проводиться вирівнювання зображення особи, обчислення ознак і безпосередньо розпізнавання - порівняння обчислених ознак з закладеними в базу даних еталонами.

Проблема розпізнавання облич розширена на декілька підзадач, які можуть залежати від метода вибору. Спільним у всіх цих методів є те, що всі

вони потребують одне або декілька зображень обличчя, тож відповідно першим кроком є виділення будь-яких облич на зображенні. Обличчя потім вирізається з зображення та переробляється у більш зручному поданні, що зазвичай включає нормалізацію щодо освітлення або геометричних перетворень, наприклад зсувів або поворотів. Це робиться для збільшення продуктивності системи у неконтрольованих умовах та зменшення можливих варіацій освітлення та поз, що можуть бути.

В процесі дослідження методів розпізнання було розглянуто класифікації завдань, пов'язаних з аналізом зображень людських облич, визначений загальний процес обробки зображення обличчя при розпізнаванні, досліджено найпопулярніші алгоритми та методи для розпізнання облич, виявлені їх недоліки та переваги, проведене порівняння та був обраний оптимальний алгоритм.

Алгоритми мають абсолютно різну реалізацію проте можна виділити загальний процес обробки зображення обличчя при розпізнаванні:

1) надходження зображення з відео;
2) визначення та фіксація обличчя;
3) вирівнювання контуру обличчя;
4) визначення базових параметрів;
5) побудова параметричного вектору обличчя;
6) перевірка відповідності визначених параметрів до бази даних ідентифікованих осіб.

Основною відмінністю всіх представлених алгоритмів буде обчислення ознак і порівняння їх сукупностей між собою.

Висновки. Було виявлено такі основні проблеми в досліджуваних алгоритмах: недостатність світла та нахил голови. Таким чином, з огляду на те, що найбільш важливими характеристиками систем виявлення є швидкість і точність виявлення, актуальною є задача розробки і впровадження нових, більш швидких і точних алгоритмів, здатних виявити обличчя людини, нахилене під довільним кутом в площині зображення. Важливим недоліком сучасних систем розпізнавання обличчя є недостатня ефективність виділення ознак особи присутньої на зображенні, підвищити яку можна за рахунок використання методів теорії штучних нейронних мереж та глибинного навчання.

Література

1. Yang M. Recent Advances in Face Detection / M. Yang // Tutorial of The IEEE International Conference on Pattern Recognition. – Cambridge (United Kingdom), 2004. – 93 p.
2. Rowley H. Neural Network-based Face Detection / H. Rowley, S. Baluja, T. Kanade // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1998. – Vol. 20. – P. 22-38.
3. Timo Ahonen, Abdenour Hadid, and Matti Pietikainen. Face recognition with local binary ¨ patterns. In Computer vision-eccv 2004, pages 469–481. Springer, 2004
4. Пришляк О.О. Топологія многовидів / Навчальний посібник. К., 2013.

УДК 621.396.4

МЕТОДИ ЗБОРУ ДАНИХ МОНІТОРІНГУ ВІД ВУЗЛІВ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ БпЛА

Лисенко О.І.[1], Романюк А.В.[1], Стрела Т.С.[2]

1. Інститут телекомуникаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

2. Військовий інститут телекомуникацій та інформатизації, Україна

E-mail: anton.romaniuk@gmail.com

Methods of data gathering in wireless sensors networks with the use the UAV

Two methods of collecting monitoring data from nodes of a wireless sensor network using UAV (direct and rendezvous) that implement the achievement of various target network management functions are proposed: minimum UAV, maximum network lifetime, specified data transmission quality.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) знаходять широке застосування в таких проектах, як „Розумне місто”, „Розумний будинок”, „Літаючі мережі”, „Інтернет речей”, в умовах надзвичайних ситуаціях тощо. Область моніторингу БСМ може становити від декількох метрів до десятків кілометрів. Для БСМ значної розмірності без наявної комунікаційної інфраструктури, видалених сенсорних вузлів доцільно використовувати БпЛА (або мережу БпЛА) в якості повітряного шлюзу для збору даних моніторингу.

Для реалізації процесу збору даних моніторингу з вузлів в системі управління БСМ необхідно реалізувати відповідні методи і алгоритми управління. Запропоновані на сьогодні методи і алгоритми збору даних вирішують лише часткові завдання збору даних, не враховують особливості функціонування конкретних мереж (наприклад, функціонування в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури), багатокритеріальний характер цільових функцій управління мережею та потребують вдосконалення [1].

Метою роботи є підвищення ефективності процесу збору даних моніторингу БпЛА з вузлів БСМ, яка працює при відсутності телекомунікаційної інфраструктури. Пропонується два вдосконалених методи збору даних моніторингу з використанням БпЛА: метод безпосереднього збору даних з кожного вузла і метод збору даних з головних вузлів кластерів.

I. Метод безпосереднього збору даних моніторингу БпЛА з наземних вузлів здійснюється за рахунок побудови тимчасових кластерів БСМ. БпЛА тимчасово виконує роль голови кластеру та керує процесом збору даних. Метод складається з 4-х основних етапів:

1. Пошук в БСМ мінімальної кількості точок збору даних БпЛА (цільова функція – мінімум задіяних БпЛА) – знаходження так званих центрів мас (рис. 1). Адаптація розміру R зони покриття БпЛА для зменшення відстані між вузлом і ТА.

2. Побудова найкоротшого базового маршруту польоту БпЛА між точками збору для мінімізації часу збору даних моніторингу (цільова функція – мінімум часу збору даних).

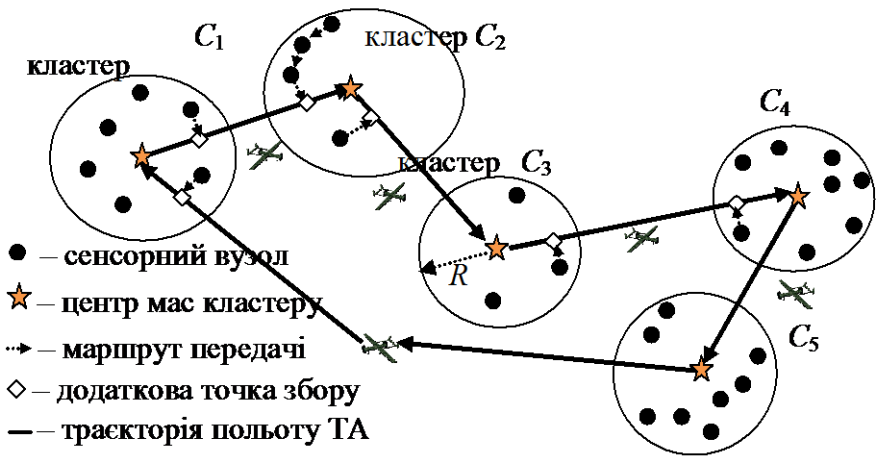


Рис. 1. Переміщення ТА для збору даних моніторингу.

3. Корегування базового маршруту обльоту (цільова функція – максимум часу функціонування БСМ). Для цього планується:

- обліт „критичних” вузлів (з малою залишковою енергією батареї, значними обсягами даних) на гранично малій відстані до них;

- призначення додаткових точок обміну даними між вузлом-БпЛА, які знаходяться на найближчій відстані до траєкторії польоту (рис. 1) (цільова функція – мінімальна потужність передачі вула);

- кооперативна робота групи близько розташованих вузлів до маршруту обльоту БпЛА. Вони будують коротший маршрут передачі між ними та вузлами, які знаходяться найближчими до маршруту польоту БпЛА (кластер 2 рис. 1), за метрикою $w_{ij}=(p_{ij}l)/s$, де p_{ij} – потужність передачі при заданому відношенні сигнал/шум між вузлами i, j БСМ або вузлами БСМ і БпЛА, l – довжина даних моніторингу, s – швидкість передачі. Шляхи передачі між вузлами і БпЛА знаходяться за допомогою алгоритму пошуку найкоротшого шляху Белмана-Форда з w_{ij} метрикою.

4. Планування передач вузлів в кластерах для забезпечення якості обслуговування. Для цього:

- висота польоту та швидкість передачі розраховуються для забезпечення часу, достатньому для передачі даних вузлами із заданою якістю;

- планування передач вузлів в кластері здійснюється за правилом: найвіддалений вузол від маршруту переміщення БпЛА – передає першим;

- рівень потужності передачі між вузлом і БпЛА встановлюється на мінімальному рівні.

II. Метод збору даних з головних вузлів кластеру (метод-рандеву) передбачає наступні етапи функціонування.

1. Кластеризація БСМ вузлами мережі.

а) На етапі планування мережі відбувається планування розмірів та кількості кластерів в залежності від необхідної кількості раундів обльоту, яка залежить від часу функціонування мережі. Для розрахунку часу функціонування БСМ запропонована модель розрахунку витрат енергії вузлів, які можуть

виконувати різні функції: тільки моніторингу, моніторингу та маршрутизації, моніторингу та головного вузла кластеру.

б) На етапі роботи БСМ: здійснюється обмін службовими повідомленнями між вузлами та вибір головного вузла за декількома метриками (енергія вузла, рівень сигналу в радіоканалі вузол-БпЛА тощо); формування кластерів заданої якості.

в) Побудова топології за визначеними енергоефективними правилами.

г) Побудова та підтримка маршрутів в кластері від простих вузлів до головних вузлів кластеру за згорткою метрик – потужність передачі та наявна енергія батарей вузлів.

2. Передача даних моніторингу в кластерах від простих вузлів до голових.

3. Побудова найкоротшого базового маршруту обльоту БпЛА через головні вузли кластерів.

4. Обліт БпЛА головних вузлів кластерів та збір з них даних моніторингу (при цьому можливо корегування польоту в межах кластерів, як це пропонується у першому методі).

Відмінність застосування розроблених методів: метод безпосереднього збору не вимагає суттєвих вимог до системи управління вузлом. Фактично достатньо можливості функціонування радіоканалу вузол-БпЛА. Це значно здешевлює сенсорні вузли.

Метод-рандеву має суттєву перевагу щодо терміну збору даних, часу функціонування БСМ, але потребує реалізації додаткових алгоритмів в системі управління вузлом (кластеризації, побудови та підтримки топології, маршрутизації), що вносить значний службовий трафік та збільшує вартість вузлів БСМ.

Здійснено моделювання запропонованих методів збору даних у середовищі MATLAB. Отримані результати моделювання близькі до оптимальних рішень (відхилення від оптимальних, отриманих методом повного перебору, не перевищує 10 %.). Застосування методу дозволяє отримати виграш у часі збору даних моніторингу мережі на 10-15 % у порівнянні з існуючими методами, збільшити час функціонування мережі, зменшити кількість БпЛА і використовувати алгоритм для оперативного управління положенням БпЛА.

Таким чином, розроблені методи, математичні моделі та алгоритми їх реалізації дозволяють: визначати квазіоптимальне положення БпЛА для досягнення різних цільових функцій управління та здійснювати управління положенням ТА у режимі реального часу; планувати маршрути переміщення БпЛА; підвищити ефективність алгоритмічного та математичного забезпечення системи управління БСМ з БпЛА.

Література

1. Романюк А.В. Задачі управління збором даних моніторингу БПЛА в безпровідних сенсорних мережах // Збірник наукових праць ВІТІ, 2018, №2. – С. 103 – 112.
2. Романюк А.В. Метод сбора информации мониторинга в беспроводных сенсорных сетях с использованием БПЛА // Збірник наукових праць ВІТІ, 2018, №1. – С. 90 – 99.

УДК 621.396.4

МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЄЮ НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНИХ РАДІОМЕРЕЖ

Романюк В.А., Степаненко Є.О.
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна
E-mail: romval2016@gmail.com

Method for managing topology of a ground-aired radio networks

New models and algorithms for constructing the topology of the air network are proposed to ensure the quality of service for the nodes of the ground network. The task of building a topology is reduced to the task of situational management. New rules for constructing topology to achieve various target functions of network management are considered.

Застосування телекомунікаційних аероплатформ (ТА) на базі БпЛА, дозволяє будувати новий клас систем радіозв'язку – наземно-повітряні мережі (НПМ). Особливої актуальності такі мережі знаходять у застосування на полі бою, в умовах надзвичайних ситуацій, при проведенні масових заходів для розгортання повітряних базових станцій тощо. Сукупність ТА створюють повітряні мережі типу FANET (Flying Ad-Hoc Networks). Швидке розгортання ТА в певних точках простору дозволяє отримати зв'язок мобільним абонентам, з'єднати незв'язні фрагменти наземних радіомереж, побудувати коротші маршрути передачі та здійснити перерозподіл трафіка, що дозволяє значно покращити якість інформаційного обміну в наземних мережах [1].

Мета роботи: підвищення ефективності функціонування наземних радіомереж за рахунок визначення положення (зон обслуговування) та переміщення телекомунікаційних аероплатформ повітряної мережі при реалізації запропонованих методик (алгоритмів) управління їх топологією [2].

Модель мережі. Наземні вузли випадковим чином розміщені на певній території, мають різні ресурси, мобільні, оснащені системою позиціонування. Телекомунікаційні аероплатформи і наземні вузли оснащені однаковим радіообладнанням, підтримують однакові протоколи інформаційного обміну, мають обмежені дальність радіозв'язку і швидкість обміну. Кожен вузол мережі має власну систему управління, діє в кооперації з іншими вузлами мережі, ТА і системою управління мережею.

ТА має можливість переміщатися в трьох вимірах із змінною швидкістю на обмеженій висоті та обмежений час, змінювати діаграми спрямованості антен. ТА володіє власною системою управління, що дозволяє самостійно приймати рішення в умовах відсутності зв'язності з центром управління мережею.

Будемо вважати, що зона покриття та радіозв'язку ТА являє собою коло (кластер) радіусу R, що дозволяє здійснювати обмін ТА із наземними вузлами кластера мережі в межах даної зони. Відзначимо, що від величини R залежить розмір площі покриття і, відповідно, кількість вузлів в зоні та навантаження цих вузлів на ТА. Величина R визначається висотою польоту, максимальною дальністю передачі радіозасобів ТА і вузлів, умовами ведення радіозв'язку. Швидкість передачі залежить від протоколу канального рівня та дальності

радіозв'язку, яка в умовах використання ГГц діапазону має досить обмежене значення.

Алгоритм реалізації методики складається з наступних етапів:

1. Збір даних центром управління мережею про її стан.

2. Аналіз показників функціонування наземних мереж.

3. Пошук нової топології, якщо визначені показники функціонування НПМ не задовольняють вимогам та реалізація рішення.

а) Для пошуку зв'язної топології наземних мереж за рахунок ТА використовуються ітераційні алгоритми кластерного аналізу FOREL (FORmal ELement) та *k*-середніх. Кінцевим рішенням алгоритму є визначення мінімальної кількості точок проекції на площині, висоти розміщення ТА (кластерів) для подальшого корегування рішення.

В алгоритмах розглянуті два принципи виділення кластерів: виділення апріорно заданого числа кластерів (тобто ТА) і виділення кластерів апріорно „заданого розміру" (тобто *R*) (визначається максимальною дальністю радіозв'язку між ТА і вузлами мережі).

б) Максимізація пропускної здатності зони покриття кожного ТА за рахунок визначення положення його розміщення у просторі та перерозподілу часу передачі між вузлами зони покриття (ТА розміщається ближче до навантаженого вузла). Задача пошуку оптимального положення зведена до задачі не випуклого програмування. Запропонований ітераційний алгоритм рішення.

в) Пошук рішень по топології для забезпечення заданої якості інформаційного обміну в наземних мережах. В загальному випадку задача пошуку топології НПМ відноситься до класу NP-повних. Отримання точного рішення для мережі, яка нараховує десятки (сотні) вузлів, пов'язано з значними обчислювальними та часовими витратами. Тому для скорочення перебору варіантів топологій пропонується використовувати множину правил, об'єднаних в базу знань, які знаходять положення ТА для покращення її параметрів функціонування. Правила продукційного типу: ЯКЩО <ситуація> ТО <рішення>. Це дозволяє отримати в реальному масштабі часу рішення, близькі до оптимальних і використовувати їх для оперативного управління.

Правила бази знань працюють для досягнення різних цілей управління мережею. Для визначення поточної цільової функції пропонується ввести блок ідентифікації стану мережі, який з множини можливих цілей управління будує ієрархію цілій, тобто, пропонується введення мета-правил на всю множину правил прийняття рішень. Момент визначення необхідності перебудови топології буде визначатися наступними подіями: відсутність зв'язності, невиконання якості обслуговування передачі даних, бажання досягти оптимуму або заданих значень параметрів функціонування мережі та ін.

Для скорочення варіантів перебору та визначення пріоритетів цільових функцій управління введені мета правила, які визначають перевагу *j*-правил, залежно від *k*-ої цілі мережевого управління ($МПр_j$: $Пр_j \rightarrow w_{jk}$). Тоді правило, що в найбільшій мірі покращує необхідні параметри мережі при визначеній цільовій функції, матиме більшу вагу. Правила класифікуються (рис. 1):

за цілями управління – на мережеві (мінімум ТА, визначена зона покриття мережі, максимум пропускної здатності S або її граничне значення, мінімум затримки передачі $t_з$, мінімум потужності передачі P тощо) та локальні (максимальна або визначена пропускна здатність, потужність, затримка на маршруті тощо) – між певними вузлами a та b;

за параметрами управління: кількість ТА, їх розташування у просторі; маршрут, висота та швидкість польоту; кількість активних вузлів у кластері; для наземних вузлів – навантаження, рівень витрат енергії (потужність передачі), маршрути передачі;

за управляючим впливом – зміна потужності передачі, зміна діаграми спрямованості антени, зміна положення та висоти польоту ТА, перерозподіл навантаження між вузлами, запуск нових ТА тощо.

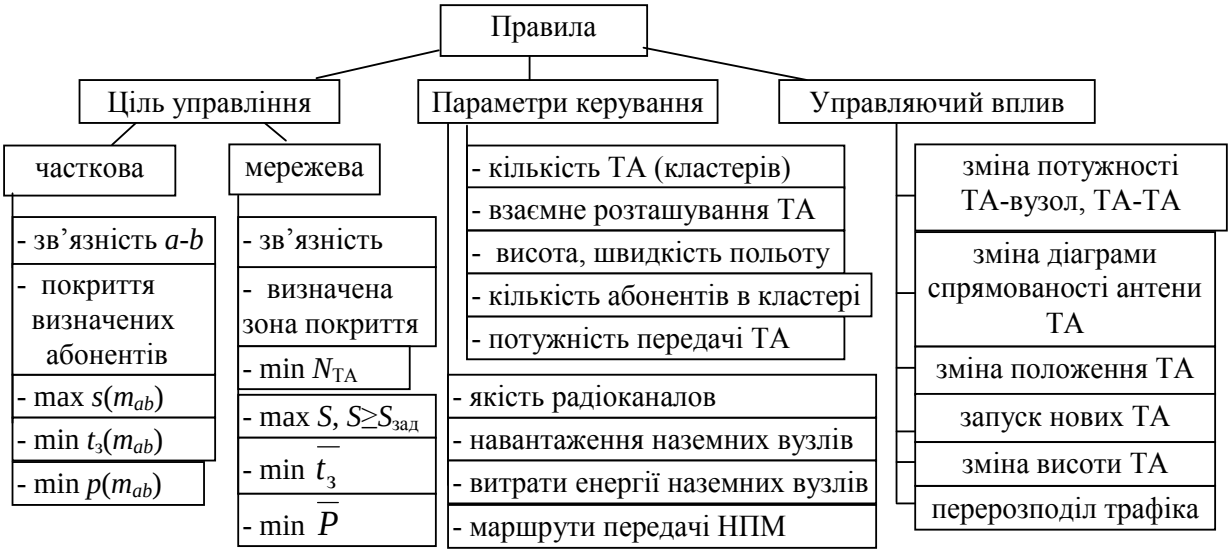


Рис. 1. Класифікація правил бази знань по управлінню ТА.

Для оцінки результатів функціонування алгоритму здійснена його програмна реалізація в середовищі MATLAB. Проведені експерименти та отримані залежності показників функціонування НПМ від розмірності мережі та кількості ТА. Показано, що запропонований алгоритм дозволяє отримувати рішення в реальному масштабі часу для мереж, що нараховують сотні наземних вузлів та десятки ТА, побудувати зв'язну наземну мережу, значно покращити якість інформаційного обміну.

Таким чином, розроблена методика дозволяє: мінімізувати кількість ТА, задіяних для виконання завдання; визначати положення ТА для досягнення різних цільових функцій управління та здійснювати управління положенням ТА у режимі реального часу.

Література

1. Романюк В.А. Задачі управління топологіями мереж зв'язку тактичної ланки управління / В.А.Романюк, Є.О. Степаненко // Збірник наукових праць ВІТІ. 2017. № 2. С. 101 – 109.
2. Романюк В.А. Методика управління топологією наземно-повітряних мереж військового призначення / В.А. Романюк, Є.О. Степаненко // Збірник наукових праць ВІТІ. 2018. № 3. С. 92 – 101.

UDC 621.391.3

PHASE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF METAMATERIAL CELLS

Zhivkov A.P., Tsukanov O.F., Shevtsov K.O., Krylach O.F.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: zhivkovalex@gmail.com, shewtsov.kostya@gmail.com

Фазочастотные характеристики ячеек метаматериалов

В докладе рассмотрены методики расчета фазочастотных характеристик ячеек метаматериалов. Приведены рекомендации по выбору параметров ячеек для достижения максимально возможного группового времени задерживания ячеек.

This article considers methods of calculation phase-frequency characteristics metamaterial cell. The recommendations for the selection of filter parameters to ensure their optimal selectivity beyond the bandwidth are given.

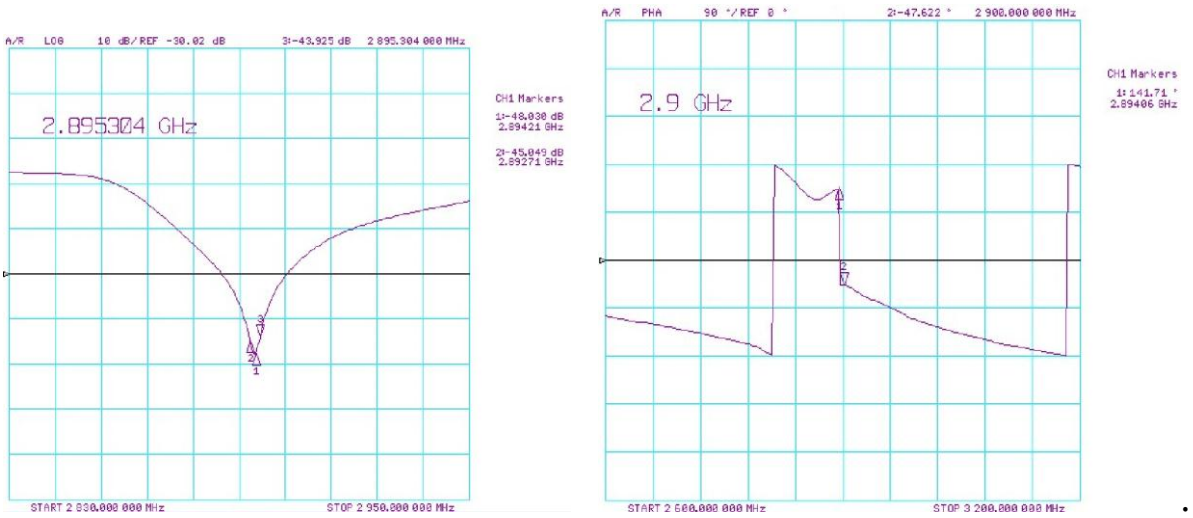
The article [1] presented and analyzed in detail the amplitude-frequency characteristics (AFC) of metamaterial cells. At the same time, the frequency response (FR) of such structures are studied completely insufficiently, although they help to analyze such important properties of metamaterials, as the anomalously high group delay time. For the analysis of the frequency response of the bandstop filter [2], taking into account the phase shift between its input and output, we will present the transmission coefficient of such a filter in the form:

$$T=e^{-j\varphi}-\frac{K_1}{1+K_1}-\frac{K_2}{1+K_2} \qquad (1)$$

Here K_1, K_2 – are the complex coupling coefficients of the resonators with the load, defined as:

$$K_1=\frac{K_1}{1+j(\varepsilon+\alpha)},\ K_2=\frac{K_2}{1+j(\varepsilon-\alpha)} \qquad (2)$$

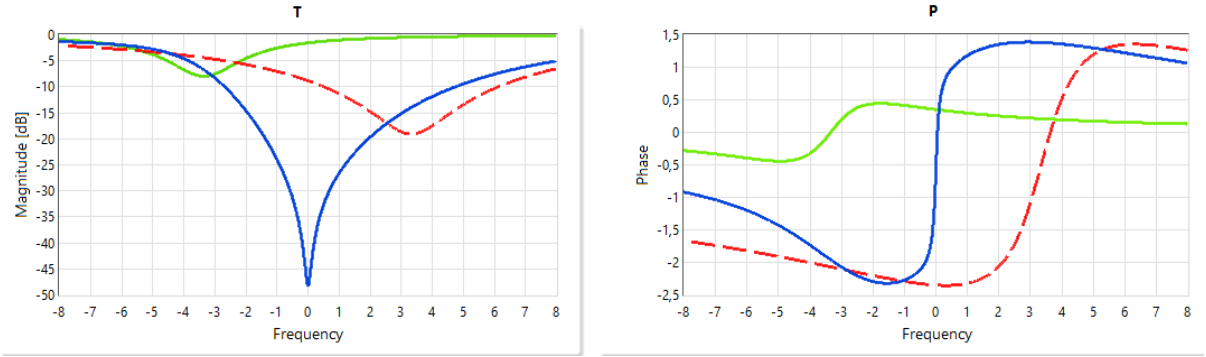
where *K1, K2* - coupling coefficients of loading resonators, defined as the ratio of the gained and loaded Q-factors of the first and second resonators, respectively [3], φ - parameter that characterize the phase shift between the input and output. In fig. 1 a) and b) experimental amplitude frequency response and phase response of bandstop filter [2] are presented.



a) b)

Fig. 1 a) the experimental AFC of the bandstop filter;
b) the experimental FR of the bandstop filter.

Attenuation at a frequency of 2894.2 MHz is 48 dB (mark 1 in Fig. a)), and the phase shift between frequencies 2894.06 MHz and 2900 MHz (marks 1 and 2 in Fig. b)) is 188°.



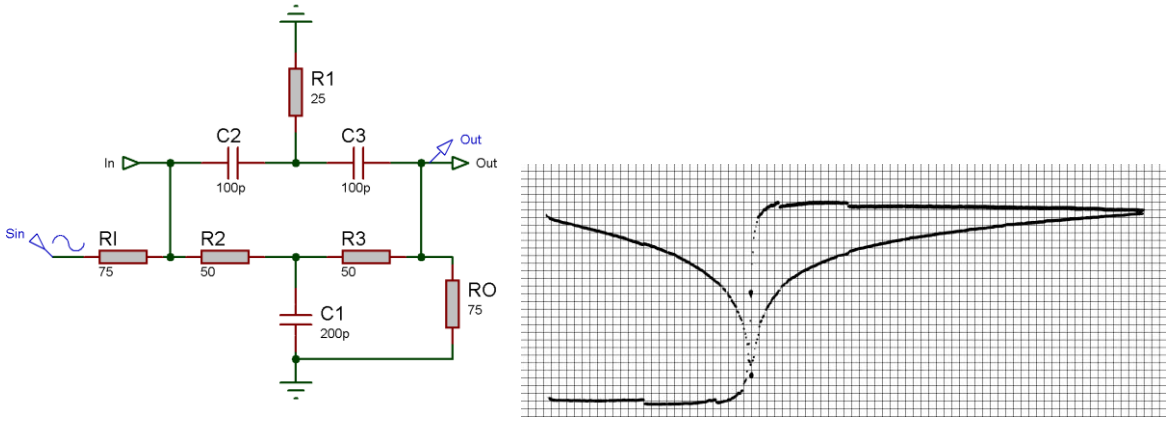
a) b)

Fig. 2 a) theoretical AFC of the bandstop filter;
b) the theoretical FR of the bandstop filter.

In fig. 2 a) and b) amplitude-frequency response and phase response of the bandstop filter, calculated in accordance with formula (1). The green and red curves correspond to the characteristics of individual resonators (the green is a “half-wave” resonator, the red is a “wave” resonator according to [1]), and the blue curves correspond to the characteristics of the filter as a whole. Comparison of experimental and calculated characteristics (frequency response up to the sign) indicates the adequacy of the selected model. The criterion of adequacy is the asymmetry of the resonance characteristics inherent in such a phenomenon as “Fano resonance” [4].

As is known, the time derivative of the phase response is the group delay - GD. The large slope of the phase response of the filter in the region of the resonant frequency indicates that in the region of resonance such a filter is characterized by an anomalously high group delay time. Similar properties of metamaterials are associated with electromagnetically induced transparency and Fano resonance, but a detailed consideration of these issues is beyond the scope of this work.

In [1], it was noted that many “unique” properties (for example, extremely high Q) of the so-called Split Ring Resonators (SRR) can be easily explained if we take their lumped elements equivalent circuit in the form of a “bridge". This is suitable for the frequency response of such structures. In fig. 3 a) a diagram of the so-called Twin T bandstop filter [5] is presented, and in fig. 3 b) - its experimental phase response, which at some frequency undergoes a jump of 180°



a) b)

Fig. 3 a) Twin T bandstop filter;
b) experimental phase response of the Twin T bandstop filter.

References

1. M.E. Ilchenko and A.P. Zhivkov, “Microwave Filter based on the Structures with Resonators in parallel Channels as metamaterial Cells”, Naukovi Visti NTUU “KPI”, vol. 122, no. 6, pp. 7—21, 2018.
2. M.E. Ilchenko et al., “Microwave bandstop filter”, USSR Inventor`s Certificate 1529321, August 15, 1989 (in Russian).
3. D.M. Pozar, Microwave Engineering, 4 edition ,Wiley, Hoboken, NJ, 2011.
4. E. Kamenetskii, A. Sadreev, A. Miroshnichenko. Fano Resonances in Optics and Microwaves. Springer, 2018.
5. http://fourier.eng.hmc.edu/e84/lectures/ActiveFilters/node4.html.

УДК 621.382

АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ (КІС)

Прищепа Т.О., Берестовенко О.О.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: its_tk@ukr.net

Analysis of instrumental tools for creating corporate information systems (CIS)

In order to ensure the work, logging and statistical processing of these corporations, large-scale systems "Corporative Information System" (KIS) have been developed. The main purpose of which is to efficiently use all resources and increase the efficiency of management decisions for high profits. The report analyzes existing KIS and tools for their creation.

Сьогодні корпорації стають все масштабнішими, вони набувають все більше впливу та влади. Вже позаду часи коли забезпечення роботою, запуск ракет, наукові винаходи та прогрес були підпорядковані уряду різних країн. Вже понад як пів сторіччя цими напрямами напряму займаються трансконентальні корпорації. Вони набули навіть більшого значення для світу та наразі найбільші з них мають назву «конгломерат».

Для забезпечення роботи, логування та статистичної обробки даних корпорацій треба було розробити масштабну систему, так була розроблена «Корпоративна інформаційна система».(КІС)

Наразі основною метою розгортання КІС є ефективне використання всіх ресурсів та підвищення ефективності управлінських рішень для отримання високих прибутків. Корпоративні інформаційні системи успішно використовуються не тільки у великих компаніях, а й у середніх компаніях та в деяких випадках, навіть у малих компаніях.

КІС дуже важливі при побудові корпорацій різних масштабів, вони мають першочергову важливість та мають бути розроблені з урахуванням усіх ризиків та тонкощів корпорації.

Виділяють декілька видів КІС:

-ERP(Enterprise Resource Planning System)(Планува́ння ресу́рсів підприє́мства)

Сучасні ERP з'явилися в результаті майже сорокалітньої еволюції управлінських та інформаційних технологій. Призначені вони головним чином для побудови єдиного інформаційного простору підприємства (об'єднання всіх відділів і функцій), ефективного управління всіма ресурсами компанії, пов'язаними з продажами, виробництвом, обліком замовлень. Будується ERP-система за модульним принципом і, як правило, включає в себе модуль безпеки для запобігання як внутрішніх, так і зовнішніх крадіжок інформації. Проблеми ж виникають в основному через помилки використання або початкового плану впровадження системи. Наприклад, урізані інвестиції в навчання персоналу роботі в системі суттєво знижують

ефективність. Тому впроваджують ERP-системи як правило не відразу в повному обсязі, а окремими модулями, особливо на початковій стадії.

-CRM (Customer Relationship Management System)(Управління відносинами з клієнтами)

Сучасна CRM направлена на вивчення ринку і конкретних потреб клієнтів. На основі цих знань розробляються нові товари або послуги і таким чином компанія досягає поставлених цілей і покращує свій фінансовий показник.

Існує три CRM-підходи, кожен з яких може бути реалізованим окремо від інших:

- Оперативний — автоматизація споживчих бізнес-процесів, що допомагає персоналу з роботи з клієнтами виконувати свої функції.
- Співробітницький — програма взаємодіє зі споживачами без участі персоналу з роботи з клієнтами.
- Аналітичний — аналіз інформації про споживачів із різноманітними цілями.

-MES (Manufacturing Execution System)(Керування виробництвом)

Системи класу MES призначені для виробничого середовища підприємства. Системи цього класу відстежують і документують весь виробничий процес, відображають виробничий цикл в реальному часі. На відміну від ERP, яка не має безпосереднього впливу на процес, за допомогою MES стає можливим коригувати (або повністю перебудовувати) процес стільки разів, скільки це буде потрібно. Інакше кажучи, системи такого класу призначені для оптимізації виробництва і підвищення його рентабельності. Збираючи та аналізуючи дані, одержувані, наприклад, від технологічних ліній, вони дають більш детальне уявлення виробничої діяльності підприємства (від формування замовлення до відвантаження готової продукції), покращуючи фінансові показники підприємства. Всі головні показники, які входять в основний курс економіки галузі (віддача основних фондів, обіг грошових коштів, собівартість, прибуток і продуктивність) детально відображуються в ході виробництва. Фахівці називають MES мостом між фінансовими операціями ERP-систем і оперативною діяльністю підприємства на рівні цеху, ділянки або лінії.

-WMS (Warehouse Management System)(Система Управління Складом)

це програмно-апаратна система управління складом, яка забезпечує комплексну автоматизацію управління складськими та логістичними процесами.

EAM (Enterprise Asset Management) (Система управління фондами підприємства)

Система управління основними фондами підприємства, що дозволяє скоротити простої устаткування, витрати на техобслуговування, ремонти і матеріально-технічне постачання. Являє собою необхідний інструмент в роботі фондомістких галузей (енергетичних, транспортних, ЖКГ, добувної промисловості та НД). Основні фонди - це засоби праці, які багаторазово

беруть участь у виробничому процесі, зберігаючи при цьому свою натуральну форму, поступово зношуючи, переносячи свою вартість по частинах на знов створювану продукцію. У бухгалтерскому та податковому обліку відображені в грошовому вираженні основні фонди називаються основними засобами. Історично EAM-системи виникли з CMMS-систем (ще одного класу ІС, управління ремонтами). Зараз модулі EAM входять також до складу великих пакетів ERP-систем (таких як mySAP Business Suite, IFS Applications, Oracle E-Business Suite та ін.)

HRM (Human Resource Management) (Система управління персоналом)

Система управління персоналом - є однією з найважливіших складових частин сучасного менеджменту. Основна мета таких систем - залучення та утримання цінних для підприємства кадрових фахівців. HRM-системи вирішують два головні завдання: упорядкування всіх облікових і розрахункових процесів, пов'язаних з персоналом, і зниження відсотка відходу співробітників. Таким чином, HRM-системи в певному сенсі можна назвати «CRM-системами навпаки», залучати та утримувати не покупців, а власних співробітників компаній. Зрозуміло, методи тут застосовуються зовсім інші, але загальні підходи схожі.

Але всі вони підпорядковані загальним механізмам та правилам які можна охарактеризувати наступним чином:

- Тривалий життєвий цикл;
- Різноманітність використовуваного апаратного забезпечення, життєвий цикл якого менший, ніж життєвий цикл створюваної системи;
- масштабність та складність розв’язуваних задач;
- перетинання множини різних предметних сфер;
- територіальна розподільність;
- використання корпоративних серверів та баз даних;
- використання Web-технологій;
- підвищенні вимоги до забезпечення передачі та безпеки даних.

В доповіді проводиться аналіз інструментальних засобів створення КІС.

Література

1. Береза А. М. Основи створення інформаційних систем: Навчальний посібник. — К.: КНЕУ, 1998. — 140 с.
2. Корпоративные информационные системы : учеб. пособие / В.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе, С.И. Татаренко, С.Б. Путин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 144 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-1114-5.
3. Пономаренко В. С. Інструментальні засоби розробки та підтримки баз даних розподілених інформаційних систем : навч. посібн. / В. С. Пономаренко, Л. А. Павленко. – Х. : Вид. ХДЕУ, 2001. – 132 с.

УДК 621.382

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МЕРЕЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ (БСМ) І МЕРЕЖІ ВЦІЛОМУ

Прищепа Т.О., Бандушкін Д.А.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: its_tk@ukr.net

Analysis of methods for monitoring the state of network elements of the wireless sensor network (WSN) and the network as a whole

WSN occupy a special place among the means of gathering and processing a large amount of diverse information. To minimize the impact of negative factors on the work of BSM, it is not enough just competent designing and proper adjustment. It is important to constantly monitor the state of the WSN. The report considers the analysis of separate indicators of the evaluation of the functioning of the network, as well as the finished software products for monitoring the individual elements and the network as a whole.

«Бурхливий розвиток інформаційних технологій сприяє створенню досконалих засобів зібрання та опрацювання великої кількості різноманітної інформації. Серед таких засобів особливе місце займають безпроводові сенсорні мережі (БСМ). В загальному випадку під безпроводовими сенсорними мережами (Wireless Sensor Network) розуміють мережі, що складаються із множини безпроводових інформаційних вузлів (ІВ), розміщених у просторі і призначених для моніторингу параметрів навколишнього середовища або об’єктів, що в ньому знаходяться».[1]

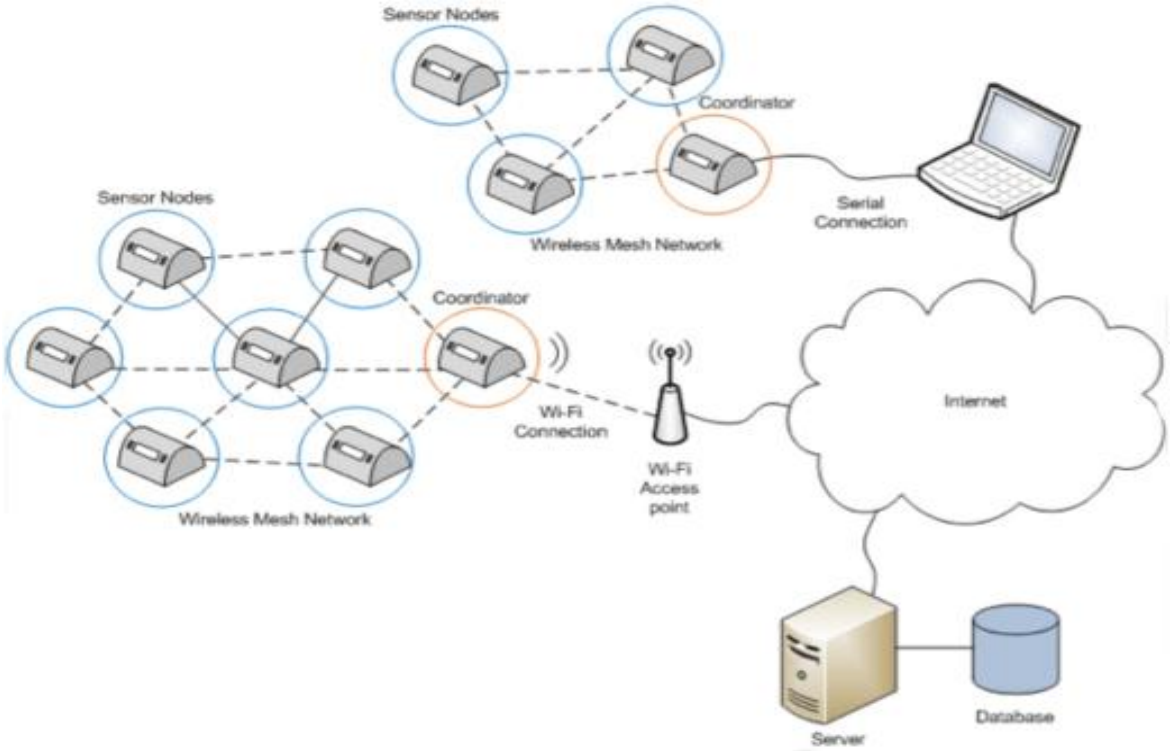


Рис. 1. Безпроводова сенсорна мережа

Отже основними перевагами безпроводових мереж взагалі і БСМ вчасності в порівнянні зі звичайними є:

- Мобільність;
- простота конфігурації;
- Низька вартість розгортання;
- відсутність проводів.

Але є й інша сторона медалі. Крім вищеозначених переваг, такі мережі мають і ряд недоліків:

- Велика схильність загрозам безпеки;
- Велика сприйнятливість до перешкод;
- Більш низька швидкість підключення;
- Можливо уповільнення при наявності великої кількості ІВ.

Щоб мінімізувати вплив негативних факторів на роботу БСМ, недостатньо лише грамотного проектування і правильного налаштування.

У роботах [2 - 6] пропонуються різні показники оцінки ефективності функціонування мережі. Більшість підходів орієнтоване на окремі показники оцінки ефективності, такі як час життя мережі [3,7], параметри і моделі покриття [4, 5], параметри і моделі зв'язності [3], параметри оцінки топології [7], параметри якості обслуговування (QoS) та інші.

У роботі [2] автор розглядає процес функціонування системи управління БСМ як функціонування трьох основних підсистем:

1. Підсистема моніторингу.

Її завдання забезпечити покриття зони (площі, об'єктів, точок, бар'єру) і їх моніторинг по заданій множині параметрів (температура, вологість, тиск, освітленість, звук, вібрація, зараженість, рух об'єктів і т.п.). підсистема моніторингу повинна забезпечити задану якість покриття і моніторингу.

2. Підсистема телекомунікацій.

Ця підсистема повинна забезпечити передачу даних моніторингу від вузлів, здійснюють моніторинг, до базової станції (або декількох базових станцій) з заданою якістю. Процесу передачі передують етапи побудови та підтримки системою управління мережі її топології та маршрутів передачі від сенсорів моніторингу до базових станцій.

3. Підсистема енергозбереження.

Так як вузли мережі мають автономні джерела живлення, то однією з основних цілей управління мережею при забезпеченні заданої якості процесів покриття, моніторингу та передачі даних є збільшення тривалість

життя (функціонування) мережі на основі реалізації різних методів управління, націлених на мінімізацію витрат енергоресурсу кожного вузла і мережі в цілому.

З іншого боку важливо постійно стежити за станом БСМ. Завдання моніторингу БСМ можна розділити на кілька підзадач:

- Моніторинг обладнання БСМ;
- Моніторинг доступності та якості зв'язку в БСМ;
- Моніторинг клієнтського обладнання (безпроводові термінали, мобільні пристрої і ін.)
- Контроль доступу до БСМ;
- Моніторинг сервісів, до яких здійснюється доступ за допомогою БСМ.

При цьому важливо, щоб подібний моніторинг не впливав на обладнання і не знижував загальну продуктивність мережі. Також важливий комплексний підхід до вирішення всіх цих завдань. Неможливо скласти повну картину, яка буде показувати стан вашої БСМ, якщо упустити хоча б один з пунктів.

В доповіді розглядаються аналіз як окремих показників оцінки функціонування мережі, так і готові програмні продукти моніторингу окремих елементів так і мережі вцілому.

Література

1. Інформаційна безпека в середовищі безпроводових сенсорних мереж : монографія / Александер М.Б., Балабан С.М., Карпінський М.П., Райба С.А., Чиж В.М. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 160 с.
2. Жук О.В. Система управління тактичними сенсорними мережами / О.В. Жук, В.А. Романюк, О.Я. Сова // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 88 – 96.
3. Dietrich I. On the Lifetime of Wireless Sensor Networks / I. Dietrich, F. Dressler // ACM Transactions on Sensor Networks, vol. 5, no. 1, January 2009.
4. Wang B. Coverage problem in sensors networks: a survey / B. Wang // ACM computing survey. – № 43. – 2011. – P. 1 – 53.
5. В. В. Гнатушенко, Данладі Алі. Моделювання мобільних бездротових мереж та порівняльний аналіз протоколів маршрутизації. Радіоелектронні і комп’ютерні системи, 2014
6. Zhu C. A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks / C. Zhu , C. Zheng, L. Shu, G. Han // Journal of Network and Computer Applications, no. 35, 2012. – P. 619
– 632.
7. Ерзин А. И. О максимизации времени функционирования сенсорных сетей при ресурсных ограничениях / А.И. Ерзин, Р.В. Плотников // Дискретный анализ и исследование операций, 2011, том 18, № 6. – С. 17 – 32.

УДК 621.396

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ PWA ДЛЯ ПОБУДОВИ СУЧАСНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

Прищепа Т.О., Чайковський А.Р.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: its_tk@ukr.net

Analysis PWA technology capabilities to build a modern information environment

Progressive Web App (PWA) is a class of web applications built on a stack of web and mobile technologies (Java Script, CSS, HTML and Service Worker). PWA look and interact with the user as native applications (native APP).

PWA (Progressive Web Applications; Прогресивні веб-додатки) – це веб-ресурси, які поєднують у собі властивості сайту і мобільного додатку. Зберігаючи зручність використання традиційних веб-сайтів, вони набувають також автономності класичних додатків: з PWA можна працювати як в онлайн, так і в офлайн-режимі.

До переваг технології PWA відносяться:

- **Можливість безбраузерної роботи.** Ця функція дає користувачеві доступ до інформації в один клік, а значить, збільшується залученість: клієнт може швидко відвідати ресурс у будь-який зручний момент.

- **Кросплатформовість.** Стандартний мобільний додаток працює тільки на тих платформах, для яких його розробляли (Android, iOS, Windows). Водночас, PWA здатні працювати майже на всіх апаратних платформах, що знижує вартість розробки: не потрібно створювати окремий продукт для кожної операційної системи, досить розробити один універсальний PWA-додаток.

- **Офлайн-режим.** Без підключення до Інтернету користувач може переглядати інформацію і навіть відправляти HTML-форми. При цьому дані, які ввів відвідувач сайту в форму, тимчасово зберігаються на пристрої, а як тільки з'явиться зв'язок з інтернетом, вони відправляться на сервер. Уявіть, наприклад, що ви почали заповнювати форму замовлення, а потім зайшли в метро і з'єднання перервалося. На звичайному сайті, якщо ви після цього натиснете кнопку відправки, ваші дані зникнуть, тоді як PWA збереже всю інформацію і відправить її при першій нагоді вже без вашої участі.

- **Push-повідомлення.** Користувачі зможуть отримувати зручні повідомлення про акції, нові статті та інші події вашого ресурсу, причому навіть без установки PWA.

- **Поліпшення конверсії.** Це скоріше наслідок перерахованих вище пунктів: під час роботи з PWA збільшується ймовірність повторного входу клієнта на сайт, час, який він проводить на ресурсі, поліпшується користувальницький досвід, що в перспективі допомагає підвищити конверсію, якщо мова йде про комерційний сайт.

- **Непрямий вплив на SEO.** Прогресивні мобільні додатки демонструють хороші поведінкові фактори (користувачі активно переходять по сторінках, менший показник відмов), що може позитивно позначитися на ранжуванні в пошуку. PWA працює тільки з захищеним протоколом (HTTPS), а це теж позитивно впливає на позиції сайту.

Недоліки технології PWA:

- Перше завантаження PWA-сторінки може бути трохи повільним, що буває критично при дуже слабкому Інтернет-з'єднанні. Пов'язано це з тим, що на момент першого входу інформація в кеші про ресурс відсутня.

- Сумарний розмір PWA обмежений певними вимогами, які залежать від браузера користувача. Тому, створюючи PWA, доводиться максимально зменшувати розмір всіх ресурсів, щоб мінімізувати ризик того, що якісь з них не поміститься в кеш.

- Технологію PWA складніше впровадити на вже готовий сайт, тому що потрібна максимальна оптимізація контенту.

- Якщо ви працюєте з PWA-сайтом через браузер, то очищення кешу браузера призведе до безповоротної втрати даних, пов'язаних із сайтом, та відсутності можливості відвідувати ресурс в офлайн-режимі до тих пір, поки не з'явиться інтернет і дані в кеші не перезапишуться.

- Значна частина функцій PWA-сайтів не може нормально працювати при ввімкненому режимі «інкогніто» в браузері.

Технологія PWA можна використовувати:

ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНИ

Для великих інтернет-магазинів PWA-технологія може бути застосована, проте працювати з таким ресурсом в офлайн-режимі буде важко. Пов'язано це з тим, що великий магазин вимагає безлічі запитів на сервер під час фільтрації або сортування великої кількості товарів за різними ознаками. Крім того, безліч фотографій товарів, які небажано занадто сильно стискати, можуть просто не поміститися в локальному кеш-сховищі.

ІНФО-РЕСУРСИ

Для таких типів сайтів, як блог, інформаційний, корпоративний ресурс або сайт послуг, налаштувати роботу PWA буде простіше. Це пов'язано не тільки з тим, що на таких сайтах зазвичай менше зображень (у порівнянні з

інтернет-магазинами), але і з тим, що для них не потрібно фільтрувати або сортувати контент, а нові сторінки з'являються порівняно нечасто.

LANDING PAGES

Нарешті, для landing page або сайту-візитки впровадити PWA найбільш просто: у зв'язку з тим, що контент цих ресурсів практично незмінний, для них навіть не потрібно налаштовувати фонову синхронізацію. Весь сайт буде кешуватися на пристрої, і користувач зможе звернутися до нього в будь-який момент.

Архітектура PWA

PWA - це веб додаток, створений з використанням певних технологій для досягнення заданих цільових показників.

Рис. 1. Архітектура PWA.

Цільові показники розшифровуються таким чином:

Надійність (Reliable) - додаток завантажується і показується відразу ж, незалежно від статусу і якості мережевого з'єднання.

Швидкість (Fast) - взаємообмін даними по мережі відбувається швидко, UI плавний і чуйний.

Привабливість (Engaging) - робить для користувача досвід роботи з додатком комфортним і приємним.

Література

1. Pete LePage. Your First Progressive Web App. Google. url: https: //developers.google.com/web/fundamentals/getting-star ted/codelabs/your-first-pwapp/ (visited on 11/13/2016).
2. Parbat Thakur, “Evaluation and Implementation of Progressive Web Application”, bachelor’s thesis, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, 2018.
3. David Fortunato and Jorge Bernardino,”Progressive web apps: An alternative to the native mobile Apps”, IEEE/13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), 2018.

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

ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НДІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Одинадцята Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ»

Присвячено Дню науки та Всесвітньому Дню телекомунікацій

15–19 квітня 2019 року

Тези конференції

м. Київ

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРІТС-2019

Співголови конференції:

ІЛЬЧЕНКО М.Ю. – науковий керівник Інституту телекомунікаційних систем, проректор з наукової роботи Національного технічного університету 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;

ДОРОГАНЬ К.С. – голова студентського профкому інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Члени наглядового комітету:

ГЛОБА Л.С. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, 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;
НАРИТНИК Т.М. - к.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ПРАВИЛО 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., с.н.с., 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;
ШЕЛКОВНІКОВ 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;
Прищепа Т.О., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
Штогрина О.С., к.т.н., КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ.

Засідання 1.

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 5G В УКРАЇНІ

Турчин Я. В.
Науковий керівник: **к.т.н. Кононова І.В.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: turchyn_v@ukr.net

В роботі проведено аналіз варіантів впровадження технології 5G в Україні на основі тестувань, що були проведені інших країнах світу. Також проаналізовано основні переваги та проблеми при розгортанні нового покоління мобільного зв’язку.

ANALYSIS OF 5G TECHNOLOGY INTRODUCTION IN UKRAINE

Turchyn Y.V.
Scientific adviser: Kononova I.V.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: turchyn_v@ukr.net

The analysis of the introduction of technology 5G in Ukraine was conducted on the basis of tests carried out in other countries of the world. Also analyzed are the main advantages and challenges of deploying a new generation of mobile communications.

ПЕРСПЕКТИВИ І СКЛАДНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ 5G

Свіржевська А.І.
Науковий керівник: **Правило В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: angelina.svirzhevska@gmail.com

Окреслено основні можливості 5G. Розглянуто спектр частот, як основну проблему впровадження нової технології. Описано які проблеми несе за собою ущільнення обладнання, а також які це дає переваги. Запропоновано можливі способи здешевлення розгортання мережі 5G.

PERSPECTIVES AND COMPATIBILITY OF IMPLEMENTATION 5G

Svirzhevska A.I.
Scientific adviser: **Pravilo V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: angelina.svirzhevska@gmail.com

The main features of 5G are outlined. The spectrum of frequencies as the main problem of introduction of new technology is considered. It describes the main problems that arise when compacting equipment, as well as the advantages that it gives. Possible ways to reduce the cost of deploying a 5G network are suggested.

ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Корман Н. А.
Науковий керівник: **к.т.н. Кононова І.В.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail:kormannatasha21298@gmail.com

В роботі досліджено основні проблеми захисту інформації на основі існуючих методів захисту, що використовуються в телекомунікаційних мережах. Визначено найкращих спосіб збереження цілісності даних за рахунок використання шифрування.

PROBLEMS OF PROTECTION OF INFORMATION IN TELECOMMUNICATION

Korman N.A
Scientific adviser: Kononova I.V.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: kormannatasha21298@gmail.com

The main problems of information protection on the basis of existing methods of protection used in telecommunication networks are investigated. The best way to keep data integrity at the expense of using encryption is determined.

ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ

Пчелінцев І.С.
Науковий керівник: **Григоренко О.Г.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: illia.pchelintsev@gmail.com

В роботі розглянуто алгоритми шифрування, що використовуються для забезпечення захисту даних в сучасних інфокомунікаційних мережах. Зроблено порівняльна оцінка таких алгоритмів шифрування, як Blowfish, DES, 3DES, CAST, AES, RSA, El-Gamal.

COMPARISON OF MODERN ENCRYPTING ALGORITHMS

Pchelintsev I.S.
Scientific adviser: **Grygorenko O.G.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: illia.pchelintsev@gmail.com

Encryption algorithms used to provide data protection in modern infocommunication networks are considered. A comparative assessment is made of such encryption algorithms as Blowfish, DES, 3DES, CAST, AES, RSA, El-Gamal.

ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИВАТНОСТІ ТА О СОБИСТИХ ДАНИХ ЛЮДИНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Смаглюк В. О.
Науковий керівник: Курдеча В.В.
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: amxleclerk@gmail.com

Розглянуто сутність проблеми соціального-технічного аспекту застосування Інтернету речей та ступінь ризику порушень конфіденційності персональних даних людини. Проаналізовано правове врегулювання захисту персональних даних населення в Україні та країнах світу, із використанням технології Інтернету речей. Запропоновано рекомендації щодо захисту персональних даних при використанні технології Інтернету речей, що базуються на правових та технічних аспектах.

KEEPING CONFIDENTIALITY AND PERSONAL DATA OF THE PERSON WHILE USING TECHNOLOGY THE INTERNET OF THINGS

Smahliuk V.O.
Scientific adviser: Kurdecha V.V.
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: amxleclerk@gmail.com

The essence of the problem of social-technical aspect the Internet of things using and the degree of risks of personal data privacy violations are considered. The legal regulation of protection of personal data of the population in Ukraine and countries of the world, using the technology of the Internet of things, is analyzed. Recommendations on the protection of personal data while using the Internet of things technology which based on legal and technical aspects are suggested.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОДУВАННЯ МОВИ В СИСТЕМАХ IP-ТЕЛЕФОНІЇ

Грицюк Р.Ю.
Науковий керівник: **Явіся В.С.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: roman.gryutsyk@gmail.com

Досліджені методи кодування мови в системах IP-телефонії. Проаналізовано найбільш поширені протоколи, на базі яких функціонують сучасні мережі IP-телефонії, а саме SIP та H.323.

ANALYSIS OF THE METHODS OF LANGUAGE ENCODING IN THE IP-TELEPHONY SYSTEMS

Hrytsiuk R.Y.
Scientific adviser: **Yavisia V.S.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: roman.gryutsyk@gmail.com

The methods of encoding language in IP-telephony systems were investigated. The most common protocols based on which modern IP-telephony networks, namely SIP and H.323, were analyzed.

ВИКОРИСТАННЯ КОРИСТУВАЦЬКОЇ РЕТРАНСЛЯЦІЇ В БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ 5G

Романюк І.П.
Науковий керівник: **Афанасьєва Л.О.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: mailforletters@mail.ua

Одним з рішень кооперації в мережах 5G є спільний і скоординований процес між мережевими вузлами, який використовує переваги технологій «Повного дуплексу» (FD) та «від пристрою до пристрою» D2D, а також передачу з допомогою ретрансляції. Крім того, він може використовувати як ліцензовані, так і не ліцензовані або спільно використовувані смуги спектру.

Використання ретрансляції D2D в мережах 5G з використанням FD дасть велику перевагу перед існуючими мережами четвертого покоління. А спільне використання як ліцензованого, так і не ліцензованого частотного спектру істотно знизить навантаження на базову мережу. Використання ретрансляції D2D потребує багато дороблень, пов'язаних з об'єднанням і грамотним використанням не ліцензованого частотного спектру, що б забезпечити максимальну ефективність і потенціал цих частот.

USE OF USER RETRANSLATION IN NETWORK NETWORKS 5G

Romanyuk I.P.
Scientific adviser: **Afanasieva L.O.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

One of the solutions for collaboration in 5G networks is a collaborative and coordinated process between network nodes that takes advantage of Full Duplex (FD) and D2D from device to device, as well as relay transmissions. In addition, it can use both licensed and non-licensed or shared spectrum bands.

The use of D2D relaying in 5G networks using FDs will give a great advantage over existing networks of the fourth generation. A joint use of both licensed and non-licensed frequency spectrum will significantly reduce the load on the base network. The use of D2D relay requires many revisions related to the unification and competent use of a non-licensed frequency spectrum to ensure maximum efficiency and potential of these frequencies.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В МЕЖАХ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Носкова Д. С.
Науковий керівник: **Осипчук С. О.**
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: noskova.ds1007@gmail.com

Досліджено найбільш поширені технології безпроводового зв'язку (WI-FI, Bluetooth, ZigBee). На основі аналізу технічних характеристик та прикладних застосунків даних технологій зроблено висновок, що кожна технологія має свої технічні характеристики і особливості, переваги і недоліки. Використання тієї чи іншої технології безпроводового зв'язку залежить від того, яка поставлена задача для вирішення, і які параметри важливі: швидкість передачі даних, діапазон дії, час автономної роботи пристрою, чи інші параметри засобів передавання інформації. В межах концепції Інтренету речей (а саме - "розумного будинку"), згадані технології безпроводового зв'язку можуть використовуватися в технічному рішенні комплексно, щоб краще використовувати ресурси каналу зв'язку та забезпечувати виконання поставлених перед системою Інтернету речей задач і досягати необхідних результатів.

WIRELESS COMMUNICATION TECHNOLOGIES RESEARCH FOR THE "SMART HOME" CONCEPT

Noskova D. S.
Scientific adviser: **Osypchuk S. O.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: noskova.ds1007@gmail.com

The most widespread technologies of wireless communication like WI-FI, Bluetooth, ZigBee - are investigated. Based on the analysis of technical characteristics and applied applications of these technologies concluded that each technology has its own characteristics and features, advantages and disadvantages. Used of one or another wireless communication technology depends on what task is being solved and which parameters are important: data rate, range of action, the battery life of the device, or other means of information transfer options. Within the concept of the Internet of things (especially - "smart home"), the mentioned technologies of wireless communication can be used in a technical solution in a complex way, to better used the resources of the communication channel and provide implementation tasks in the Internet of things system and achieve the necessary results.

АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ СЕРВІСУ VPN

Дьомін Р.В.
Науковий керівник: **Созонник Г.Д.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: romadyomin228@gmail.com

В роботі розглядаються принцип формування та класифікація VPN, основні концепції VPN MPLS мережі. Проводиться аналіз основних технічних рішень топології VPN MPLS, розглядаються архітектура та принцип роботи MPLS VPN. Розроблено структуру MPLS мережі провайдера для організації сервісів VPN для корпоративних клієнтів.

ANALYSIS OF PRINCIPLES OF BUILDING OF THE VPN SERVICE

Domin R. V.
Scientific adviser: **Sozonnyk G.D.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: romadyomin228@gmail.com

The principle of formation and classification of VPN, the basic concepts of VPN MPLS network is considered. An analysis of the basic technical solutions of the VPN MPLS topology is under consideration, the architecture and principle of MPLS VPN work is considered. The structure of MPLS network provider for organization of VPN services for corporate clients is developed.

АНАЛІЗ ДИСЦИПЛІН ОБСЛУГОВУВАННЯ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Мартинова К.Г.
Науковий консультант: **Уривський Л.О.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: scorpio.for.teen@.gmail.com

У доповіді розглянутий комплекс математичних моделей СМО, які відповідають різним механізмам керування процедурами обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних системах. Мультисервісність системи моделюється багатопотоковою СМО із різними показниками інтенсивностей вхідних потоків. Передбачається, що засобами обслуговування заявок та зберігання заявок (організації черг) є комп'ютерне середовище (віртуальні обчислювальні ресурси). Показано, що найбільш дієвими є механізми ситуаційного керування, до яких долучено ординарні дисципліни обслуговування із змінною кількістю приборів обслуговування та місць у черзі та пріоритетні дисципліни із змінним інструментарієм визначення пріоритетів.

ANALYSIS OF SERVICE DISCIPLINES IN MULTISERVICE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Martynova K.G.
Scientific consultant: **Uryvsky L.O.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: scorpio.for.teen@.gmail.com

The report observes a complex of mathematical models of massive service systems (MSS) that correspond to different mechanisms of management of service procedures in multiservice telecommunication systems. Multiservice system is evaluated by multistream MSS with different input stream intensity indices. It is assumed that computer environment (virtual computing resources) is the mean of service of jobs and the storage of jobs (organization of queues). It is shown that the most effective are situational control mechanisms, which include ordinary service disciplines with a variable number of servers and queuing positions and priority disciplines with variable tools for determining priorities.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ДОСТУПУ ПО МІДНОМУ КАБЕЛЮ

Бондарець Я.Б.
Науковий керівник: **Носков В.І.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yar.bondarets@gmail.com

Досліджені основні технології доступу по мідному кабелю. Проведена порівняльна характеристика найпоширеніших технологій сімейства цифрової абонентської лінії (xDSL - digital subscriber line).

COMPARATIVE REVIEW OF TECHNOLOGIES OF ACCESS BY COPPER CABLE

Bondarets Y.B.
Scientific adviser: **Noskov V.I**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: yar.bondarets@gmail.com

Investigated the main technologies of access by copper cable. Compared the most common technologies of the digital subscriber line family (xDSL - digital subscriber line).

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СТВОРЕННЯ IoT РІШЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ VPN ТРАФІКУ

Тушич А.М.
Науковий керівник: **Сторчак К.П.**
Навчально-науковий інститут інформатизації та телекомунікацій
Державний університет телекомунікацій, Україна
E-mail: alinatushych@gmail.com

Основна ідея полягає у створенні такої моделі системи, яка б фільтрувала дані, що надходять із мережі Інтернет від «забороненого» трафіку. Запропонована ідея реалізації – побудова моделі на основі нейронної мережі. Для надання системі можливості навчатись задаємо правила навчання. Після цього «навчимо» систему розпізнавати VPN трафік. Для цього необхідно подати на вхід мережі достатню кількість даних «забороненого» трафіку. Як результат – отримуємо готове програмне рішення для фільтрування Інтернет даних.

USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR CREATION OF IoT TYPES OF FILTRATION OF VPN TRAFFIC

Tushych A.M.
Scientific adviser: **Storchak K.P.**
Educational-scientific Institute of Telecommunications and Information
State University of Telecommunications, Ukraine
E-mail: alinatushych@gmail.com

The main idea is to create a model of the system that would filter the data coming from the Internet from "forbidden" traffic. The proposed idea of implementation is to build a model based on the neural network. To provide the system with the opportunity to study, we set the rules of training. After that, the system will be "taught" to recognize VPN traffic. To do this, one must submit a sufficient amount of "forbidden" traffic to the network's input. As a result, we obtain a ready-made software solution for filtering Internet data.

Засідання 2.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ БЕЗПЕКИ КОРИСТУВАЧІВ В МЕРЕЖІ IoT

Балкунов М.В.
Науковий керівник: **Курдеча В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: balkunovn@icloud.com

На сьогоднішній день виявлено значний вплив користувача на безпеку IoT. У зв'язку із збільшенням IoT пристроїв і необізнаністю користувачів, все більше випадків масових зломів мереж IoT. В ході роботи були проаналізовані проблеми безпеки на стороні користувача і сформований список рекомендацій щодо забезпечення підвищення рівня захисту мереж IoT.

ANALYSIS OF USERS SECURITY PROBLEMS IN THE IoT NETWORK

Balkunov N.V.
Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: balkunovn@icloud.com

Currently a significant user impact on IoT security has been identified. The increase quantity of IOT devices and lack of knowledge users are cause of more and more cases IOT hacking. Security problems on the user’s side. List of recommendations for ensuring the improvement of IoT network security has been proposed.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ В МЕРЕЖАХ IoT

Марчук О.О.
Науковий керівник: **Валуйський С.В.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: alejandro980204@gmail.com

Робота присвячена аналізу методів підвищення безпеки в мережах IoT. За прогнозами в недалекому майбутньому технології Інтернет речей стануть не від'ємною частиною більшості сфер людського життя, тому гостро стоїть питання забезпечення безпеки та конфіденційності. В останні роки широкий розголос отримали багато кібератак які продемонстрували ризики та проблеми безпеки IoT. В роботі запропоновані вирішення даних проблем за допомогою ключових критичних технологій IoT, які є комбінацією традиційних і новітніх методів та інструментів забезпечення дійсно безпечного IoT.

ANALYSIS OF SECURITY IMPROVEMENT METHODS IN IoT NETWORKS

Marchuk O.O.
Scientific adviser: **Valuiskyi S.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: : alejandro980204@gmail.com

Work is devoted the analysis of methods of increase in safety in IoT networks. According to forecasts in the near future technologies the Internet of Things will become not from oh part the majority of spheres of human life therefore the question of safety and confidentiality is particularly acute. In recent years wide publicity received many cyber attacks which showed risks and security of IoT. In work the proposed solutions of these problems with the help of key critical IoT technologies which are a combination of traditional and latest methods and instruments of providing really safe IoT.

МІЖМАШИННИЙ ЗВ'ЯЗОК
У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

Чупілко О.І
Науковий керівник: **Курдеча В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: alexeychupilko@gmail.com

На сьогоднішній день, фізичні об'єкти можуть взаємодіяти між собою або з зовнішнім світом без участі людини за допомогою концепції IOT. Пристрої в таких мережах взаємодіють один з одним за допомогою різних інтерфейсів і протоколів передачі даних. Запропонований спосіб зв'язку базується на протоколі MQTT. При цьому застосовується попередня обробка інформації та прийняття рішення, щодо її передачі на стороні датчиків IOT. Це дозволяє підвищити ефективність міжмашинного зв'язку IOT мережі.

IOT M2M COMMUNICATION

Chupilko A.I
Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: alexeychupilko@gmail.com

Today physical objects can interact with each other or with the outside world without human participation using the IOT concept. Devices in such networks interact with each other using various interfaces and data transfer protocols. The proposed communication method is based on the MQTT protocol. At the same time, preliminary information processing and decision-making regarding its transfer on the IOT sensor side is applied. This allows to increase the efficiency of the IOT network communications machine.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ НАЗЕМНИМИ ВУЗЛАМИ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Яцишин О.В.
Науковий керівник: **Осипчук С.О.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yatsyshin.oleksandr@gmail.com

Останні події в Україні та світі приводять до виникнення надзвичайних ситуацій, які потребують оперативного реагування. Проте у певних ситуаціях звичайні системи оповіщення, які передбачені законом можуть бути непридатними для використання на окремих територіях. У такому випадку існує потреба у створенні та розгортанні незалежної мобільної телекомунікаційної мережі, яка зможе забезпечити зв’язок та ефективне сповіщення на території надзвичайної ситуації. Тому в даній роботі проводиться дослідження можливостей та умови реалізації бездротової сенсорної мережі (БСМ) у зоні надзвичайної ситуації, яка працює на основі стандартів IEEE 802.11xx. Такі БСМ повинні бути швидко розгортувані, покривати велику площу та забезпечувати автономну роботу протягом тривалого часу без необхідності в додатковому технічному обслуговуванні та зарядці.

THE TECHNOLOGIES RESEARCH FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS WITH TERRESTRIAL INFOCOMMUNICATION NODES IN EMERGENCY AREA

Yatsyshyn O.V.
Scientific adviser: **Osypchuk S.O.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: yatsyshin.oleksandr@gmail.com

Recent developments in Ukraine and in the world bring to emergencies that require rapid response. However, in certain situations, conventional warning systems that are provided by law may not be suitable for use in certain areas. In this case, there is a need for the creation and deployment of an independent mobile telecommunication network that can provide communication and effective notification in the emergency area. Therefore, in this article explores the possibilities and conditions for the implementation of the wireless sensor network (WSN) in the emergency area that based on IEEE 802.11xx standards. Such WSNs must be fast deployable, cover large area and provide stand-alone operation for a long time without the need for additional maintenance and charging.

РОЗВАНТАЖЕННЯ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI OFFLOAD

Дорогань К.С.
Науковий керівник: **Правило В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: ksyushadorogan@gmail.com

Із року в рік технологія Wi-Fi-offload набирає популярність завдяки сучасним тенденціям зростання трафіку мобільних мереж. Тож постає питання його інтеграції з існуючими, вбудованими системами зв'язку. Було розглянуто спосіб об'єднання Wi-Fi з 3G, для розвантаження мобільної мережі.

OFFLOADING MOBILE NETWORKS WITH WI-FI OFFLOAD TECHNOLOGY

Dorohan K.S.
Scientific adviser: **Pravilo V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
E-mail: ksyushadorogan@gmail.com

From year to year Wi-Fi-offload technology is gaining in popularity thanks to modern trends in the growth of mobile network traffic. So the question arises of its integration with existing, embedded communication systems. We discussed how to combine Wi-Fi with 3G, to unload the mobile network.

ВИКОРИСТАННЯ БІБЛІОТЕКИ OPENCV НА МІКРОКОМП'ЮТЕРІ RASPBERRYPI

Миніч М.А.
Науковий керівник: **Могильний С.Б.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: marinka43753@gmail.com

Проведено огляд можливостей бібліотеки OpenCV та її застосування на мікрокомп'ютері Raspberry Pi. OpenCV (Open Source Computer Vision), призначена для комп'ютерного зору, обробки зображень та алгоритмів загального призначення. Розглянуто алгоритми що застосовуються при обробці зображень, таких як зміна колірних просторів, геометричні трансформації зображень, зміна порогового значення зображення, визначення кутів, контурів, сегментація зображень з алгоритмом Watershed тощо. Усі дані алгоритми можуть бути використані на Raspberry Pi.

USING THE OPENCV LIBRARY ON THE RASPBERRYPI

Mynich M.A.
Scientific adviser: **Mohylnyi S.B.**
Institute of Telecommunications Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: marinka43753@gmail.com

An overview of the features of the OpenCV library and its application on the Raspberry Pi were conducted. OpenCV (Open Source Computer Vision) intended for computer vision, image processing and general-purpose algorithms. The algorithms used in the processing of images, such as change of color spaces, geometric transformations of images, change of the threshold image value, determination of angles, contours, image segmentation with Watershed algorithm, etc. are considered. All data algorithms can be used on Raspberry Pi.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І СТАНІВ МАСШТАБУВАННЯ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ

Грищук Д.М
Науковий керівник: **Кононова І.В.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: plutonixe@gmail.com

Проведено огляд актуальних проблем і станів хмарних сховищ. Розглянуто історію появи терміну «хмара», концепції хмарних сховищ і сучасний стан хмарних сховищ. Запропоновано різні методи масштабування хмарних сховищ. Розглянуто концепцію горизонтальною і вертикальною масштабування. Порушені проблеми масштабованості «хмарних обчислень». Проаналізовано переваги та недоліки хмарних баз даних. Розглянуто можливості інтелектуального аналізу даних в «хмарі». Позначений ще один базовий варіант моделі надання сервісних послуг база даних як сервіс.

ANALYSIS OF PROBLEMS AND SCALABILITY STATES OF CLOUD DATA WAREHOUSES

Hryshchuk D.N.
Scientific adviser: **Kononova I.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: plutonixe@gmail.com

An overview of topical issues and cloud storage conditions was conducted. The history of the term "cloud", the concept of cloud storage and the current state of cloud storage are considered. Different methods of scaling cloud storages are offered. The concept of horizontal and vertical scaling is considered. There are problems with scalability of "cloud computing." The advantages and disadvantages of cloud databases have been analyzed. The possibilities of the intellectual analysis of data in the "cloud" are considered. Another basic version of the model for providing service services is the database as a service.

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ «БЛОКЧЕЙН» ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Поддубна М.О.
Науковий керівник: **Міночкін Д.А.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: maripod1210@gmail.com

Окреслено основні можливості технології блокчейн та Інтернету Речей. Розглянуто проблеми Інтернету Речей та можливості вирішення їх за допомогою блокчейну. Також описано проблеми впровадження технології «блокчейн» в Інтернет Речей. Розглянуто приклади поєднання блокчейну та IoT. Також окреслено компанії та стартапи, які вже розробляють різні форми поєднання блокчейну та IoT.

PROBLEMS OF USING TECHNOLOGY "BLOCKCHAIN" FOR THE INTERNET OF THINGS

Poddubna M.O.
Scientific adviser: **Mynochkin D. A.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: : maripod1210@gmail.com

The main features of the Blockchain technology and the Internet of Things are outlined. The problems of the Internet of Things and possibilities of solving them with the help of a blockchain are considered. Also described problems of implementation technology "blokchain" in the Internet of Things. Examples of combinations of blockchain and IoT are considered. Also outlined companies and startups that are developing various forms of combination blokchain and IoT.

ОНТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ MICROGRID

Міщенко Р.І.
Науковий керівник: **Курдеча В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: rodionmish98@gmail.com

MicroGrid - це локалізована група джерел і навантажень електроенергії, зв’язаних між собою і є синхронною з традиційною широкосмуговою синхронною сіткою (macrogrid), але також може відключатися від "острівного режиму" - і функціонувати автономно, коли диктують фізичні або економічні умови. Актуальність даної системи полягає в тому, що вона дозволяє знаходити нові комплексні рішення для автономних ділянок для підвищення продуктивності, підвищення експлуатаційної ефективності та зниження витрат. Розглянуто сам принцип побудови онтологічної моделі та її експлуатації.

ONTOLOGICAL MODEL MICROGRID

Mishchenko R.I.
Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: rodionmish98@gmail.com

A MicroGrid is a localized group of electricity sources and loads that normally operates connected to and synchronous with the traditional wide area synchronous grid (macrogrid), but can also disconnect to "island mode" — and function autonomously as physical or economic conditions dictate. The relevance of this system is that it allows to find new comprehensive solutions for unattended sites to increase productivity, improve operational efficiency and reduce costs.The principle of constructing an ontological model and its operation is considered.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ CUDA ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ШИФРУВАННЯ

Пилипчук А.А.
Науковий керівник: **Правило В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: pylypchukangelina@gmail.com

Розглянуто застосування сучасних симетричних алгоритмів на графічних процесорах з метою прискорення шифрування. Дані реалізації були здійснені за допомогою технології CUDA. Визначено за яких умов буде найкращий показник швидкодії.

USE OF CUDA TECHNOLOGY FOR ACCELERATE OF ENCRYPTION ALGORITHMS

Pylypchuk A.A.
Scientific adviser: **Pravilo V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: pylypchukangelina@gmail.com

The application of modern symmetric algorithms on graphic processors is considered in order to accelerate encryption. These implementation were made with technology CUDA. Determined in what conditions will be the best performance rate.

МОДИФІКАЦІЯ МЕХАНІЗМУ ВІКНА НА БАЗІ СТАНДАРТУ IEEE 802.11AH ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ M2M ОБМІНУ

Панькіна О.І.
Науковий керівник: **Курдеча В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: olenapankina@gmail.com

Проаналізовано технології M2M обміну в безпроводовій мережі. Проаналізовано актуальність підвищення енергоефективності M2M обміну. Досліджено існуючі методи підвищення енергоефективності для стандарту IEEE 802.11ah. Проаналізовано механізм вікна обмеженого доступу на базі стандарту IEEE 802.11ah. Запропоновано модифікація механізму RAW при врахуванні реініціалізації лічильника відстрочки.

MODIFICATION RAW MECHANISM BASED ON IEEE 802.11AH STANDARD FOR IMPOVING ENERGY EFFICIENCY M2M EXCHANGE

Pankina O.I.
Scientific adviser: **Kurdecha V.V**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: olenapankina@gmail.com

Analyzed M2M exchange in wireless network. Analyzed relevance of improving energy efficiency for M2M exchange. Investigated existing solutions of improving energy efficiency for IEEE 802.11ah standard. Analyzed Restricted Access Window mechanism based on IEEE 802.11ah standard. Suggested modification of the IEEE 802.11ah standard taking into account reinitialization of the delay counter.

МЕТОД МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАННИХ В МЕРЕЖІ MICROGRID

Блазнов В.М.
Науковий керівник: **Курдеча В.В.**
Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: vmblaznov@gmail.com

В рамках системи MicroGrid постає цілий ряд процесів керування та узгодженого функціонування пристроїв, що призводить до необхідності оперування великими інформаційними даними. У роботі освітлюється основна задача обробки великих даних у MicroGrid за допомогою Machine Learning. На основі Machine Learning запропонований власний метод навчання MicroGrid. Даний метод підвищує ефективність обробки даних в такій мережі.

MACHINELEARNING FOR PROCESSING DATA IN A MICROGRID NETWORK

Blaznov V.M.
Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: vmblaznov@gmail.com

As part of the MicroGrid system, there are a number of management processes and consistent device operation, which results in the need to operate large data. The paper focuses on the main task of processing large data in MicroGrid using Machine Learning. On the basis of Machine Learning, we offer our own method of training MicroGrid. This method improves the efficiency of processing data in such a network.

РОЗРОБКА ЦИКЛУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ IEEE 802.11

Максимчук М.Р., Грищенко О.С.
Науковий керівник: **Осипчук С.О.**
Інститут телекомунікаційних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: nikolaymaximchuk@gmail.com

Розроблено цикл лабораторних робіт для студентів 3-4 курсів для дослідження безпроводових засобів зв'язку на основі стандартів IEEE 802.11, а саме: виробників MikroTik та Cambium. В ході виконання робіт студенти зможуть ознайомитись з їх специфікаціями, навчитися налаштовувати параметри пристроїв їх функціонування, а також дослідити їх роботу та характеристики лінії зв'язку в різних режимах роботи з усіма можливими варіаціями вихідних параметрів. За допомогою безпроводових засобів зв'язку MikroTik SXT-Lite5, Cambium ePMP 1000/2000, Cambium Force 180 та інших, є можливість відтворити в лабораторних умовах мережеву структуру з переприйманням та базовими компонентами виду точка-точка і точка-багатоточка.

THE LABS COURSE DEVELOPMENT FOR THE IEEE 802.11 WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS STUDY

Maksymchuk M.R., Hryshchenko O.S.
Scientific adviser: **Osypchuk S.O.**
Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: nikolaymaximchuk@gmail.com

The cycle of labs for the students of 3-4 courses is developed for wireless communication research based on IEEE 802.11 standards, specifically: manufacturers of MikroTik and Cambium. Students will be able to familiarize themselves with their specifications during their work, learn how to configure the parameters of devices for operation, as well as explore their works and characteristics of the line of communication in different modes of operation with all possible variations of the output parameters. Thanks to the wireless communication MikroTik SXT-Lite5, Cambium ePMP 1000/2000, Cambium Force 180 and others, it is possible to recreate the network structure in the laboratory with retransmission and the basic components of the form point-point and point-multipoint.

До 90-річчя професора Ліпатова Анатолія Олексійовича

АНАТОЛІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ ЛІПАТОВ

К.т.н., професор,
Заслужений працівник вищої школи України,
відмінник вищої школи СРСР,
Почесний радист СРСР, Винахідник СРСР,
Лауреат Державної премії України
в області науки та техніки

Ліпатов Анатолій Олексійович – професор кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», видатний спеціаліст в області надвисокочастотних пристроїв і супутникових телекомунікацій, кандидат технічних наук.

Родився 7 квітня 1929 року в м. Новгороді.

Вихованець 6-ої Ленінградської артилерійської спецшколи (1944-1947 рр).

Служив у Збройних Силах СРСР з 1947 по 1989 рр.

Курсант 2-го Ленінградського артилерійського училища за профілем артилерійської інструментальної розвідки (1947-1951гг.).

Командир лінійного взводу окремого дивізіону інструментальної артилерійської розвідки (1951-1953 рр.).

Слухач (1953-1958 рр.), ад'юнкт (1958-1961 рр.) Військової Червоно-прапорної Академії зв'язку (ВКАС), захистив кандидатську дисертацію

1961 р (керівник - К.М. Цібізов). З 1961 р - викладач ВКАС.

З 1968 р - ст. викладач Київського вищого військового інженерного двічі Червонопрапорного училища зв'язку ім. М.І. Калініна.

З 1969 р - начальник кафедри антен, поширення радіохвиль і техніки НВЧ.

З 1974 по 1989 рр. - начальник кафедри радіорелейного, тропосферного та космічного зв'язку, фактично її творець. З 1989 р - провідний науковий співробітник Науково-дослідного центру зв'язку та інформатизації

Київського військового інституту управління та зв'язку НТУУ «КПІ» (нині ВІТІ).

З 2000 року працював за сумісництвом в Інституті телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», з 2003 р - професором кафедри телекомунікацій цього інституту.

Сфера науково-технічних інтересів - мікрохвильові телекомунікаційні системи .

Керівник і учасник ряду НДР, в тому числі з КБ Красноярського радіозаводу, ЦНДІЗ-16 і НДІ «Сатурн», зі створення, вдосконалення та льотно-конструкторських випробувань станцій космічного зв'язку, які були прийняті на озброєння. Нагороджений орденом Червоної Зірки.

Очолював державну комісію з полігонним випробуванням станції тропосферного зв'язку. Брав безпосередню участь у створенні переносної станції урядового супутникового зв'язку, був керівником науково-дослідних робіт з координації орбітально-частотного ресурсу для Національної супутникової системи зв'язку України.

Підтримував тісні творчі зв'язки з підприємствами і науковими установами по системам і технологіям радіорелейного, супутникового та тропосферного зв'язку (НДІ «Сатурн», УкрКосмос, УДЦР, УкрСат).

За весь період науково-технічної діяльності спільно з НДІ «Сатурн» його розробки надмалошумних приймально-перетворювальних комплексів, супутникових і радіорелейних систем на основі арсенід-галієвої технології мікроелектроніки і діелектроніки справили величезний вплив на розвиток радіоелектроніки, радіоастрономії, супутникового зв'язку, далекого космічного зв'язку, супутникового телебачення і зміцнення обороноздатності держави.

Вершиною визнання його діяльності в галузі дослідження НВЧ діелектричних резонаторів, які дали можливість запропонувати десятки нових технічних рішень і технологію серійного виробництва діелектричних резонаторів і мікрохвильових пристроїв на їх основі, захищених авторськими свідоцтвами на винаходи, створити методи інженерного розрахунку частотно-вибіркових пристроїв нового покоління, що вигідно відрізнялися від їхніх попередників в 50-100 разів кращими масо-габаритними характеристиками, і які дали змогу створити в СРСР і запровадити в практику новий науково-технічний напрям – діелектроніку було

присудження А.О.Ліпатову в 1983 році Державної премії УРСР у галузі науки і техніки.

Їм вихована плеяда талановитих учнів, які нині займають високі посади. Серед них - 11 кандидатів технічних наук, двоє з яких, продовжуючи дослідження, стали докторами технічних наук.

Він автор багатьох винаходів, понад 100 наукових праць, в тому числі кількох підручників з техніки НВЧ і супутникового зв'язку. У номінації конкурсу «Техніка зв'язку» Збройних Сил України патент України на винахід «Завадозахищена супутникова система зв'язку», співавтором якого є Ліпатов А.О., був офіційно визнаним Кращим винаходом 2013 р.

Ерудиція і принциповість, велика працездатність і добро-бажаність в поєднанні з високою вимогливістю до себе, до колег і студентам здобули А.О.Ліпатову заслужену повагу.

Понад двадцять років А.О. Ліпатов був членом Програмного комітету «КриМіКо», понад десять років - Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій», з 2016року- Міжнародної конференції з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки -УкрМіКо і головою секції «Системи супутникового зв'язку та безпроводового доступу».

А.О. Ліпатов являє собою дивовижний приклад творчого довголіття. Незважаючи на поважний вік (у 2014 році йому виповнилося 85 років), він зберігав юнацьку допитливість, високий інтелектуальний потенціал і величезну працездатність. Його висока творча активність продовжувалась аж до 14 серпня 2017 року, коли після важкої хвороби раптово зупинилося його серце і він покинув цей світ.

Професор кафедри телекомунікацій
Інституту телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
академік УАН Наритник Т.М.

Пам'яті Сергія Георгійовича Буніна, UB5UN

Сергій Георгійович Бунін
д.т.н., професор

Лауреат Державних премій України
в області науки та техніки,
заслужений професор КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Майстер спорту міжнародного класу. Чемпіон Світу, Європи, 8-ми кратний чемпіон СРСР з радіоспорту. "Почесний радист СРСР". "Почесний радіоконструктор СРСР", нагороджений чотирма золотими медалями Всесоюзних радіовиставок. Удостоєний найвищих нагород світу в радіоаматорстві і серед них – найпрестижніший, і найвідоміший у світі почесний диплом WAZ за № 1 !

С.Г. Бунін народився 2 березня 1937 року у місті Новосибірську. У 1952 році сім'я переїхала на Україну у місто Сталіно (майбутній Донецьк).

В 1958 році вступив до КПІ. Випускник (1966 р.) Київського політехнічного інституту. Він пройшов великий шлях від студента до доктора технічних наук (1989), професора, лауреата Державних премій, члена спеціалізованих наукових рад, міжнародних наукових конгресів і товариств.

Працював в Інституті фізики АН СРСР (1960–61); з 1962 по 1972 рр. – в Інституті кібернетики НАНУ: інженером, завідувачем відділу (з 1991); у 1996–2000 – завідувач відділу Інституту космічних досліджень НАНУ; від 1997 – професор кафедри «Розробки засобів телекомунікації» НТУУ «КПІ», від 2002 – провідний н.с. Інституту телекомунікацій КПІ. На протязі багатьох років очолював кафедру телекомунікацій та телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, виховуючи фахівців у галузі телекомунікацій та зв'язку.

Наукова діяльність С.Г. Буніна була присвячена галузям біологічної та медичної кібернетики, радіосистем та радіозв'язку, пакетної комутації, супутникових систем зв'язку. Один із засновників нового наукового напряму – біоелектричне керування рухами людини. Запровадив у професійний та аматорський зв'язок односмуговий радіозв'язок, радіотелетайп, телебачення з повільною розгорткою, пакетний радіозв'язок. Розробив проект глобальної системи широкосмугового зв'язку на основі низькоорбітального групування штучних супутників Землі (1974–79).

Результати наукової діяльності С.Г. Буніна знайшли застосування у світових проектах глобальної мережі інтегрального обслуговування з пакетною комутацією на основі низькоорбітальних супутників Землі - LEOPACK. Цей проект був представлений на 48-му Міжнародному конгресі з астронавтики в жовтні 1997 року та був визнаний як авангардний проект супутникових систем зв'язку для передачі мультимедійної інформації. Ним

запропонована також оригінальна ідея створення наземних стільникових мереж інтегрального обслуговування з пакетною комутацією, що дозволило організувати передачу інтегрального (мультимедійного) трафіку при значно менших капіталовкладеннях у порівнянні із стільниковими телефонними мережами з комутацією каналів.

Зазначені ідеї доповідалися на Міжнародних конгресах і наукових конференціях вченим і фахівцям в області зв'язку: компанії Спейс-Тел в м. Бейрут (Ліван), в Паризькому університеті і компанії «Франс Телеком», в компанії: «Аленія» (Італія), «Хьюз Аеркрафт Компані» і «Моторола» (США), «Брітіш Телеком» і «Ллойд» (Великобританія», «Етісалат »(О.А.Е.) та ін. Оцінка проектів зазначеними фірмами і організаціями підтвердила їх світовий рівень.

Теоретичні і практичні розробки С.Г. Буніна знайшли своє відображення в Комплексній програмі створення єдиної національної системи зв'язку, де були прийняті до впровадження наступні проекти, розроблені С.Г. Буніним:

• Радіотелефонна мережа з децентралізованою пакетною комутацією на основі супутникових радіоканалів.

• Радіотелефонна мережа з пакетною комутацією.

• Мобільні мережі з пакетною комутацією.

Його науковим досягненням і відкриттям аплодували провідні університети світу де він читав лекції: в Парижі, Лондоні, Мюнхені, Мадриді, Москві, Вашингтоні, Римі, Бейруті.

Для багатьох з нас він був Вчителем і наставником. За своїм характером і життєвим кредо С.Г Бунін завжди був максималістом і лідером, творцем і новатором, вченим, знаним у світи вченим Завжди мав власну оригінальну точку зору, енциклопедичні знання та тверді переконання. Він був обдарованою і талановитою людиною, інтелігентом, ерудитом, досяг найвищих вершин в науці, написав багато книг, залишив унікальну технічну спадщину після себе. Він завжди був сповнений сил і невичерпної енергії. Скромний і привітний, надзвичайно цікавий і романтичний, товариський і надійний друг. З ним було завжди цікаво, тепло й затишно.

Наш дорогий UB5UN… Ніколи в його душі і серці не згасали любов і пристрасть до улюбленого Ham-Radio. Свої перші кроки у світ аматорського радіо він зробив в м. Сталіно близько 70 років тому. У 1952 р. вийшов в світовий радіоаматорський ефір як UB5UN. Романтик, справжній лицар і творець нашого улюбленого хобі. Його ім’я і позивний UB5UN назавжди вписані золотими літерами у світову історію радіоаматорства! Його голос активно звучав на радіохвилях планети у самих віддалених її куточках. Його вітали в міжнародному радіоаматорському ефірі президенти і видатні державні діячі багатьох країн світу, вчені, знамениті спортсмени, мандрівники і колеги, які стали назавжди добрими друзями. Але найвищими нагородами були для нього палка любов і повага усіх хто знав його не лише в Україні. Радіотехнічний клуб КПІ де він провів свої студентські роки (від

UB5KAG до UT7UZA) завжди жив у його серці до останнього подиху і до останньої зустрічі з друзями-радіоаматорами.

Автор ряду видатних книг для радіоаматорів які назавжди стали нашими настільними. Ми не тільки навчалися за його книгами, а і завдяки авторитету, мудрим порадам та невтомній творчій енергії Сергія Георгійовича для багатьох з нас РАДІО стало справою всього життя.

Ще зовсім недавно, два роки тому, багатомільйонна світова радіоаматорська сім'я красиво і яскраво відзначила його прекрасний Ювілей – 80 років з Дня народження. Були отримані сотні поздоровлень з усіх куточків нашої планети, видані спеціальні дипломи та опубліковано десятки вітальних статей на честь Ювіляра – UB5UN.

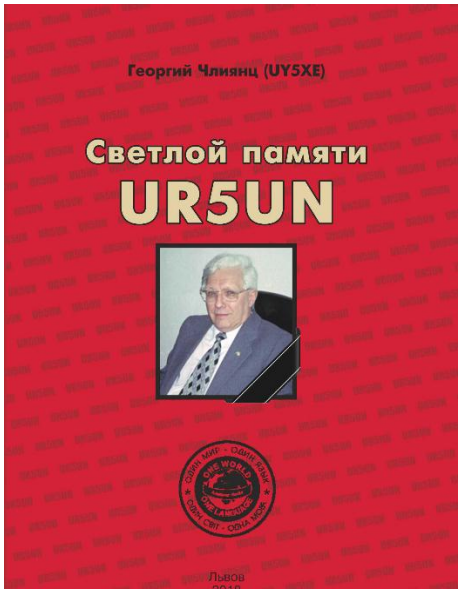
У нього були ще силенні творчі плани – в науці і радіоаматорській діяльності. Начебто ще тільки вчора це було! Ніщо не віщувало біди ... І такий несподіваний відхід з життя 9 жовтня 2018 року у розквіті сил. З ним пішла ціла епоха справжнього романтичного Ham-Radio.

Все життя, сповнене проблем та успіхів, він буквально пролетів на одному подиху. Увесь його життєвий шлях – невтомна праця в ім’я поставленої високої мети. Всього досягав своїм талантом, працелюбством, світлим розумом і золотими руками. Сергій Георгійович залишив великий творчий доробок – мудрі книги, визначні наукові розробки та добру пам’ять про себе.

Він був душею нашого колективу. Пам'ять про Сергія Георгійовича Буніна назавжди залишиться в наших серцях! Ніколи не вщухне біль в нашому серці за цією прекрасною людиною.

Враховуючи значні заслуги Сергія Георгійовича Буніна перед світовим РАДІО, його наукові здобутки, досягнення та великі заслуги перед Ham-Radio, і в пам'ять про нього - за сприяння радіоаматорів видана книга-спогади “Світлій пам’яті UB5UN” написана і за редакцією відомого радіоаматора і близького товариша Сергія Буніна – Георгія Артемовича Чліянца (UY5XE). Книги були вручені сім’ї Буніних, надані колективу кафедри ІТС і керівництву КПІ ім. Ігоря Сікорського, розіслані радіоаматорам України та багатьох країн світу.

Вічного польоту тобі в ефірі, дорогий Сергій Бунін, відомий на весь світ UB5UN!



Від імені та за дорученням радіоаматорів України та багатьох країн світу, радіотехнічного клубу "Політехнік" UT7UZA, КПІ ім. Ігоря Сікорського – Альма матер, де він провів свої кращі студентські роки -

Сергієнко М.І. (UX0UN)