



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

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
НДІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**Шістнадцята міжнародна
науково-технічна конференція
" ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ"
і**

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

Присвячено Дню науки та Всесвітньому Дню телекомунікацій

11–15 квітня 2022 року

Матеріали конференції

м. Київ



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

**EDUCATIONAL AND RESEARCH INSTITUTE
OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS
RESEARCH INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS**

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

and

**Fourteenth 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 11-15, 2022

Conference proceedings

Kyiv

XVI Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2022: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – с.239.

XVI International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2022. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022 – p. .239.

XIV Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2022: Збірник тез конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.

Збірник містить матеріали пленарних і секційних доповідей, представлених на Шістнадцятій міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи телекомунікацій" (ПТ 2022) та Чотирнадцятій міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» (ПРІТС 2022), дати проведення 11–15 квітня 2022 р. в м. Києві.

Електронна версія Збірника матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи телекомунікацій" (кожна стаття має свою URL-адресу) за посиланнями:

<http://conferenc.its.kpi.ua/proc/issue/archive>,

<http://journals.urau.ua/> (ISSNonline 2664-305).

Робочими мовами конференції є українська та англійська.

У збірник включені матеріали конференції за такими секціями:

1. 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.
 5. Телекомунікації як складова частина інформаційних технологій.
 6. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування телекомунікаційних технологій.
 7. Системна й програмна інженерія інфокомунікацій, технології Інтернету речей.
- Семінар: Modern information and telecommunication trends (спілкування виключно англійсько мовою).

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. – директор Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", академік НАНУ, д.т.н., професор;

БАРАНОВ О.А. – керівник Науково-дослідного центру цифрових трансформацій і права Науково-дослідного інституту інформатики і права при Національній академії правових наук (НДІП НАПрН) України, д.ю.н., професор.

Організатори конференції:

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ІТС, НДІТ;
Міжнародний науково-технічний журнал «Information and 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;
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;
КОТ Т.М. - Dr.-Eng., Solutions Architect, NVision Czech Republic, Прага, Чехія;
ЛАВРУТ О.О. - д.т.н., проф., НАСВ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, (3), Львів;

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;
МІНОЧКІН Д.А. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
МОШИНСЬКА А.В. - д.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. - д.т.н., с.н.с., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
СТРИЖАК О.Є. - к.т.н., НЦ «МАН України», Київ;
ТЕНШИ Хара - Dr.-Eng. Technical University of Dresden, Дрезден, Німеччина;
ТОЛЮПА С.В. – д.т.н., проф., НУ ім. Т. Шевченка, 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;
ЧУМАЧЕНКО С.М. - д.т.н., с.н.с., НУХТ, Київ;
ШПІЛЬНЕР Йозеф - Dr. at ZHAW School of Engineering, Цюрих, Вінтертур, Швейцарія;
ЯВІСЯ В.С. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ЯКОРНОВ Є.А. - к.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

Технічний комітет:

1. 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 I 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:

Конференцію було проведено дистанційно за допомогою on-line сервісів для відеоконференцій та вебінарів ZOOM та Meet.

ЗМІСТ

Привітання

Доповідачі:

Ільченко М.Ю.

**ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ – БАЗИС ЦИФРОВОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ СУСПІЛЬСТВА..15**

Баранов О.А.

З ГОРДІСТЮ ЗА ГАЛУЗЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ 20

Пленарні доповіді

Доповідачі:

Joachim Oberhammer

**SILICON-MICROMACHINED THZ SYSTEMS - ENABLING THE
LARGE-SCALE EXPLOITATION OF MILLIMETER AND
SUBMILLIMETER-WAVE FREQUENCIES?.....23**

Ільченко М.Ю., Кононова І.В.

500+ НОВИН ІНФОТЕЛЕКОМУ25

Osypchuk Serhiy

MODERN TRENDS OF IOT TECHNOLOGIES DEVELOPMENT29

Кузьмичов І. К., Когут О. Є.

**ЗАСТОСУВАННЯ ВІДКРИТИХ РЕЗОНАТОРІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАМАТЕРІАЛІВ У КВЧ-ДІАПАЗОНІ30**

Ільченко М.Ю., Вигівський М.С., Наритник Т.М., Капштик С.В.

**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ПІДТРИМКИ МІСІЙ З ВИВЧЕННЯ ТА ОСВОЄННЯ МІСЯЦЯ34**

Сергієнко М.І.

З ВДЯЧНІСТЮ ЗА БАГАТОРІЧНУ СПІВПРАЦЮ39

Секція 1. Передавання сигналів та інформації **в телекомунікаційних системах**

Співголови:

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

Доповідачі:

Уривський Л. О., Корнієнко А. А.

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ
ДЖЕРЕЛА ПОВІДОМЛЕНЬ ЗА УМОВ ДОСЯГНЕННЯ
МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ 42

Максимов В.В., Храповицький І.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИТНИХ КОДІВ БАРКЕРА, КАСАМІ І
ГОЛДА 49

Криклива А.В., Уривський Л.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ В
СМО ІЗ САМОПОДІБНИМ ТРАФІКОМ..... 53

Тимофєєв Є.М., Носков В.І.

ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ 5G ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
СУЧАСНИХ СЕРВІСІВ..... 59

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:

Сливка А.Р., Авдєєнко Г.Л.

ТЕРАГЕРЦОВІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ
ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ВИСОКОЇ (HDTV) ТА
НАДВИСОКОЇ ЯКОСТІ (UHDTV).....62

Trubarov I.V.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF TWO-RESONATOR INSET-FED
PRINTED CIRCULAR PATCH ANTENNA FOR 2.4 GHZ FREQUENCY
BAND.....66

Trubarov I.V.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF COAXIAL-FED CIRCULAR TWO-
RESONATOR PATCH ANTENNA FOR 2.4 GHZ FREQUENCY BAND.....69

Trubin A.A.

MODELING TRIPLEXERS FOR OPTICAL COMMUNICATION
SYSTEMS72

Trubin A.A.

MODELING OF OPTICAL TOPOLOGICAL INSULATORS ON
LATTICES OF COUPLED DIELECTRIC RESONATORS.....75

Trubin A.A.

SCATTERING OF PLANE WAVES ON PSEUDO-ROTABLE LATTICES
OF CYLINDRICAL DIELECTRIC RESONATORS78

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. Лаврут О.О.

Доповідачі:

Романов О. І., Шаповалов Р. С.

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАВАД В МЕРЕЖАХ LIFI.....82

Бурлака Г.Ю.

MINIEDIT: ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС MINIEDIT ДЛЯ СТВОРЕННЯ І
ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ МЕРЕЖ SDN85

Сколець С.С., Маньківський В.Б., Мікляєв Г.О.

ВИКОРИСТАННЯ MININET ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ
БАГАТОДОМЕННИХ МЕРЕЖ SDN88

Корнієнко Н.І., Романов А.О.

ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ
SDN З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРФЕЙСУ T-API91

Сколець С.С., Марінов А.І., Нестеренко М.М.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ
МОДИФІКАЦІЙ MININET ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖ SDN94

Тріска Н.Р. ПИТАННЯ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ СИНХРОНІЗАЦІЇ НА БАЗІ ТЕЛЕКОМ-ПРОФІЛЮ СТАНДАРТУ IEEE1588-2008/2019	97
Бірюков М.Л., Тріска Н.Р. ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТОТИ В СУЧАСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	100
Гаврилюк А.Ф. АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ПОЖЕЖНО- РЯТУВАЛЬНИХ АВТОМОБІЛЯХ.....	103
Дикий О.І., Авдєєнко Г.Л. СИСТЕМА БЕЗДРОТОВОГО ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕО З РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ 8К З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРАГЕРЦОВИХ ХВИЛЬ.....	106

Секція 4. Безпроводові телекомунікаційні системи **та технології, системи 5G**

Співголови:

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

Доповідачі:

Авдєєнко Г. Л., Куликівська Н.І. МЕТОД ПРОСТОРОВОЇ СЕЛЕКЦІЇ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО КУТОВІ КООРДИНАТИ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	110
Василенко С.В. АЛГОРИТМ ВХОДЖЕННЯ В СИНХРОНІЗМ РАДІОЛІНІЇ З ППРЧ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ФАЗИ М-ПОСЛІДОВНОСТІ	115
Бугайов М.В. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИХ МЕЖ ЗАЙНЯТИХ ДІЛЯНОК РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ	118
Кайдєнко М.М., Роскошний Д.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛЕТАЛЬНОГО АПАРАТУ	121

Кайденко М.М., Роскошний Д.В., Гетьман О.В. ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БПЛА В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ТА НЕНАВМИСНИХ ЗАВАД	124
Кравчук С.О., Кравчук І.М. БЕЗПРОВОДОВІ МЕРЕЖІ З МОЖЛИВІСТЮ РЕКОНФІГУРУВАННЯ..	127
Акопян П.Г., Кравчук С.О. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ РАДІОДОСТУПУ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ РАДІОРЕСУРСУ	130
Урніш В. С., Кравчук С. О. РЕГУЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КООПЕРАТИВНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ	133
Нагорна М.М., Кравчук С.О. ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА ПЕРЕДАЧА ОБСЛУГОВУВАННЯ В СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З КОГНІТИВНИМИ ТЕРМІНАЛАМИ	136
Кайденко М.М. СЦЕНАРІЇ ПРОТИДІЇ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД НА КАНАЛИ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	140
Гетьман О.В., Кайденко М.М. ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВМИСНИХ ЗАВАД, ЩО ДІЮТЬ НА КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ	143

Секція 5. Телекомунікації як складова частина інформаційних технологій

Співголови:

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

Доповідачі:

Наритник Т.М., Жабчик А.І., Капштик С.В. БАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРБІТАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ.....	146
--	-----

L.S. Globa, R.L. Novogrudska, B.O. Zadoienko, Yu Junfeng ONTOLOGY-BASED APPROACH TO SCIENTIFIC INSTITUTIONS INFORMATION REPRESENTATION	152
Ковальська Д.Д., Курдеча В.В. АУДИТ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ ВЕЛИКОГО ВИРОБНИЦТВА.....	156
Ушаков С.М., Курдеча В.В. ОБ'ЄДНАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З ХМАРНИМИ ТА ГРАНИЧНИМИ СИСТЕМАМИ	159
Денисенко М.С., Нарушкевич О.М., Наритник Т.М., Капштик С.В. МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОСНОГО РУХУ СУПУТНИКІВ У СКЛАДІ РОЗПОДІЛЕНОГО СУПУТНИКА.....	162
Мілевський О.А., Міночкін Д.А. ПОРІВНЯННЯ ПРОТОКОЛІВ ШИФРУВАННЯ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ.....	167
Олійник Д.І., Ніжний Д.А. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРИКЛАДІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ В УМОВАХ ВІЙНИ.....	170

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:

Avdeyenko G., Galitskiy I., Krylach O., Zhivkov A., Shevtsov K. APPLICATION OF SIGNAL HOUND SCALAR NETWORK ANALYZER FOR MEASUREMENT OF FILTER PARAMETERS BASED ON METAMATERIAL CELLS	174
--	-----

Galitskiy I., Shevtsov K., Zhivkov A. Kamarali R. ATTENUATION POLES IN MICROWAVE THREE-RESONATOR BANDPASS FILTERS.....	178
Осипчук С.О., Будішевський О.В. FOG-МЕРЕЖА З АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ	181
Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. ВИБІР ВИДУ ПОЛІНОМУ АПРОКСИМАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РУХУ БПЛА ТИПУ КВАДРОКОПТЕР	186
Штойко О.О., Лисенко О.І., Новіков В.І., Гетьман О.В. ВИБІР ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ	189
Кучеренко А.А., Лисенко О.І., Новіков В.І. КЛАСТЕРИЗАЦІЯ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	192
Лисенко О.І., Новіков В.І., Гетьман О.В., Фуртат О.В. ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАГАЛЬНИХ ВИМОГ ДО БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	195
Цуканов О.Ф., Якорнов Е.А. ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ДЛЯ МАНЕВРУЮЧИХ БПЛА МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ З ДРОБОВИМИ ПОЛІНОМАМИ ТА ПОЛІНОМАМИ ЧЕБИШЕВА	199
Нідченко І. А., Ільченко М. Ю., Лисенко О. І. ПРОПРІЄТАРНИЙ ПРОТОКОЛ ЗВ'ЯЗКУ МІНІТЕПЛИЦЬ RANMAC	202
Лисенко О.І., Новіков В.І., Алексєєва І.В., Кірчу Ф.І. ПРОЦЕДУРИ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СКЛАДУ СЕНСОРІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	205
Авдєєнко Г.Л., Наритник Т.М. РОЗРОБЛЕННЯ ЛЧМ-РАДАРУ БЛИЖНЬОЇ ДІЇ ДЛЯ РОБОТИ В ТЕРАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ.....	208
Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В. СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРСУ	211

Валуйський С.В., Турчин Я.В.

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ РОЗГОРТАННЯ БПЛА ДЛЯ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МЕРЕЖІ MANET 214

Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ
НАНОСУПУТНИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРСУ 218

Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В.

ШЛЯХИ ОТРИМАННЯ СИГНАЛІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ
ОРІЄНТАЦІЇ І СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОСУПУТНИКА 221

Секція 7. Системна й програмна інженерія інфокомунікацій, технології Інтернету речей

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

Доповідачі:

Іванов С.В., Олійник П.Б.

РОЗРОБКА БЕЗДРОТОВОГО ДАТЧИКА ВІБРАЦІЇ НА ОСНОВІ
MEMS АКСЕЛЕРОМЕТРА 224

SEMINAR Modern information and telecommunication trends

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

Доповідачі:

Нсер А.М., Міночкін Д.А.

OPEN SOURCE INTELLIGENCE (OSINT) 227

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

Співголови:

- ІЛЬЧЕНКО М.Ю.** – науковий керівник, директор Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», академік НАНУ, д.т.н., професор;
- ЯКОРНОВ Є.А.** – к.т.н., професор інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- ЛІСОВСЬКИЙ К.С.** – в.о. голови студентської ради НН ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Доповідачі:

Насвіт Ю.О. кер. Лисенко О.І. наук. консульт. Валуйский С.В.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В WSN232

Ковальська Д.Д. кер. Курдеча В.В.

ОСОБЛИВОСТІ АУДИТУ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ.....233

Бутько І.Ю. кер. Глоба Л.С.

**ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЗА ДОПОМОГОЮ
ТЕХНОЛОГІЇ ІОТ.....234**

Лобода Р.І. кер. Осипчук С.О.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....236**

Пилипенко О.В., Смолій М.С. кер. Сидорчук О. Л.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯ, РОЗСІЯНОГО АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ,
АСИМПТОТИЧНИМИ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ237**

Персіков М.А., Лемешко В.О., Кашаїджа Д. кер. Єременко О.С.

**КІБЕРСТІЙКА МАРШРУТИЗАЦІЯ У КРИТИЧНО ВАЖЛИВИХ
МЕРЕЖАХ238**

Тарасенко Н.А. кер. Якорнов Є.А.

**ПРИЙМАЧ З АЛГОРИТМІЧНОЮ АВТОКОМПЕНСАЦІЄЮ
ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАВАД ДЛЯ ОДНОЧАСТОТНИХ СИСТЕМ
РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ239**

Привітання

ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ – БАЗИС ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СУСПІЛЬСТВА

Вступне слово
на XVI щорічній Міжнародній науково-технічній конференції
«Перспективи телекомунікацій»

12 квітня 2022 р.

Шановні учасники конференції!

Наша конференція проходить в умовах воєнного стану через невинуватену війну, нав'язану нам російським агресором.

Війна об'єднала Україну, об'єднала народ із владою, об'єднала Україну з Європейським союзом і демократичний світ, який попри все підтримує Україну.

Україна повертається до роботи. В закладах освіти вже здійснюється навчальний процес.

Від імені керівництва Національного технічного університету «КПІ ім. Ігоря Сікорського» та Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем вітаю Вас із початком роботи нашої конференції!

За своїм змістом і науково-технічною спрямованістю конференція «Перспективи телекомунікацій» **відповідає сучасним вимогам до розвитку цифрової трансформації та інформатизації суспільства**, інтенсивному поширенню індустрії 4.0, які є загальносвітовими трендами в діяльності практично усіх розвинених країн. **Базовими напрямками** цих процесів є проривні інновації з розвитку технологій інтернету речей та штучного інтелекту, аналізу Великих Даних, створення та запровадження високошвидкісних телекомунікаційних інфраструктур.

Конкретними прикладами міжнародного значення цих трендів є виконання в КПІ ім. Ігоря Сікорського вагомим **міжнародним проектом** зі створення Німецько-Українського Center of Excellence for AI-aided Big Data Analysis and Transport Infrastructures за кошти Міністерства освіти і науки Німеччини.

Також, технічна можливість проведення нашої **конференції в on-line форматі** є хорошою ілюстрацією практичного використання сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій, які створені на потреби життя та стали науково-технічним базисом **всеосяжної дистанційної діяльності** людей планети Земля упродовж останніх двох років за умов коронавірусних

обмежень і особливо сьогодні в Україні за умов воєнного стану. Тут важливим є такий приклад. З початком війни в Україні чимало багатих та сильних людей з усього світу підключилося до допомоги нашої країні. Приєднався до всесвітньої гуманітарної місії винахідник та найбагатший бізнесмен планети Ілон Маск.



У відповідь на прохання міністра цифрової трансформації України Михайла Федорова від **26 лютого** Ілон Маск повідомив про включення сервісу Starlink на території України. І вже **28 лютого** перші комплекти обладнання для підключення до сервісу від компанії Ілона

Маска надійшли в Україну. Упродовж наступного місяця SpaceX відправили в Україну тисячі комплектів обладнання для підключення до супутникового інтернету Starlink. **Унікальною стала динаміка завантажень Starlink в Україні.** За словами голови Мінцифри Михайла Федорова, за останні кілька тижнів саме додаток Starlink, що забезпечує користувачам смартфонів доступ до супутникового інтернету від SpaceX, виявився найпопулярнішим в Україні. Українці його завантажили вже понад 100 тисяч разів. Наприклад, застосунок було завантажено 21 000 разів у неділю, 13 березня, у всьому світі в обох магазинах App Store та Google Play. Це найбільша кількість завантажень у світі за один день. Причому більшість з них відбувалися з України.



Станції супутникового інтернету Starlink вже працюють в Україні, щоб підтримати належне **функціонування критичної інфраструктури та послуги у сфері охорони здоров'я, фінансів та енергетики.**

Цікаво, що як зазначив у своєму Twitter сам Ілон Маск, його компанія SpaceX активно працює над тим, щоб адаптувати систему Starlink до нинішніх умов в Україні. Зокрема, інженери компанії працюють над тим, щоб обладнання Starlink споживало менше енергії. Крім того, увімкнули мобільний роумінг, щоб можна було підтримувати сигнал під час руху транспортного засобу.

Компанія Ілона Маска SpaceX вважає, що настав час також “для капітального ремонту” **інтернет-зв'язку на сучасних літаках**, а допоможе у цьому супутникова система інтернету Starlink.

Останніми днями стало відомо, що Ілон Маск передав комплекти StarLink для резервування **каналів зв'язку privat24**, що дозволить за умов війни стабілізувати банківську систему України.

Медичним установам та установам у сфері охорони здоров'я України передано 590 станцій супутникового Інтернету Starlink компанії SpaceX, у них буде доступ до інтернету в зонах активних бойових дій, повідомили в Міністерстві охорони здоров'я України.

Серед інших дійсно **проривних технологій телекомунікацій** останнього часу окрім проекту Starlink, можна назвати лідерські позиції **Китаю** щодо підключення до мереж мобільного зв'язку нового покоління засобів **5G**. До початку березня в Китаї налічувалося близько 1,43 млн базових станцій 5G та понад 500 млн 5G-користувачів. Згідно з офіційними прогнозами, країна планує збільшити кількість базових станцій 5G цього року до 2 млн. Очікується, що кількість абонентів 5G-мереж до 2023 року досягне 560 млн, в результаті охоплення користувачів мобільних телефонів мережами нового покоління перевищить 40%.

Південна Корея також досягла швидкого прогресу в швидкості та покритті мережі 5G, оскільки була першою країною, яка комерціалізувала послуги 5G у квітні 2019 року. В наступному **Південна Корея** продовжує підготовку до запровадження **ери 6G** з метою комерціалізації цієї технології з 2028 по 2030 рік, плануючи запустити комерційну мережу 6G, яка буде в 50 разів швидше, ніж поточний сервіс, і розширить покриття до 10 кілометрів над землею. Дослідження зі створення засобів 6G технологій охоплюють уже терагерцовий діапазон частот, про що ми сьогодні почуємо у цікавому виступі професора Оберхаммера.

Новації в сфері ІКТ впроваджуються і в нашій країні. Так, наприклад, продовжуючи залучати інвестиції в автономний 5G, **Vodafone** сьогодні оголосив про успішне лабораторне випробування, проведене з Ericsson, автоматизованого створення мережевого фрагмента, налаштованого для підтримки віртуальної реальності в роздрібному середовищі.

Розширенню застосувань ІКТ в Україні сприятиме те, що місяць тому Президент України підписав **закон про хмарні послуги**. Тепер державні органи зможуть зберігати дані у хмарних сервісах.

З метою обробки дедалі більших обсягів інформації, органам влади та місцевого самоврядування необхідно періодично збільшувати кількість обчислювальних та людських ресурсів. «Щоб оптимізувати цей процес, ми плануємо перенести основні державні ІТ-сервіси у «хмари», - поінформували у міністерстві цифрової трансформації України.

Також важливим є те, що Міністр цифрової трансформації Михайло Федоров підписав лист, у якому закликав не мобілізувати ІТ-фахівців. Він

вважає, **що айтівцям варто зосередитися на кібервійні**, а також продовжувати працювати та платити податки.

Для покращення якості підготовки фахівців у сфері ІКТ нашим Інститутом телекомунікаційних систем запроваджено проект, в рамках якого студенти та викладачі в телеграм-каналі «деканат ІТС» майже щодня отримують інформацію про **новини в сфері ІКТ**. За останній рік нами повідомлено про 500⁺ новин. Про цей проект та його результати буде іти мова на нашій конференції у виступі доцента Ірини Кононової.

Шановні Колеги!

Наша, вже XVI щорічна міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій - 22» **має на меті інформувати вчених і суспільство** про новітні результати останніх наукових досліджень у сфері інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки.

В нинішніх непростих умовах воєнного стану в Україні серед заявлених близько 100 потенційних учасників є науковці із 8 країн, зокрема Китаю, Німеччини, Швеції... Вчені України представляють сферу науки в 17 провідних наукових установах і університетах Києва, Харкова, Житомира, Львова.

Прийняті для включення до програми конференції 62 доповідей розподілені по восьми тематичних секціях.

Завтра та післязавтра буде проведено засідання тематичних секцій. 15 квітня відбудеться заключне пленарне засідання, на якому буде обговорено підсумки проведення конференції.

Тези доповідей, які включені до Програми конференції, складуть зміст Збірника конференції. Цей Збірник тез буде опубліковано в електронному та паперовому варіантах. Повні тексти доповідей за рекомендації заключного засідання конференції будуть рекомендовані для публікації в міжнародному журналі наукових досліджень «Information and Telecommunication Sciences» та інших наукових виданнях.

Шановні учасники конференції!

Маю приємну можливість **щиро подякувати** усім особам, завдяки діяльності яких стало можливим проведення уже XVI щорічної нашої конференції. Конференція «Перспективи телекомунікацій» займає лідерські позиції в рейтингу серед усіх понад 70 наукових конференцій КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Я дякую усім **авторам доповідей**, які знайшли можливість розповісти про свої нові наукові здобутки у форматі нашої конференції в цей непростий для України час.

Наша повага **членам організаційного комітету та рецензентам**, які провели об'єктивний розгляд наданих доповідей.

Щорічна конференція «Перспективи телекомунікацій» поєднує науково-практичні інтереси **партнерів і постійних учасників**, що представляють 17 провідних університетів та наукових установ, з якими пов'язана повсякденна діяльність учених, що успішно працюють у сфері інформаційних технологій і телекомунікацій України.



Особлива персональна **моя вдячність** за участь в нашій конференції відомому в світі вченому і активному організатору багатьох IEEE конференцій, науковому координатору проектів з терагерцових технологій, редактору журналу IEEE Transactions on Terahertz and Technology доктору філософії, професору Королівського технологічного інституту (КТН) в Стокгольмі (Швеція) **Іоакіму Оберхаммеру**. Змістовний виступ професора Оберхаммера ми сьогодні заслухаємо на нашій конференції.

Я щиро вдячний професору Оберхаммеру за те, що місяць тому він особисто підтримав пропозицію нашого Інституту щодо участі у конкурсі рамочних грантів дослідницької програми Швеції **«Обчислювальні та апаратні засоби для інфраструктур ІКТ»**. Ця програма спрямована на забезпечення наступного покоління бездротових комунікацій (6G), підсилення обчислювальної потужності та енергоефективності інформаційно-комунікаційних технологій. В рамках цієї програми професор Оберхаммер є керівником проекту з нових терагерцових технологій бездротової передачі даних. До складу виконавців цього проекту долучено кандидата технічних наук, доцента ІТС КПП ім. Ігоря Сікорського, Олександра Живкова, який отримав відповідний грант.

І насамкінець з приємністю інформую про те, що тиждень тому проіндексовані в базі Scopus праці проведеної за нашої участі в листопаді-грудні 2021 року на базі КПП ім. Ігоря Сікорського V міжнародної **IEEE конференції «УкрМіКо»**.

Тож, шановні колеги, бажаю Вам успішного проведення нашої конференції.

Дякую за увагу!

Всім нам добра! Разом до перемоги!

Михайло Ільченко – академік НАН України

З ГОРДІСТЮ ЗА ГАЛУЗЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Шановний пане співголова,

шановні учасники

щиро вітаю вас з відкриттям та початком роботи Конференції!

Конференція готувалась та почала свою роботу в надто важки часи для нашої країни. В часи здійснення безпідставної військової агресії зі сторони безпринципного та безжалісного ворога РФ, який підступно та злочинно атакує всіма можливими засобами цивільне населення та цивільну інфраструктуру.

Але сам факт проведення Конференції та ваша участь у ній – це свідчення нашої віри у Перемогу та подальше відновлення нашої Батьківщини.

Саме така віра є рушійною силою супротиву ЗСУ, всього нашого народу та телекомунікаційної спільноти.

Я є учасником різноманітних пабліків в соціальних мережах – операторів та провайдерів телекомунікацій, IT технарів, IT юристів, інших спільнот юристів різного профілю. Наприклад, найбільша телекомунікаційна спільнота об'єднує понад 1, 5 тис. керівників та фахівців, за добу в ній буває до тисячі повідомлень.

Серед таких повідомлень десь тижні три тому було таке повідомлення одного з провайдерів: «Необхідно відновити зв'язок між точкою А та точкою Б. Прошу тих, хто може допомогти це зробити за рахунок своїх мереж надати умови для домовленостей щодо проведення робіт». Через 4! хвилини – відповідь-повідомлення іншого провайдера «Взяв до роботи, технічні подробиці надіслав у приват».

Саме так сьогодні працюють українські телекомунікації. Працюють без економічної конкуренції, але з конкуренцією допомоги кожний кожному.

Така ситуація є типовою і це є предметом гордості за нашу галузь.

Але ж ми з вами на Конференції і мені треба щось сказати про наукові дослідження.

Тематика наукових досліджень, результати яких запропоновано до розгляду на Конференції, є актуальною та корисною для галузі. Але вже настав час поміркувати про додаткові теми, які нам диктує сьогодення.

Ми маємо розуміти, що за останні майже два місяці ми вже отримали справжню скарбницю інформації щодо практичного досвіду, нашвидкоруч вирішених та ще більш невирішених проблем, помилок та винаходів щодо організації зв'язку, експлуатації мереж телекомунікацій та надання послуг в надскладних умовах.

Ми вже маємо цей великий масив інформації надто корисний для наукових досліджень та узагальнень, виявлення цікавих, перспективних тем для наукових досліджень. Але цей масив начебто є, але його немає доти, поки вчені не зроблять те, що належно їм робити.

Які ж завдання в додаток до тієї актуальної наукової тематики можна було б сформулювати на майбутнє?

1. Збір та узагальнення системних проблем, з якими стикнулись оператори та провайдери.

2. Збір та узагальнення практичного досвіду побудови гібридних мереж телекомунікацій на основі використання супутникових технологій «Starlink» Ілона Маска, про які йшлося у виступі Михайла Ільченка.

3. Оновлення теоретико-методологічних засад проектування та оперативної побудови гібридних мереж телекомунікацій в умовах надзвичайного та воєнного стану, ведення воєнних дій.

4. Розроблення сучасних теоретико-методологічних засад та практичних рекомендацій щодо проектування та побудови електронних комунікаційних мереж (мережі Інтернет) із забезпеченням безпеки та сталості.

5. Кардинальне перероблення правових, організаційних, технологічних та технічних засад функціонування національної системи

оперативно-технічного управління телекомунікаційними мережами в умовах надзвичайних ситуацій, надзвичайного та воєнного стану (2004 р).

6. Розроблення практичних рекомендацій щодо проектування та побудови із забезпеченням сталого функціонування електронних комунікаційних мереж з врахуванням можливості доступу до електронних комунікаційних мереж та їх інфраструктури (ст. 34 Закону).

7. Розроблення технічних рекомендації щодо безшовного взаємоз'єднання електронних комунікаційних мереж з різними технологіями передачі даних.

Дуже багато проблем, пов'язаних з воєнними діями.

8. Розроблення технічних рекомендації щодо побудові тактичних систем радіозв'язку поля бою. Розроблення пропозицій щодо організації національного виробництва таких систем у кооперації з іноземними виробниками.

Це так, суто орієнтовні напрями для того, щоб розхитати нам творчу фантазію.

Бажаю всім нам успіху в проведенні Конференції, взаємного збагачення ідеями та досвідом. Бажаю вам міцної віри в перемогу та мирне майбутнє.

З повагою, професор Олександр Баранов

**SILICON-MICROMACHINED THZ SYSTEMS - ENABLING
THE LARGE-SCALE EXPLOITATION OF MILLIMETER AND
SUBMILLIMETER-WAVE FREQUENCIES?**

Joachim Oberhammer

*Microwave and THz Microsystems Assoc. Editor, IEEE Trans.
THz Science and Technology, Sweden, Stockholm*

Abstract:

Current THz systems are predominantly manufactured by CNC milling. Despite the high level of precision which CNC milling achieved in recent years, this fabrication method lacks volume manufacturability and is inferior in performance to silicon micromachining, which achieves feature sizes and fabrication reproducibility down to micrometers, surface roughness down to nanometers (for extremely low loss), and high-aspect ratio geometries which are impossible to fabricate in any other fabrication technology. Micromachined micromechanical devices, for instance mobile-phone microphones and inertial sensors, are already for many years manufactured to billions of devices per year at very low cost. This webinar gives an overview of state of the art, the capabilities and limitations of silicon micromachining for millimeter and submillimeter-wave frequencies, and gives several examples of recent achievements of very high performance silicon-micromachined waveguide based THz devices and systems, including: a low-loss waveguide technology with 0.02 dB/mm at 330 GHz, with integrated components such as low-loss couplers, power splitters, matched loads; micromachined high-Q filter examples based on cavity resonators with measured Q-factors of 1600 at 150 GHz and 900 at 700 GHz, enabling the first 1% fractional bandwidth filters at submillimeter-wave frequencies; a silicon-micromachined platform for a point-to-point telecommunication link including a 130-148 GHz antenna diplexer with 1.5 dB insertion loss and 60 dB isolation, and waveguide-integrated SiGe MMICs; very complex, multi-level waveguide devices including a orthomode transducer from 220-330 GHz with less than 0.6 dB insertion loss and cross-polarization of 35-70 dB in this waveguide band; a corporate-fed antenna array with 256 elements at 320 to 400 GHz, with only 0.8 dB insertion loss, achieving 34 dBi gain; a 1024 antenna array at 320-400 GHz with 38 dBi gain and 1.5 dB insertion loss; a frequency-steering micromachined radar frontend at 220-300 GHz, achieving a 55 degree field of view with a 3.5 to 10 degree HPBW, using an integrated 2.5D quasi-optical reflector and a leaky-wave antenna array, all of the size and thickness of a thumb nail; MEMS-waveguide switches operating at

140-220 GHz with 0.6 dB insertion loss and 50 dB isolation over the whole band, and even a 500-750 GHz switch with 2.5 dB insertion loss and 18 dB isolation; and a 2.5-dB insertion loss 360 degree phase shifter for the 220-330 GHz band with less than 4 degree phase error for all states over the whole bandwidth. Major applications presented are radar (in particular next-generation car radars), telecommunication and space-borne radiometers.

CV:

Joachim Oberhammer, born in Italy in 1976; M.Sc. EE from Graz University of Technology, Austria, in 2000; Ph.D. from KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, Sweden, in 2004. Post-doctoral research fellow at Nanyang Technological University, Singapore, in 2004, and at Kyoto University, Japan, in 2008. Since 2005 leading radio-frequency/microwave/terahertz micro-electromechanical systems research at KTH; Associate Professor at KTH in 2010; Professor in Microwave and THz Microsystems at KTH since 2015. Guest researcher at Nanyang Technological University, Singapore, in 2007; guest researcher at NASA-Jet Propulsion Laboratory, USA, in 2014; guest professor “Chair of Excellence” at Universidad Carlos III de Madrid in 2019. Dr Oberhammer is author and co-author of more than 100 reviewed research papers and holds 4 patents. In 2004, 2007, and 2008 he got an award by the Ericsson Research Foundation, a grant by the Swedish Innovation Bridge, and a scholarship by the Japanese Society for the Promotion of Science, respectively. The research work he is heading received six Best Paper Awards (five of which at IEEE conferences), and four IEEE Graduate Fellowship Awards (by MTT-S and by AP-S) since 2009. He served as TPRC member of IEEE Transducers (2009, 2015, 2019), IEEE International Microwave Symposiums (2010-2018), IEEE Micro Electro Mechanical Systems (2011, 2012), IEEE Radio and Wireless Week (2015, 2016), EuMCE (2019). Dr Oberhammer is Steering Group member of the IEEE MTT-S and AP-S Chapters Sweden since 2009. In 2013, he received an ERC Consolidator Grant by the European Research Council. Steering Group Member of the Young Academy of Sweden 2014-2016. Representative of Sweden/Norway/Iceland in the European Microwave Association 2016-2018. Associate Editor of IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology since 2018. Scientific coordinator of the EU-H2020 projects M3TERA and Car2TERA; PI and coordinator of two Swedish strategical framework projects on THz technology of EUR 3.5 million each.

Picture:

Joachim Oberhammer

Microwave and THz Microsystems Assoc. Editor,

IEEE Trans. THz Science and Technology, Sweden, Stockholm



500+ НОВИН ІНФОТЕЛЕКОМУ

Кононова І.В.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: viti21@ukr.net

500+ INFOTELECOM NEWS

The main news for 2021-2022 in the field of information and communication technologies are summarized. The main developments and introductions of the newest technologies in Ukraine and the world. This material was prepared for students, teachers and engineers.

Останні роки для України стали найбільш динамічним періодом у розвитку телекомунікаційної інфраструктури, яка по суті є драйвером для економічного зростання країни і допомагає цифровізації економіки.

Тому, оскільки ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського готує фахівців для сфери телекомунікацій ми систематично подаємо в нашому телеграм каналі Деканат ІТС та на сайті НН ІТС інформацію про новини в сфері телекомунікацій.

За весь період створення новин інфотелекому було опубліковано: 920 новин.

В 2020 році – 333 новини. В 2021 році – 486 новин.

З початку 2022 року – 101 новина.

На даний час ми зробили збірник найцікавіших дайджест новин: **500+ Новини Інфотелекому.**

Новини інфотелекому розділено на 6 розділів:

1. Стан інфокомунікацій України та за її межами
2. Технологія інтернет речей (IOT) & LoRaWAN – технології для комплексних рішень
3. Фіксований та мобільний інтернет
4. Сучасний супутниковий зв'язок
5. Наступне покоління мобільних мереж: 5G ТА 6G
6. Новини Міністерства Цифрової Трансформації України

Стан інфокомунікацій України та за її межами.

Новий етап у розвитку українських телекомунікацій – це етап перетворення українського суспільства на основі конвергентного об'єднання інформатизації і телекомунікації в електронно-інформаційне суспільство

В Україні зв'язок є одним з найбільш стійких секторів економіки, а розширення Європейського Союзу створює якісно нову ситуацію на шляху

подальшого технічного, економічного та соціального розвитку України. Границі України стають границями з ЄС.

З впровадженням новітніх інфокомунікаційних технологій, як показує досвід України і більшості країн СНД, зв'язок може розвиватися випереджаючими економіку темпами, створюючи умови для прискореного економічного і соціального розвитку країни.

Так, незважаючи на кількарізовий економічний спад у 1990-2009 роках, галузь зв'язку, в цілому, розвивалася безкризово. Задоволення попиту на послуги зв'язку в Україні можна охарактеризувати наступним чином: створено цифрову мережу міжнародного та міжміського зв'язку, яка задовольняє попит на ці послуги; побудовані волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), що з'єднують Україну з усіма сусідніми державами.

Протяжність цифрових каналів міжміської та зонових первинних мереж становить близько 85% від загальної протяжності каналів первинної мережі. Україна брала участь у будівництві міжнародних ВОЛЗ як для забезпечення власних потреб, так і з метою забезпечення транзитів через її територію. За останні роки в Україні побудовано близько 39 тис. км ВОЛЗ. Щорічне будівництво ВОЛЗ доведено до 4 тис. км. на рік.

Отже, потужним зовнішнім фактором впливу на розвиток телекомунікацій України є використання зарубіжного досвіду масового впровадження новітніх засобів телекомунікацій та пов'язане з цим зменшення витрат на будівництво і розвиток телекомунікаційних мереж України.

Технологія інтернет речей (IoT) & LoRaWAN – технології для комплексних рішень.

Глобалізація інформатизації суспільства і активний процес науково-технічного розвитку в області інформаційних систем сприяють формуванню єдиного світового інформаційного простору. Однією з основних тенденцій розвитку сучасних інформаційних систем та технологій стає розширення доступності інформаційно-обчислювальних ресурсів мереж для окремих абонентів, в тому числі і речей. Сьогодні пристрої Інтернету речей не лише масово використовуються у щоденному вжитку, але й у сучасному бізнес-середовищі.

Зокрема IoT активно впроваджується в різних галузях — від промислової сфери до сільського господарства, ритейлу та будівництва. Бурхливий розвиток технічних засобів і підвищення активності доступу до інформаційно-обчислювальних ресурсів підвищили інтерес до проблеми ефективного використання мережевих ресурсів інтернету речей і забезпечення оперативного доступу до них.

А для безпроводового підключення Internet of Things зазвичай використовується 2 стандарти Low-power Wide-area Network – NB-IoT і LoRaWAN, тому в даному розділі поєднуються ці технології для

комплексних рішень.

Даний розділ буде цікавим для викладачів, інженерно-технічних працівників, що займаються розробкою технічних засобів і проектуванням в області інтернету речей та інформаційних систем та технологій, а також для аспірантів і студентів, які цікавляться даними питаннями та почнуть в цьому році навчання за цією спеціальністю.

Фіксований та мобільний інтернет.

За рік Україна піднялася в глобальному рейтингу швидкості інтернету на 15 позицій — з 77 місця в січні 2021 на 62 позицію в січні 2022 року. Згідно з дослідженням Ookla, середня швидкість завантаження в мобільній мережі зросла майже на 10 Мбіт/с — з 19,66 Мбіт/с на початку 2021 до 29,06 Мбіт/с у 2022.

Україна вчетверте отримала відзнаку за кращу швидкість інтернету, а тепер ще й за найліпше покриття, – доказ наших зусиль. І їх можна легко підрахувати: понад 90% населення вже має доступ до 4G, , тисячі маленьких сіл отримали сучасний мобільний інтернет та проводовий інтернет.

Сучасний супутниковий зв'язок.

Завдяки сучасним технологіям, користуватися інтернетом в Україні можна і в самих важкодоступних місцях на кшталт Карпатських гір і кримських долин.

Основні компанії, що пропонують послуги супутникового інтернету в Україні: Датагруп та SkySat +.

Одним із досягнень в нашій країні стало підключення до супутникового інтернету Starlink.

Основна перевага супутникової системи Ілона Маска полягає в тому, що робота Інтернету не залежить від звичайної інтернет-інфраструктури. Тому вона більш стійка до кібератак та поломок. Середня швидкість Інтернету становить 150-200 Мбіт/с.

Насамперед, Starlink допомагає безперервно працювати інфраструктурі, а наші студенти почали активно займатися науковою роботою та розвитком цієї ніші.

Наступне покоління мобільних мереж: 5G та 6G.

Як і кожне покоління до цього, 5G прагне зробити мобільний зв'язок швидшим та надійнішим, оскільки все більше пристроїв підключається до Інтернету. Тепер можна мати всілякі пристрої, що вимагають великої пропускної здатності, такі як наші смартфони з потоковою передачею HD, розумні годинники з планами передачі даних, постійно ввімкнені камери відеоспостереження, автомобілі, що керують автомобілем та підключені до Інтернету, та інші перспективні пристрої, такі як датчики здоров'я та вільне обладнання AR та VR. Для виконання цих задач необхідна більша швидкість та вся інфраструктура повинна вмістити трафік, щоб не тільки підтримувати швидші з'єднання, але й краще обробляти одночасні запити.

Зараз дуже стрімко розвиваються мережі, тому що багато країн не зупиняється на впровадженні мереж 5G, а вже почало тестувати мережі 6 G.

Великі корпорації, такі як Apple та Samsung розробляють та тестують новинку. Зараз 6G-обладнання здатне передавати дані на відстані до 15 метрів зі швидкістю 6,2 Гбіт/с, але в перспективі вона зможе досягати до 1 Тбіт/с. В ідеалі ми отримаємо в 50 разів збільшену швидкість передачі даних (для 5G вона становить приблизно 5,6 Гбіт/с).

Навіщо потрібен 6G. Збільшення швидкості передачі даних по мережі є головною, але не єдиною метою в розробці мереж шостого покоління. У кожному поколінні з'являються нові можливості для мобільного зв'язку. Технологію 6G зараз розглядають як засіб, який дозволить об'єднати цифровий та фізичний світ та дозволить керувати фізичними об'єктами через їх цифрових двійників.

Новини Міністерства Цифрової Трансформації України.

2 роки тому Мінцифра створила портал Дія.Цифрова освіта. Майже 4 мільйони українців завітали на портал, де можна безоплатно отримати цифрові навички. Найпопулярнішими стали освітні курси:

- Цифрові держслужбовці,
- Програмування для новачків,
- Штучний інтелект,
- Основи кібергігієни,
- Обережно! Кібершахраї.

Завдяки підтримці компанії Ookla, яка надала доступ до даних спідтестів у реальному часі з ресурсу speedtest.net, можна відстежувати швидкість інтернету в Україні. Така інформація допомагає нам дізнатися, у яких регіонах потрібно оперативно реагувати на проблеми зі зв'язком. Також через Ookla можна отримати дані про показники якості інтернету від Starlink.

Також, Мінцифра в партнерстві з Інститутом Маліка (Швейцарія) дослідили фактори розвитку Smart City в Україні.

✓Визначили 12 головних умов розвитку українських «розумних міст». 3-поміж них: доступність необхідних людських ресурсів, належна ІТ-інфраструктура на всіх рівнях, стабільне фінансування.

Одні з головних факторів — координація дій між представниками державного й місцевого рівнів управління, а також обмін успішним досвідом. Цю роль виконує спільнота «Смарт Сіті клубу», а також платформа Дія Цифрова.

Слідкуйте за нашими новинами та будьте в курсі головних подій та трендів ІТ-ринку).

MODERN TRENDS OF IOT TECHNOLOGIES DEVELOPMENT

Osypchuk S.O.

*Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: serg.osypchuk@gmail.com*

The report is focused on global digitization and Internet of Things (IoT) technologies application in today's world. The triune concept of IoT is presented, the architecture of IoT systems is described, and information, communication, security components of IoT systems are analyzed. Technological difficulties, risks and weaknesses of IoT systems implementation are analyzed. The business aspects of IoT systems components, scope of IoT technologies, and the needs of IoT implementation in Ukraine are presented. Some examples of business transformation are presented based on the IoT technologies use.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Осипчук С.О.

*Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: serg.osypchuk@gmail.com*

У доповіді увагу зосереджено на глобальній цифровізації та застосунках технологій Інтернету речей (IoT) у сучасному світі. Представлено триєдину концепцію IoT, розглянуто архітектуру систем IoT, та проаналізовано інформаційні, комунікаційні і безпекові компоненти систем IoT. Проаналізовано технологічні складнощі, ризики, та слабкі місця при реалізації систем IoT. Наведено аспекти бізнес-компоненти систем IoT, сфери застосування IoT, та потреби впровадження IoT в Україні. Наведено кілька прикладів трансформації бізнесу на основі застосування технологій IoT.

(Повний текст статті буде додано згодом).

ЗАСТОСУВАННЯ ВІДКРИТИХ РЕЗОНАТОРІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАМАТЕРІАЛІВ У КВЧ-ДІАПАЗОНІ

Когут О.Є., Кузьмичов І.К.

Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова

Національної академії наук України, Харків, Україна

E-mail: hazar70@gmail.com

APPLICATION OF OPEN RESONATORS TO RESEARCH THE METAMATERIALS PROPERTIES IN THE ENF RANGE

A variant of technical implementation of an open resonator for measuring the electromagnetic characteristics of metamaterials by the resonance method in the ENF range is proposed. Preliminary studies have shown that the quality factor of such a resonant system does not deteriorate due to abnormally small power losses. The proposed resonator has unimodal resonance characteristics, which allows to increase the accuracy and unambiguity of measurements of material parameters.

В усіх провідних країнах світу вже кілька десятиліть проводяться дослідження нового класу штучно створених речовин – метаматеріалів, які мають абсолютно унікальні електромагнітні властивості, такі як: інверсія доплерівського зсуву частоти; зміна напрямку випромінювання Вавілова – Черенкова; негативна рефракція на межі розділу та ін. Завдяки цим властивостям такі композитні матеріали (метаматеріали) можуть знайти та знаходять застосування в антенній техніці, вимірювальних системах, нанoeлектроніці та нанотехнологіях. На сьогоднішній день кількість наукових публікацій з дослідження метаматеріалів, що виконуються провідними науковими центрами США, Євросоюзу та Японії, є досить великою. Проте отримані в цих роботах результати носять часом суперечливий характер. Тому одним з ключових завдань є отримання достовірної інформації про електромагнітні властивості метаматеріалів у КВЧ- та терагерцовому діапазонах. Для цього доцільно застосовувати резонансні методи дослідження, які забезпечують вищу точність результатів у порівнянні з іншими. Основна ідея таких методів полягає в спостереженні відгуку резонатора, що містить зразок досліджуваного матеріалу. Вивчення резонансних кривих до і після внесення зразка дозволяє за зміною добротності резонатора і зсувом резонансної частоти визначити як дійсну частину діелектричної проникності, так і тангенс кута втрат.

У НВЧ-діапазоні для вимірювання діелектричної проникності метаматеріалів найбільш перспективний циліндричний резонатор, що перебудовується, в якому збуджується коливання H_{01n} [1]. Використання резонатора, що перебудовується, дозволяє застосовувати генератор, що працює на фіксованій частоті. Це дозволяє здійснювати частотну стабілізацію генератора і, отже, підвищувати точність вимірювань. При цьому розташування зразка по осі резонатора, де напруженість електричного поля мінімальна, якраз і дозволяє вимірювати електрофізичні параметри

метаматеріалів, які можуть характеризуватись великими втратами. Однак, при переході до КВЧ-діапазону зменшуються геометричні розміри циліндричного резонатора, які пропорційні робочій довжині хвилі.

У той самий час при укороченні довжини хвилі λ зростає поверхневий опір R_s металу, з якого зроблено резонатор, оскільки $R_s = \pi \sqrt{120/\sigma \lambda}$ [2], де σ – питома провідність металу. Якщо збільшувати геометричні розміри, тобто переходити до надрозмірних резонансних систем, то в цьому випадку в резонансному об'ємі поряд з коливанням H_{01n} будуть збуджуватися інші коливання, наприклад, E_{11n} , у якого така ж фазова швидкість, як і у робочого коливання. Тому необхідно вживати додаткових заходів для селекції спектру в таких резонаторах, що є досить складним технічним завданням. У зв'язку з цим у КВЧ-діапазоні необхідно переходити до резонансних систем, що використовують поширення хвиль у вільному просторі – відкритих резонаторів (ВР). Особливістю таких резонансних систем є те, що, крім високої добротності, їх геометричні розміри становлять кілька десятків довжин хвиль, а зв'язок із вільним простором забезпечує додаткову селекцію спектра коливань та вільний доступ до резонансного об'єму.

Відкритий резонатор є високочутливим інструментом вимірювання електромагнітних характеристик речовин [3,4]. Під час проведення досліджень використовуються, зазвичай, плоскі зразки, а в резонаторі збуджується нижній тип коливання TEM_{00q} (q – поздовжній індекс коливання). Завдяки застосуванню напівсферичної геометрії резонатора усуваються помилки, пов'язані з визначенням кутового положення зразка, оскільки останній у цьому випадку розміщується на плоскому дзеркалі ВР [5,6].

При проведенні вимірювань зразок повинен розташовуватись у максимумі електричної компоненти поля стоячої хвилі в ВР, що забезпечує найбільшу точність вимірювань. При цьому однією з основних умов застосування методу ВР для вимірювання електромагнітних характеристик речовин є малі втрати потужності у зразку матеріалу, що вимірюється, оскільки тільки в цьому випадку ВР разом із зразком залишається високодобротною резонансною системою і зберігаються всі переваги такого методу вимірювань. Для діагностики за допомогою ВР сильнопоглинаючих речовин (метаматеріали), товщина зразка повинна бути меншою за величину скін-шару.

У ряді практичних випадків необхідно досліджувати метаматеріали, які мають циліндричну форму. І тут виникають технічні труднощі, пов'язані з розташуванням такого зразка в об'ємі резонатора, оскільки при кожному вимірюванні останній повинен поміщатися в область з тією самою напруженістю електричного поля. Використання зразків з великими втратами може призвести до зриву коливання в ВР, оскільки діаметр досліджуваної речовини, як правило, перевищує товщину скін-шару. Ця обставина накладає обмеження по застосуванню ВР для дослідження електрофізичних властивостей метаматеріалів циліндричної форми. Таким чином, можна

сказати, що на сьогоднішній день відсутні методи та засоби для вимірювання основних характеристик матеріалів у зазначених вище частотних діапазонах.

Найбільш перспективною для дослідження таких матеріалів є запропонована авторами відкрита резонансна система [7,8]. Така резонансна система є ВР, в центрі одного з дзеркал якого виконаний відрізок круглого хвилеводу (Рис.1). У такому хвилеводі збуджується лише хвиля TE_{01} , хоча його діаметр становить кілька довжин хвиль, тобто він є надрозмірним. Проведені попередні дослідження показали, що добротність такої резонансної системи практично не погіршується через аномально малі втрати хвилі TE_{01} . Такий резонатор має унімодальну резонансну характеристику (Рис.2). Це дозволяє підвищити точність і однозначність вимірів. З іншого боку, розташування зразка метаматеріалу в області лінійної зміни електромагнітного поля (вісь резонатора) також забезпечує підвищення точності вимірювань в такій системі [9].

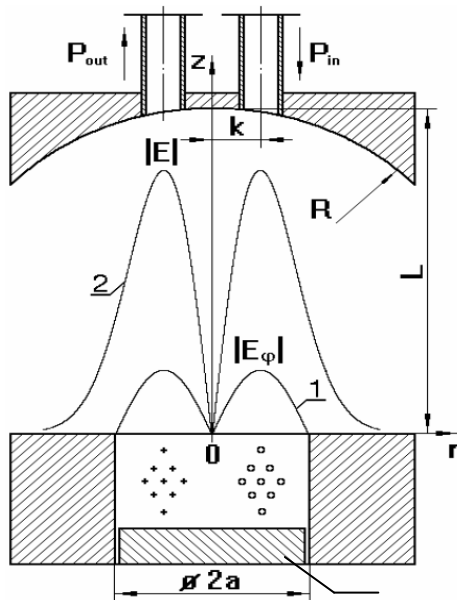


Рис.1. Геометрія поперечного перерізу півсферичного ВР:
1 – амплітудний розподіл складової електричного поля E_ϕ ;
2 – розподіл поля хвилі TE_{01} в площині $z = 0$;
3 – досліджуваний матеріал.

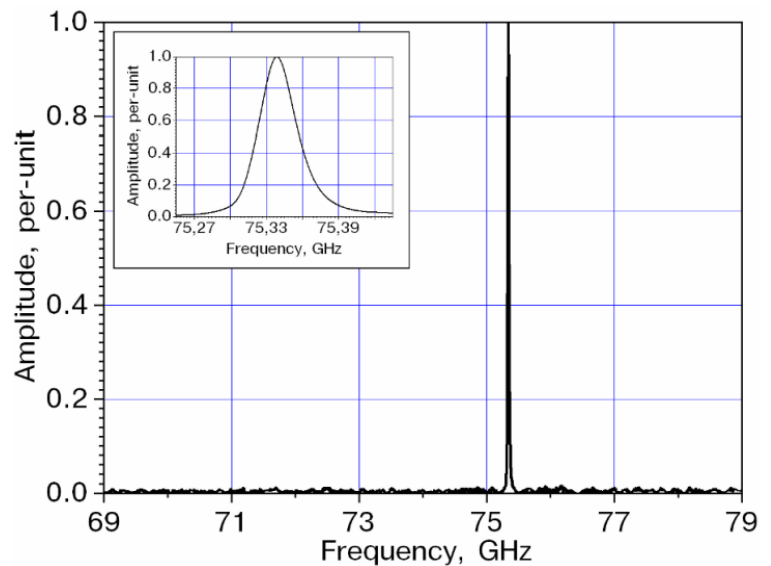


Рис.2. Спектр мод півсферичного ВР з круглим хвилеводом у середині плоского дзеркала при навантаженій добротності резонатора $Q_1 \approx 3140$.

Налаштування системи в резонанс можна здійснювати за допомогою дзеркала відкритого резонатора, на якому розташовані елементи зв'язку. Це, у свою чергу, дозволяє працювати на фіксованій частоті, що, як було зазначено вище, дуже важливо для частотної стабілізації генератора і сприяє підвищенню точності вимірювань.

Розв'язання вищезазначених завдань неможливе без розробки строгих математичних методів аналізу основних властивостей метаматеріалів та розглянутих вище відкритих резонансних систем з аксіально-симетричними типами коливань. Це пов'язано з тим, що наближені методи аналізу таких

складних резонансних систем, не дозволяють отримати повну картину фізичних процесів, що відбуваються в них.

Авторами було проведено попередні дослідження з вимірювання діелектричної проникності та тангенсу кута втрат відомих матеріалів за допомогою запропонованої резонансної системи у короткохвильовій частині міліметрового діапазону довжин хвиль ($\lambda=4$ мм). У якості матеріалів були досліджені відомі матеріали: фторопласт (малі втрати, $\operatorname{tg}\delta\approx 3\times 10^{-4}$) та плексиглас (великі втрати, $\operatorname{tg}\delta\approx 1,1\times 10^{-2}$). Діаметри циліндричних зразків становили 18 мм, а товщина дорівнює приблизно 3 мм. Результати отриманих вимірювань перебувають у добрій відповідності з даними інших авторів [10] і тут є широке поле подальшої діяльності. Авторами розроблено математичний апарат для аналізу подібних резонансних систем. Тому цікаво розглянути зворотне завдання щодо визначення основних електрофізичних параметрів матеріалів за відомими відгуками резонатора з речовиною та без (навантажена добротність та резонансна частота). А оскільки така резонансна система, як зазначено вище, має лише один резонансний відгук у смузі частот близько 10 ГГц і в ній практично відсутні дифракційні втрати, то вирішення подібного завдання представляється реальним не лише у вказаному діапазоні, але й на значно вищих частотах, включаючи й терагерцовий частотний діапазон [11].

Література

1. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М.: Госуд. изд-во физ. – мат. лит-ры, 1963. – С. 108.
2. Ширман Я.Д. Радиоволноводы и объемные резонаторы. – М.: Госуд. изд-во лит-ры по вопросам связи и радио, 1959. – С. 89.
3. М.Н. Афсар, К.Дж. Баттон. Измерение диэлектрических характеристик материалов в диапазоне миллиметровых волн // ТИИЭР. – 1985. – Т. 73, № 1. – С. 143–167.
4. M.N. Afsar, X. Li, H. Chi. An automated 60 GHz open resonator system for precision dielectric measurement // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. - 1990. – V. 38, No 12. – P. 1845–1852.
5. K.H. Breeden, J.B. Langley. Fabry – Perot cavity for dielectric measurement // Rev. Sci. Instr. – 1969. – V. 40, No 9. – P. 1162–1163.
6. R.G. Jones. Precise dielectric measurements at 35 GHz using an open microwave resonator // Proc. IEE. - 1976. - V. 123, No 4. - P.285- 290.
7. Пат. 67978 А Україна, МПК ⁷ G 01 R 27/26. Відкритий резонатор для вимірювання діелектричної проникності матеріалів / І.К. Кузьмичов, Г.М. Глибицький, П.М. Мележик.
8. I.K. Kuzmichev, P.N. Melezhhik and A.Ye. Poedinchuk. An open resonator for physical studies // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. – 2006. – V. 27, No 6. – P. 857–869.
9. Kuzmichev I.K., Popkov A.Yu. Resonance system for analyzing cylindrical samples in millimeter wave band // Telecommunications and Radio Engineering. – 2012. – V. 71, No 14. – P. 1247-1257.
10. Kuzmichev Igor K., Popkov Aleksey. Yu. Resonant Systems for Measurement of Electromagnetic Properties of Substances at V-Band Frequencies // Emerging Microwave Technologies in Industrial, Agricultural, Medical and Food Processing. - Published in London, United Kingdom, by IntechOpen. - 2018. – 203 p. - Chapter 3. – P. 27-53. – 203 p. ISBN: 978-1-78923-408-4.
11. Авдєєнко Г. Л. Терагерцові технології в телекомунікаційних системах. Частина 1. Обґрунтування частотного діапазону, проектування функціональних вузлів телекомунікаційних систем терагерцового діапазону / Г. Л. Авдєєнко, С. Г. Бунін, Т. М. Наритник // Авиационно-космическая техника и технология. – 2018. – №4(148). – с.72-91.

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ МІСІЙ З ВИВЧЕННЯ ТА ОСВОЄННЯ МІСЯЦЯ

¹Ільченко М.Ю., ¹Вигівський М.С., ¹Наритник Т.М., ²Капштик С.В.

¹ Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

²Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна

E-mail: huaweibgablek@gmail.com; director@mitris.com;

s.kapshtyk@spacecenter.gov.ua

TELECOMMUNICATIONS SYSTEM FOR INFORMATION SUPPORT OF MISSIONS FOR STUDYING AND COLONIZATION OF THE MOON

Proposals for the creation of a telecommunication system whose task is to provide information support to missions to study and explore the moon are presented. The task of the system is information support of international lunar missions and connection of consumers on the Moon to terrestrial information systems. The composition of the system is determined, prototypes and key technologies necessary for the creation of the proposed system are shown. The results of the preliminary assessment of the characteristics of the system in terms of increasing bandwidth (information transfer rate) are presented.

Представлено пропозиції щодо створення телекомунікаційної системи завданням якої є інформаційна підтримка місій з вивчення та освоєння Місяця. Завдання системи – інформаційна підтримка міжнародних місячних місій та підключення споживачів на Місяці до наземних інформаційних систем. Визначено склад системи, показано прототипи та ключові технології, що необхідні для створення запропонованої системи. Представлено результати попередньої оцінки характеристик системи щодо нарощування пропускної здатності (швидкості передачі інформації).

На сьогоднішній день увага вчених та дослідників різних країн все більше прикута до Місяця. Розробляється багато Місячних місій, які передбачають доставку техніки та апаратів для проведення наукових досліджень і перевезення геологічної породи на Землю. Активно опрацьовуються питання побудови на Місяці постійної інфраструктури, призначеної для довгострокового перебування персоналу місій. Метою цих місій стане досконале вивчення Місяця, видобуток корисних копалин. Отримані знання та відпрацьовані технології планується використати для подальшого освоєння космосу. NASA, ESA та космічні агентства багатьох країн вивчають питання створення космічної станції на орбіті навколо Місяця та запуску на навколomisячну орбіту супутників різноманітного призначення.

Для успішного розвитку Місячних проектів необхідна якісна і стабільна інформаційна підтримка із Землі. Адже на сьогодні на Місяці не має достатніх інформаційних та обчислювальних ресурсів для обробки та зберігання отриманих даних, а на Землі цих ресурсів вдосталь. На вирішення питання створення інформаційно-телекомунікаційного

мосту між Землею та Місяцем спрямовано багато проєктів. Ці проєкти передбачають створення угруповання супутників зв'язку на низькій навколomisячній орбіті, які є аналогом низькоорбітальних навкологемних систем. Також пропонується створення супутників на місячно-стаціонарній орбіті. Недоліком усіх цих проєктів [1,2,3] є обмежені можливості супутників на навколomisячній орбіті.

1. Особливості руху Місяця навколо Землі, що впливають на схемно-конструктивні рішення.

При вивченні питання створення телекомунікаційної системи Земля-Місяць потрібно врахувати особливості руху Місяця навколо Землі. Місяць обертається навколо Землі по орбіті еліптичної форми. Відстань між Землею та Місяцем змінюється в межах від 356 410 до 406 740 км [4,5]. Середня відстань становить 384 440 км. Повний оборот місяць здійснює за 27,322 доби. Цей проміжок часу називається сидеричним, або зоряним місяцем. Період обертання Місяця навколо своєї осі в точності дорівнює періоду її обертання навколо Землі. Кут між площиною орбіти Місяця і площиною екватора Землі змінюється в межах від $18,5^\circ$ до $28,5^\circ$, тобто сидеричному місяцю, тому вона завжди звернена до нас однією своєю стороною. Внаслідок лібрацій¹⁾ центр видимого диска Місяця переміщається в межах $\pm 7^\circ 54'$ довготи по місячному екватору (лібрація по довготі) і в межах $\pm 6^\circ 50'$ широти вздовж меридіана Місяця (Лібрація по широті).

2. Опис телекомунікаційної системи Земля-Місяць.

Телекомунікаційна система Земля-Місяць складається з двох сегментів: місячний сегмент та земний сегмент. Місячний сегмент створений двома однаковими автономними модулями, що розміщені на поверхні Місяця. Особливість обертання Місяця навколо власної осі і його оберненість до Землі постійно однією стороною дозволяє забезпечити постійне знаходження Землі в полі огляду двох автономних модулів, що суттєво спрощує його конструкцію. Для забезпечення постійного енергоживлення автономні модулі мають бути розміщені в районі полюсів Місяця.

Автономний модуль обладнаний приймально-передавальною офсетною антеною великого діаметру (8 м, 16 м або 24 м), яка забезпечує зв'язок в частотних діапазонах L та S. На сьогодні добре відпрацьована технологія проєктування та виготовлення антен великого розміру, які використовуються у складі геостаціонарних супутників типу Inmarsat-4, Inmarsat-6, Thuraya [6]. Опромінювач антени встановлений на відкидну мачту і обладнаний механічним приводом для відстеження зміни місця розташування антени на поверхні Землі.

До складу корисного навантаження автономного модуля також входить обчислювальний модуль, який забезпечує проведення обчислень для споживачів Місячних місій, та виконує функції хмарного дата-центру на поверхні Місяця, телекомунікаційне обладнання для під'єднання до телекомунікаційної системи телекомунікаційних та інформаційних систем, що будуть розгорнуті на поверхні Місяця.

За своєю конструкцією автономний модуль схожий на геостаціонарний супутник, який додатково обладнаний рушійною установкою м'якої посадки на поверхню Місяця, системою горизонтування конструкції, яка модифікована для умов відстеження руху Сонця вздовж горизонту і системою сонячних батарей, що є первинним джерелом електроенергії.

Земний сегмент телекомунікаційної системи створений із залученням земних антен із

розміром дзеркала в межах 25-32 м. Зазвичай такі антени використовуються в якості радіотелескопів. Використання технологій, що притаманні радіотелескопам, зокрема технології радіоінтерферометрії із наддовгою базою (РНДБ), дозволяє суттєво покращити умови приймання інформаційного потоку в напрямку від Місяця до Землі і таким чином покращити швидкість передачі інформації в цьому напрямку. Зважаючи на обертання Землі навколо власної осі для підтримки постійного функціонування телекомунікаційної системи доцільно залучити декілька антен із відносною довготою в межах 60°-120°.

Земний сегмент підключений до магістральної мережі Інтернет, через який здійснюється доступ до мережі центрів і сховищ даних, центрів управління місіями, наукових установ, дослідницьких центрів, тощо.

3. Частотний діапазон та основні показники радіолінії Місяць-Земля.

При виборі частотного діапазону для організації телекомунікаційної системи потрібно враховувати велику кількість чинників. Головними з них є природні обмеження, які визначені великою довжиною радіолінії (до 410 тис. км) в напрямку Земля-Місяць та Місяць-Земля. В рамках проекту, що розглядається, пропонується використовувати частотні діапазони L,S (1,5 ГГц; 2,5 ГГц). Для лінії Земля-Місяць пропонується використовувати частотний діапазон S (2,5ГГц), а для лінії Місяць-Земля – частотний діапазон L (1,5 ГГц).

Регламент Радіозв'язку [7] передбачає виділення на первинній основі декількох смуг частот різної ширини в частотних діапазонах L,S для низки космічних служб. Але використання частини зазначених смуг для цілей міжпланетного зв'язку та створення відповідної телекомунікаційної системи потребує додаткового опрацювання. Зважаючи на важливість проблеми інформаційної підтримки місячних місій для подальшого розвитку космічних технологій та освоєння Місяця, питання про виділення в частотному діапазоні L,S частини смуги частот для міжпланетного зв'язку на вторинній основі можна виносити на розгляд міжнародної спільноти. Для цілей попереднього розрахунку радіолінії телекомунікаційної системи Земля-Місяць прийнято частоти 1,5 ГГц та 2,5 ГГц.

Основні результати попередніх розрахунків радіоліній.

Вихідні дані, що були використані при проведенні оціночних попередніх розрахунків, представлено в Таблиці 1 із врахуванням існуючого досвіду щодо створення космічних радіоліній [8].

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку.

Показник	Варіант 1	Варіант 2
Частота: лінія Місяць-Земля лінія Земля-Місяць	1,5 ГГц 2,5 ГГц	
Довжина радіолінії:	410 тис. км	
Антенна автономного модуля: офсетна антена	16 м	24 м
Антенна земної станції	25м / 32м	
Вихідна потужність передавача автономного модуля	200 Вт	
Шумова температура приймального тракту автономного модуля	800 К	
Шумова температура приймального тракту земної станції	150 К	
Спектральна ефективність телекомунікаційної системи [9].	4,0-4,5 Біт/Гц · сек	
Відношення сигнал/шум (S/N) на вході приймального тракту земної станції	16 дБ	

Результати попередніх оціночних розрахунків наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку для радіолінії Місяць-Земля

Показник	Варіант 1	Варіант 2
Еквівалентна ізотропно випромінювана потужність автономного модуля	68 дБВт	71,5 дБВт
Щільність потоку потужності на вході антени земної станції	-115,3 дБВт/м ²	-111,7 дБВт/м ²
Підсилення передавальної антени за умови ефективності 0,5	44,9 дБ	48,5 дБ
Підсилення приймальної антени 32 м за умови ефективності 0,6	71,8 дБ	
Затухання радіосигналу у вільному просторі	208,2 дБ	
Додаткові сумарні втрати на поширення радіосигналу в атмосфері Землі	≤ 5 дБ	
Бюджет радіолінії шириною 10 МГц [10].	≥ 48,4 дБ	≥ 52,0 дБ
Бюджет радіолінії шириною 50 МГц [10].	≥ 41,4 дБ	≥ 45,0 дБ

Отримані результати були перевірені за допомогою методики, що була використана в роботі [5].

4. Врахування особливостей використання великих антен

Таблиця 3. Ширина діаграми спрямованості антен в L,S діапазоні по рівню -3 дБ.

Антенa	Частота $f_0 = 1,5$ ГГц ($\lambda = 0,2$ м)	Частота $f_0 = 2,5$ ГГц ($\lambda = 0,12$ м)
16 м	0,88°	0,53°
24 м	0,58°	0,35°
25 м	0,56°	0,34°
32 м	0,44°	0,26°

Земна куля спостерігається з поверхні Місяця під кутом $1,79^\circ \div 2,05^\circ$. Зазначений видимий кут перевищує ширину діаграми спрямованості передавальної антени. Тому антенна система автономного модуля має бути обладнана засобами корегування положення опромінювача для прийнятної орієнтації приймального та передавального променів.

Додатковим фактором, який впливає на конструктивні рішення блоку опромінювача антенної систем автономного модуля є лібрація Місяця, яку також необхідно враховувати.

Висновки:

1. Місії щодо дослідження Місяця потребують інформаційної підтримки з боку земного сегменту та земних інформаційних систем. Розв'язати це питання можливо шляхом створення телекомунікаційної системи із автономним модулем, що розташований на поверхні Місяця.

2. Для забезпечення функціонування телекомунікаційної системи Місяць-Земля на поверхні Місяця пропонуємо розмістити автономні модулі. За конструктивними рішеннями та складу основного обладнання автономні модулі наближені до геостационарного супутника із певними вдосконаленнями, які враховують необхідність посадки модуля на поверхню Місяця та його тривалу експлуатацію.

3. Попередні енергетичні розрахунки показують, що використання у складі телекомунікаційної системи Місяць-Земля антен великого розміру та розташування на

поверхні Місяця автономного модуля з антеною 16 / 24 м забезпечує прийнятний енергетичний потенціал радіолінії, що дозволяє використовувати види модуляції із високими показниками спектральної ефективності. Таким чином запропонована архітектура побудови телекомунікаційної системи Місяці-Земля володіє необхідним потенціалом щодо збільшення пропускної здатності та збільшення обсягів інформаційного обміну.

4. Використання у складі місячного та земного сегментів телекомунікаційної системи антен великих розмірів вимагає обладнання антенної системи автономного модуля засобами управління орієнтацією приймального та передавального променів.

Література

1. Moonlight [Електронний ресурс] // ESA. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Lunar_satellites.
2. NASA's Lunar Exploration Program Overview [Електронний ресурс] // NASA. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf.
3. ILRS Guide for Partnership [Електронний ресурс] // CNSA. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812150/content.html>.
4. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии / Под ред. В. Г. Сурдина. Изд. 6-е, испр. и доп. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 704 с.
5. Расчёт энергетики радиолинии «Земля–Луна» / В. Е. Чеботарев, О. Б. Грицан, А. М. Бадертдинов, В. А. Анжина / ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнёва», г. Железногорск, Красноярский край, Россия / Исследования Наукограда, № 3 (9) июль-сентябрь 2014, с. 21-24.
6. Inmarsat-6 F1, 2 (GX 6A, 6B) / Електронний ресурс. Режим доступу: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/inmarsat-6.htm
7. Регламент радиосвязи. Статьи. Том 1. / © ITU 2016
8. Справочник по связи для космических исследований / Издание 2014 года / Бюро радиосвязи. Женева, 2015 г.
9. Наритник Т.М. Лекційне заняття №3 [Електронний ресурс]: конспект лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1s7dXlmUnCgOK5SNfPAIitIcK3yfTm9x9/view?usp=drive_web&authuser=0
10. Наритник Т.М. Лекційне заняття №5 [Електронний ресурс]: конспект лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1s7dXlmUnCgOK5SNfPAIitIcK3yfTm9x9/view?usp=drive_web&authuser=0.

З ВДЯЧНІСТЮ ЗА БАГАТОРІЧНУ СПІВПРАЦЮ

Радіотехнічний клуб “Політехнік “UT7UZA бере свій початок з далекого 1925 року коли в КПІ, вперше в Україні відкрився радіогурток, організатором і керівником якого був відомий вчений-радіотехнік Володимир Васильович Огієвський. Нові покоління, вже на протязі більше 97 років продовжують славні традиції клубу. Вони завжди відомі в КПІ творчими технічними досягненнями, конструкторською діяльністю, високими міжнародними спортивними здобутками. Членами нашого клубу є студенти, викладачі, співробітники КПІ, школярі м. Києва.

Клуб як структура офіційно зареєстрований в міжнародних радіоаматорських організаціях, і в КПІ за Наказом Ректора Михайла Згуровського. Відома у всьому світі аматорська радіостанція клубу UT7UZA має найвищу за класом міжнародну ліценцію для роботи в ефірі на всіх аматорських діапазонах і усіма видами модуляції. Клуб має свій міжнародний сайт UT7UZA.

Основними напрямками діяльності нашого клубу перш за все є:

- робота з молоддю в дусі патріотичного виховання до Альма матер КПІ і традицій клубу;
- конструювання та розробки новітніх технічних розробок
- виступів в змаганнях з радіоспорту на чемпіонатах світу, Європи, України;
- Особлива увага приділяється також активній агітаційній роботі серед радіоаматорів України та їх родин, по вступу на навчання в КПІ імені Ігоря Сікорського випускників шкіл, гімназій, коледжів.

На початку розвитку радіоаматорства в світі, відомим американським радіоаматором Полом Сегалом (Paul Segal, W9EEA), був розроблений кодекс радіоаматора, одним із пунктів якого є те, що радіоаматор повинен бути прогресивним, іти в ногу з науково-технічним прогресом.

Цей кодекс завжди був і є актуальний для нашого клубу. Ми постійно працюємо над підвищенням і вдосконаленням технічного рівня клубу - розробкою і впровадженням новітніх технічних розробок. Наш радіотехнічний клуб використовує в своїй діяльності найновіші види радіозв'язку, які базуються на новітніх досягненнях комп'ютерних технологій. Наприклад, розроблена Нобелевським лауреатом, нашим колегою радіоаматором Джо Тейлором (W1JT), новітній вид зв'язку FT-8 дозволяє потужністю в 1 Вт проводити стійкі зв'язки на відстані до 20000 км, на що іншими видами модуляцій потрібно не менше як один кіловат потужності. Цей вид зв'язку дозволяє приймати сигнали з рівнем на 30 дБ нижчим рівня шуму. Здобутками нашого клубу є підтверджені зв'язки з антиподами завдяки FT-8 модуляції.

Однією з головних подій в діяльності нашого клубу стали започатковані в 2018 році за ініціативою відомих вчених в області радіотехніки, проф., д.т.н., радіоаматора зі світовим ім'ям, почесного члена нашого клубу Сергія БУНІНА та директора ІТС академіка НАН України

Михайла ІЛЬЧЕНКА, - щорічні участі нашого клубу в традиційних Міжнародних науково-технічних конференціях “Перспективи телекомунікацій” які щорічно проводить Інститут телекомунікаційних систем (ІТС) КПІ ім. Ігоря Сікорського. Для нашого колективу це стало почесним визнанням і стимулом підвищення творчості і досягнень.

Ось і в 2021-2022 рр. радіоконструкторами клубу під керівництвом досвідченого радіоконструктора Миколи ЯТЧЕНКА UR8UZ, на традиційну XVI Міжнародну науково-технічну конференцію “Перспективи телекомунікацій 2022” ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського ми представили 8 новітніх розробок:

- Генератор сигналів на мікросхемі Si5351;
- КВ трансивер на діапазони 1.8 – 30 мс.;
- Автоматичний антенний тюнер ATU-100;
- Універсальний прилад, що містить вимірювач АЧХ, ГСС, функціональний генератор і ВЧ-вольтметр;
- Антенний тюнер AT-1000;
- Ступінчатий атенюатор;
- Комутатор 8 антен на 2 робочих місця.

Ці діючі розробки представлені також крім виступу на пленарному засіданні і на діючій виставці конференції “Перспективи телекомунікацій 2022” ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського. Також разом з нами представили і свої новітні розробки і інші члени нашого клубу:

- Володимира Джулай (трансивер SDR).
- Розробки фірми RigExpert: Антенні-аналізатори для налаштування антенно-фідерних систем

Традиційно, спортивна команда нашого клубу завжди складала основу збірної команди України з радіоспорту - була чемпіонами світу, Європи, України, великих міжнародних змагань - завдяки застосуванню новітніх технологій і техніки, розроблених членами клубу.



Пишаємося, унікальною школою нашого клубу, через яку пройшло багато випускників КПІ ім. Ігоря Сікорського. Після його закінчення багато з них стали відомими фахівцями в галузях телекомунікацій, вченими, керівниками наукових інститутів, організацій, директорами підприємств, полярниками, військовослужбовцями. Усі вони надають велику допомогу та підтримку клубу, високо несучи міжнародний авторитет як клубу, так і КПІ ім. Ігоря Сікорського. Як не згадати видатних вчених - зі світовими іменами: Семен ТЕТЕЛЬБАУМ, Наум ВОЛЕРНЕР, Вадим ТАРАНЕНКО, Сергій БУНІН, Юрій МЕДИНЕЦЬ, Михайло ІЛЬЧЕНКО, та багато інших)

Клуб був і є головним центром технічного радіоаматорства України. В ньому регулярно проводяться творчі зустрічі, науково-технічні і спортивні конференції з радіоаматорами Києва та України.

Технічне оснащення нашого клубу, музей еволюції розвитку радіотехніки, відіграє важливу роль у навчально-виховному процесі, дозволяє проводити для студентів КПІ цікаві екскурсії, являється прекрасною практичною школою для підготовки майбутніх фахівців та науковців з різних областей телекомунікацій, радіотехніки, електроніки, радіозв'язку, енергозбереження, технічного конструювання.

По тематиці діяльності клубу студентами КПІ, членами нашого клубу були підготовлені та захищені магістерські дисертації та дипломи бакалавра, отримані Патенти України на корисні моделі, підготовлені та опубліковані тези наукових конференцій, статті в фахових наукових виданнях, зроблені наукові доповіді на Міжнародних наукових конференціях.

Ми щиро вдячні керівництву нашого Університету за увагу та підтримку нашого радіотехнічного клубу. Нам завжди є чим порадувати при зустрічах в нашому клубі Ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського, академіка НАН України Михайла ЗГУРОВСЬКОГО, Голову Вченої ради університету, директора ІТС академіка НАН України Михайла ІЛЬЧЕНКА, який до того ж є членом клубу і має радіоаматорський позивний UT5UME.

Висловлюємо щиро вдячність організаторам XVI Міжнародної конференції "Перспективи телекомунікацій- 2022", за запрошення колективу радіотехнічного клубу Політехнік UT7UZA для участі в цьому важливому для нас заході. На фінальному пленарному засіданні радіоконструктори клубу висловили бажання як найпродуктивніше співробітничати та використовувати наш потенціал з НН ІТС, та іншими творчими колективами з спільними розробками для військово-промислового комплексу України.

73! З повагою, керівник радіотехнічного клубу "Політехнік" КПІ ім. Ігоря Сікорського, - починаючи з 1975 року, Микола Сергієнко, UX0UN.

Секція 1. Достовірне передавання сигналів та інформації в телекомунікаційних системах

УДК 621.391

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛА ПОВІДОМЛЕНЬ ЗА УМОВ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

Уривський Л.О., Корнієнко А.А.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: leonid_uic@ukr.net, and.korniienko@gmail.com

METHOD OF ENSURING CONSTANCY OF THE MESSAGES SOURCE PRODUCTIVITY UNDER CONDITIONS OF ACHIEVING MAXIMUM COMMUNICATION CHANNEL PRODUCTIVITY

The report outlines a methods that is to establish relationships between the initial rate of symbols transmission in the information system (the initial state of the system before encoding) and the encoding speed, which will ensure the condition of constancy of the message source productivity (future state of the system with increasing channel data rate).

Основною задачею існуючих та перспективних телекомунікаційних систем є передача заданого об'єму інформації для задоволення зростаючого попиту користувачів до інформаційних послуг. При цьому оцінка якості цих систем часто базується виключно на критеріях достовірності. Разом з тим, актуальною для цифрових систем зв'язку є задача забезпечення ефективності використання обмежених енергетичних та частотних ресурсів.

Отже, сучасні системи електронних комунікацій мають напрямок розвитку у бік збільшення швидкості передачі інформації. Але збільшення швидкості потребує використання додаткових ресурсів каналу зв'язку та інструментів підтримання заданої достовірності передачі при певних енергетичних обмеженнях.

Метою доповіді є дослідження методики підтримання сталої швидкості передавання інформації джерела за рахунок використання додаткових ресурсів каналу зв'язку, в основу якої покладені рекомендації щодо вибору типу модуляції та параметрів завадостійкого кодування.

Актуальність дослідження полягає у новітньому підході до вирішення задачі забезпечення високоякісного зв'язку при сталій продуктивності джерела повідомлень шляхом розширення частотної смуги передачі з метою залучення ресурсу системи зв'язку для підтримання необхідної достовірності передачі.

Об'єктом дослідження є канал телекомунікацій та його властивість підтримувати сталу швидкість передавання інформації джерела повідомлень шляхом вибору необхідних параметрів системи передачі, а саме, швидкості передавання символів та структури завадостійкого коду.

Постановка задачі. Відомі методики забезпеченні потрібної достовірності передавання інформації в дискретному каналі зв'язку при його сталих ресурсах: полосі частот та енергетичних параметрах на основі вибору коригуючих кодів, максимально наближених до границі Шеннона [1, 2].

В цих методиках використано відомий взаємозв'язок продуктивності R та пропускної здатності C в дискретному каналі при використанні надлишкового кодування, а саме:

значення пропускної здатності за формулою (1.1):

$$C = V_C \left[\log_2 M + p_{\text{сим}} \cdot \log_2 \frac{p_{\text{сим}}}{M-1} + (1 - p_{\text{сим}}) \cdot \log_2 (1 - p_{\text{сим}}) \right], \quad (1.1)$$

-

та

продуктивності за формулою (1.2):

$$R = \frac{k}{n} \cdot V_C \cdot \log_2 M \left[1 + p_{\text{біт_декод}} \cdot \log_2 p_{\text{біт_декод}} + (1 - p_{\text{біт}}) \cdot \log_2 (1 - p_{\text{біт_декод}}) \right], \quad (1.2)$$

де V_C – швидкість передавання модульованих символів у каналі зв'язку;

M – кратність багатопозиційної маніпуляції;

$\log_2 M$ – кількість біт у одному символі, який передається у каналі зв'язку;

$k / n = r_k$ – швидкість кодування в блоці довжиною n , в якому k біт є інформаційними символами джерела повідомлень.

Отже, для економії частотного ресурсу в сучасних системах зв'язку використовується багатопозиційна маніпуляція: в каналі без надлишкового кодування $V_C = V_R / M$, де V_R – швидкість передавання інформаційних символів джерела повідомлень.

Адже сигнали багатопозиційної маніпуляції більш вразливі до дії завад, ніж сигнали бінарної маніпуляції, їх завадостійкість зменшується із зростанням показника M .

Завдання надлишкового коду полягає у забезпеченні потрібної достовірності прийому прийнятих та декодованих біт $p_{\text{біт_декод}}$, які надходять до приймача повідомлень.

Визначення бітової помилки після декодера проводиться за наступною формулою (1.3) [3]:

$$p_{\text{біт_декод}} = \frac{1}{n} \sum_{j=S+1}^n j \cdot C_n^j p_{\text{біт}}^j (1 - p_{\text{біт}})^{n-j} \quad (1.3)$$

Вирішення задачі дослідженні передбачає модернізацію методики синтезу коригуючих кодів при фіксованих ресурсах каналу зв'язку [1,2] відносно нових вимог щодо сталості продуктивності джерела та збереження якості передачі інформації [4].

В даному випадку методика має передбачати збільшення використання частотного ресурсу, оскільки частина ресурсу буде відокремлюватися на інструменти забезпечення достовірної передачі інформації, а саме на кодування [5, 6].

Складність полягає в тому, що заздалегідь невідомо, який вплив

матимуть параметри коду на фінальну продуктивність каналу зв'язку при сталій продуктивності джерела.

В [5] досліджено закономірність, яка полягає в тому, що збільшення швидкості передавання символів в каналі зв'язку породжує 2 тенденції:

- згідно формули (1) зростає пропускна здатність C каналу, але знижується завадостійкість прийому;
- для підтримки потрібної достовірності прийому (1.3) за зростаннями ймовірності помилки в прийомі символів зменшується швидкість кодування

$k/n = r_k$, і, як наслідок, зростає різниця між пропускною здатністю C каналу та його продуктивністю R згідно виразу (1.2).

Протилежність вказаних тенденцій породжує екстремуми продуктивності R при певних значеннях V_C і r_k .

Рисунок 1 ілюструє існування екстремумів для сигналів QAM-16 та QAM-64.

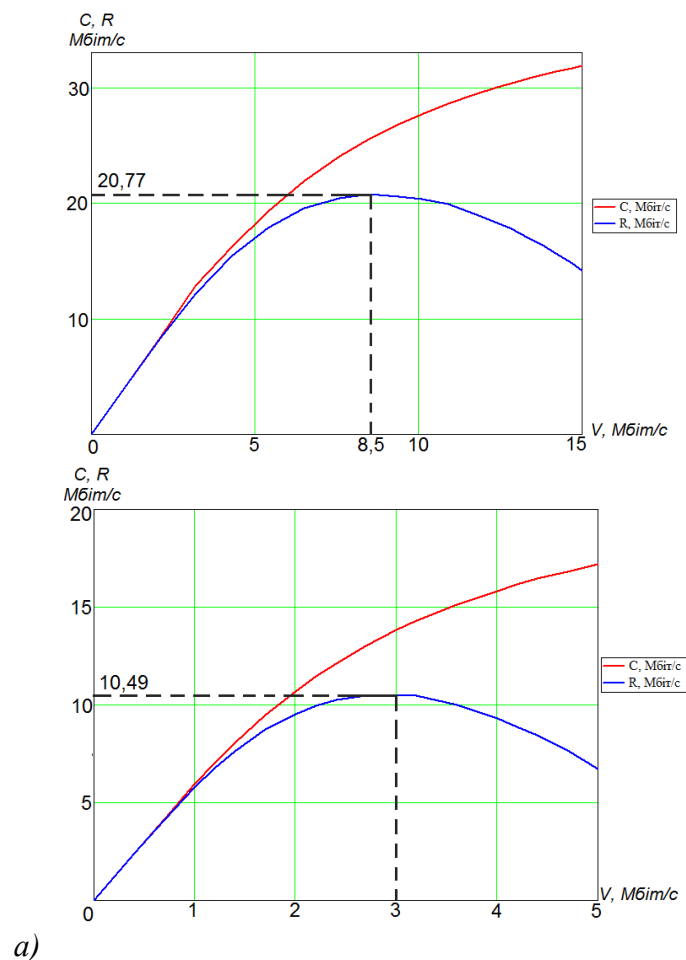


Рис. 1. Графік пропускної здатності та продуктивності при $\alpha=32$ МГц, $n=1000$ (QAM-16 – а) та QAM-64 – б)).

Досліджені закономірності узагальнено графічно (рис.2), на якому відображено залежність продуктивності R та параметру α від довжини блоку коду n .

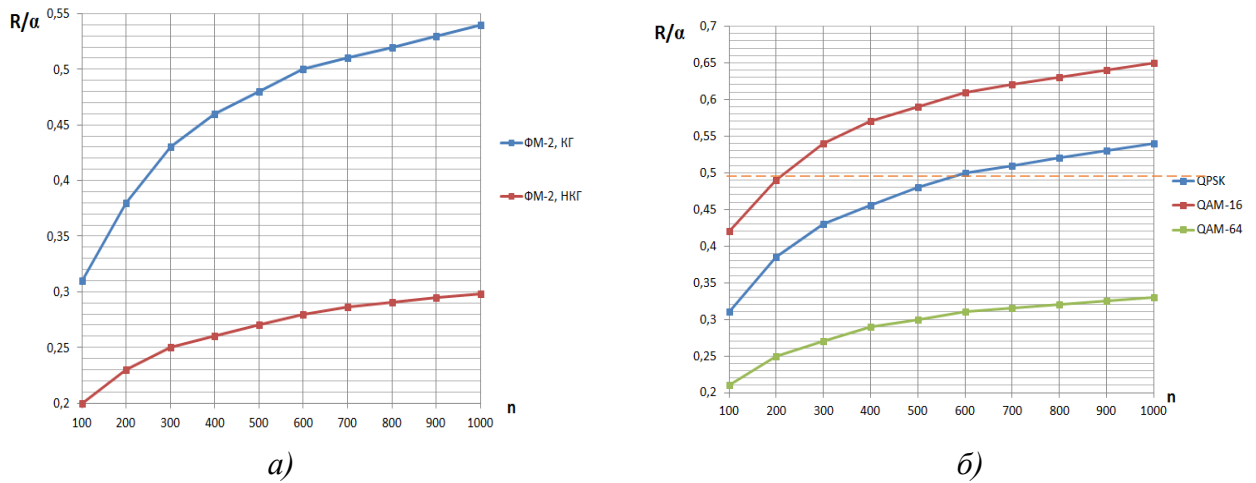


Рис. 2. Залежність продуктивності R та параметру α від довжини блоку коду n для видів маніпуляції ФМ-2 (когерентний, та некогерентний прийом – а)) та QPSK, QAM-16, QAM-64 (графіки б)).

За результатами апроксимації цих залежностей отримано аналітичні вирази, представлені в табл. 1 [6].

Таблиця 1. Залежність значення екстремуму R і параметра α .

Апроксимація	QPSK	QAM-16	QAM-64
Логарифмічна	$\frac{R}{\alpha} = 0,1 \cdot \ln(n) + 0,32$	$\frac{R}{\alpha} = 0,1 \cdot \ln(n) + 0,42$	$\frac{R}{\alpha} = 0,05 \cdot \ln(n) + 0,2$

Параметр α є одним з енергетичних параметрів каналу зв'язку:

$$\alpha = P_C / N_0, \quad (1.4)$$

де P_C – потужність сигналу в точці прийому;

N_0 – спектральна щільність потужності завади.

Особливість параметру α полягає у тому, що його компоненти є фіксованими в точці прийому і не залежать від інформаційних параметрів каналу зв'язку на відміну від традиційного енергетичного показника каналу – так зване відношення сигнал/ шум h^2 :

$$h^2 = P_C / P_{ш} = E_C / N_0 = P_C / (N_0 \cdot V_C) = \alpha / V_C. \quad (1.5)$$

Зміст нової методики. Ідея запропонованої нової методики полягає у встановленні взаємозв'язків між початковою швидкістю передавання символів V_R в системі передачі інформації (початковий стан системи до кодування) та той швидкістю кодування r_k , яка забезпечить умову незмінності продуктивності джерела повідомлень $V_R = R$ (майбутній стан системи при збільшенні каналної швидкості передачі інформації).

Кінцевим завданням методики є досягнення показника $V_R = R$ при необхідній достовірності $P_{\text{біт_декод}}$ та визначеним значенням швидкості передавання символів в каналі зв'язку $V_C > R$ з урахування багатопозиційності сигналу M і надлишкового кодування.

Таблиця 2. Максимальні значення R при різних α ($n = 1000$, QAM-16).

α , МГц	V_C , Мбіт/с	C , Мбіт/с	R , Мбіт/с	$p_{\text{сум}}$	$p_{\text{б}}$	$p_{\text{бк}} \cdot 10^{-6}$	S	k
20	5,6	16,367	12,969	0,132	0,070	0,75	107	579
40	10,9	32,298	25,941	0,126	0,067	0,84	103	595

На підставі аналізу даних, наведених у [6], подібних даним у Таблиці 2, визначено, що для видів модуляції: QPSK, QAM-16, QAM-64 в точці максимального значення продуктивності каналу R мають місце наступні параметри сигналів:

$$p_{\text{сум}} = 0,113 \dots 0,132; \quad p_{\text{б}} = 0,057 \dots 0,070;$$

$$p_{\text{бк}} < 1 \cdot 10^{-6} \quad (0,59 \dots 0,96 \cdot 10^{-6}).$$

Отже, різниця в параметрах сигналу в точці R_{MAX} значною мірою схожі.

Більш того, для видів маніпуляції в точці R_{MAX} має місце значення $r_k \approx 0,6$ для QAM-16, QAM-64 при $n = 1000$ і $r_k \approx 0,5$ для QPSK при $n = 1000$ (залежність від значення n не дуже суттєва).

Отже, задачу пошуку оптимального значення r_k вирішено.

Якщо звернутися до формули (1.2), то, з урахуванням $p_{\text{бк}} < 1 \cdot 10^{-6}$, можна записати:

$$R = r_k \cdot V_C \cdot \log_2 M, \quad (1.6)$$

або:

$$V_C = \frac{R}{r_k \cdot \log_2 M}. \quad (1.7)$$

Із (1.7) можна зробити висновок, що для кожного значення R становиться відомою потрібна швидкість передавання сигналів в каналі V_C .

Вибір оптимального (для заданого $V_R = R$) значення M можливо за наступними кроками.

Виходячи із реального каналу зв'язку, слід визначити його параметр

$$h^2 = P_C / P_{\text{ш}} = \alpha / V_C$$

за початкових умов $V_C = V_R$. В такому разі $\alpha = h^2 \cdot V_R$. Отже є можливість визначити показник R/α для того, щоб скористатися залежностями R/α (M , n) на Рис. 2 за правилом: припустимі значення (M , n) належать області $\{ R/\alpha > R/\alpha (M, n) \}$.

Наприклад, при $R/\alpha = 0,5$ (рис.2) можливо досягнення необхідної продуктивності: для QAM-16 при $n > 200$, для QPSK при $n > 600$. Для QAM-64 даний показник недосягнений.

Кінцевим кроком є вибір оптимального M і можливість скористатися

формулою (1.7) для визначення V_C для потрібного значення R .

Вибір відповідного виду багатопозиційної модуляції здійснюється за критерієм мінімальної полоси каналу зв'язку відповідно до співвідношення: $\Delta F = V_C$.

Такий вибір можливий при аналізі залежностей продуктивності R та полоси передавання ΔF від параметра h^2 (рис.3). Рисунок 3 виконаний на підставі даних за дослідженням [6] за умов: $\alpha = 32$ МГц; $n = 1000$.

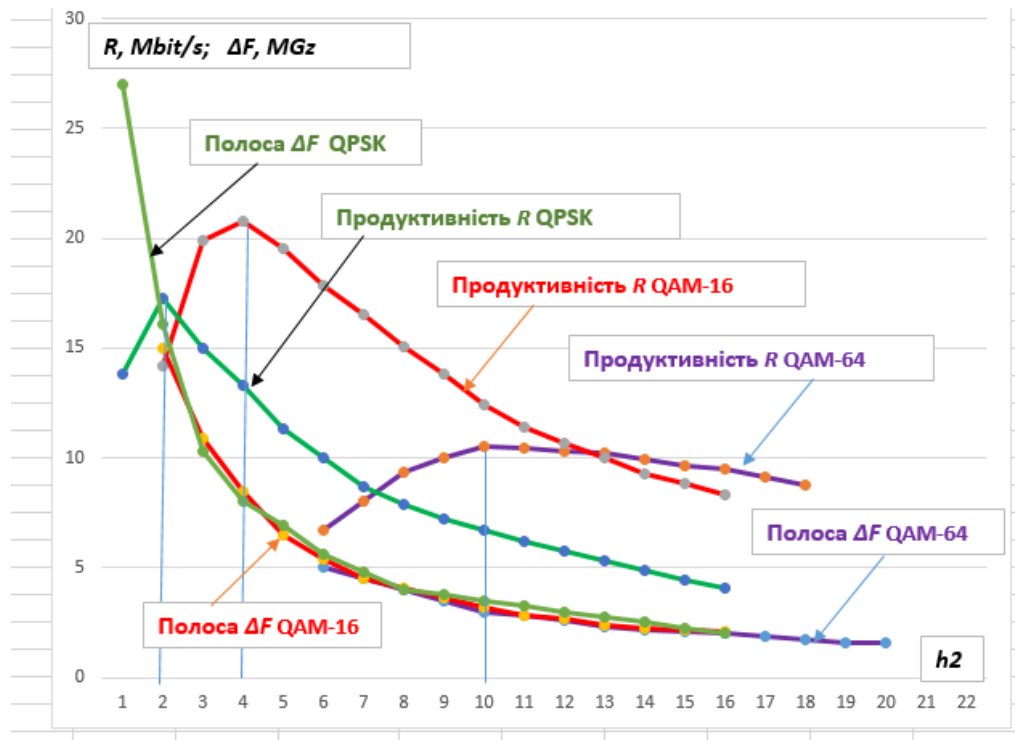


Рис. 3. Залежності продуктивності R та полоси передавання ΔF від параметра h^2 .

Користуючись даними рис.3, складемо таблицю рекомендованих значень для M в залежності від потрібної сталої продуктивності джерела $V_R = R$.

Таблиця 2. Рекомендовані види модуляції для заданих показників R , Мбіт/с при визначеному параметрі h^2 ($\alpha = 32$ МГц, $n = 1000$).

R , Мбіт/с	до 10			10...18		18...21
h^2	до 2	2...6	> 6	1..2	>2	2...4
Вид модуляції	QPSK	QAM-16	QAM-64	QPSK	QAM-16	QAM-16
$\log_2 M$	2	4	6	2	4	4
ΔF , МГц	до 10	0..5	0...3	18...26	3...8	8...12
R/α	до 0,31			0,31...0,56		0,56...0,65

Слід зауважити, як можна бачити на прикладі даних Таблиці 2, значення продуктивності R масштабуються пропорційно значенню показника α .

Висновки. Відомі результати [1, 2] містять відомості про методику визначення параметрів завадостійкого коду для випадку сталості частотно-енергетичних параметрів каналу зв'язку. Надлишковість кодування при цьому зменшує обсяг передаваної інформації джерела повідомлень.

Результати досліджень [5, 6] виявили наявність екстремуму продуктивності джерела R при динаміці швидкості передавання символів V_C у каналі.

В [4] вперше було сформульовано задачу синтезу методики визначення параметрів надлишкового коду за умов сталості швидкості передавання символів джерела повідомлень за рахунок використання додаткового частотного ресурсу ΔF каналу зв'язку.

В доповіді, на підставі аналізу даних, наведених у [6], запропоновано методику визначення параметрів завадостійкого кодування (n, r_k) при різних видах багатопозиційної модуляції M при заданій сталій швидкості передавання символів джерела V_R . Кінцевим завданням методики є досягнення показника $V_R = R$ при необхідній достовірності $p_{\text{біт_декод}}$ та визначеним значенням швидкості передавання символів в каналі зв'язку $V_C > R$ з урахування багатопозиційності сигналу M і надлишкового кодування.

Література

1. Уривський Л.О., Пешкін А.М. Методика оцінки граничної інформаційної ефективності завадостійких кодів// Information and Telecommunication Sciences, – К.: NTUU 'KPI'. – 2016. – № 2. – р.70-74.
2. Uryvsky L., Moshynska A., Peshkin A., Gryaznov D. The Signal-Code Construction Method with Maximum Approach to the Communication Channel Throughput / The scientific heritage, Budapest, Hungary. – No 22 (2018), P.1. – р.р. 28...33.
3. Основи теорії телекомунікацій / Підручник / За заг. ред. проф. Ільченка М.Ю. - К.: ІССЗІ НТУУ «КПІ», 2010. – с.786, іл.
4. Уривський Л.О., Корнієнко А.А. Методика визначення параметру швидкості кодування за алгоритмом управління ситуацією в каналі зв'язку при незмінності продуктивності джерела повідомлень / XV міжнародна науково-технічна конференція "ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ" 12–16 квітня 2021 року/ Матеріали конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.62-65.
5. Уривський Л.О., Вергун С.М., Мошинська А.В. Аналіз продуктивності завадозахищених систем передавання дискретної інформації // Наукові вісті. – НТУУ «КПІ», № 2, 2016, с. 7...13.
6. Урывский Л. А., Прокопенко Е. А., Вергун С. Н. Исследование экстремумов производительности в дискретных каналах связи с кодированием // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. №.5(33) – с. 20-26.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИТНИХ КОДІВ БАРКЕРА, КАСАМІ І ГОЛДА

Максимов В.В., Храповицький І.А.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: maksimov46@ukr.net, hrapovitskiy.igor@gmail.com

RESEARCH OF NEW COMPOSITE CODES OF BARKER, KASAMI AND GOLD

Modeling in the MatLab software package showed greater noise immunity of new composite codes as clock signals compared to Kasami and Gold codes.

Широкопasmові сигнали (ШСС) знаходять застосування в сучасних багатоканальних системах зв'язку з кодовим поділом каналів (CDMA, WCDMA), в системах бездротового зв'язку сімейства 802.11 з технологією розширення спектра методом прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), в сучасних радіолокаційних системах. З усіх ШПС найкращими кореляційними характеристиками володіють, відкриті в 1953 році, послідовності Баркера [1]. Основний викид АКФ у них дорівнює числу розрядів результуючої послідовності N , а максимальний бічний викид в позитивну область має значення близькі до 1. В [2,3] описані 12 послідовностей з довжиною N , рівній 14 (14а, 14б), 21 (21а, 21б), 22 (22а, 22б), 33 (33а, 33б), 49, 77 (77а, 77б), 121, і перевищенням головного піку АКФ над позитивними бічними, рівним N . В [4] отримано 4 пари нових композитних послідовностей Баркера, а в [5] ще 28 нових пар, які мають ту ж саму АКФ, що і послідовності з [2,3]. В [6] досліджена можливість використання нових композитних послідовностей Баркера в якості синхросигналів і показана їх ефективність в порівнянні з послідовностями з [2,3].

Метою даної роботи є порівняння ефективності використання нових композитних послідовностей Баркера, послідовностей Касамі і Голда в якості імпульсів синхронізації ШПС.

Моделювання режиму прийому ШПС. Для моделювання використано програму MATLAB R2015B. Схема моделі складається з таких основних функціональних вузлів: формувача пакетів ШПС, генератора "білого" гаусовського шуму (AWGN), узгодженого цифрового фільтра та схеми управління рівнем порога обмеження та детектор помилок.

Формувач включає генератор ШПС, який можна переналаштовувати на композитні коди Баркера (рис.1,2), послідовності Касамі (рис.3) і послідовності Голда (рис.4). Сформовані ШПС передаються пакетами зі шпаруватістю 0,5 на узгоджений фільтр, який переналаштовується та виділяє АКФ ШПС.

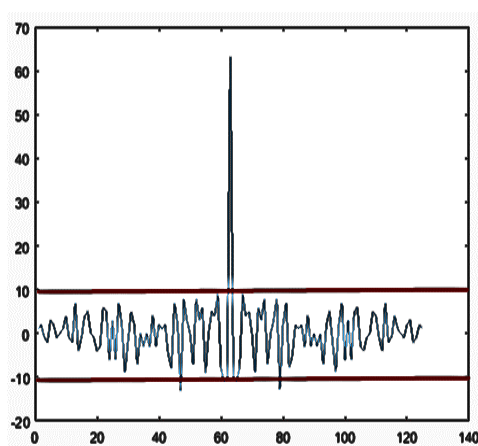
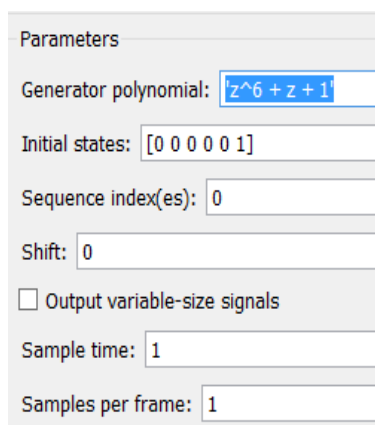
Порівняння проводилося за критерієм відсотка втрат пікового значення АКФ при компенсації рівня шумів різних значень SNR (dB) (Signal-to-Noise Ratio). Ефективність різних видів ШПС оцінювалася за критерієм втрати піку АКФ синхроімпульсу

де L_0 - рівень порога при безпомилковому прийомі (табл.1), A – амплітуда імпульсу синхронізації, що дорівнює довжині коду.

$$\Delta P(\%) = P_{\text{Bar/Kas/Gold}}(\%) - P(\%), \quad (2)$$

Рис. 1. Нова композитна послідовність
Баркера 49 (7x7), (D7xA7: C7xB7)

Рис. 2. Нова композитна послідовність Баркера 77а (7х11), (С11 х В7; D11 х А7)



-1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1
-1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1
1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 -1
1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1
-1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1
1 1 -1 -1

Рис. 3. Послідовність
Касамі 63

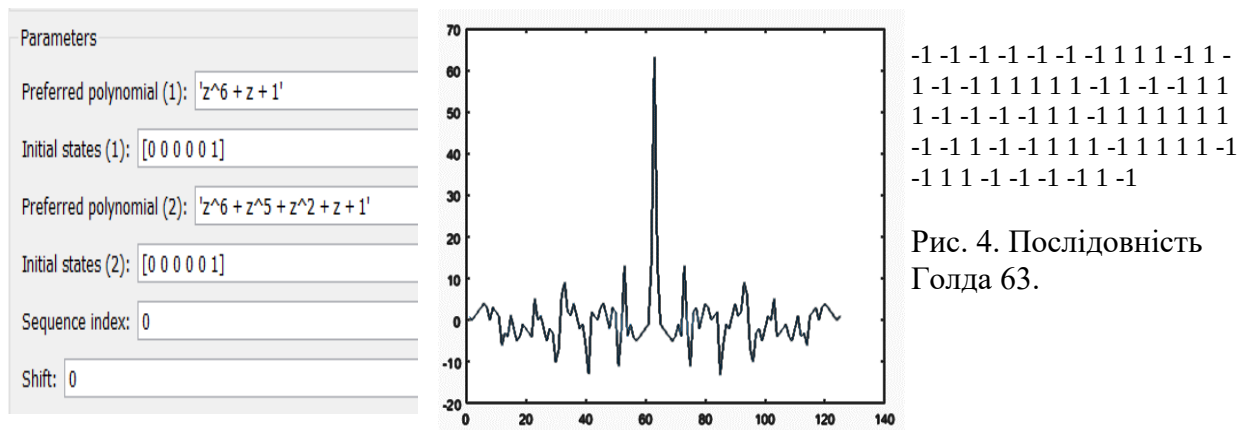


Рис. 4. Послідовність Голда 63.

Тестування проводилося в режимі «без поділу трактів» для нових композитних кодів 77а (11x7 і 49(7x7), послідовностей Касамі 63 (утворюючий поліном $z^6 + z + 1$, початковий стан регістрів за замовчуванням 000001) послідовностей Голда 63 (перший утворюючий поліном $z^6 + z + 1$ (початковий стан регістрів за замовчуванням 000001), другий утворюючий поліном $z^6 + z^5 + z^2 + z + 1$ (початковий стан регістрів за замовчуванням 000001).

Сформовані послідовності надходили на узгоджений приймальний фільтр з інтервалом в 1 такт (часові діаграми послідовностей при відсутності шумів наведені на рис. 6, 7, 8, 9). Час оцінювання 300 тактів. Результати моделювання наведені в табл. 1 і на рис. 10.

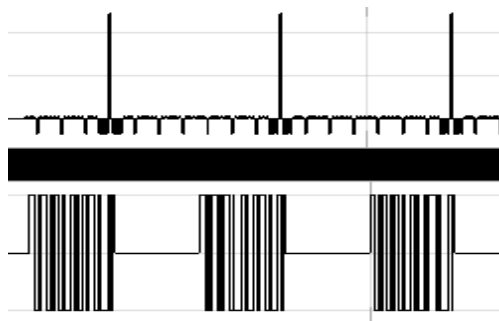


Рис. 6. Часова діаграма Баркер 49

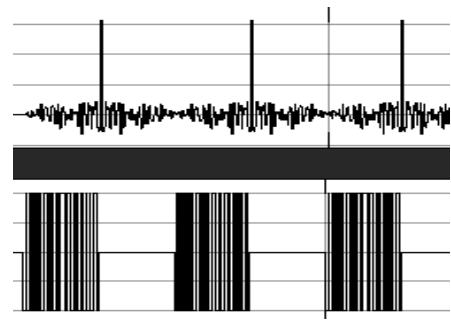


Рис. 7. Часова діаграма Касамі 63

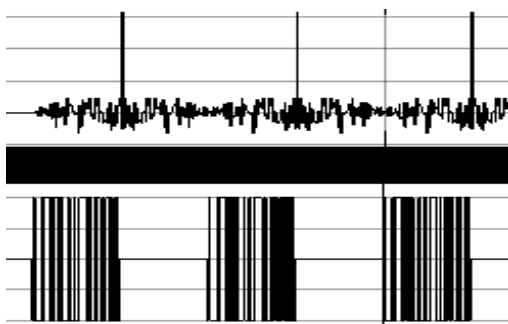


Рис. 8. Часова діаграма Голда 63

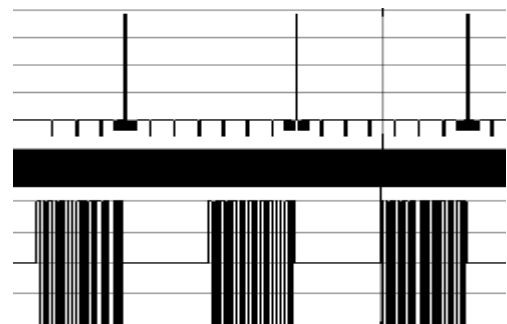


Рис. 9. Часова діаграма Баркер 77

Таблиця 1. Результати моделювання.

SNR dB	Bar-49	Kas63-1	Gold63-1	Bar-77
30	95,92%	84,13%	76,19%	96,75%
20	92,86%	81,75%	73,81%	94,16%
10	82,65%	74,60%	67,46%	85,71%
5	71,43%	65,87%	60,32%	76,62%
4	68,37%	64,29%	58,73%	74,03%
3	64,29%	61,90%	56,35%	70,78%
2	60,20%	57,94%	53,97%	68,18%
1	56,12%	54,76%	50,00%	64,29%
0	50,00%	50,00%	46,83%	60,39%

Втрати піку АКФ (%) при різних значеннях SNR (dB)

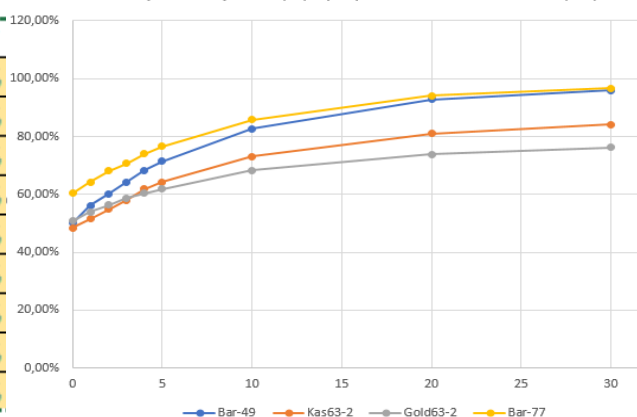


Рис. 10. Втрати піку АКФ (%) при різних значеннях SNR (dB)

Для визначення ефективності використання нових композитних кодів Баркера в якості синхроімпульсів необхідно було, з одного боку, порівняти їх з послідовностями Касамі і Голда, а з іншого, в якості інформаційних сигналів вибрати такі, які створювали б для них найбільший рівень завад.

Моделювання в середовищі MatLab показало, що нові композитні послідовності Баркера 49 і 77 більш стійкі до завад в порівнянні з Касами-63 і Голд-63. Це можна пояснити меншим позитивним бічним викидом АКФ композитних послідовностей (+1). У Касамі-63 та Голд-63 позитивні викиди АКФ складають відповідно +9,5 та +14,5. З цієї ж причини Касамі-63 більш завадостійка послідовність, ніж Голд-63.

Література

1. Barker, R. H. "Group Synchronizing of Binary Digital Sequences". Communication Theory. London: Butterworth. pp. 273–287.
2. Волынская А.В. Результаты математического моделирования процесса поиска кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами // Вестник УрГУПС: Науч.-техн. журнал. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – № 3–4. – С. 64–71.
3. Волынская А.В., Калинин П.М. Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики // Fundamental Research №11, 2012. – С.922–926.
4. Maksymov V., Khrapovitsky I. Research of composite Barker codes // The scientific heritage, № 48 (2020), P.1, p.p. 15–22.
5. Максимов В.В., Храповицкий И.А. Нові композитні коди Баркера // The scientific heritage, № 49 (2020), P.1, с.с. 29 – 35;
6. Volodymyr Maksimov, Ihor Khrapovitsky New composite Barker codes in the synchronization system of broadband signals // Information and Telecommunication Sciences, 2020, Number 2, p.p. 24–30.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СМО ІЗ САМОПОДІБНИМ ТРАФІКОМ

Уривський Л.О., Криклива А.В.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: leonid_uic@ukr.net, krikliwanastya@gmail.com

RESEARCH OF SERVICE INDICATORS DYNAMICS IN QUEUEING SYSTEM WITH SELF-SIMILAR TRAFFIC

In the report the dynamics of Queueing System with Self-Similar Traffic on the example of Queueing System with $Wb/M/1/\infty$ structure with Weibull distribution (Wb) for incoming flow are research. The indicators are: the average number of applications in the service system, the average time spent in service, the average waiting time in line. The obtained indicators are compared with the traditional Poussonian model of incoming traffic.

Стрімке зростання обсягу користувачів трафіку, зміна його структури та характеру, значне збільшення пропускної спроможності може сприяти можливим перевантаженням об'єктів мережі, їх буферних пристроїв і, відповідно, призвести до затримок і втрат пакетів. Тому при обслуговуванні пакетного трафіку особлива увага приділяється підтримці характеристик якості обслуговування QoS (Quality of Service).

Новою тенденцією моделювання СМО в останні роки стала дослідження систем не з незалежними потоками заявок (як при використанні традиційної Пуассонівської моделі), а при допущення про корельованість потоків в загальному трафіку. Цей випадок класифікується як самоподібність трафіку.

Незважаючи на тривалий період вивчення самоподібності телетрафіку, залишається невирішеним значний клас завдань:

- 1) фактично відсутня строга теоретична база, яка пришла б на зміну класичної теорії телетрафіку при проектуванні сучасних мереж мобільного зв'язку, які використовують самоподібний трафік;
- 2) відсутня єдина загальновизнана модель самоподібного трафіку;
- 3) відсутня достовірна й визнана методика розрахунку характеристик якості QoS для систем і мереж, що обслуговують самоподібний трафік;
- 4) відсутні механізми й алгоритми, що забезпечують якість обслуговування в умовах самоподібного трафіку [1].

Метою роботи є дослідження показників якості обслуговування СМО з різними вихідними характеристиками, аналіз характеристик якості обслуговування при порівнянні кількісних характеристик при різних параметрах СМО задля виявлення особливостей СМО із властивістю самоподібності.

Для отримання функціональних залежностей і оцінки характеристик функціонування мережі, **хмарне середовище** розглядають, як сукупність

мереж масового обслуговування, що складається з систем масового обслуговування.

Кожна СМО описується заданим видом потоку запитів, тривалістю обслуговування, кількістю обслуговуючих каналів і дисципліною обслуговування.

Важливою властивістю пуассонівського потоку подій є те, що час між двома послідовними подіями є випадкова величина, розподілена по експоненціальному закону [2, 3]:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

де $\lambda > 0$ – інтенсивність потоку.

І функціональною характеристикою є коефіцієнт навантаження ρ :

$$\rho = \lambda \cdot t \quad (2)$$

де λ – інтенсивність надходження заявок в СМО,

$\tau = 1/\mu$ – середня тривалість обслуговування заявок в СМО,

μ – інтенсивність обслуговування заявок в СМО.

Для аналізу параметрів обслуговування в **хмарному середовищі** використовується СМО з розподілом Пуассона і з розподілом Вейбулла, який описує самоподібність при різних параметрах Херста (H), так як даний параметр визначає ступінь самоподібності.

Враховуючи суттєві можливості хмарного середовища накопичувати інформацію для наступної її обробки, розглянемо модель трафіку, яка відповідає одноканальну СМО з нескінченною чергою зі структурою $M / M / 1 / \infty$.

Визначимо показники якості обслуговування для випадку **пуассонівського потоку** надходження заявок та їх обслуговування.

Отримане значення коефіцієнта навантаження ρ дозволяє визначити основні функціональні характеристики СМО, користуючись відомими формулами Літтла [4]:

- середня кількість заявок Q в СМО (на обслуговування і в черзі):

$$Q = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (3)$$

середня довжина черги, тобто заявки, які очікують на обслуговування:

$$L = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (4)$$

середній час перебування $W_{\text{сист}}$ заявки в системі:

$$W_{\text{сист}} = \frac{1}{\mu \cdot (1 - \rho)} \quad (5)$$

середній час очікування в черзі $W_{\text{оч}}$, яке визначається затримкою заявки в черзі і залежить від кількості заявок в черзі [23]:

$$W_{\text{оч}} = \frac{\rho}{\mu \cdot (1 - \rho)} \quad (6)$$

В разі, коли до хмарного середовища надходять залежні за часом (корельовані) заявки ,доцільно використати відповідну модель із вхідним

поток. Який відповідає розподілу Вейбулла.

Розглянемо СМО виду $Wb/M/1/\infty$ (СМО обслуговує потік заявок, який описується розподілом Вейбулла (Wb), час обслуговування має експоненціальний розподіл (M), СМО одноканальна з нескінченною чергою), тобто розподіл Вейбулла, заданий диференціальною функцією розподілу [3, 5]:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \cdot \beta \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta \cdot x^\alpha}, & x \geq 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

де α – параметр форми кривої розподілу, $0 < \alpha < 1$;

$$\alpha = 2 - 2 \cdot H \quad (8)$$

H – параметр Херста, $0,5 < H < 1$,

$$\beta = \left[\lambda \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]^\alpha \quad (9)$$

β – параметр розподілу, $\beta > 0$,

λ – інтенсивність надходження пакетів на обслуговування в СМО,

$\Gamma(k)$ – гамма-функція Ейлера.

Відомо, що для СМО $Wb/M/1/\infty$ ймовірність того, що заявка, яка надійшла, застане в СМО n заявок на обслуговуванні, визначається як [5]:

$$r_n = (1 - \sigma) \cdot \sigma^n \quad (10)$$

де σ – корінь рівняння $0 \leq \sigma < 1$,

$$\sigma = F(\mu - \mu \cdot \sigma) \quad (11)$$

де F – перетворення Лапласа-Стільтєса (ПЛС);

μ – інтенсивність обслуговування пакетів в СМО [заявок/час, пак/с].

– середній час очікування $W_{оч}$ заявки в черзі:

$$W_{оч} = \frac{\sigma}{\mu(1 - \sigma)} \quad (12)$$

де μ – інтенсивність обслуговування заявок у СМО;

– середній час перебування $W_{сист}$ заявки в системі:

$$W_{сист} = \frac{\rho \cdot \sigma}{\mu \cdot \lambda(1 - \sigma)} \quad (13)$$

– середня кількість заявок Q :

$$Q = \frac{\rho \cdot \sigma}{\mu(1 - \sigma)} \quad (14)$$

де ρ – коефіцієнт завантаження СМО;

– середня довжина черги L заявок дорівнює:

$$L = \frac{\rho \cdot \sigma}{1 - \sigma} \quad (15)$$

Для порівняння параметрів пуассонівської версії трафіку ($H = 0,5$) та самоподібного вхідного потоку ($H = 0,6$ та $H = 0,7$) розрахункові значення згідно співвідношень (3) – (6) та (12) – (15) зведено до Таблиці 1.

Таблиця 1. Розрахункові значення для порівняння параметрів.

Коефіцієнт завантаження СМО, ρ	0.8	0.7	0.64	0,6	0.5	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45
Середній час перебування заявки в системі, $W_{\text{сист}}$										
$H = 0,5$	6,67	3,33	2,22	1,67	1	0,87	0,769	0,686	0,617	0,56
$H = 0,6$	9.403	3.131	1.544	0.91	0.348	0.265	0.207	0.165	0.134	0.111
$H = 0,7$	14.99	5.024	2.481	1.479	0.575	0.436	0.341	0.273	0.224	0.185
Середній час очікування, $W_{\text{оч}}$										
$H = 0,5$	5,33	2.33	1.42	1	0.5	0.43	0.37	0.33	0.228	0.225
$H = 0,6$	7.052	3.132	1.930	1.366	0.696	0.594	0.517	0.457	0.409	0.372
$H = 0,7$	11.245	5.024	3.102	2.219	1.150	0.980	0.854	0.755	0.679	0.616
Середня кількість заявок, Q										
$H = 0,5$	4	2.33	1.78	1.5	1	0.96	0.92	0.9	0.87	0.86
$H = 0,6$	5.642	2.192	1.235	0.819	0.348	0.291	0.248	0.214	0.188	0.167
$H = 0,7$	8.996	3.517	1.985	1.331	0.575	0.48	0.409	0.355	0.313	0.277
Довжина черги заявок, L										
$H = 0,5$	3.2	1.63	1.137	0.9	0.5	0.47	0.44	0.42	0.39	0.37
$H = 0,6$	4.231	2.193	1.544	1.229	0.696	0.655	0.621	0.591	0.565	0.543
$H = 0,7$	6.747	3.517	2.482	1.997	1.15	1.08	1.023	0.976	0.938	0.901

Відповідні графічні залежності представлено на рис.1 – 4.

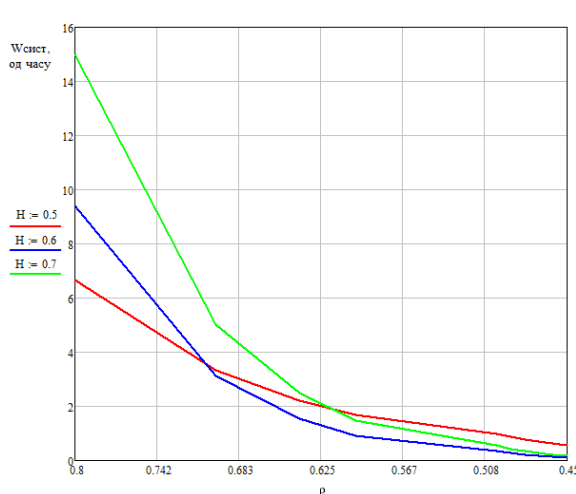


Рис. 1. Середній час перебування заявки в системі при різних значеннях параметру Херста.

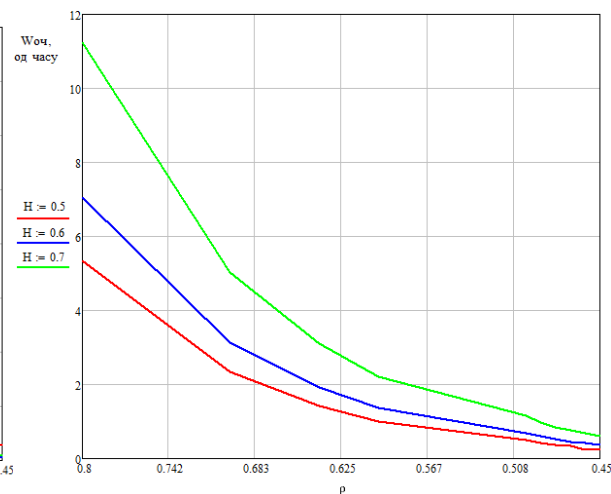


Рис. 2. Середній час очікування заявки при різних значеннях параметру Херста.

Розглянемо першу із залежностей – середнього часу перебування заявки в системі $W_{\text{сист}}$, як функції інтенсивності вхідного потоку (коефіцієнт завантаження СМО) ρ , в залежності від ступеня самоподібності трафіку.

Характер наданої залежності такий, що розбіжність в показниках зростає по мірі зростання інтенсивності вхідного потоку та, одночасно, фактору самоподібності.

При значенні $\rho = 0,8$ и $H = 0,7$ розбіжність в значенні $W_{\text{сист}}$ сягає 230% (!!).

Кількісно це еквівалентно похибки у визначенні показників функціонування СМО при використанні традиційних, Пуассоновських моделей [2].

Отже, в разі використання традиційних моделей СМО для прогнозування показників якості обслуговування в СМО із ознаками самоподібності трафіку похибка може сягати значних значень!

По аналогії із попередньою залежністю, при значенні $\rho = 0,8$ и $H = 0,7$ розбіжність в значенні середнього часу очікування заявки $W_{Oч}$ сягає 200% (!).

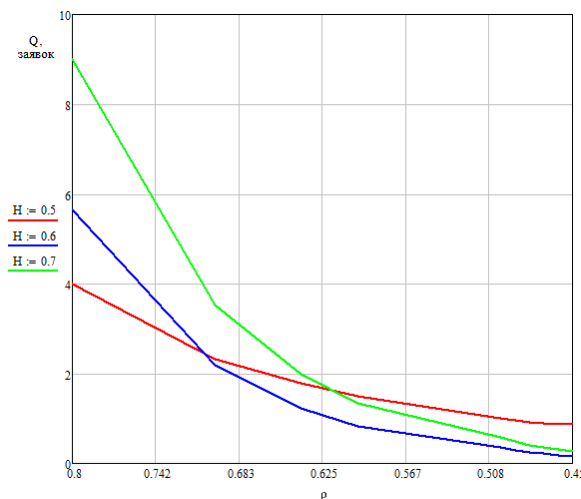


Рис. 3. Середня кількість заявок при різних значеннях параметру Херста.

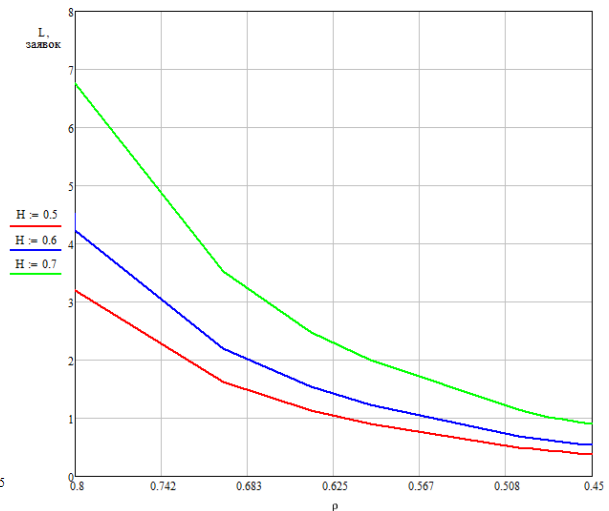


Рис. 4. Довжина черги заявок при різних значеннях параметру Херста.

При значенні $\rho = 0,8$ и $H = 0,7$ розбіжність в значенні середньої кількості заявок $Q_{заявок}$ сягає 225% .

При значенні $\rho = 0,8$ и $H = 0,7$ розбіжність в значенні довжини черги заявок $L_{заявок}$ сягає 220%.

Тому, отримавши графіки (рис, 1 – рис.4), можна зробити загальний висновок, що. якщо не враховувати кількісну характеристику ступені самоподібності трафіку, тобто параметр Херста H , то неможливо адекватно представити характеристики для задоволення якості обслуговування в хмарному середовищі.

Отже, важливою умовою дослідження є використання розподілу Вейбулла, яке асимптотично ($H = 0,5$) прагне до розподілу Пуассона, а при збільшенні значення параметру Херста H , адекватно відображає властивості СМО із самоподібністю. Жоден інший розподіл не надає такої можливості опису СМО із самоподібністю, тому що не має властивості асимптотичного прагнення до математичних властивостей розподілу Пуассона.

Висновки. В доповіді методики знаходження значень параметрів якості обслуговування в СМО досліджено за допомогою формул Літтла, який є одним із основоположників теорії масового обслуговування.

Важливим моментом для аналізу параметрів щодо забезпечення якості обслуговування в СМО є використання властивості самоподібності, що визначає більш точні значення показників у порівнянні з аналізом параметрів при найпростішому потоці подій.

Для аналізу параметрів обслуговування в хмарному середовищі використовується СМО з розподілом Пуассона і з розподілом Вейбулла, який описує самоподібність при різних параметрах Херста (H), так як даний параметр визначає ступінь самоподібності.

Параметр Херста розглядається в діапазоні значень від 0,5 до одиниці. Чим ближче H до одиниці, тим більше проявляється властивість самоподібності.

Математична модель із розподілом Вейбулла асимптотично прагне до розподілу Пуассона при значенні коефіцієнта Херста $H = 0,5$.

При зростанні параметру Херста зростають значення розглянутих показників якості обслуговування, а саме: середній час перебування заявок в системі, середній час очікування, середня кількість заявок в СМО і довжина черги заявок.

Отже, в разі ігнорування фактору самоподібності система не буде відповідати очікуваним параметрам, що може призвести до суттєвої помилки у визначенні кількісних значень характеристик СМО, необхідних для забезпечення потрібної якості обслуговування користувачів.

Література

1. I.Strelkovskaya, I. Solovskaya, A. Makoganiuk, A. Balyk. Research of the quality characteristics of self-similar traffic of a mobile communication network on the basis of software release / International Research Journal. Information and telecommunication sciences: Volume 11 Number 2(21) July-December, 2020. – p. 51-57.
2. Giambene G. Queuing Theory and Telecommunications: Networks and Applications/ Giovanni Giambene. –Springer, 2014. – 516 p.
3. Kleinrock L. Queueing Systems: Problems and Solutions / Leonard Kleinrock. –Wiley-Interscience, 1996. – 240 p.
4. Little, J.D.C. (1961): A Proof for the Queueing Formula $L = \lambda W$. Operations Research, Vol. 9 (1961), – pp. 383–387.
5. Стрелковская И.В., Григорьева Т.И., Соловская И.Н. Обслуживание самоподобного трафика в СМО G/M/1 с распределением Вейбулла / Известия ВУЗов. Радиоэлектроника, 2018, т.61, № 3. – с.173 – 178.

ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ 5G ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СЕРВІСІВ

Тимофеев Є.М., Носков В.І.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: timofeevzh@gmail.com, nvi2010@ukr.net

5G TRANSPORT NETWORK FEATURES FOR MODERN SERVICES IMPLEMENTATION

This report is devoted to modern concepts and services of the 5G cellular network (IMT-2020). Main requirements and possible variants for 5G-transport network are present in order to provide these services.

Доповідь присвячена новітній концепції та сервісам мережі мобільного зв'язку 5G (IMT-2020). Представлені основні вимоги та концептуальні підходи до побудови транспортної мережі мобільного зв'язку 5G для забезпечення цих сервісів.

В сучасному світі зростання трафіку і доходів все очевидніше відбувається не стільки в секторі пристроїв, що належать людям, а, насамперед, в секторі інтернету речей. Кількість таких пристроїв стрімко зростає і майже всі з них потребують бездротового з'єднання.

Тому метою створення мобільних мереж 5G було значне розширення функціоналу мереж попередніх поколінь для забезпечення функціонування існуючих сервісів і відкриття можливостей для реалізації найновітніших та перспективних сервісів, зокрема Інтернету речей (IoT). Розширення функціоналу відбувалось у трьох основних напрямках [1]:

1. Вдосконалення мобільного широкосмугового доступу (EMBB);
2. Забезпечення наднадійного з'єднання з низькою затримкою (ULLRC);
3. Забезпечення функціонування масивних міжмашинних комунікацій (Massive IoT/IIoT, mMTC).

На основі цих видів функціоналу будується все різноманіття послуг та мереж, найбільш характерні з них показані на рис. 1.

Значно збільшена швидкість передачі для кожного мобільного пристрою і може сягати до 100 Мбіт/с. При цьому пікова швидкість базової станції становить до 20 Гбіт/с. Це досягається за рахунок використання більш високочастотних діапазонів та новітніх радіотехнологій доступу. Такі швидкості достатні не тільки для домашніх користувачів, а й для підприємств.

Забезпечується ефективне функціонування сервісів IoT, таких як розумний будинок, розумне місто. Основні сервіси розумного міста: Безпечне місто, електронний уряд (e-Government), електронна охорона здоров'я (e-Health), електронна освіта (e-Education), електронний банкінг (e-Bank), автоматизований збір показників лічильників послуг ЖКГ (Smart Meters), «розумні електромережі» (Smart Grid), керування дорожнім рухом та інші.

Мережа 5G відкриває широкі можливості по використанню хмарних обчислень: сховища даних, створення та керування прикладними програмами, а також в сфері промислової автоматизації (IIoT – Industrial Internet of Things).

Мережі 5G забезпечують активний розвиток таких напрямків, як електронна медицина, сільське господарство, безпілотний транспорт, додана та віртуальна реальність (AR/VR).



Рис. 1. Характерні види сервісів мережі 5G

Для забезпечення вищезазначених сервісів мобільна мережа 5G повинна мати ключові показники, що наведені на рис. 2. Також на цьому рисунку для порівняння показані показники мережі 4G (IMT-Advanced) [2].



Рис. 2. Ключові показники мережі 5G.

В структуру 5G входять три частини: мережа радіодоступу, транспортна мережа та опорна мережа.

Мережа радіодоступу для забезпечення потрібної високої перепускної здатності використовує діапазони надвисоких частот, впритул до міліметрового діапазону, Massive MIMO, а також високу щільність розміщення базових станцій (радіус соти може бути декілька сотень метрів). Оскільки базових станцій потрібно мати велику кількість, то для зменшення вартості мережі радіодоступу функціонал базової станції зводиться практично до фізичного рівня. Таким чином, базова станція представляє собою невеличкий модуль, що встановлюється на щоглі та інтегрується з антеною. Для передачі даних між базовими станціями та опорною мережею створюється транспортна мережа, яка відповідно до рішень 3GPP та ITU-T розподілена на три транспортних сегмента: Fronthaul, Middlehaul та Backhaul (рис. 3).

Транспортна мережа відіграє значну роль в забезпеченні потрібної мінімальної затримки та значної перепускної здатності. Дуже важливим і складним сегментом транспортної мережі є саме Fronthaul, який з'єднує віддалені радіомодулі RRU та

розподільчі модулі gNB-DU [2]. В сегменті Fronthaul доцільно використовувати пакетні технології, такі як Ethernet. Це дає можливість використовувати алгоритми пріорітезації трафіку. Питання синхронізації в мережі вирішується за рахунок використання протоколу SyncE.

На фізичному рівні у якості технологій транспорту можливо використовувати темні волокна, WDM, PON, а також радіорелейні лінії (Microwave Link).

Що стосується каналного рівня, то для забезпечення жорстких вимог по затримці та недопущенню втрат пакетів при перевантаженні, потрібно використовувати технологію TSN Ethernet (Time Sensitive Networking Ethernet). Для надійності функціонування та діагностичних потреб потрібно, щоб була реалізована Link-OAM та Ethernet-OAM функціональність. Ще одним, та на наш погляд найбільш привабливим варіантом побудови Fronthaul є використання технології оптичних транспортних мереж (OTN) зі спрощеною схемою інкапсуляції Ethernet-фреймів. Це забезпечує відмінну керованість мережею та високу надійність на операторському рівні, а виключення не потрібних для Fronthaul службових полів в ODU та OTU значно зменшує затримки.

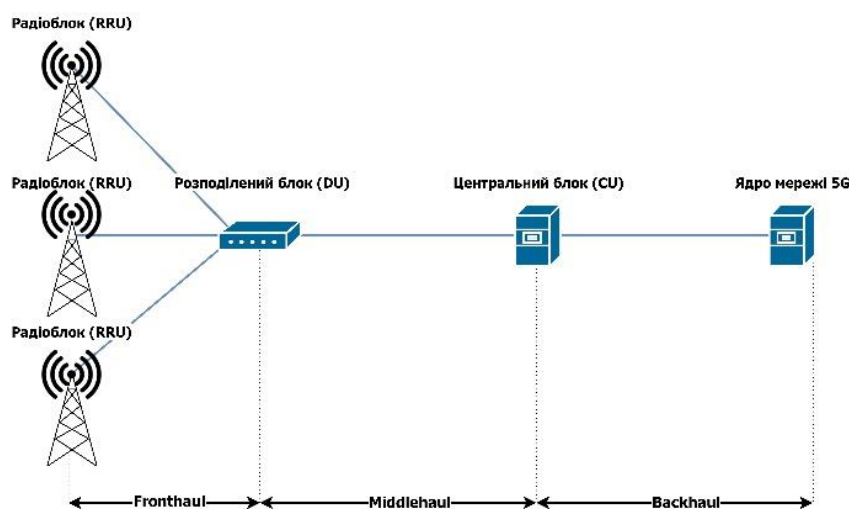


Рис. 3. Структура транспортної мережі 5G.

Сегмент, що зв'язує gNB-DU- та gNB-CU-компоненти базової станції, утворює Middlehaul. Вимоги тут менш жорсткі, ніж між DU та RRU, оскільки, на відміну від DU, де має місце обробка даних реального часу, у центральному модулі CU реалізовані лише офлайн-алгоритми.

Транспортне обладнання Backhaul поєднує стільники між собою і через метросегмент доставляє їх трафік до магістрального ядра мережі. Найбільш перспективною технологією Backhaul однозначно залишається стек Ethernet/OTN, що забезпечує максимальну пропускну здатність та надійність з'єднань [3].

Таким чином, в доповіді розглянуто основні можливості мережі 5G для забезпечення сучасних і перспективних сервісів. Показано, що важливим елементом мережі 5G є транспортна мережа, яка складається з трьох сегментів, де найбільш складним з них є Fronthaul. В якості стека технологій для сегментів Backhaul та Fronthaul доцільніше обрати стек Ethernet/OTN.

Література

1. 5G Пятое поколение мобильной связи // Tadviser. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.tadviser.ru/a/270048>.
2. Транспортная сеть для 5G // COMNEWS. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.comnews.ru/content/120355/2019-06-24/transportnaya-set-dlya-5g-vladimir-starovатов-glavnyy-ekspert-fiksirovannogo-shpd-huawei-evraziya>.
3. Huawei Technologies Co. 5G Transport Networks White Paper: Heavy Reading Operator Survey & Analysis. 2019.

УДК 621.396

**ТЕРАГЕРЦОВІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ
ДЛЯ ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ВИСОКОЇ (HDTV) ТА
НАДВИСОКОЇ ЯКОСТІ (UHDTV)**

Авдєєнко Г. Л., Сливка А.Р.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського

E-mail: djang02006@ukr.net, aslivka61@gmail.com

**TERAHERTZ COMMUNICATIONS SYSTEMS
FOR HIGH-DEFINITION AND ULTRA-HIGH-QUALITY (HDTV)
TELEVISION BROADCASTING (UHDTV)**

The advent of high-definition and ultra-high-quality video formats, and the growing volume of accumulated and transmitted data donate led to the demand for better throughput and data rate wireless communications. It is indicated that using the THz frequency band for wireless communications is the most rational approach. This report analyzes current advancements in implementing and deploying photonic-based terahertz (THz) communication systems.

Сучасні тенденції розвитку мереж наземного цифрового телебачення передбачають обмін великим обсягом даних. Дану потребу можливо вирішити, використовуючи послуги оптоволоконних мереж, які забезпечують гігабітні швидкості обміну даних в багатьох частинах світу. Але, беручи до у ваги той факт, що прокладання лінії оптоволоконного доступу не завжди є можливим або економічно рентабельним, постає питання розробки та використання безпроводових телекомунікаційних систем (мереж), які б могли задовольнити аналогічні потреби. Відповідно до закону Едхольма [1] про зростання швидкості передачі даних у бездротових лініях зв'язку, в найближчому майбутньому знадобляться швидкості в десятки та сотні Гбіт/с – не менше 24 Гбіт/с для трансляції телевізійних даних з надвисокою роздільною здатністю (UHDTV) та 100 Гбіт/с для підтримки 100G Ethernet. Одним із рішень цієї проблеми є використання терагерцового діапазону частот.

Отже, метою роботи є обґрунтування та опис можливого варіанту технічної реалізації бездротової системи передачі ТВ сигналів у терагерцевому діапазоні частот.

Згідно рекомендації міжнародного союзу електрозв'язку IEEE 802.15 ТГц-діапазоном прийнято вважати частоти від 300 ГГц до 3 ТГц (діапазон довжин хвиль від 1 до 0,1 мм), але в загальному випадку цей діапазон займає частоти від 100 ГГц до 3 ТГц (рис.1) [2].



Рис.1. «Місце» терагерцового діапазону в електромагнітному спектрі.

В порівнянні з ближнім ІЧ-діапазоном частот ТГц-діапазон має ряд переваг. По-перше, ТГц сигнали мають менше, порівняно з ІЧ-сигналами, ослаблення за тих самих погодних умов - наприклад, при тумані. По-друге, амплітудно-фазові флуктуації, що спричинені локальними змінами показника заломлення атмосфери, також практично не впливають на поширення ТГц-випромінювання, але обмежують застосування систем на основі ІЧ-випромінювання. Описані переваги характерні для частот, що потрапляють у вікна прозорості атмосфери, а саме в діапазонах 75-100; 110-150; 200-300 та 600-700 ТГц. При таких широких доступних смугах частот навіть при застосуванні найпростішої амплітудної модуляції можуть бути досягнуті швидкості передачі даних у десятки Гбіт/с [3]. Також особливістю даного діапазону частот є вузька спрямованість променя антени, що дозволяє розміщати велику кількість станцій без взаємної інтерференції між ними. Однак у освоєнні цієї смуги частот є певні проблеми, а саме, технологія генерації, прийому та обробки сигналу даних відрізняється від методів, які використовуються при роботі з вже відомими смугами частот. Також, наразі, однією із проблем є менша кількість теоретичних відомостей про терагерцовий спектр хвиль та його випромінювання у порівнянні з мікрохвильовим та інфрачервоним. Тому розвиток і освоєння ТГц-діапазону спирається на можливості радіоелектронних пристроїв для генерації, обробки та детектування сигналу [4].

В залежності від використаних компонентів, усі ТГц-системи можливо умовно поділити на *оптичні*, *електронні* та *гібридні*. Саме гібридні системи ТГц мовлення є найбільш розповсюджені. Це обумовлено тим, що поєднання саме електронних та оптичних пристроїв дає змогу досягнути рекордних швидкостей передачі даних. Практично було доведено, що генерація ТГц-сигналу на основі технологій фотоніки є більш доцільною з точки зору використання смуги частот і, більше того, дає можливість наблизитись до швидкості передачі даних у 10 Гбіт/с. Окрім цього, безумовним плюсом використання елементів фотоніки є той факт, що оптоволоконні та безпроводові комунікаційні системи можуть органічно поєднуватися за рахунок швидкості передачі даних і формату модуляції.

Узагальнена система генерації оптичного сигналу з використанням елементів фотоніки зображена на рис.2. Перш за все, оптичний сигнал генерується відповідним високостабільним оптичним джерелом з неперервним або імпульсним випромінюванням, після чого кодується електрооптичним модулятором на основі інтерферометра Маха-Цендера та конвертується в ТГц сигнал фотодіодом або фотопровідником, після чого

сигнал випромінюється у навколишнє середовище за допомогою антени. В якості генератору оптичного сигналу найчастіше застосовуються ІЧ-напівпровідникові лазери, тому невід'ємною частиною таких схем є надійні та економічно вигідні телекомунікаційні компоненти: оптичне волокно, ербієві волоконні підсилювачі та напівпровідникові лазерні підсилювачі. У разі генерації сигналів методами фотоніки оптоелектронний фотодіод або фотопровідник (оптоелектронний перетворювач), що працює на довжинах хвиль

1,3–1,55 мкм, є ключовим компонентом: разом з джерелом оптичного сигналу він визначає продуктивність передачі у відношенні пропускної здатності та потужності. З практичної точки зору фотопровідні матеріали виконують роль перемикачів, які замкнуті в структурі металевих антен, при цьому утворюються так звані фотопровідні антени. При освітленні такої структури імпульсами фемтосекундної тривалості, фотопровідний перемикач переходить з ізолюючого в провідний стан. В результаті переходу виникає короткий імпульс струму, який є джерелом ТГц-випромінювання.

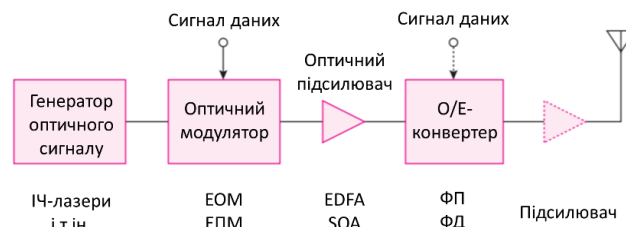


Рис.2. Загальна схема гібридної системи генерації ТГц-сигналу на основі технологій фотоніки.

Для генерації та реєстрації безперервного ТГц-випромінювання застосовують метод фотозмішування. При даному підході, генерація ТГц-випромінювання відбувається в результаті гетеродинного змішування та введення у фотопровідну структуру або фотодіод двох світлових хвиль різної частоти. На рис.3 схематично зображена реалізація даного методу за допомогою двох лазерів з довжинами хвиль, що перебудовуються. До головного недоліку даного підходу можна віднести те що поляризація, частота і фаза оптичних пучків, що вводяться, повинні бути постійними, тому необхідно вводити додатково систему фазової синхронізації.

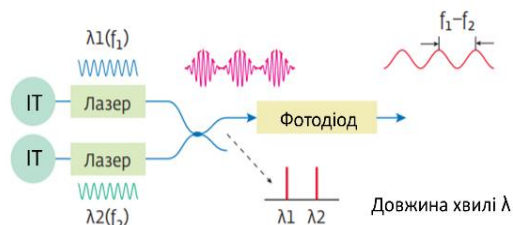


Рис.3. Схема генерації сигналу методом фотозмішування.

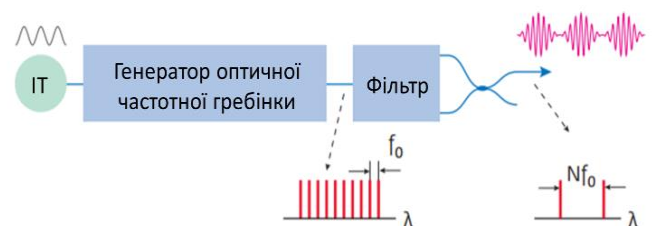


Рис.4. Схема генерації сигналу з використанням оптичної частотної гребінки.

На рис.4 зображено альтернативну схему генерації ТГц-випромінювання, яка дозволяє генерувати сигнали з низьким фазовим шумом. Ключовими компонентами є генератор оптичної частотної гребінки і оптичний фільтр. Оптичну частотну гребінку отримують або за допомогою лазерної системи із синхронізацією мод, або модуляцією безперервного пучка лазерного випромінювання. Таким чином, генеруються багаточастотні оптичні сигнали, інтервали між якими рівні міжмодовій частоті f_0 для лазерів із синхронізацією мод, причому всі моди синхронізовані по фазі. Виділення та комбінація двох мод здійснюється між модами з інтервалом Nf_0 . Основна частота f_0 зазвичай знаходиться в діапазоні від 10 до 30 ГГц, для якого оптичні модулятори та керуючі електронні пристрої комерційно доступні, і фактор множення N може досягати значень більше 50. Оскільки можлива точна перебудова f_0 за допомогою синтезованого генератора сигналу, то частота сигналу на виході може безперервно змінюватись від f_0 до Nf_0 .

Пряме та гетеродинне детектування – це основний підхід, який використовуються для детектування сигналів ТГц діапазону. В якості приймача використовують діоди з бар'єром Шоткі (ДБШ). Пряме детектування є найбільш розповсюдженим методом для виміру амплітуди або потужності ТГц сигналів. В свою чергу, гетеродинне детектування на основі змішувача ДБШ і місцевого генератора коливань надає більшу чутливість і фазову інформацію про ТГц сигнал.

Висновок. В даній роботі описані основні тенденції розвитку та підходи до побудови високошвидкісних безпроводових мереж наступного покоління. Було розкрито принципи та підходи до побудови приймальних та передавальних пристроїв ТГц діапазону, тому що даний діапазон є одним із найперспективніших для розвитку безпроводових мереж зі швидкістю передачі даних до 10 Гбіт/с. Зважаючи на все вище сказане, саме ТГц діапазон задовольняє основні технічні та економічні показники для впровадження мереж по передачі відеопотоків високої (HDTV) та надвисокої якості (UHDTV).

Література

1. Наритник Т.М. Аналіз терагерцових технологій та їх застосування для створення інноваційних розробок [Електронний ресурс] / Т.М. Наритник, А.В. Єрмаков, С.О. Бондарчук, Д.С. Вальчук // Проблеми телекомунікацій. – 2017. – № 1 (20). – С. 50 - 56. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2017/1/1/171_narytnik_terahertz.pdf
2. В.М. Исаев, И.Н. Кабанов, В.В. Комаров, В.П. Мещанов. Современные радиоэлектронные системы // Доклады ТУСУРа, декабрь 2014, № 4 (34), стр. 5-21.
3. Mandehgar M., Yang Y., and Grischkowsky D. Atmosphere characterization for simulation of the two optimal wireless terahertz digital communication links // Optics Letters. 2013. V. 38. № 17. P. 3437–3440.
4. G. Avdeyenko, T. Narytnik, A. Yermakov. The research of transmission of DVB-C television signals on the basis of the prototype of transceiver operating in the lower part of terahertz band. Information and telecommunication sciences – 2016. – Vol.7. – №2. – pp.81-90.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF TWO-RESONATOR INSET-FED PRINTED CIRCULAR PATCH ANTENNA FOR 2.4 GHZ FREQUENCY BAND

Trubarov I.V.

*Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail:trubarov.i@gmail.com*

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОРЕЗОНАТОРНОЇ ДРУКОВАНОЇ КРУГЛОЇ ПАТЧ-АНТЕНИ ІЗ ЗАГЛИБЛЕНИМ ЖИВЛЕННЯМ ДЛЯ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ 2,4 ГГц

Здійснено проектування та оптимізацію двореzonаторної друкованої круглої патч-антени діапазону 2.4 ГГц. Один резонатор є активним та збуджується мікросмужковою лінією, заглибленою в нього. Другий резонатор є пасивним та збуджується за допомогою електромагнітного зв'язку з активним резонатором. Проведено моделювання роботи антени методом скінченних елементів в діапазоні робочих частот 2.4...2.483 ГГц. В результаті оптимізації антени збільшено смугу її пропускання та покращено узгодження у смугі робочих частот. В межах робочої смуги частот КСХ розрахованої антени знаходиться в діапазоні 1...1.2.

Development of mobile communication systems increases the demand for small-size and high-performance microwave antennas. Antenna theory is a well-studied part of microwave engineering, and there are a large number of small-size antenna types and design techniques that can be used for their analysis and fabrication [1] – [3]. Nowadays, antenna design is usually an iterative procedure involving numerous simulations and optimization of its structure. Most frequently used numerical techniques for the full field simulation of antenna structures are the finite-element method (FEM) and the finite-difference time-domain method (FDTD). The comparison of the analytical model and the FEM simulation was done in [4] for a 2.4 GHz single-resonator patch antenna.

In this paper, a microstrip two-resonator circular inset-fed patch antenna for the 2.4 GHz band is designed and simulated using the finite-element method. The antenna to be designed shall operate in 2400...2483 MHz frequency range, and have low directivity as well as small size to be used in mobile ISM band communication systems, such as Wi-Fi. Thus, the operating frequency of the antenna was chosen to be $f_0 = 2442$ MHz, which is the center frequency of the operating band. Single-resonator patch antennas were considered in [4] – [5]. However, they have a resonance-like frequency response resulting in a small bandwidth. In the present research, the second passive patch was added to obtain larger operating bandwidth of the antenna. The approach for designing two-resonator patch antennas, which is used in the present research, is considered in [6] – [7].

As a substrate for the antenna, the RT/Duroid 5880 laminate was used with the following parameters: dielectric constant $\epsilon_r = 2.2$; thickness $h = 1.575$ mm; thickness of the top and bottom copper layers $t = 0.018$ mm; dissipation is defined by $\tan \delta = 0.0009$.

The design of the antenna showing the dimensions of the patches is depicted in Fig. 1. The antenna was designed so as to be fed by microstrip line. To perform the matching between the coaxial feeder and the radiating rectangular patch, the end of the coaxial probe should connect to the patch at the point at which its input impedance is equal to the characteristic impedance of the coaxial feeder.

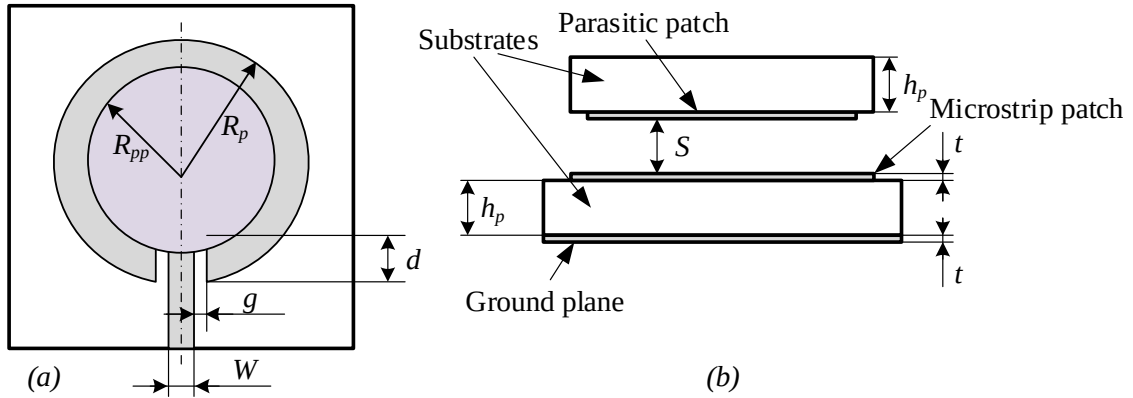


Fig.1. Dimensions of a microstrip patch antenna. (a) Dimensions of the microstrip patches. (b) Dimensions of the substrate and copper layers.

The design procedure described in [1] and [4] was used to obtain the initial values of the dimensions of the patch, which are as follows: radius of the patch $R_p = 24.6$ mm; inset distance $d = 18$ mm; notch width $g = 0.28$ mm. The width of the feeding line strip was chosen to be $W = 4.9$ mm in order to perform the characteristic impedance of the line to be $Z_0 = 50 \Omega$.

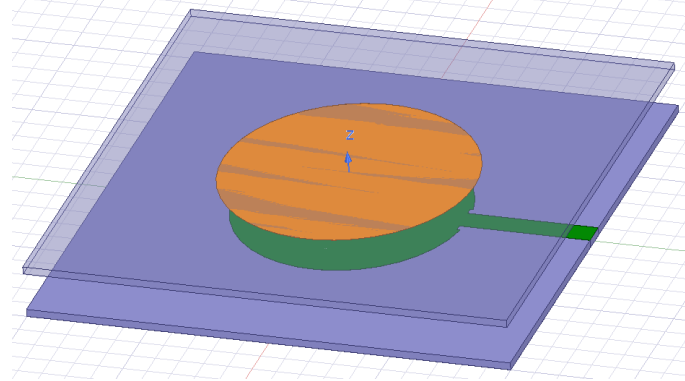


Fig.2. Model of the antenna.

As a result of the optimization procedure, the following dimensions were obtained for the antenna: $R_p = 24$ mm; $R_{pp} = 26$ mm; $d = 1$ mm; $S = 8$ mm; $g = 1.5$ mm. In Fig.3, the simulated results for the directivity diagram and the frequency responses of the antenna are shown. As it could be seen, the return loss is $RL = |S_{11}| \approx -27.2$ dB at the operating band's left bound ($f_L = 2.4$ GHz), and $RL = |S_{11}| \approx -20.5$ dB at the band's right bound ($f_R = 2.483$ GHz), and

$RL = |S_{11}| \approx -22.4$ dB at the center frequency $f_0 = 2.442$ GHz. The gain of the antenna is $G = 6.1$ dB. The polarization of the antenna is linear.

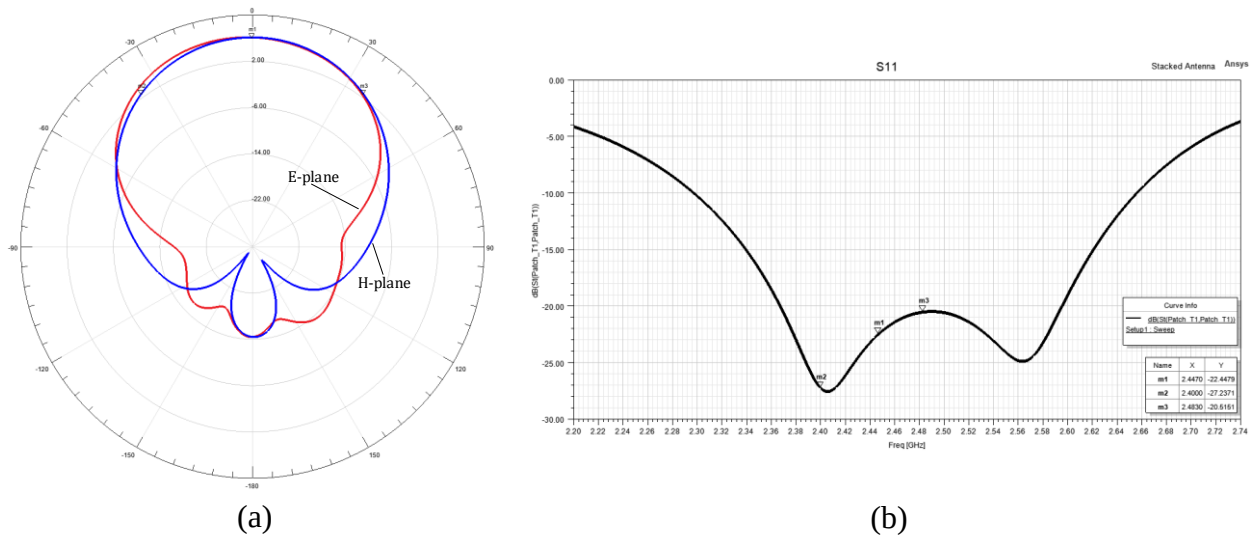


Fig.3. Characteristics of the antenna. (a) Directivity. (b) Return loss.

The antenna designed in the present research is small-sized and easily fabricated. Adding an additional parasitic rectangular patch resonator positioned next to the active resonator lead to the relatively high bandwidth of the antenna comparing with the one studied in [4]. VSWR value is less than 1.2 within the operating bandwidth 2.4...2.483 GHz.

References

1. Balanis C. A. Antenna theory: analysis and design. – John Wiley & sons, 2016.
2. Garg R. et al. Microstrip antenna design handbook. – Artech house, 2001.
3. Kumar G., Ray K. P. Broadband microstrip antennas. – Artech house, 2003.
4. Trubarov I.V. Design and optimization of microstrip patch antenna for 2.4 GHz frequency band. // XIII International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2019. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. – <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/167248>.
5. Trubarov I.V. Design and Optimization of Coaxial-Fed Circular Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XIV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2020. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020 – pp. 74 – 76. – ISSN(print)2663-502X.
6. Trubarov I.V. Design and Optimization of Two-Resonator Inset-Fed Printed Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2021. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021 – pp. 83 – 85. – ISSN(print)2663-502X.
7. Trubarov I.V. Design and Optimization of Coaxial-Fed Rectangular Two-Resonator Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2021. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021 – pp. 86 – 88. – ISSN(print)2663-502X.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF COAXIAL-FED CIRCULAR TWO-RESONATOR PATCH ANTENNA FOR 2.4 GHZ FREQUENCY BAND**Trubarov I.V.***Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail:trubarov.i@gmail.com***ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОРЕЗОНАТОРНОЇ
КРУГЛОЇ ПАТЧ-АНТЕНИ З КОАКСІАЛЬНИМ ЖИВЛЕННЯМ ДЛЯ
ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ 2,4 ГГц**

Здійснено проектування та оптимізацію двореzonаторної круглої патч-антени з коаксіальним живленням діапазону 2,4 ГГц. У якості діелектричного шару використано повітряний зазор, при цьому для кріплення елементів конструкції використано металеву стійку. Проведено моделювання роботи антени методом скінченних елементів у смузі робочих частот 2,4...2,483 ГГц. В результаті оптимізації антени збільшено смугу її пропускання за рахунок електромагнітного зв'язку між активним та пасивним резонаторами антени. В межах робочої смуги частот КСХ розрахованої антени перебуває в діапазоні 1...1,23.

Development of mobile communication systems and IoT-devices increases the demand for small-size and high-performance microwave antennas. At present, antenna theory is well-studied part of microwave engineering covering a large number of small-size antenna types and design techniques that can be used [1] – [3]. Antenna design is typically an iterative procedure involving numerous simulations to optimize its parameters.

In this paper, a circular coaxial-fed air-dielectric patch antenna for 2.4 GHz band with two patches is designed and simulated using the finite-element method. The antenna to be designed shall operate in 2400...2483 MHz frequency range, and have low directivity as well as small size to be used in mobile ISM band communication systems, such as Wi-Fi. Thus, the operating frequency of the antenna was chosen to be $f_0 = 2442$ MHz, which is the center frequency of the operating band. The design of single resonator air-dielectric patch antennas is considered in [4] – [5]. In the present research, the second parasitic resonator was added to obtain enhanced operating bandwidth. The approach for designing two-resonator patch antennas, which is used in the present research, is considered in [6] – [7].

To enhance the antenna bandwidth, the air was used as a dielectric between the ground plane and the patch. Aluminium was chosen as a material of which conducting parts of the antenna are made. Thus, the parameters of the layers are as follows: dielectric constant $\varepsilon_r = 1$; thickness $h_p = 6$ mm; thickness of the top and bottom aluminium layers $t = 0.5$ mm.

The design of the antenna with the dimensions of the patches is depicted in Fig. 1. The antenna was designed so as to be fed by coaxial line. To perform the

matching between the coaxial feeder and the radiating rectangular patch, the end of the coaxial probe should connect to the patch at the point at which its input impedance is equal to the characteristic impedance of the coaxial feeder.

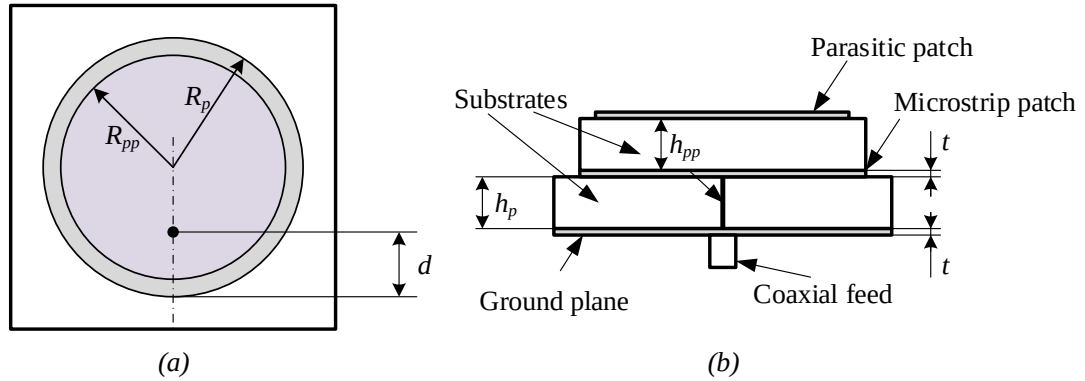


Fig.1. Dimensions of a microstrip patch antenna. (a) Dimensions of the microstrip patch. (b) Dimensions of the substrate and aluminium layers.

The design procedure described in [1] – [3] was used to obtain the initial values of the dimensions of the patch, which are as follows: Radius of the patch $R_p = 32$ mm; inset distance $d = 16.5$ mm. As a coaxial feed, the model of SMA connector was used. Thus, the inset distance should correspond to the point at which the input impedance of the patch is equal to $Z_0 = 50 \Omega$.

These values were used for preparing the 3D model of the antenna shown in Fig. 2. A parasitic resonator was added to antenna, and the whole structure was simulated using finite-element numerical method. Single-resonator patch antennas were considered in [4] – [5]. However, they have a resonance-like frequency response. Adding of additional resonator allows to increase antenna bandwidth.

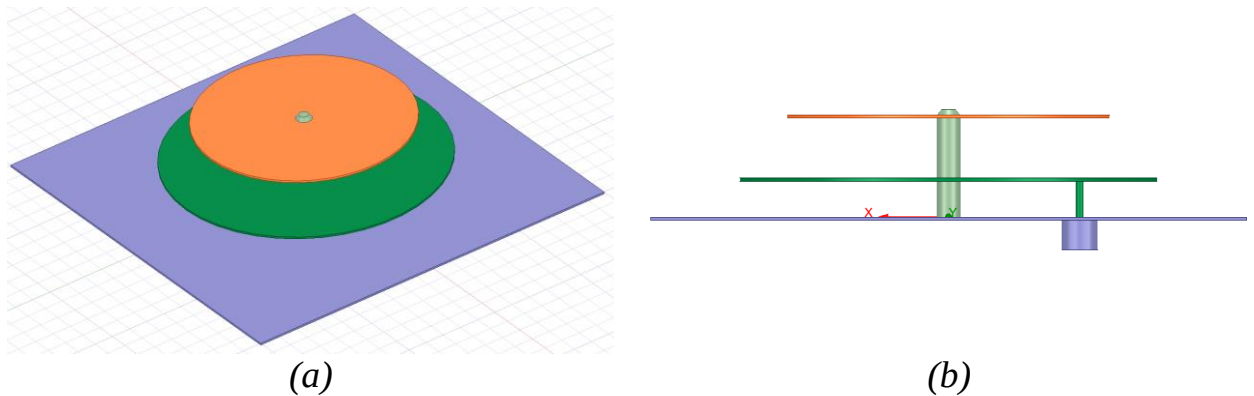


Fig.2. Model of the antenna. (a) Upper view. (b) Side view.

As the result of the optimization procedure, the following dimensions were obtained for the antenna: $R_p = 35$ mm; $R_{pp} = 27$ mm; $d = 13$ mm. In Fig.3, the simulated results for the directivity diagram and the frequency response of the antenna are shown. As it could be seen, the return loss is $RL = |S_{11}| \approx -19.5$ dB at the band's left bound ($f_L = 2.4$ GHz), and $RL = |S_{11}| \approx -29.4$ dB at the band's right bound ($f_R = 2.483$ GHz), and $RL = |S_{11}| \approx -26.3$ dB at the center frequency

$f_0 = 2.442$ GHz. The gain of the antenna is $G = 7.3$ dB. The polarization of the antenna is linear with $\mathbf{E}$ vector oriented in XZ-plane, as shown in Fig. 2.

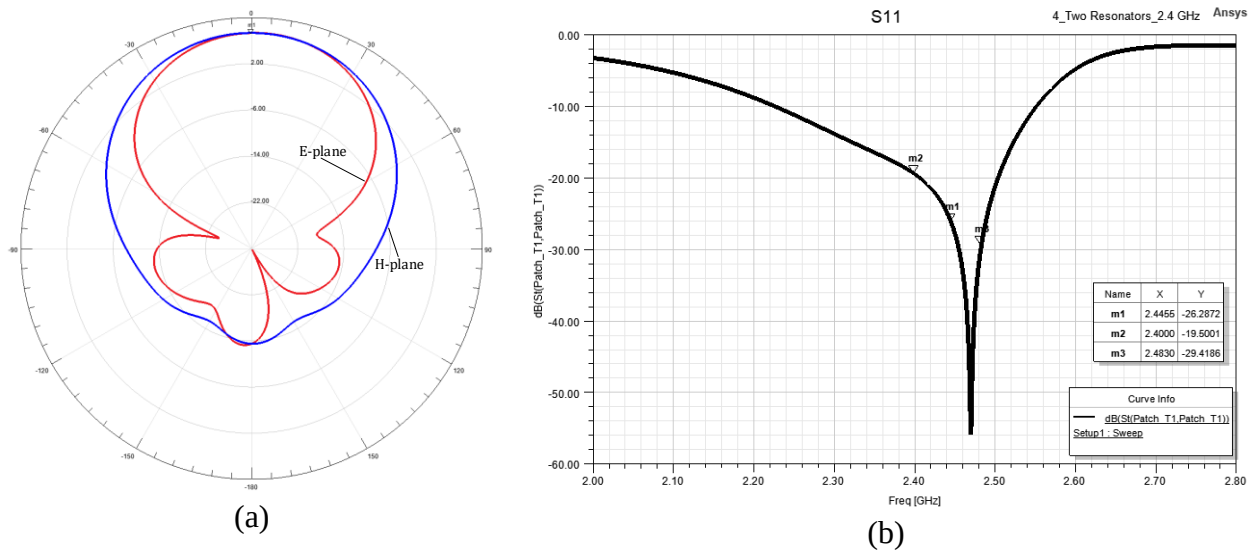


Fig.3. Characteristics of the antenna. (a) Directivity. (b) Return loss.

The antenna designed in the present research is small-sized and easily fabricated. Adding a parasitic resonator as small value of dielectric constant $\varepsilon = 1$ lead to the relatively large bandwidth of the antenna comparing with the one studied in [5]. VSWR value is less than 1.23 within the operating bandwidth 2.4...2.483 GHz.

References

1. Balanis C. A. Antenna theory: analysis and design. – John wiley & sons, 2016.
2. Garg R. et al. Microstrip antenna design handbook. – Artech house, 2001.
3. Kumar G., Ray K. P. Broadband microstrip antennas. – Artech house, 2003.
4. Trubarov I.V. Design and Optimization of Coaxial-Fed Rectangular Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XIV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2020. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020 – pp. 68 – 70. – ISSN(print)2663-502X.
5. Trubarov I.V. Design and Optimization of Coaxial-Fed Circular Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XIV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2020. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020 – pp. 74 – 76. – ISSN(print)2663-502X.
6. Trubarov I.V. Design and Optimization of Two-Resonator Inset-Fed Printed Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2021. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021 – pp. 83 – 85. – ISSN(print)2663-502X.
7. Trubarov I.V. Design and Optimization of Coaxial-Fed Rectangular Two-Resonator Patch Antenna for 2.4 GHz Frequency Band // XV International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications" MCT-2021. Conference proceedings. Kyiv. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021 – pp. 86 – 88. – ISSN(print)2663-502X.

MODELING OF TRIPLEXERS FOR OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS

Trubin A. A.

*Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: atrubin9@gmail.com*

МОДЕЛЮВАННЯ ТРИПЛЕКСЕРІВ ДЛЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Досліджено нові структури триплексерів, побудованих на системах відомих Ad-drop фільтрів з резонаторами шепочучої галереї оптичного діапазону довжин хвиль. Побудовані електродинамічні моделі триплексерів. Розраховано частотні характеристики S-матриці. Показано можливість досягнення прийнятних параметрів розсіювання.

Add-drop filters based on microcavities with whispering gallery oscillations attract close attention of researchers and developers for constructing multiplexers of various types of optical communication systems [1 - 6]. The main difficulty in describing the processes of wave scattering in Add-drop filters is the presence of a doubled number of coupled oscillations due to their degeneracy. At the same time, the indicated degeneracy of natural oscillations leads to specific scattering effects, which makes it possible to build new types of filters and multiplexers based on them. This report presents the results of studies of new types of compact triplexers for integrated circuits of optical communication systems.

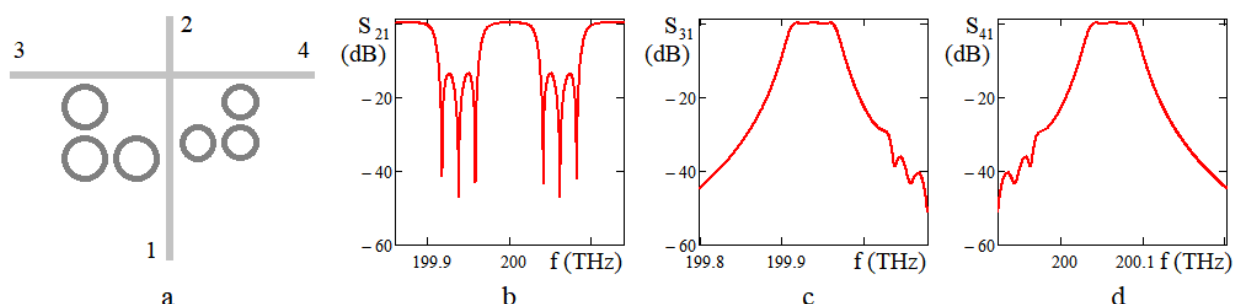


Fig. 1. The structure of the triplexer built on crossed optical waveguides and 3+3 microcavities (a). Frequency characteristic of the S-matrix (b - d) of the triplexer (a).

As follows from [7], the smallest pulse distortion occurs in filters with a sequential placement of microresonators. On the basis of the developed theory of electromagnetic modeling of Add-drop filters [8, 9], new structures of coupled microcavities for the construction of integrated triplexers are considered.

In Fig. 1 *a* shows the structure of the triplexer built on crossed optical waveguides. This triplexer consists of two Add-drop filters, each of which has an odd number of microcavities. The first bandwidth of the triplexer between ports 1-2 is formed due to the side slopes of the frequency response of the filters (Fig. 1, *b*). The second and third bandwidths are formed between ports 1-3 and 1-4 and determined by the Add-drop filters themselves. Coupling coefficients between resonators with even types of oscillations; $k_{s,s+1}^e = 2 \cdot 10^{-4}$ with odd oscillations $k_{s,s+1}^o = -2 \cdot 10^{-4}$. Coupling coefficients of microresonators with lines of resonators with even types of oscillations $\tilde{k}^e = 2 \cdot 10^{-4}$; for odd types of oscillations $\tilde{k}^o = 1,9 \cdot 10^{-4}$. Q-factor of dielectric of resonators $Q_D = 10^6$; coupling coefficients with open space $\tilde{k}_{os} = 10^{-7}$. "Center frequency" $f_0 = 200$ THz; band between center frequencies of the filters $\Delta f = 0,124$ THz. The frequency characteristics of the triplexer are shown in Fig. 1, *b* - *d*.

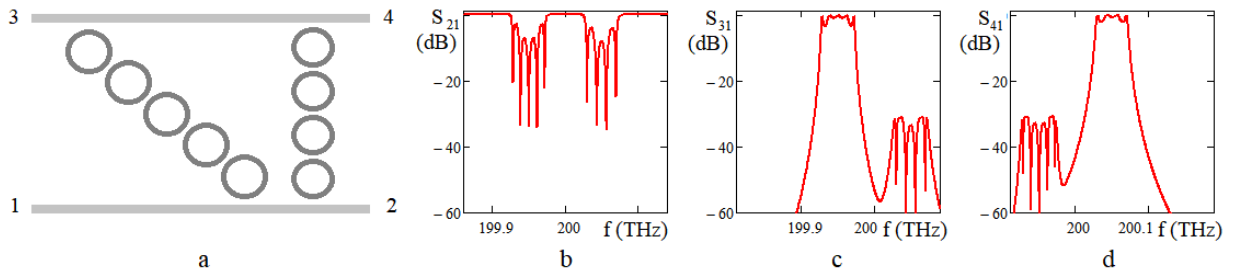


Fig. 2. The structure of the triplexer built on parallel optical waveguides and 9 microcavities (*a*). Frequency characteristic of the scattering (*b* - *d*).

In Fig. 2 *a* shows the structure of the triplexer of the second type, performed on parallel optical integrated waveguides 1-2, 3-4. It is proposed to build this type of triplexers from two Ad-drop filters containing the number of microcavities of different parity. The transmission bands of such a triplexer for 5 and 4 microcavities are shown in Fig. 2, *b*-*d*. In the simulation, it was assumed that the coefficients of mutual coupling of Add-drop filters between resonators with even types of oscillations $k_{s,s+1}^e = 1,3 \cdot 10^{-4}$; with odd fluctuations $k_{s,s+1}^o = -1,3 \cdot 10^{-4}$. Coupling coefficients of microresonators with lines for even types of oscillations $\tilde{k}^e = 9 \cdot 10^{-5}$; for odd types of oscillations $\tilde{k}^o = 8 \cdot 10^{-5}$. Q-factor of dielectric of resonators $Q_D = 10^6$; coupling coefficients of microcavities with open space $\tilde{k}_{os} = 10^{-7}$. "Center frequency" $f_0 = 200$ THz; approximate bandwidth between center frequencies of THz filters $\Delta f = 0,1$ THz.

The electromagnetic modeling of triplexers, carried out on the basis of the theory [8], showed an acceptable amount of isolation between the channels.

The bandwidths and barriers of both types of triplexers are adjusted independently of each other with a sufficiently large detuning of the bandwidth of the outer channels. The main difficulty in tuning is to achieve an acceptable crosstalk between channels. As follows from the results of the performed optimization, the frequency response of the crosstalk between channels 1-3, 1-4 of the first type triplexer (fig. 1, a) exceeds 40 dB, and the crosstalk attenuation of the second type triplexer (fig. 2, a) is about 30 dB.

A new structure of triplexers based on crossed and parallel optical waveguides is proposed. Triplexers of the first type are built on filters with an odd number of microcavities. Triplexers of the second type are built on filters with a number of microresonators of different parity. The constructed electromagnetic models of triplexers make it possible to determine in advance the number of microcavities, as well as the dimensions of the structure according to the required scattering characteristics. The proposed structures are characterized by more compact dimensions in comparison with structures of the type: one channel - one filter.

References

1. Kaz'mierczak A., Bogaerts W., Drouard E., Dortu F., Rojo-Romeo P., Gaffiot F., Van Thourhout D., Giannone D. Highly Integrated Optical 4 x 4 Crossbar in Silicon-on-Insulator Technology // *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 27, No. 16, August 15, 2009. PP. 3317 - 3323.
2. J. Heebner, R. Grover, T. Ibrahim. Optical Microresonators. Theory, Fabrication, and Applications. Springer Series in OPTICAL SCIENCES. 2008. 263 p.
3. Schwelb O. Phase-matched lossy microring resonator add/drop multiplexers // *Proceedings Volume 6343, Photonics North 2006*. 63433P. Event: Photonics North 2006, Quebec City, Canada. PP. 1 - 10.
4. Kokubun Y. Vertically Coupled Microring Resonator Filter for Integrated Add/Drop Node // *IEICE Trans. Electron.*, Vol. ESS-C, No. 3, 2005. PP. 349 - 362.
5. Chu S.T., Little B.E., Hryniewicz J.V., Johnson F.G., King O., Gill D., Chen W., Chen Wei. High Index Contrast Photonics Platform // Little Optics Division, Nomadics Inc. Proc. of SPIE. 2005. Vol. 6014 60140E. PP.1- 10.
6. Chu S.T., Little B.E., Pan W., Kaneko T., Sato S., Kokubun Y., An Eight-Channel Add-Drop Filter Using Vertically Coupled Microring Resonators over a Cross Grid // *IEEE Photonics Technology Letters*. Vol. 11, No. 6, June. 1999. PP. 691 - 693.
7. Trubin A.A. Scattering of optical pulses by add-drop filters on dielectric microresonators // *Visnyk NTUU "KPI" ser. Radiotechnique, Radioapparatus Building*. 2020. No 82. PP. 29 - 35. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.83.29-35>.
8. Trubin A.A. Electrodynamics modeling of Add-drop filters on optical microresonators // *Information and Telecommunication Sciences*, 2019, No 1, pp. 30-36. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12019.30-36>.
9. Trubin A.A. Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland, 2016, 171 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-25148-6>.

MODELING OPTICAL TOPOLOGICAL INSULATORS ON LATTICES OF COUPLED DIELECTRIC RESONATORS

Trubin A. A.

*Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: atrubin9@gmail.com*

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНИХ ТОПОЛОГІЧНИХ ІЗОЛЯТОРІВ НА РЕШІТКАХ ЗВ'ЯЗАНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ

Побудовані електродинамічні моделі складних решіток, що характеризуються властивостями топологічних ізоляторів. Досліджені матриці розсіювання. Аналізуються фізичні властивості, смуги частот, та розподіл амплітуд вимушених коливань, які обумовлюють специфічні властивості топологічних ізоляторів.

As shown by the results of studies carried out in recent years, some lattices of dielectric microcavities with whispering gallery oscillations have a number of exotic physical properties [1 - 3]. One of these unusual properties is the possibility of propagation of electromagnetic oscillations (photons) along the "surface" of the lattice. Such structures in optics and solid state physics are called topological insulators. The nature of optical topological insulators is not fully understood. To clarify the physical mechanisms of surface propagation of photons, in the proposed work an electromagnetic model of the lattice is constructed, based on the concept of degenerate oscillations of its constituent microcavities. In works [2, 3], similar effects have already been considered, but based on the use of numerical modeling methods, which does not allow judging the nature of this phenomenon. Confirmation of the effects of surface propagation of electromagnetic waves in resonators with degenerate oscillations will make it possible to speak more confidently about the possible mechanism of wave propagation in optical topological insulators of this type.

In order to clarify in more detail the properties of topological insulators, we built electromagnetic models of the currently known arrays of coupled dielectric ring resonators, shown in Fig. 1, a. It was assumed that these gratings are connected to the input 1-2 and output 3-4 optical transmission lines. First, we considered the transfer coefficients between ports 1-2, 1-3, 1-4 (Figs. 1, b), then the distribution of the amplitudes of forced oscillations of the resonators was calculated in each passband of the structure.

It was assumed that the coefficients of mutual coupling between adjacent microresonators are known; not adjacent microresonators are not coupled. In each of the microresonators, two types of degenerate natural oscillations are excited, characterized by different parity with respect to a given coordinate system. To calculate the scattered field by the lattice, we used the perturbation theory [6].

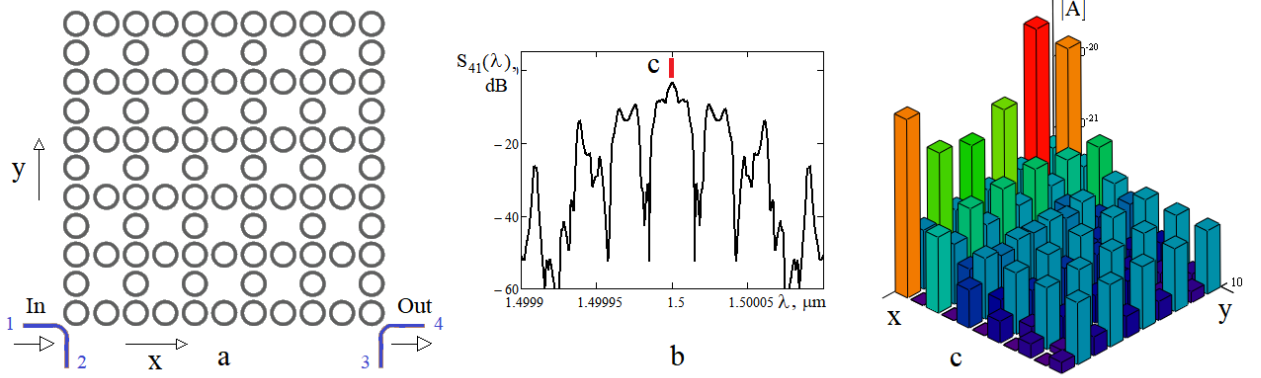


Fig. 1. Square lattice of optical microcavities with whispering gallery oscillations (a). Attenuation between ports 1 - 4 of the lattice (b). Distribution modulus amplitudes of the forced oscillations of the lattice at the central wavelength (c).

Q-factor of dielectric of resonators $Q_D = 10^{10}$; open space coupling coefficients $\tilde{k}_{os} = 10^{-6}$; coupling coefficients of microresonators with lines $\tilde{k}^e = \tilde{k}^o = 3 \cdot 10^{-4}$; mutual coupling coefficients between resonators with even types of oscillations $k_{s,s+1}^e = 5 \cdot 10^{-5}$; with odd types of oscillations $k_{s,s+1}^o = -2 \cdot 10^{-5}$.

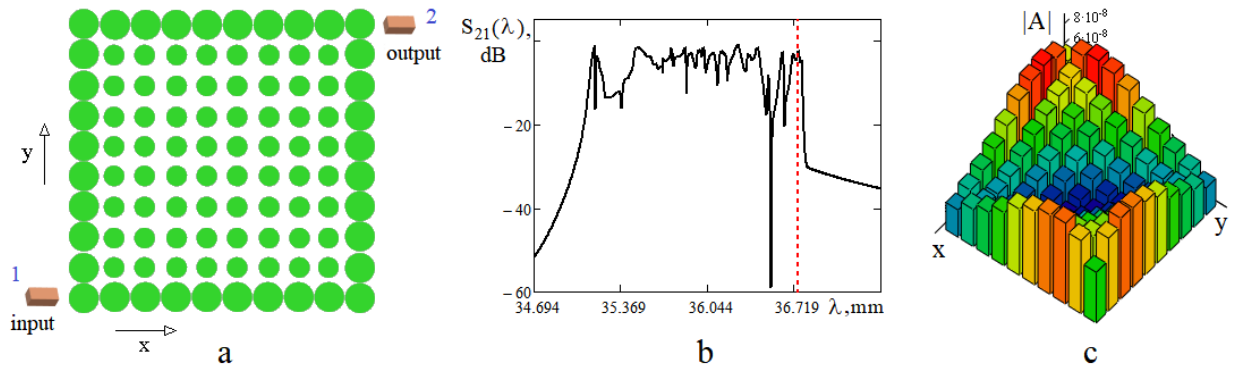


Fig. 2. Square lattice of various cylindrical DRs with main types of oscillations $H_{01\delta}$ and different compression ratios (a) ($\epsilon_{lr} = 36$; $Q_D = 10^5$; $\Delta_1 = L_1 / 2r_1 = 0,3$; $\Delta_2 = L_2 / 2r_2 = 1$; L_s - height; $2r_s$ - DR diameter ($s = 1, 2$)). Attenuation between ports 1 - 2 of the lattice (a). Distribution modulus amplitudes (c) of the forced oscillations of the lattice at the wavelength 36,72 mm (b).

The obtained simulation results showed that at the wavelength of natural oscillations $\lambda_0 = 1,5 \mu m$ shown by the red line in Fig. 1, c, the distributions of the amplitudes of the field of microcavities approximately correspond to the wave propagation characteristic of optical topological insulators (Figs. 1, c). However, already at detuning from the central transmission band, the distribution of the amplitudes of the microcavities becomes chaotic. For gratings of the considered type, the bands of surface wave propagation are relatively narrow (Figs. 1, b), but losses during surface propagation are minimal.

At present, gratings with the properties of optical topological insulators are known only with resonator vacancies at the sites (Fig. 1, a). The presence of such vacancies inside the lattice suggests its spatial inhomogeneities.

As noted earlier in [4, 5], spatially inhomogeneous lattices also have unusual electromagnetic properties, somewhat similar to those of topological insulators (see figs. 2, 3). In contrast to topological insulators, resonators of spatially inhomogeneous lattices can also exhibit no degenerate oscillations. The propagation of oscillations in such gratings is determined only by the inhomogeneity of their structure.

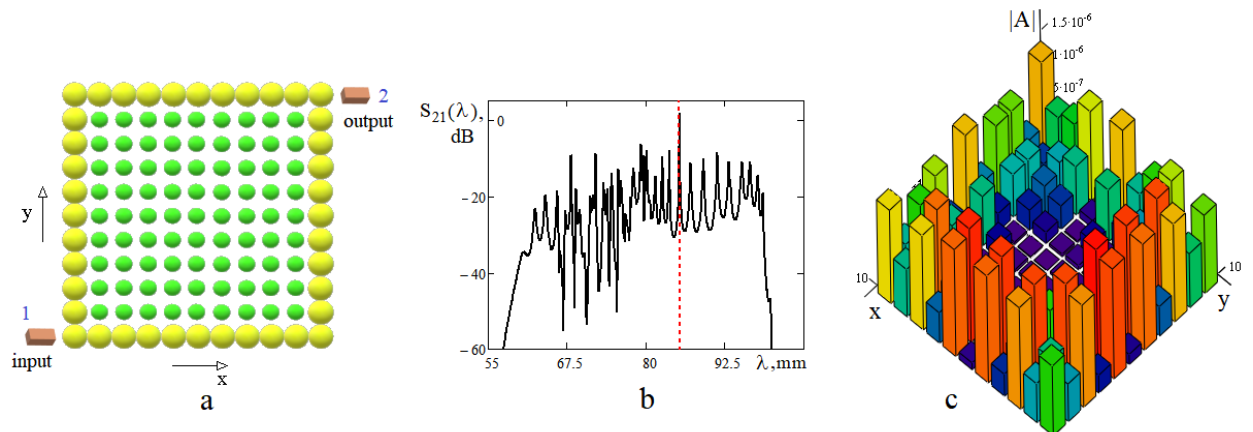


Fig. 3. Square lattice of various spherical DRs with main types of nondegenerate oscillations H_{101} (a) ($\epsilon_{ir} = 81$; $\epsilon_{lr} = 36$). Attenuation between ports 1 - 2 of the lattice (a). Distribution modulus amplitudes (c) of the forced oscillations at the wavelength 85.35 mm (b).

Thus, the simulation data obtained makes it possible to assert with a high degree of confidence that the unusual properties of optical topological insulators of this type are due to the effects of the interaction of degenerate oscillations that occur in dielectric resonators with whispering gallery waves, as well as the possible inhomogeneities of their structure. It should be noted that we have identified only one passband with minimal losses, on which the effect of surface wave propagation takes place.

References

1. Leykam D., Yuan L. Review. Topological phases in ring resonators: recent progress and future prospects // De Gruyter. Nanophotonics 2020; 9(15). PP. 4473–4487.
2. Yangi Y., Hangi Z.H. Topological whispering gallery modes in two dimensional photonic crystal cavities // Optics Express Vol. 26, No. 16 | 6 Aug 2018. 21235. PP. 1 - 8.
3. Hafezi M., Mittal S., Fan J., Migdall A., Taylor J. M. Imaging topological edge states in silicon photonics, Nat. Photonics, vol. 7, p. 1001, 2013.
4. Trubin A.A. Waveguide distribution of coupled Dielectric Resonator modes in the uniform lattices // Modern Challenges in Telecommunications. Fourteenth International Scientific and Technical Conference 2020. Kiev 2020. PP. 86-88. <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/200836>
5. Trubin A.A. Eigenoscillations lattices of different dielectric microresonators. Thirteenth International Scientific Conference "Modern Challenges in Telecommunications". Kiev. 2019. pp. 99-102. <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/167251>.
6. Trubin A.A. Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland, – 2016, 171 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-25148-6>.

SCATTERING OF PLANE WAVES ON PSEUDO-ROTABLE LATTICES OF CYLINDRICAL DIELECTRIC RESONATORS

Trubin A. A.

*Institute of Telecommunication Systems,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
E-mail: atrubin9@gmail.com*

РОЗСІЮВАННЯ ПЛАСКИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ПСЕВДООБЕРТАЛЬНИМИ РЕШІТКАМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ

Розглядається задача розсіювання плоских електромагнітних хвиль на решітках псевдообертаних діелектричних резонаторів (ДР) циліндричної форми з нижчими коливаннями магнітного типу. Аналізуються особливі випадки розсіювання, коли вісі резонаторів колінеарні з вектором розповсюдження падаючої хвилі, або направлені у напрямку відбитої хвилі.

Various periodic structures with Dielectric Resonators (DR) enhance the control of the scattered field [1-2, 4].

Pseudo-rotations of dielectric resonators with no degenerate oscillations in lattices can also lead to a number of interesting cases, determined by the degree of their coupling with the incident and scattered waves. By pseudo-rotation we mean a nontrivial rotation of the axes of the DR in which the relative spatial orientation of the resonators remains constant.

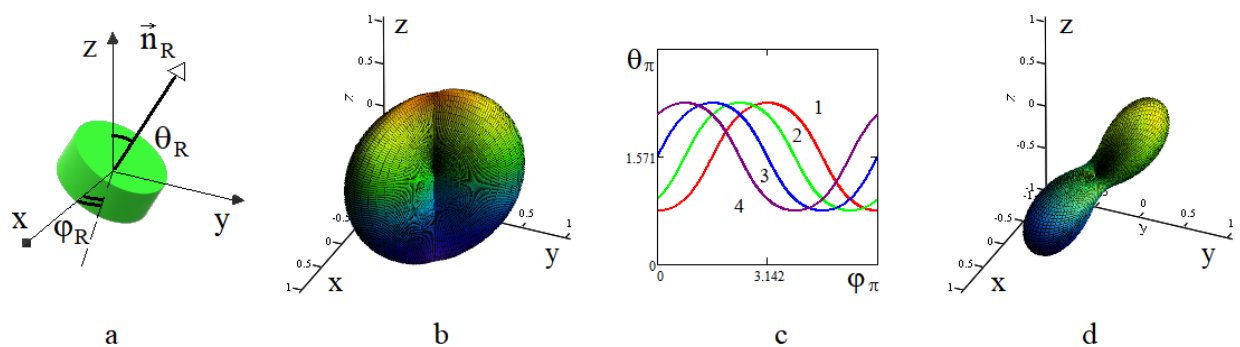


Fig. 1. Rotation of a cylindrical DR relative to a given coordinate system (x, y, z) (a).

Dependences of the c-functions of the magnetic oscillation $H_{10\delta}$ of a cylindrical DR on the directions of incidence of a plane wave in spherical coordinates for p-scattering (b): $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = \pi/4$ for s-scattering (d): $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = 0$. Dependences of zero values of c-functions on the angles of incidence of a plane wave in the case of s-scattering for $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = 0$ (curve 1 (c)); $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = \pi/4$ (curve 2 (c)); $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = \pi/2$ (curve 3 (c)); $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = 3\pi/4$ (curve 4 (c)).

The first special case of scattering occurs when the conditions are satisfied under which all resonators of the array are not coupled with the incident wave. Then the dielectric structure interacts with the incident field only in a nonresonant manner, which leads to the effect of quasi-complete transmission of the field through the grating. A similar effect was first observed by Malyuzhinets for scattering dielectric and metal bars by gratings [3 - 5].

The second special case of scattering occurs when the axes of the resonators are oriented in space in such a way that the direction of the “zero” field in the wave zone of each of them coincides with the “angles of reflection” of the incident wave.

Both of these cases are determined by the properties of the so-called c-function, which determines the relationship between the field of a plane wave and the field of a dielectric resonator of a given orientation [7].

For the main natural oscillations of cylindrical DRs $H_{10\delta}$, we have found a general analytical expression for the c-function in the case of rotating resonators:

$$c_t^+ = -2\pi i E_0^* \cdot \frac{h_1}{\beta} \cdot \left(r_0^2 \frac{L}{2} \right) \cdot (k_1^2 - k_0^2) \frac{(\vec{n}_H, \vec{n}_R)}{\sqrt{1 - (\vec{n}_k, \vec{n}_R)^2}} \cdot \frac{[q_\perp \sqrt{1 - (\vec{n}_k, \vec{n}_R)^2} J_0(q_\perp \sqrt{1 - (\vec{n}_k, \vec{n}_R)^2}) J_1(p_\perp) - p_\perp J_0(p_\perp) J_1(q_\perp \sqrt{1 - (\vec{n}_k, \vec{n}_R)^2})]}{(q_\perp \sqrt{1 - (\vec{n}_k, \vec{n}_R)^2})^2 - p_\perp^2} \cdot \frac{[p_z \sin p_z \cos(q_z (\vec{n}_k, \vec{n}_R)) - q_z (\vec{n}_k, \vec{n}_R) \cos p_z \sin(q_z (\vec{n}_k, \vec{n}_R))]}{(q_z (\vec{n}_k, \vec{n}_R))^2 - p_z^2}. \quad (1)$$

Where $\vec{n}_H$, $\vec{n}_k = (\sin \vartheta_\pi \cos \varphi_\pi, \sin \vartheta_\pi \sin \varphi_\pi, \cos \vartheta_\pi)$, $\vec{n}_R = (\sin \vartheta_R \cos \varphi_R, \sin \vartheta_R \sin \varphi_R, \cos \vartheta_R)$ - is the unit vectors determining the direction of the magnetic field, the direction of propagation of the incident wave, and the axis of the DR in a spherical coordinate system (fig. 1, a), respectively. Here $p_\perp = \beta r_0$; $p_z = \beta_z L / 2$; β , β_z - transverse and longitudinal wave numbers, which determine the field of natural oscillations of the DR [7], $q_\perp = k_0 r_0$; $q_z = k_0 L / 2$;

r_0 - radius; L - height DR; $k_0 = \omega / c$; $k_1 = k_0 \sqrt{\varepsilon_{1r}}$; ε_{1r} - relative dielectric constant of the resonator.

As follows from (1), in the case

p-scattering dielectric resonators of the lattice are not coupled with the incident wave ($c_t^+ = 0$) if

$$\varphi_\pi = \varphi_R \quad (2)$$

For s-scattering

$$\text{tg}(\vartheta_R) \text{ctg} \vartheta_\pi = \cos(\varphi_R + \varphi_\pi). \quad (3)$$

or, in a particular case, if

$$\varphi_\pi = -\varphi_R \quad \text{and} \quad \vartheta_\pi = \vartheta_R; \quad (4)$$

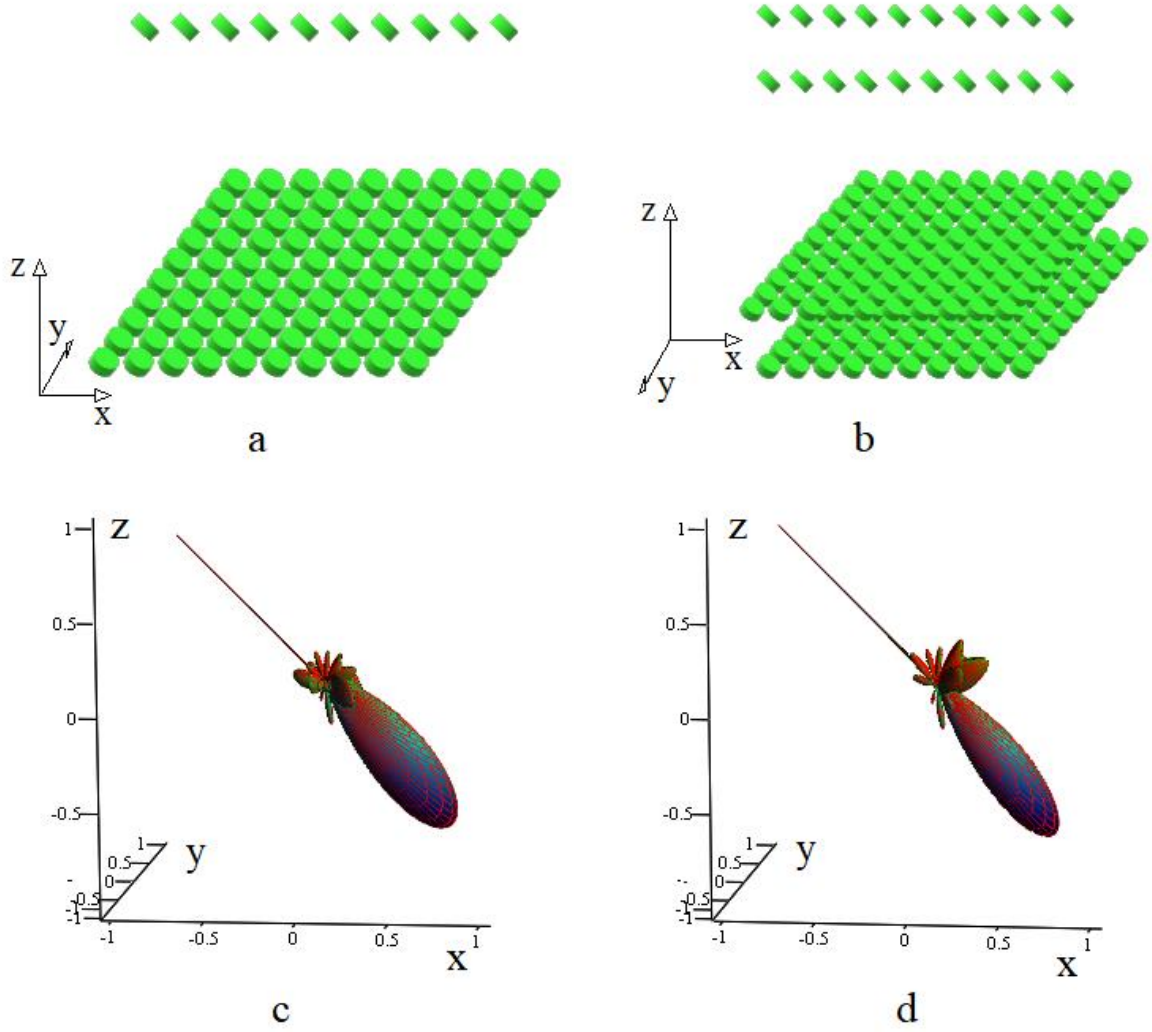


Fig. 2. Square lattices of various orientations of pseudo-rotatable cylindrical DRs - a - c. Angular dependences of the modulus of the scattering amplitude $|f(\theta_\pi, \varphi_\pi)|$ for $\vartheta_\pi = 3\pi/4$; $\varphi_\pi = \pi$ and $\vartheta_R = \pi/4$; $\varphi_R = 0$ - (d) for s-scattering. (Straight lines show the direction of the incident wave).

The numerical solution of equation (3) is shown in Fig. 1c, for different directions of the DR axis; the dependencies $|c_t^+|^2$ for p and s scattering on the angles of incidence $(\vartheta_\pi, \varphi_\pi)$ for $(\vartheta_R, \varphi_R) = (\pi/4, \pi/4)$ are shown in fig. 1, b, d respectively.

Coupling reaches its maximum in case p-scattering, if

$$\theta_R = \pi/2 \text{ and } \varphi_\pi = \varphi_R \pm \pi/2; \quad (5)$$

and for s-scattering:

$$\varphi_\pi + \varphi_R = 0; 2\pi \text{ and } \theta_R - \theta_\pi = \pi/2, \quad (6)$$

or

$$\varphi_\pi + \varphi_R = \pi \text{ and } \theta_R + \theta_\pi = \pi/2. \quad (7)$$

Calculation of the scattering amplitude in the wave zone of one- and two-layer lattices in the case of coincidence of the direction of the minimum radiation of the resonators with the “angles of reflection” of the incident wave, are shown in Fig. 2, c, d.

Thus, the performed studies of the c-functions in the general case make it possible to determine the conditions for the quasi-complete propagation of scattered waves through the gratings of pseudo rotated cylindrical DRs with a fundamental oscillation $H_{10\delta}$ similar to the Malyuzhinets effect.

It was found that the effect of quasi-complete passage of the incident wave through the DR grating occurs when one of the conditions:

If the direction of the minimum radiation of the resonators coincides with the direction of propagation of the reflected wave.

In the case of vanishing of all the c-functions of the resonators. For the main types of oscillations, $H_{10\delta}$ the specified condition is realized when one of the equations (2-3) is fulfilled.

References

1. R. Paniagua-Domínguez, Ye Feng Yu, A. E. Miroschnichenko, L. A. Krivitsky, Yuan Hsing Fu, V. Valuckas, L. Gonzaga, Y. Teck Toh, A. Yew Seng Kay, B. Luk'yanchuk, A. I. Kuznetsov. Generalized Brewster effect in dielectric metasurfaces // NATURE COMMUNICATIONS | 7:10362 | DOI: 10.1038/ncomms10362 | www.nature.com/naturecommunications
2. В.П. Шестопапов, Л.Н.Литвиненко, С.А.Масалов, В.Г.Сологуб. Дифракция волн на решетках. Изд-во ХГУ. 1973 г.
4. Е.И. Нефедов, А.Н. Сивов. Электродинамика периодических структур. Изд-во Наука. М. 1977 г. 208 с.
3. В.Б. Казанский, В.Р. Туз, Д.В. Юдинцев. Рассеяние Гауссовых волновых пучков ограниченной последовательностью чередующихся решеток из диэлектрических брусьев // Вісник Харківського Національного університету ім. В.Н. Каразіна, 2007, N 756, Радіофізика та електроніка, Вип. 11, с. 82-86.
4. Trubin A.A. Unidirectional scattering of electromagnetic waves by gratings of dielectric resonators // 7 Intern. Sciences. technical conference “Problems of telecommunications 2013”. Kiev 2013. pp. 191-193.
5. A. A. Trubin, "Electromagnetic waves scattering on a lattice of Dielectric Resonators," 2009 19th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology, 2009, pp. 405-407, doi: 10.1109/TELSKS.2009.5339480.
6. A.A. Trubin Lattices of Dielectric Resonators. Springer International Publishing Switzerland – 2016 – 171 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-25148-6>.

**Секція 3. Технології транспортних телекомунікаційних
систем та мережні технології**

УДК 621.391

**ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ
ЗАВАД В МЕРЕЖАХ LIFI**

Романов О.І., Шаповалов Р.С.

Інститут телекомунікаційних систем КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: a_i_romanov@ukr.net, shapovalovroman7@gmail.com

WAYS TO REDUCE INTERFERENCE IN LIFI NETWORKS

The concept of intercellular interference CCI, which is the main obstacle in the LiFi network, is described. Also described effective techniques to counteract this interference.

В даний час найбільш зручними для користувачів є бездротові мережі. При цьому бездротовий доступ може бути за допомогою технології Wi-Fi або технології LiFi. Найбільш перспективним є бездротовий доступ із використанням технології LiFi. У цих мережах швидкість передачі може бути підвищена у кілька тисяч разів порівняно з традиційними мережами радіодоступу. У статті буде розглядатися метод зменшення перешкод у бездротових мережах радіодоступу на технології LiFi

Бездротові лінки, що використовують один і той же ресурс передачі, будуть заважати один одному. По-перше, користувачі в сусідніх комірках можуть ділити один ресурс передачі даних. У цьому випадку виникають міжстільникові перешкоди МСП (рис.1) в мережі LIFI. Завада користувачів один одному має назву внутрішньоклітинна інтерференція. Щоб збільшити сукупну пропускну здатність мережі Li-Fi, бажане щільне просторове повторне використання передавальних ресурсів. Отже, міжклітинні перешкоди стають обмежувальним фактором, що визначає загальну продуктивність Li-Fi мереж. МСП полегшується відповідними техніками координації інтерференції.

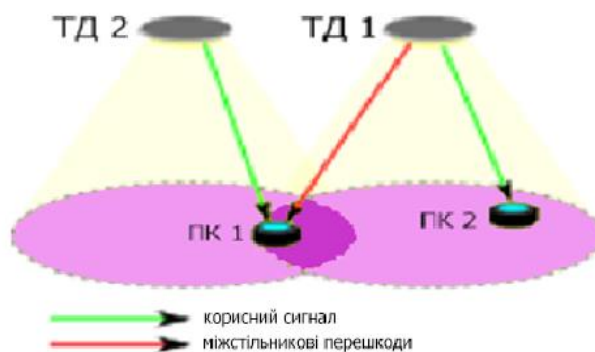


Рис.1. Міжстільникова перешкода (МСП).

Як варіант, можливе використання стільниково-орієнтованої архітектури. Такий підхід динамічно регулює топологію мережі на основі попиту користувача. Наприклад, якщо немає жодного користувача в межах покриття точки доступу Li-Fi, ця точка доступу може вимкнути свою функцію зв'язку та діяти лише як звичайна лампочка. Це могло б допомогти уникнути втручання в сусідні клітини.

Розглянемо випадки, коли клітини все ж таки працюють одночасно. Для того, щоб зменшити вплив МСП, використовуються різні техніки пом'якшення мінімізації перешкод.

Один із методів – розділення ресурсів по стільниках. У цьому способі доступна передача ресурсів розділена на кілька блоків. Ці блоки ресурсів призначаються користувачам таким чином, що сусідні точки доступу завжди використовувати різні блоки ресурсів, як показано на рис. 2.а).

Ресурси передачі можна розділити в часовій області, області довжини хвилі або частотній області. Цей метод дозволяє ефективно уникнути МСП при надзвичайно низькій складності. Однак, лише невелику частку передачі ресурсів може використовувати кожна точка доступу, що призводить до значного зниження спектральної ефективності системи.

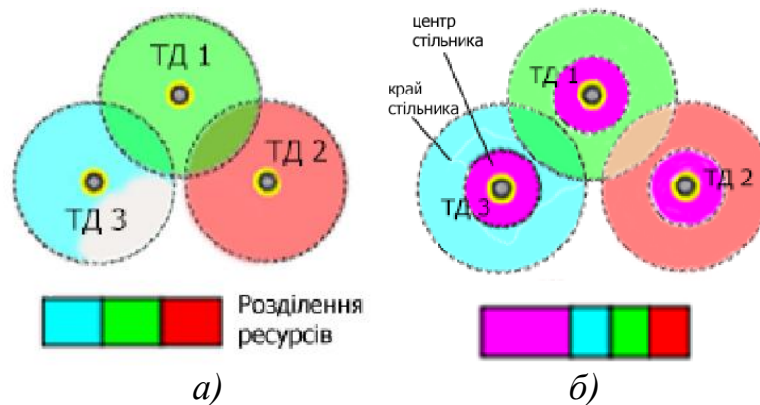


Рис. 2. а) розподілення ресурсів по стільниках;
б) часткове повторне використання частот.

Покращений метод статичного розподілу ресурсів - часткове повторне використання частот (рис. 2.б), має більшу спектральну ефективність. Для цього ми повинні розбити ресурс у кожному стільнику так, щоб він не перетинався із сусідніми стільниками. І цей ресурс може використовуватися кожним стільником без обмеження, оскільки ці ресурси не перетинаються із ресурсами сусідніх стільників.

На краях стільників ми повинні використовувати ресурс, який використовується тільки в даному стільнику. Тоді навіть у разі накладання ресурсів сусідніх стільників буде високий рівень достовірності сигналів, що приймаються.

Може бути використаний інший підхід в мережі Li-Fi. В цьому методі можуть бути використані зміни кута променя від приймача до передавача. Йдеться про великі можливості зміни кута прийому променя LiFi. На стороні приймача може бути використано кілька фотодетекторів (ФД), які

забезпечать прийом сигналів з різним кутом нахилу променю. Мова йде про кутову різноманітність, що зображена на рис. 3.а. На стороні приймача кілька ФД можуть бути встановлені для роботи як приймач кутового рознесення.

Бажаний сигнал від точки доступу та МСП з інших сусідніх точок доступу можуть потрапляти на приймач з різних напрямків і виявлятися різними ФД детекторами.

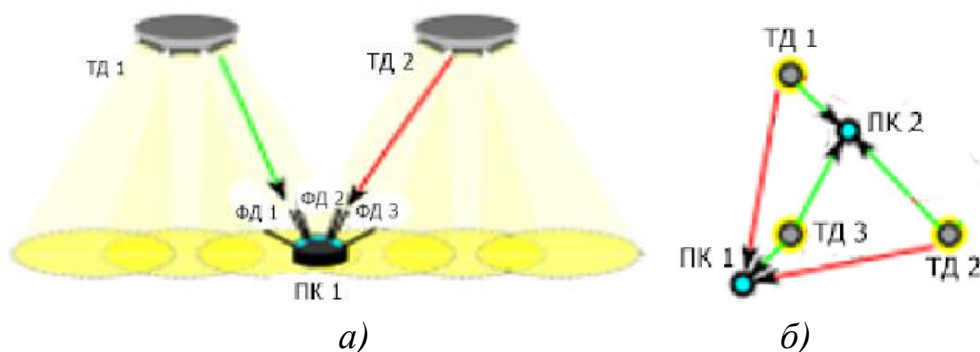


Рис. 3. а) координація перешкод з кутовою різноманітністю на приймачі та передавачі; б) кооперативна багатоточкова спільна передача.

Наступним методом зниження перешкод у системі та підвищення ефективності передачі інформації може бути використання принципів МІМО. Суть цього методу у тому, що передача інформації здійснюється кількома точками доступу. Цей метод отримав назву спільна багатоточкова передача у системах бездротового доступу (рис. 3.б). Цей метод нині використовується у радіочастотних системах, проте він повною мірою може бути використаний у системі LiFi.

Висновок. Таким чином, для підвищення перешкод захищеності систем бездротового доступу на базі технології LiFi можуть бути використані способи, що використовуються в бездротових мережах радіодоступу. Для розробки рекомендацій ефективного використання даних методів необхідно провести моделювання систем з використанням даних методів. Для цього необхідно мати елементну базу та побудувати модель с-ми.

Література

1. Mohammad Dehghani Soltani, Ardimas Purwita, Harald Haas. Impact of Device Orientation on Error Performance of LiFi Systems. // January 2019, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2907463.
2. Oleksandr Romanov, Tho Dong and Mikola Nesterenko. The Possibilities for Deployment Eco-Friendly Indoor Wireless Networks Based on LiFi Technology/ 8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT), March 2020. <http://dx.doi.org/10.25673/32747>
3. Oleksandr Romanov, Roman Shapovalov. Using of SDN Technology in The Construction of The Lifi Network of Campus/ International scientific and technical conference "Telecommunications perspectives", March 2021.

MINIEDIT: ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС MINIEDIT ДЛЯ СТВОРЕННЯ І ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ МЕРЕЖ SDN

Бурлака Г.Ю.

*Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: fastmotion1111@gmail.com*

MININET: A SIMULATOR FOR EMULATING AND PROTOTYPING SOFTWARE-DEFINED NETWORKS

The concept of software-defined networking (SDN) fundamentally changes the way networks operate and how they are managed. In the rapidly changing modern world, it is the data transmission networks that have been called the "thin link" that limits the growth of application performance as the number of mobile users grows, virtual environments scale, and clusters are formed for Big Data. In SDN networks, traffic switching tasks and control tasks are strictly separated. All control logic is centralized and transferred to the controller.

У майбутньому очікується масовий перехід телекомунікаційних мереж на технологію SDN. Особливістю цієї технології є побудова значної частини мережі з використанням віртуалізації. Саме ця ситуація є мотивацією для вивчення та дослідження особливостей впровадження віртуальних елементів до складу фізичної мережі. При цьому зазвичай постають питання щодо коректності роботи мережі, що складається з фізичних та віртуальних елементів, чи збереже вона весь свій функціонал, чи буде забезпечена взаємодія на рівні управління [1].

Під віртуалізацією мережі розумітимемо комплексне використання апаратних та програмних ресурсів у єдиній мережі. При цьому умовно розділимо мережу на дві складові. Перша мережа – зовнішня. Вона є об'єднання багатьох різних зовнішніх сегментів мереж, що складаються як з фізичних, так і віртуальних елементів в одну віртуальну. Внутрішня мережа складається з однієї віртуальної системи, яка побудована на віртуальних елементах та встановлюється на комп'ютер у вигляді імітаційної моделі. Кожен елемент у віртуальній системі має термін віртуалізації. Сама віртуалізація є виділення обчислювальних ресурсів комп'ютера на вирішення завдань, незалежно від апаратної частини устаткування. Усі процеси ізольовані друг від друга. А рішення різних обчислювальних можуть виконуватись на одному фізичному пристрої.

На рис.1 представлений варіант структури мережі SDN, яка буде використана для побудови імітаційної моделі на базі Mininet [2].

Розглянемо призначення та функції програмних компонентів під час побудови віртуальної мережі SDN. Як було зазначено вище, однією з найбільш доступних платформ для моделювання SDN мереж є Mininet. Вона дозволяє використовувати бібліотеку стандартних функціональних елементів

для побудови SDN та провести тестування для отримання характеристик її функціонування.

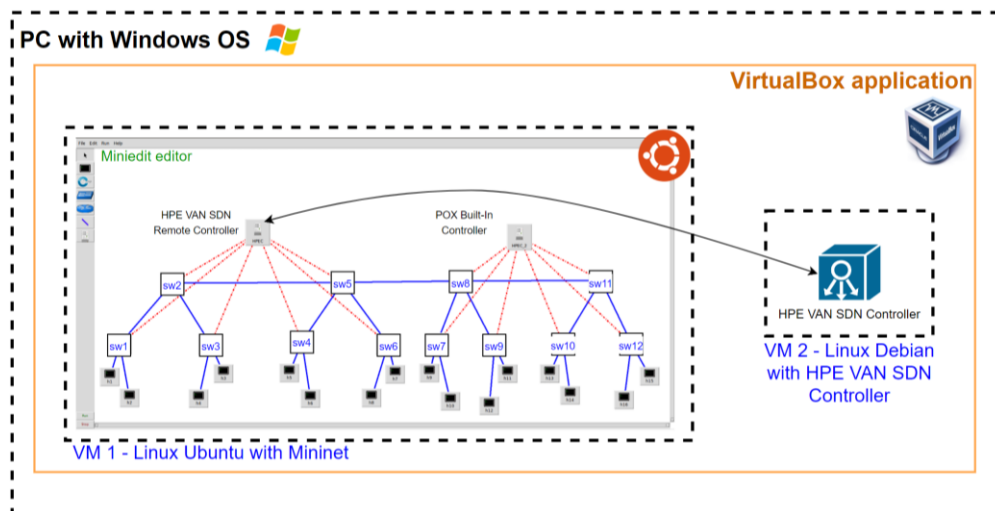


Рис. 1. Структурна схема мережі SDN на базі Mininet з використанням MiniEdit.

Mininet дозволяє розгорнути мережу SDN на будь-якому ноутбукі або ПК, в якій функціональні блоки SDN можуть плавно переміщатися між програмним середовищем Mininet і фізичним обладнанням, що працює в реальному масштабі часу [3].

У складі мережевого емулятора Mininet є графічний інтерфейс Miniedit, що дозволяє візуалізувати процес створення різних топологій SDN мереж. При використанні Miniedit спочатку створюють топологію мережі в графічному вигляді, де візуалізована структура і є розширені налаштування як активних елементів, так і ліній мережі. Після побудови SDN мережі та конфігурування необхідних елементів, при збереженні проекту створюється файл з розширенням .mn.

Далі є можливість запуску процесу функціонування мережі безпосередньо з графічного інтерфейсу Miniedit. Після перевірки працездатності та параметрів функціонування створеної мережі є можливість повернення на етап налаштування та редагування віртуального макета.

Перевагою Miniedit є те, що макет мережі може бути імпортований в python файл з відповідною конфігурацією мережевих елементів [4].

При графічному побудові макета мережі є можливість налаштування кожного елемента мережі (комутатора, контролера, хоста, маршрутизатора). Цей інтерфейс підтримує підключення віддаленого контролера до мережі. Для цього в налаштуваннях слід вибрати потрібний тип контролера, а також вказати його унікальну логічну адресу та порт, на якому він очікує підключення.

Під час експерименту, при дослідженні функціонування мережі, можна розірвати або відновити з'єднання між мережевими елементами. Це дозволяє провести різні види тестування роботи мережі: перевірка використання

обхідних шляхів, визначення працездатності мережевих елементів, обрив зв'язку на ділянках мережі та ін.

Під час роботи макету SDN мережі з використанням графічного інтерфейсу можна переглянути таблиці потоків присутніх в мережі OpenFlow комутаторів. Ці таблиці створюються відразу після перевірки доступності кінцевих вузлів мережі [5].

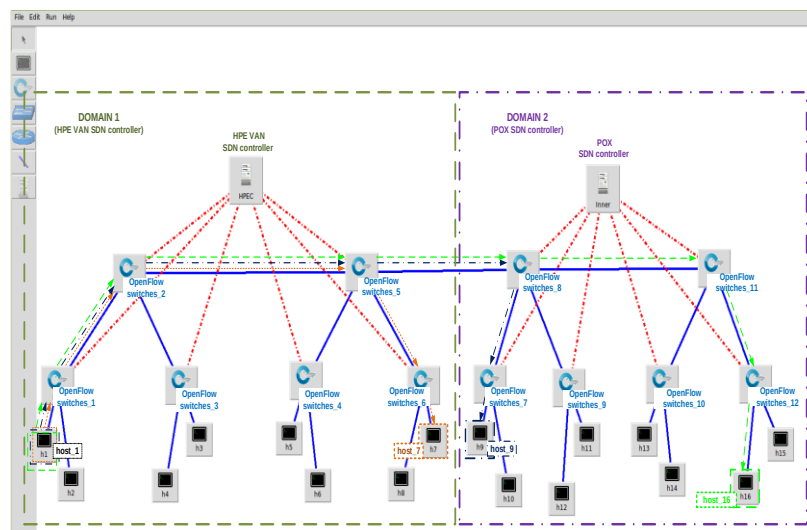


Рис. 2. Візуалізація двох доменної топології SDN мережі MiniEdit.

За замовчуванням MiniEdit створює еталонний контролер mininet OpenFlow, який реалізує поведінку та навчання комутатора.

Таким чином, технологія Mininet зручна для створення прототипів і моделювання. Це альтернатива тестуванню реальних мереж, які потребують великих затрат. Створення віртуальної мережі в Mininet дозволяє швидко протестувати системи різної конфігурації.

MiniEdit дає більш чітке розуміння процесів які проходять в мережі і надає досить зручний функціонал для її дослідження.

Література

1. Oleksandr Romanov, Mykola Nesterenko, H. Burlaka, Anton Marinov, Serhii Skolets. Modelization an SDN network using the MiniEdit GUI // 16th IEEE International Conference on "Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering "(TCSET'2022) Lviv, February 22-26, 2022
2. Mininet as Software Defined Networking Testing Platform [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/287216738_Mininet_as_Software_Defined_Networking_Testing_Platform
3. Carapinha, J., Feil, P., Weissmann, P., Thorsteinsson, S., Etemoglu, Ç. Ingþórsson, Ó., Çiftçi, S., Melo, M., "Network Virtualization: Opportunities and Challenges for Operators," Future Internet-FIS 2010: 138–147, 2012.
- [5] How to use MiniEdit, Mininet's graphical user interface [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.brianlinkletter.com/2015/04/how-to-use-miniedit-mininets-graphical-user-interface/>

ВИКОРИСТАННЯ MININET ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОДОМЕННИХ МЕРЕЖ SDN

Сколець С.С., Маньківський В.Б., Мікляєв Г.О.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: serskols@gmail.com, v.b.mankivskiy@gmail.com, glibmiklaiv@gmail.com

USING MININET TO MODULATING MULTIDOMAIN NETWORKS SDN

Existing technologies and methods for building an SDN network with a hybrid, interdomain topology based on the Mininet network emulator, using different types of controllers, are considered. As a result, a segment of the SDN network was created to test the process of its functioning in the overload mode of various information directions based on the MiniEdit GUI.

Розглянуто існуючі технології та методи побудови мережі SDN з гібридною міждоменною топологією на основі емулятора мережі Mininet з використанням різних типів контролерів. В результаті було створено сегмент мережі SDN для перевірки процесу її функціонування в режимі перевантаження різних інформаційних напрямків на основі графічного інтерфейсу MiniEdit.

Мережі зв'язку є складними системами, тому їх моделювання є досить складним процесом і як правило, є достатньо багато помилок після первинної побудови моделей. Тому далі йде тривалий процес налагодження для побудови робочої моделі досліджуваної мережі. Найбільш складною для дослідження характеристик є багатодоменна мережі. Кожен окремий домен такої мережі керується своїм контролером SDN. І часто складно забезпечити взаємодію між контролерами у різних доменах. Практичне рішення такого завдання викликало великі труднощі, коли при створенні моделі була спроба використання в одному домені вбудованого контролера, а в іншому домені ми намагалися встановити HPE VAN SDN контролер, який є зовнішнім і який розроблений для вирішення інших завдань. Спроба створення багатодоменної мережі при використанні простого командного інтерфейсу Mininet не мала успіху.

Дослідження показали, що MiniEdit має значно більше можливостей з побудови складних багатодоменних SDN мереж. Виявилось, що побудова мережі в графічному інтерфейсі після конвертування такої системи в програмний код мережа запрацювала.

Графічний інтерфейс Miniedit, що дозволяє візуалізувати створення різних топологій SDN мереж. При використанні Miniedit спочатку створюється топологія мережі в графічному вигляді, де візуалізована структура і є розширені налаштування як активних елементів, так і ліній мережі. Після побудови SDN мережі та конфігурування необхідних елементів, при збереженні проекту створюється файл з розширенням mpt.

Далі є можливість запуску процесу функціонування мережі безпосередньо з графічного інтерфейсу Miniedit. Після перевірки

працездатності та параметрів функціонування створеної мережі є можливість повернення на етап налаштування та редагування віртуального макета.

Перевагою Miniedit є те, що макет мережі може бути імпортований в python файл з відповідною конфігурацією мережевих елементів.

При графічному побудові макета мережі є можливість налаштування кожного елемента мережі (комутатора, контролера, хоста, маршрутизатора). Цей інтерфейс підтримує підключення віддаленого контролера до мережі. Для цього в налаштуваннях слід вибрати потрібний тип контролера, а також вказати його унікальну логічну адресу та порт, на якому він очікує підключення.

Було проведено дослідження процесу функціонування мережі, архітектура якої має вигляд, представлений на Рис. 1. Це мережа, що складається з двох доменів, кожен із яких управляється своїм контролером. Один внутрішній контролер POX. Він завантажується разом із установкою Mininet. Другий – зовнішній контролер HPE VAN SDN. Зовнішній контролер вимагає додаткової установки та працює як окрема віртуальна машина.

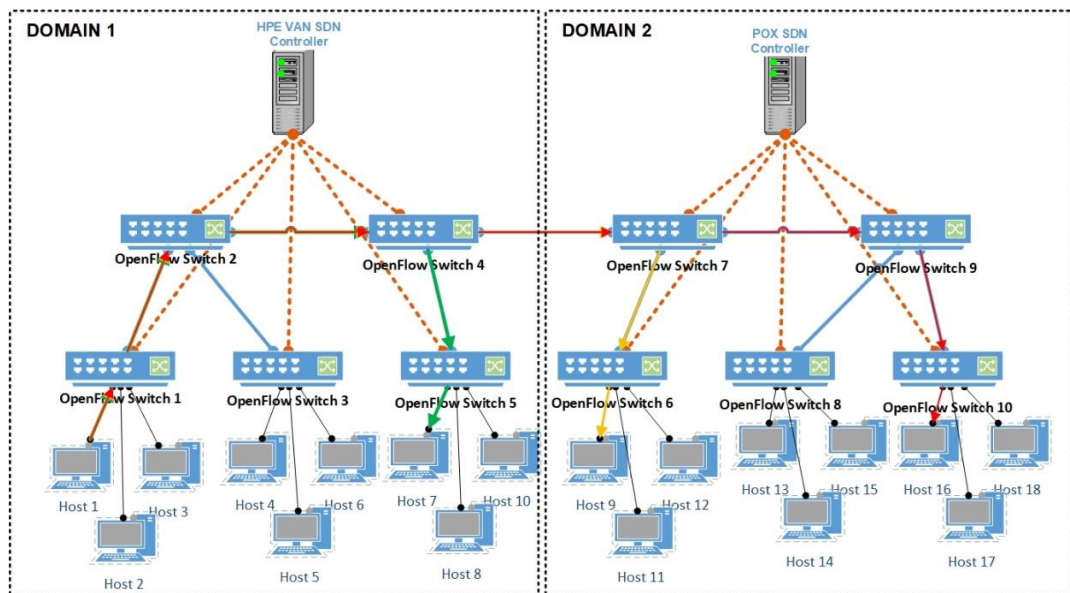


Рис 1. Візуалізація двох доменної топології SDN мережі MiniEdit.

Проведемо дослідження параметрів функціонування мережі з використанням графічного інтерфейсу MiniEdit. При цьому будемо використовувати такі вихідні дані:

- топологія мережі представлена Рис. 1.;
- тестуються всі інформаційні напрямки ID кількість яких $SUM_{ID} = 324$;
- розмір кадру ICMP $L_{frame_ICMP} = 64$ [byte];
- затримка в лініях зв'язку t_{link_delay} змінюється в діапазоні від 0 до 10000 [msec.];
- швидкість передачі в лініях зв'язку $V_{link_BW} = 10$ [Mbit/sec.];
- відсоток втрат на лініях зв'язку $Loss_{\%} = 0$ [%];
- розглядатися найвіддаленіші інформаційні напрямки, як усередині домену так і міждоменні: ID_{h1-h7} ; ID_{h1-h9} ; ID_{h1-h16} .

В результаті моделювання визначатимемо наступні параметри мережі: показник Round-Trip Time (RTT), що є часом передачі пакета між кінцевими

хостами. При цьому визначатимемо середнє значення відгуку RTT T_{RTTavg} [msec]. А також експериментальне значення втрат і як наслідок кількість (відсоток) інформаційних напрямків, які стають недосяжними через затримки в мережі.

Результати проведення експерименту при даних вихідних даних зображені на рис. 2.

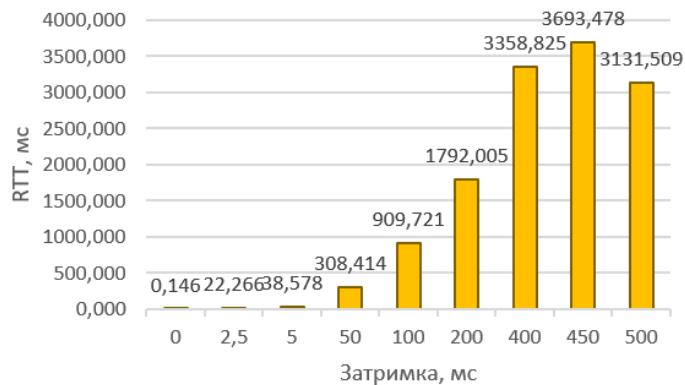


Рис. 2. Залежність зміни RTT за різних затримок в лініях мережі.

Надалі були проведені тестування SDN мережі, в режимі навантаження, за трьома інформаційними напрямками: ID_{h1-h16} ; ID_{h7-h16} ; ID_{h9-h16} . А саме, за допомогою утиліти iperf, проведено генерацію трафіку на найбільш віддалені вузли мережі.

Умови проведення експерименту були такими:

- одночасно проводилася генерація UDP трафіку ($ID_{h1-h16}Load_{flow} = 5$ [Mbit/sec.]; $ID_{h7-h16}Load_{flow} = 4$ [Mbit/sec.]; $ID_{h9-h16}Load_{flow} = 6$ [Mbit/sec.]);
- усі інші параметри залишаються попередніми.

Висновок: Аналіз отриманих результатів показує, що при збільшенні трафіку, що поступає, обсяг якого перевищує пропускну здатність лінії зв'язку в 0,5 рази, максимальні втрати пакетів спостерігаються для інформаційних напрямків, які знаходяться в різних доменах і чим далі знаходяться вузли, тим більше втрат (втрати пакетів більше 86%). У середині домену втрати пакетів становлять 19%.

Також можна зробити висновок, що зі збільшенням затримки ліній зв'язку, спостерігається зростання часу передачі пакетів, і при найвищому значенні затримки пакети перестають доставлятися і близько 40% інформаційних напрямків перестають працювати. У разі перевантажень на окремих напрямках спостерігаються максимальні втрати для найбільш віддалених, міждоменних інформаційних напрямків.

Література

1. Romanov O.I., Nesterenko M.M. Telecommunication network technologies Evolution//Advances in the telecommunications 2019/ According to scientific editorship Ilchenko M.Yu., Kravchuk S.O., Kyiv, 2019, - p.p. 88-107.
2. JunHuy Lam,Sang-Gon Lee,Hoon-Jae Lee, and Yustus Eko Oktian. Securing SDN Southbound and Data Plane Communication with IBC. Hindawi Publishing Corporation Mobile Information Systems Volume 2016, Article ID 1708970, 12 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1708970>.

ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ SDN З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРФЕЙСУ T-API

Корнієнко Н.І., Романов О.І.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: nkornienko2000@ukr.net, a_i_romanov@ukr.net

CONSTRUCTION OF THE SDN TRANSPORT NETWORK INFORMATION MODEL USING THE T-API INTERFACE

The principles of building a model of SDN optical transport network, the functional architecture of the T-API, the list of services required to manage the transport network, the interaction of the orchestrator and the controller using the T-API are considered. The SDN transport network is presented in the form of a model that reflects the main processes of the real network and allows you to manage maintenance processes with a high degree of adequacy.

Розглянуто принципи побудови моделі оптичної транспортної мережі SDN, функціональну архітектуру T-API, перелік сервісів, необхідних для управління транспортною мережею, взаємодію оркестратора та контролера за допомогою T-API. Представлено транспортну мережу SDN у вигляді моделі, яка відображає основні процеси реальної мережі та дозволяє з високим ступенем адекватності керувати процесами обслуговування.

Сьогодні традиційна телекомунікаційна мережа є набором спеціалізованих фізичних пристроїв, таких як маршрутизатори, комутатори, міжмережеві екрани та інше обладнання. Ці пристрої створювалися з урахуванням специфічних апаратних і програмних платформ різних вендорів. Тому впровадження нових сучасних послуг на мережах вимагає, як правило, заміни чи значної модернізації наявного обладнання. Це негативно впливає на оперативність надання користувачам нових продуктів та послуг. Тому зараз питання побудови мереж на основі концепції SDN (Software Defined Networking) дедалі частіше перебувають на порядку денному дослідницьких організацій, університетів та операторів мобільного зв'язку. При цьому представники консорціуму Open Networking Foundation (ONF) роблять основний внесок у розвиток цього напрямку [1].

T-API розроблений як інтерфейс між контролерами на різних рівнях ієрархії SDN, пропонуючи контроль над мережевими ресурсами на різних рівнях абстракції. Типовим розгортанням T-API є інтерфейс між набором мережових контролерів домену та оркестратором верхнього рівня. T-API розроблений, щоб дозволити мережовим операторам розгортати SDN на багатошаровій, багатодоменній та мультипостачальній транспортній інфраструктурі, розширюючи можливість програмування у своїх мережах наскрізно.

Існує набір сервісів, необхідних для управління транспортною мережею:

- Топологія або отримання топології мережі.
- Наявність ресурсів.
- Інформація про стан.
- Послуга, що дозволяє клієнту створювати зв'язок між кінцевими точками служби.
- Обчислення шляху запитів для майбутніх служб зв'язку.
- Повідомлення, що надає інформацію про мережеві події та зміни.
- Віртуалізація або поділ мережі на окремі віртуальні розділи для конкретних клієнтів або додатків.

Цей набір реалізовано в ONF T-API такими способами, що дозволяють отримувати різний ступінь інформації та контролю на основі політики оператора. Даний діапазон дозволяє підтримувати різні ділові відносини через API, включаючи клієнтів, яким буде доступно обмежений перегляд мережі типу «чорний ящик» для внутрішніх додатків оператора [2].

Потенційні програми T-API мають багато можливостей поєднувати управління та моніторинг оптичної транспортної мережі з додатками вищого рівня, такими як:

- Наскрізні послуги динамічної пропускної здатності через багатодоменну мережу несучих з підтримкою стійкості та повторної оптимізації;

- Взаємозв'язок декількох сайтів CORD (Central Office Reachitected as a Datacenter) через багатодоменну мережу;

- Підтримка послуг віртуальної транспортної мережі, що пропонують динамічно керовані та відстежувані віртуальні ресурси, які з'єднують віддалені сайти великих клієнтів. Підтримка поділу мережі, що забезпечує можливість підключення до 5G-сервісів з великою пропускною здатністю або наднизькою затримкою за допомогою ізольованих та захищених віртуальних підмножин мережі [3].

Інформаційна модель T-API заснована на єдиному поданні плоскої топології, яка об'єднує всі мережеві рівні в єдину топологію (рис. 1).

Вона включає:

- Домени переадресації ODU/DSR, представлені у вигляді багаторівневої і багатошвидкісної *tapi-topology:node*, що дозволяє представити внутрішнє відображення між DSR і ODU, і мультиплексування/демультиплексування на різних швидкостях ODU. Переходи ODU-OTSi представлені як транзитні ланки.

- Домени переадресації OTSi: представляють оптичну сторону оптичних терміналів (транспондери/мультиплексори). Вони представлені однорівневою *tapi-topology:node*, що дозволяє представити логічну агрегацію з'єднань OTSi в агрегацію OTSiA та відображати з'єднання OTSiA у з'єднання ODU. Зв'язок OTSi з вузлом Photonic-Media представлено як посилення OMS.

- Домени переадресації Photonic-Media: представляють мережу Photonic Media (Open Line System - OLS). Ці домени можуть бути співставлені з мережевими елементами OLP, ROADM/FOADM та ILA, зв'язок яких завжди

представлено як посилення OMS або OTS. Ці домени переадресації надають можливість створення з'єднань Media Channel і служб зв'язку між його кінцевими точками [4].

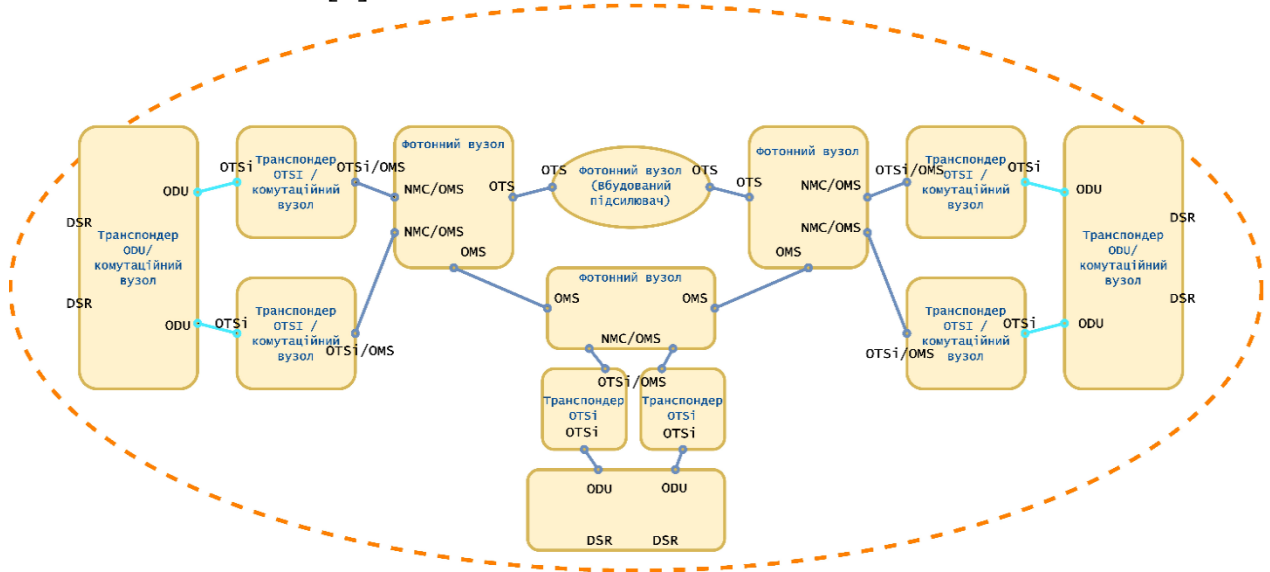


Рис. 1. Інформаційна модель T-API.

Висновок. Використання бібліотеки T-API дозволяє: по-перше, проаналізувати структуру і елементи транспортної мережі; по-друге, здійснити перехід від мережі до моделі; по-третє, побудувати інформаційну модель, яка має у своєму складі показники функціонування реальної мережі. Інформаційна модель побудована на основі мови моделювання YANG. Вона відображає реальну систему, де фізичні елементи мережі замінені на віртуальні. Причому, незалежно від реальної мережі, типу обладнання вендорів, можна збирати дані та показники функціонування елементів мережі і впливати на процес функціонування мережі у вигляді моделювання конкретної системи.

Література

1. Open Network Foundation. Accelerating the Adoption of SDN & NFV, 2021.
2. GitHub ONF T-API [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/OpenNetworkingFoundation/tapi>.
3. T-API Overview [Електронний ресурс] // Open Transport Configuration & Control. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://wiki.opennetworking.org/display/OTCC/TAPI+Overview>.
4. TAPI v2.1.3 Reference Implementation Agreement [Електронний ресурс] // Open Networking Foundation – Режим доступу до ресурсу: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2020/08/TR-547-TAPI-v2.1.3-Reference-Implementation-Agreement-1.pdf>.
5. ПОБУДОВА SDN-КОНТРОЛЕРА НА БАЗІ ВІДКРИТОЇ МЕРЕЖЕВОЇ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ONOS // XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2021: Збірник матеріалів конференції / Н. І. Корнієнко, А. О. Романов. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С. 95–97.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ МОДИФІКАЦІЙ MININET ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖ SDN

Сколець С.С., Марінов А.І., Нестеренко М.М.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: serskols@gmail.com, anton_marinov@ukr.net,

nikolaiy.nesterenko@gmail.com

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF USING VARIOUS MODIFICATIONS OF MININET FOR SIMULATION SDN NETWORKS

In this article are considered existing technologies and methods for building an SDN network using an additional graphical interface. Has been studied powerful and flexible tool for visualizing the topology of an SDN network that allows to: simulate SDN networks of a rather complex structure; change the performance of branches and the magnitude of the load in the directions of communication; create a network-wide overload mode.

У цій статті розглядаються існуючі технології та методи побудови мережі SDN з використанням додаткового графічного інтерфейсу. Досліджено потужний і гнучкий інструмент візуалізації топології мережі SDN, що дозволяє: моделювати мережі SDN досить складної структури; змінювати продуктивність відгалужень і величину навантаження в напрямках сполучення; створити режим перевантаження всієї мережі.

Для того щоб будувати мережі та системи і знати їх функціональні числові характеристики потрібно їх моделювати та перевіряти їх відповідність за'явленим вимогам. Для цього використовується три типи моделей: фізичні, аналітичні та імітаційні. Фізичні моделі передбачають розгортання ділянки мережі на реальному обладнанні та проведення практичної експлуатації з метою визначення характеристик функціонування. Цей метод дозволяє отримати показники, найбільш наближені до реальних значень. Однак такий підхід потребує великих тимчасових та матеріальних витрат.

Аналітичні моделі зручні у використанні і вимагають великих матеріальних вкладень. Проте такі складні системи, як телекомунікаційні, важко піддаються математичному опису. Зазвичай потрібно вводити велику кількість обмежень при описі процесів обслуговування, внаслідок чого такі моделі можуть мати дуже низьку точність.

Тому зазвичай використовують імітаційні моделі. Вони менш витратні, ніж фізичні моделі, дозволяють враховувати реальні мережеві процеси та мають досить високу варіативність досліджуваних параметрів. Для цих цілей існує програмний продукт Mininet. Є два види моделювання мереж SDN використовуючи Mininet:

1. Моделювання мережі з використанням програмного рядка. При якому повністю все розгортання мережі виконується в ручну, шляхом написання складних програмних кодів на мові python.

2. Моделювання мережі використовуючи модифікацію MiniEdit. Який представляє собою графічний інтерфейс, який має у своєму складі готові програмні мережеві елементи, що спрощує моделювання складних систем SDN.

Розглянемо призначення та функції програмних компонентів під час побудови віртуальної мережі SDN. На рис. 1 показана архітектура та головні складові програмного середовища Mininet.

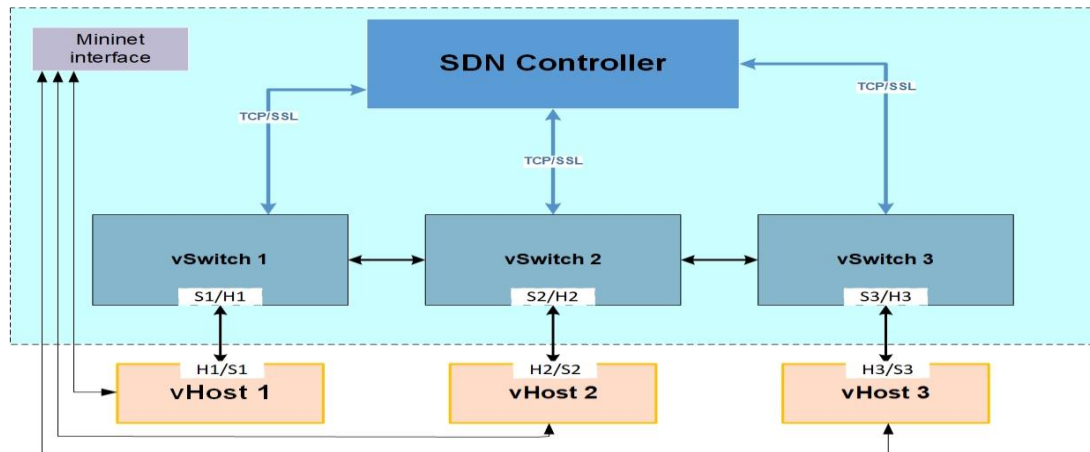


Рис. 1. Основні компоненти віртуально мережі Mininet.

Існують компоненти в відкритому доступі, однак щоб добитись їх правильної та коректної взаємодії потрібно мати досвід та навички у написанні програм, шляхом написання на мові програмування python. Адже саме ця мова відображає суть системи, однак, під час опису взаємодії різних елементів в python з'являються часто різні помилки і людина, яка займається дослідженням такої системи має бути спеціалістом. Для усунення такого недоліку, результатом подальшого розвитку продукту Mininet, з'являється графічна модифікація MiniEdit. MiniEdit відрізняється від Mininet тим, що використовуючи його не потрібно вишукувати окремі компоненти та мережеві елементи, визначати функціональні можливості і програмно прописувати процеси взаємодії. Вирішення цієї задачі полягає в тому що MiniEdit знаходить функціональні блоки і надає змогу в графічному інтерфейсі побудувати структуру мережі.

В графічному інтерфейсі є перелік елементів, взаємозв'язків та повна структура мережі. За допомогою чого можна просто скласти топологію досліджуваної мережі, після чого запустити всі елементи, які за замовчуванням налаштовуються автоматично. Також ця модифікація дає змогу конвертувати графічний вигляд мережі у програмний код, для подальшого аналізу та розвитку навиків ручного програмування мереж. Таке рішення дозволяє будувати структури мереж більш простіше, чим побудова використовуючи моделювання мережі з використанням програмного рядка Mininet. Адже при ручному моделюванні вирішення задач може привести до багатьох помилок, які потім важко знаходити та виключати. Причиною таких помилок може бути як і складність налаштування та конфігурації складних елементів мережі, так і звичайний людський фактор.

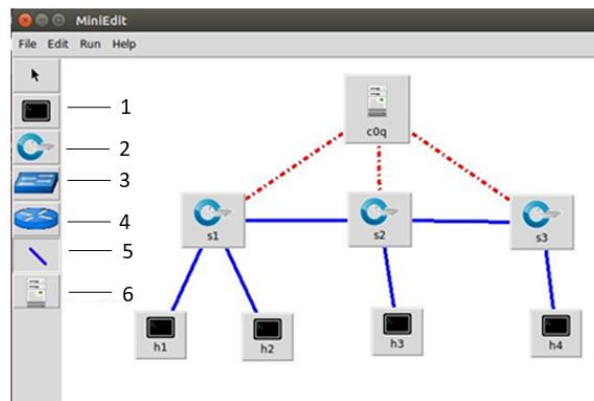


Рис. 2. Графічне полотно побудови мережі у MiniEdit.

При побудові макету мережі є можливість використання наступних інструментів (див. Рис. 2):

1. Інструмент «Хост», за допомогою якого створюються та розміщуються вузли, що виконують функції хост-комп'ютерів.
2. Інструмент «Коммутатор», за допомогою якого створюються та розміщуються комутатори з підтримкою OpenFlow. Ці комутатори будуть автоматично підключені до контролера.
3. Інструмент «Legacy Switch» за допомогою якого створюються та розміщуються типові комутатори Ethernet з налаштуваннями за замовчуванням.
4. Інструмент "Legacy Router" за допомогою якого створюються та розміщуються базові маршрутизатори, який працює без участі контролера.
5. Інструмент NetLink за допомогою якого створюються лінки між вузлами.
6. Інструмент "Контролер" за допомогою якого створюються контролери.

Висновок. MiniEdit має великі перспективи у майбутньому для моделювання та тестування показників функціонування різних топологій мереж SDN. Було приведено корисні функції якими володіє модифікація MiniEdit. MiniEdit являється корисним інструментом для створення спеціальних програмно-визначених сценаріїв моделювання мережі та володіє зручним графічним інтерфейсом, що спрощує побудову складних мереж SDN.

Література

1. C. Fancy and M. Pushpalatha, "Performance evaluation of SDN controllers POX and floodlight in mininet emulation environment," 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Palladam, India, 2017, pp. 695-699, doi: 10.1109/ISS1.2017.8389262;
2. О.І. Романов, М.М. Нестеренко, В.Б. Маньківський, І.О. Сайченко Модель оптимального розподілу навантаження в мережі доступу мобільного оператора//Вісник Черкаського державного технологічного університету № 3 (2020), С.20-29, DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2020>.
3. Lantz, Bob, Brandon Heller, and Nick McKeown. "A network in a laptop: rapid prototyping for software-defined networks." In Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks, pp. 19. ACM, 2010.
4. Romanov O.I, Nesterenko M.M., Fesokha N.O., Mankivskyi V.B. Evaluation of productivity virtualization technologies of switching equipment telecommunications networks. Information and Telecommunication Sciences, 2020, Volume 11, Number 1 (20), page 53 – 58.

ПИТАННЯ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ СИНХРОНІЗАЦІЇ НА БАЗІ ТЕЛЕКОМ-ПРОФІЛЮ СТАНДАРТУ IEEE1588-2008/2019

Тріска Н.Р.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: ntriska@ukr.net*

THE ISSUES OF MODERN SYNCHRONIZATION NETWORKS DEPLOYMENT BASED ON IEEE1588-2008/2019 TELECOM PROFILE

The basic principles of the deployment and operation of the modern synchronization networks based on PTP protocol (IEEE1588) telecom profile are summarized. The main idea is an adequate adaptation of the parameters and operation modes of PTP protocol to meet the carrier-class service quality requirements. It is important to provide the compatibility and interaction with the legacy synchronization networks and use the standard telecom synchronization practices.

Розвиток сучасних телекомунікацій (зокрема, перспективних мереж мобільного зв'язку 4/5G та відповідної транспортної інфраструктури) демонструє стабільну тенденцію зростання ролі синхронізації мереж [1, 2]. В контексті стандартизації та впровадження нових методів та технічних засобів синхронізації частоти та/або фази важливо забезпечити їх сумісність з традиційними мережами тактової синхронізації. Адаптація добре відпрацьованих, вже визнаних класичними методів планування та експлуатації мереж синхронізації (які сформувалися в період 1980-2004 [3-5]) до сучасних умов дозволить побудувати надійну та добре контрольовану мережу синхронізації.

Виходячи з цього, нижче розглядаються основні засади побудови сучасних мереж синхронізації операторського класу якості на базі телеком-профілю протоколу передавання точного часу РТР за стандартом IEEE1588-2008 [6]. Слід зазначити, що після появи у 2019 році нової доопрацьованої версії протоколу РТР (IEEE1588-20019) виникла необхідність узгодження роботи обладнання РТР обох стандартів. Дане питання знаходиться на етапі дослідної експлуатації та стандартизації.

Протокол розподілу точного часу РТР, який свого часу було розроблено для автоматизованих систем управління технологічними процесами, знайшов широке застосування у пакетних телекомунікаційних мережах. На даний час основні засади використання РТР в телекомунікаціях стандартизовано ІТУ-Т у форматі “телеком-профілю” для забезпечення частотної та часової синхронізації. Важливим аспектом ефективного впровадження протоколу РТР в телекомунікаціях є його адаптація до традиційних і добре відпрацьованих практик планування та експлуатації мереж синхронізації з метою забезпечення вимог операторського класу якості. Це висуває додаткові вимоги до “телеком-профілю” РТР, серед яких слід виділити наступне.

1) Забезпечення взаємодії та сумісності між провідними (Master) та веденими (Slave) пристроями синхронізації RTP різних виробників. Цей аспект є критично важливим для надійного функціонування мереж синхронізації крупних телекомунікаційних операторів, які зазвичай мають складну архітектуру з великою кількістю пристроїв синхронізації різних поколінь та/або різних виробників. Тому під час введення до експлуатації нового обладнання слід ретельно перевіряти його сумісність з обладнанням інших виробників, що вже працює на мережі.

2) Забезпечення розподілу сигналів синхронізації (міток точного часу) у великих за обсягом пакетних телекомунікаційних мережах, що використовують різні сучасні технології передавання та комутації (Ethernet, IP, MPLS та їхні комбінації).

3) Налаштування швидкості передавання повідомлень RTP та інших параметрів телеком-профілю RTP таким чином, щоб задовольнити вимоги, що висуваються до якісних показників мережі (наприклад, забезпечення рівня якості мережі операторського класу). Слід підкреслити, що сам по собі телеком-профіль протоколу RTP не може гарантувати дотримання певних якісних показників, але він має забезпечити необхідний рівень якості за умов застосування відповідного обладнання та грамотного підходу до проектування та експлуатації всієї пакетної мережі в цілому і, зокрема, мережі синхронізації.

4) Забезпечення сумісності та ефективної взаємодії з існуючими мережами синхронізації, що базуються на традиційних та добре відпрацьованих технічних рішеннях. Мова йде, перш за все, про існуючі розподільчі мережі тактової синхронізації на базі систем передавання синхронного Ethernet (SyncE) та синхронної цифрової ієрархії (SDH). Зокрема, телеком-профіль RTP має передбачати засоби передавання повідомлень про статус (рівень якості QL¹⁾) сигналу синхронізації – SSM²⁾ відповідно до вимог Рекомендації ITU-T G.781 від провідного пакетного пристрою синхронізації до ведених пристроїв, забезпечуючи належне відстеження еталонного сигналу синхронізації. Рівні якості QL, що передаються, мають відповідати існуючій практиці та реальним показникам точності та стабільності сигналів на виходах пристроїв, що входять до низки синхронізації.

5) Забезпечення планування та конфігурування мережі синхронізації на базі RTP за фіксованим принципом, тобто недопущення автоматичної (без втручання оператора) зміни налаштувань пристроїв синхронізації та їхньої ролі у мережі. В загальному випадку такий алгоритм (автоматичний вибір найкращого генератора) передбачається стандартом IEEE 1588, але в умовах телекомунікаційної мережі він себе не виправдовує, оскільки негативно впливає на надійність системи синхронізації. Провідні пристрої синхронізації завжди мають залишатися провідними, а ведені – веденими.

6) Забезпечення резервування (захисних переключень) відповідно до стандартних практик, прийнятих у телекомунікаційних мережах. Зокрема, має бути передбачено:

¹⁾ QL – Quality Level

²⁾ SSM – Synchronization Status Message

– резервування на фізичному рівні з використанням резервного обладнання (розташування основного та резервного пристроїв синхронізації в одному місці);

– географічне рознесення, тобто встановлення резервного обладнання в іншому місці. Слід забезпечити можливість резервування провідних пакетних пристроїв синхронізації за схемами 1:1 та N:1.

7) Визначення критеріїв перемикання ведених пристроїв синхронізації з основного сигналу синхронізації на резервний. Вони мають бути засновані на стандартних процедурах резервування в мережах синхронізації, тобто в першу чергу береться до уваги значення рівня якості QL, а вже потім (при однакових значеннях QL) – номер пріоритету.

8) Сумісність з існуючими процедурами підтримки безпеки в мережі, наприклад, методами шифрування та/або аутентифікації або мережевими методами розподілу трафіку (віртуальні локальні мережі VLAN) тощо:

– Ведені пристрої синхронізації не повинні підключатись до неавторизованих провідних пристроїв;

– Провідні пристрої синхронізації не повинні надавати послуги неавторизованим веденим пристроям.

Слід підкреслити, що реалізація наведених вище вимог може вимагати додаткових ресурсів, що погіршує показники ефективності системи. Але лише дотримання зазначених принципів за умови правильно спроектованої мережі синхронізації і добре відпрацьованих процедур її експлуатації (як в нормальному, так і в аварійному режимах) може гарантувати найвищий рівень якості сигналів синхронізації в сучасній пакетній мережі операторського класу.

Література

1. Триска, Н. Р. (2018). СИНХРОНИЗАЦІЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ НОВОГО ПОКОЛЕННЯ: ОБЗОР ТЕХНОЛОГІЙ И СТАНДАРТОВ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*, С. 101-103. <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/129671>. <http://conferenc.its.kpi.ua/2018/paper/view/12250/5768>.
2. Тріска, Н. Р. . (2021). ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ 5G НА БАЗІ ІСНУЮЧОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МЕРЕЖІ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*, С. 113-115. <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/230366>.
3. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Худынцев Н.Н. Обзор направлений исследований МСЭ в области частотно-временного обеспечения современных сетей связи. – Т-Comm, № 2-2014. – с.12-17.
4. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи: Пер. с англ. – М.: Мир, 2003. – 465 с.
5. N. Biriukov, N. Triska Time and synchronization in telecoms. – Lecture Notes in Electrical Engineering. Volume 560: Advances in Information and Communication Technologies. Processing and Control in Information and Communication Systems. – Springer, 2019. ISSN 1876-1100. ISBN 978-3-030-16770-7.- p. 205-223.
6. ITU-T G.8265.1/Y.1365.1 (06/2021) Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization.

ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТОТИ В СУЧАСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Бірюков М.Л., Тріска Н.Р.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: nlbir@ukr.net, ntriska@ukr.net

FREQUENCY ESTIMATION IN THE MODERN INTELLIGENT POWER NETWORKS

The main trends of the current power supply networks modernization according to the “smart grids” concept are summarized. This concept involves the advanced digital processing technics and the modern information and communication technologies. The role of the precise frequency evaluation in smart grids is increasing, and some traditional metrics of synchronization signals evaluation in telecommunication networks can be useful in this context. Some results of the experimental study of power signals frequency estimation are presented.

Сучасні тенденції розвитку електроенергетичної галузі на засадах лібералізації енергетичного ринку та широкого запровадження виробництва електроенергії з відновлюваних джерел (“зелена” енергетика) потребують нових підходів до розбудови, модернізації та експлуатації енергосистем. Модернізація інфраструктури та технологічних процесів здійснюється в рамках концепції створення “інтелектуальних мереж електропостачання” (англійський термін – “smart grid”) на базі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) [1, 2]. Для забезпечення надійної та ефективної експлуатації систем “smart grid” необхідний інтенсивний та всебічний моніторинг характеристик електричних сигналів з використанням сучасних методів обробки сигналів [2, 3].

Одним з базових параметрів енергосистеми, що підлягає вимірюванню й аналізу, є основна частота, яка використовується для визначення робочого стану системи і контролю якості електроенергії, а також є основою для оцінювання інших параметрів [4]. Із запровадженням технічних рішень “smart grid” вимоги до точності оцінювання робочої частоти в енергосистемі зростають. В енергосистемах часто спостерігаються перехідні процеси та аномальні умови, тому криві напруги та струму не будуть чисто синусоїдальними. Традиційні методи оцінювання частоти (зокрема, алгоритми, засновані на переходах через нуль), можуть давати велику похибку [3]. Тому необхідно розробляти більш швидкі та точні методи оцінювання частоти спотворених та нестаціонарних сигналів. В цьому контексті представляє інтерес застосування математичного апарату, що традиційно використовується для оцінювання параметрів сигналів синхронізації (зокрема, точності та стабільності частоти) в телекомунікаційних мережах, для вирішення завдань цифрової обробки сигналів в сучасних енергосистемах. Так, за допомогою метрик сигналів синхронізації, не чутливих до лінійної нестаціонарності процесів (наприклад, функцій родини дисперсії Алана), можна оцінити потужність та спектральні

властивості модулюючих коливань.

З метою дослідження нових можливостей оцінювання частоти сигналів в енергетичних системах, було проведено вимірювання параметрів робочого сигналу енергосистеми з номінальною частотою 50 Гц. На рис. 1 наведено результати оцінювання періоду і частоти цього сигналу протягом 60 с (верхній ряд на рисунку) та 10 с (нижній ряд). Для обох випадків розраховано часову помилку (TE^1) та нормовані значення частоти $y = (f - f_0)/f_0$, де f_0 – номінальне значення частоти (50 Гц).

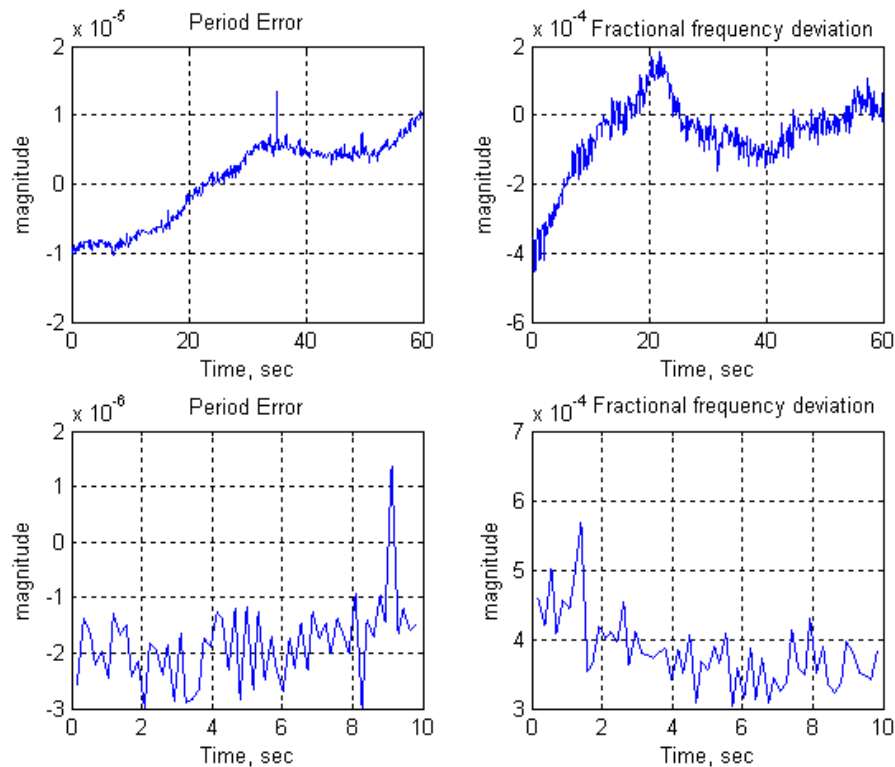


Рис. 1. Результати дослідження робочого сигналу енергосистеми (50 Гц) в частотній та часовій областях.

Нестационарний характер спотворень форми робочого сигналу в енергосистемі вимагає точного інструменту аналізу, а його візуалізація є необхідною для оцінювання якості електроенергії, наприклад, для визначення впливу гармонік на електронні пристрої та встановлення обмежень для нестационарних гармонік. Відслідковування часових змін гармонік дозволяє оцінити процеси підвищення температури та пов'язаного з ним старіння обладнання.

На рис. 2 наведено оцінки максимальних (MaxP2P), мінімальних (minP2P) та середніх (AverP2P) значень розмахів (P2P – peak-to-peak) вимірюваних сигналів на різних інтервалах часу спостереження. В даному випадку поточні значення частоти відхиляються від номінальної величини лише на долі проценту, тому представлення вимірюваних значень частоти у порівнянні з шаблоном є недоцільним. Особливості цих оцінок можуть бути використані для оперативного (в режимі реального часу) аналізу точності робочої частоти в енергосистемі.

¹⁾ TE – Time Error

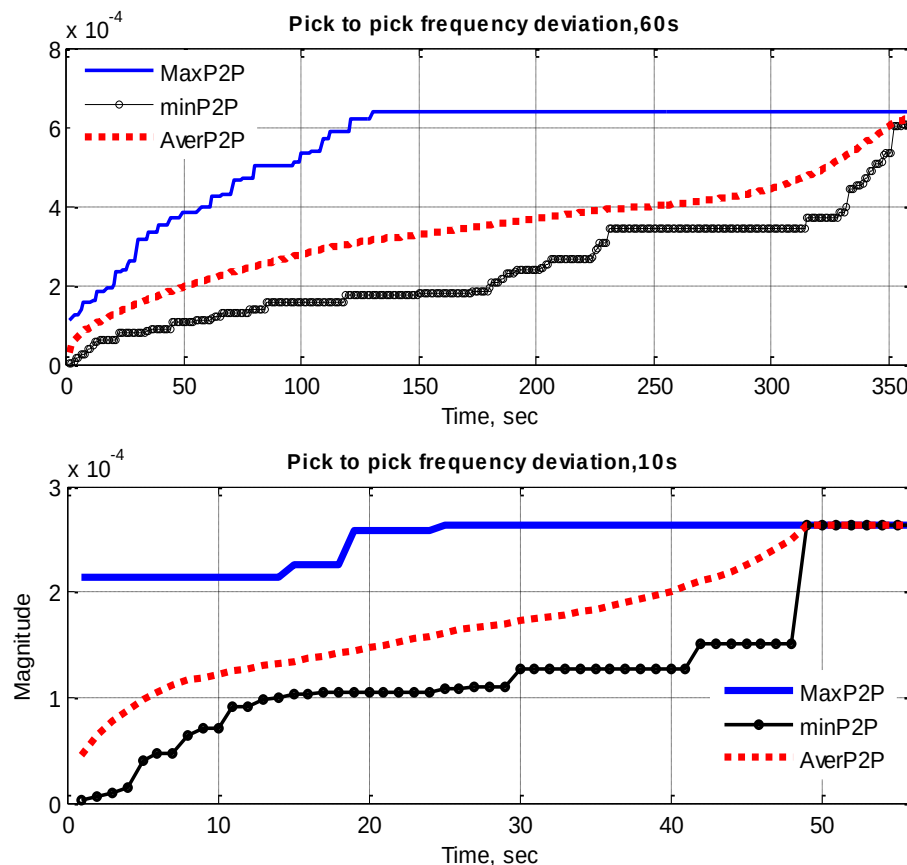


Рис. 2. Оцінки максимальних (MaxP2P), мінімальних (minP2P) та середніх (AverP2P) значень розмахів частоти виміряного сигналу, розраховані на інтервалах спостереження 60 та 10 с.

Таким чином, методи та математичний апарат, що традиційно використовуються для оцінювання параметрів цифрових сигналів в телекомунікаціях, можуть знайти застосування в процесах цифрової обробки сигналів сучасних енергосистем. Зокрема, функції родини дисперсії Алана можуть бути використані для ідентифікації джерел фазових (частотних) спотворень, що впливають на сигнали енергосистеми – по аналогії з ідентифікацією джерел фазових спотворень цифрових сигналів в телекомунікації. Особливості такого застосування та технічна реалізація залишаються для подальшого вивчення.

Література

1. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Шварц М.Л. Некоторые задачи оценивания частоты в современных энергосистемах. – The 11th International scientific and practical conference – Priority directions of science and technology development (July 11-13, 2021) SPC – Sci-conf.com.ua, Kyiv, Ukraine. 2021. – p. 158-165.
2. Бірюков М.Л., Тріска Н.Р. Тенденції цифрової обробки сигналів та синхронізації в електроенергетиці на сучасному етапі. – Науковий журнал "Вісник Університету "Україна". Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології", №2/2021 – С. 120-128.
3. Paulo Fernando Ribeiro, Carlos Augusto Duque, Paulo Márcio da Silveira, Augusto Santiago Cerqueira POWER SYSTEMS SIGNAL PROCESSING FOR SMART GRIDS: John Wiley and Sons Ltd, 2014.
4. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ АВТОМОБІЛЯХ

Гаврилюк А.Ф.

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна
E-mail: Gavriylk3@ukr.net*

ANALYSIS AND PROSPECTS OF USING TELECOMMUNICATION SYSTEMS ON FIRE AND RESCUE VEHICLES

The main factors influencing the time of arrival of units of the rescue service to the place of call are analyzed. It is determined that the use of telecommunication systems will reduce arrival time. The schematic diagram of the GPS router was developed, which in real time took into account the intensity of traffic flows, data from intelligent road cameras and based on this built the optimal (fastest) route.

Щорічно на території України виникає понад 60-80 тисяч пожеж. Впродовж 2021 року, за даними Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, на теренах України виникло 79 тисяч 457 пожежі. Це призвело до загибелі 1тисячі 853 людини та травмування 1тисячі 383 людини, а матеріальні втрати від пожеж перевищили 13 млрд грн.

Для ліквідації таких подій залучаються працівники оперативно-рятувальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій на основних, спеціальних чи допоміжних пожежно-рятувальних автомобілях [1].

Одним із важливих критеріїв зменшення збитків від пожеж є скорочення часу прибуття пожежно-рятувальних підрозділів.

На час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику впливають: відстань від місця розташування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику; інтенсивність руху транспорту на шляху слідування до місця виклику, технічні параметри пожежно-рятувальних автомобілів, а також методи організації дорожнього руху (рис 1).

Розташування пожежно-рятувальних підрозділів обумовлюється [2,3]. Згідно із [3] час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику не повинні перевищувати: в умовах міст – 10 хв, у інших населених пунктах – 20 хв. З врахуванням погодних умов (сніг, ожеледиця, дощ) час слідування може бути збільшено до 5 хв. Однак зважаючи на швидкі темпи збільшення щільності забудови, збільшення інтенсивності руху на дорогах та вулицях, часті затори тощо, час прибуття не завжди відповідає вищенаведеному.



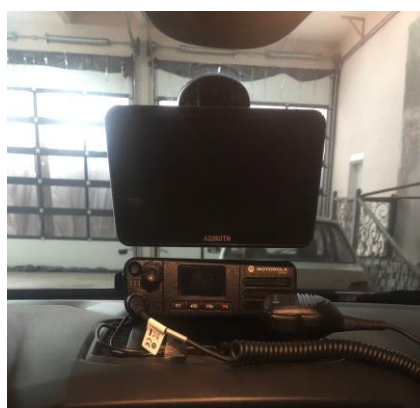
Рис. 1. Вплив чинників на час слідування пожежно-рятувального підрозділу.

Також з метою забезпечення часу прибуття транспортні засоби оперативно-рятувальної служби обладнуються синіми проблісковими маячками, сигнально-гучномовною установкою та під час виконання невідкладних службових обов'язків можуть відступати від правил регулювання дорожнього руху за умови забезпечення безпеки дорожнього руху [4]. Разом з тим, мають місце випадки, коли водії інших транспортних засобів не надають перевагу у русі транспортним засобам оперативно-рятувальної служби, що рухаються із увімкненими проблісковими маячками, що призводить до дорожньо-транспортних пригод за участю таких автомобілів.

В Україні на автомобілях оперативно-рятувальної служби для оптимізації шляху слідування до місця виклику використовуються GPS-маршрутизатори-реєстратори (рис 2), які будують оптимальний маршрут руху до місця виклику. Однак такі маршрутизатори не враховують поточний стан завантаженості автомобільних доріг, затори, місця виникнення ДТП тощо.



а)



б)



в)

Рис. 2. Зовнішній вигляд типового GPS-маршрутизатора-реєстратора:
а) з салону автомобіля б) з зовні в) зовнішній вигляд автомобіля.

У роботі пропонується використати різноманітні телекомунікаційні дані для оптимізації часу слідування до місця виникнення. Принципова схема

роботи адаптивного GPS-маршрутизатора для транспортних засобів оперативно-рятувальних служб зображена на рис 3.



Рис. 3. Принципова схема роботи GPS-маршрутизатора.

Такий GPS-маршрутизатор синхронізований із базою операторів мобільного зв'язку, на підставі якої аналізується кількість і швидкість руху транспортних засобів по можливих шляхах слідування оперативно-рятувальних автомобілів (на підставі використання геолокаційних даних). Також використовується інформація з інтелектуальних дорожніх камер, які інформують про ДТП, які сталися на можливих шляхах слідування. На підставі цих даних будується оптимальний (найшвидший) маршрут слідування. Для забезпечення безпеки руху оперативно-рятувального автомобіля, з використанням його геолокаційних даних, через систему автоматичного контролю дорожнім рухом по шляху слідування, автоматично вмикається дозвільний сигнал світлофора.

Реалізація такої принципової схеми дозволить скоротити час слідування (а значить і зменшити збитки) оперативно-рятувальної служби і може бути використана для інших екстрених служб, таких як поліції, медицини тощо.

Література

1. Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж / затверджений наказом МВС України від 26.04.2018 № 340. – К., 2018. – 152 с.
2. ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень».
3. Постанова КМУ від 27.11.2013 року №874 «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)».
4. Постанова КМУ від 10.10.2001 року №1306 «Про правила дорожнього руху».

СИСТЕМА БЕЗДРОТОВОГО ПЕРЕДАВАННЯ ВІДЕО З РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ 8K З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРАГЕРЦОВИХ ХВИЛЬ

Дикий О.І., Авдєєнко Г.Л.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: dykyi_oleksiy_172@ukr.net

8K RESOLUTION VIDEO WIRELESS VIDEO TRANSMISSION SYSTEM USING TERAHERTZ WAVES

A variant of practical implementation of a prototype of a wireless video transmission system with a resolution of 8K over a terahertz radio line in the 300 GHz band is considered. A distinctive feature of the proposed receiving device from the known is the use of resonant tunnel diodes as demodulators of the terahertz signal, which greatly simplifies the receiving part of the proposed wireless transmission system.

Останнім часом спостерігається інтерес наукової спільноти та інженерів-розробників до терагерцового діапазону частот (100 ГГц – 10000 ГГц), який містить великий частотний ресурс, що може бути задіяний для безпроводової передачі інформації, зокрема й сигналів телебачення надвисокої чіткості (UHD) з роздільною здатністю зображення 4K (3840×2160 пікселів) та 8K (7680×4320 пікселів) (рис.1).

Терагерцові хвилі займають проміжне положення між міліметровим та оптичним діапазоном хвиль (Рис.1). Аналіз публікацій показує, що більшість науковців зосередилися на розробці та дослідженні прототипів систем передавання сигналів на терагерцових хвилях у діапазоні 100, 130, 230 та 300 ГГц [1-3], що пов'язано з наявністю вікон прозорості у вказаних діапазонах.

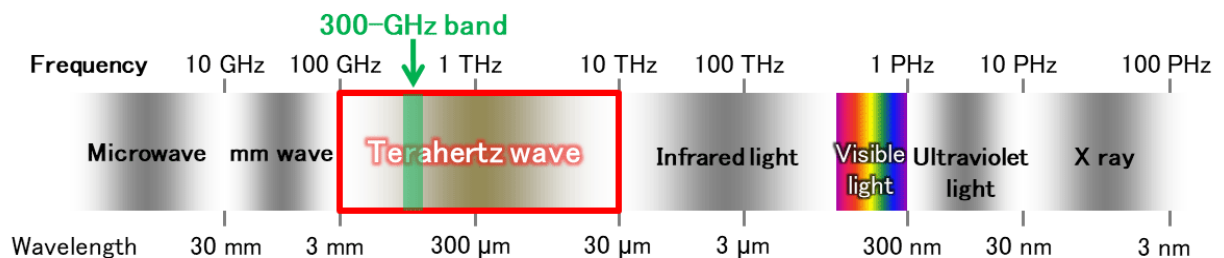


Рис.1. Терагерцові хвилі в діапазоні 300 ГГц.

Як приклад, у роботі [1] японських вчених представлено розробку інтегральної мікросхеми (ІМС) передавача діапазону 300 ГГц на базі електронної технології 40 нм CMOS. Такий передавач при використанні модуляції 32-QAM дозволяє забезпечити пропускну здатність 17,5 Гбіт/с у кожному з 6-ти каналів зі смугою пропускання 5 ГГц, покриваючи при цьому частотний діапазон 275-305 ГГц. Сумарна пропускна спроможність, яку може забезпечити ІМС передавача складає 105 Гбіт/с. У свою чергу, в роботі [2] продемонстровано експериментальний макет безпроводової лінії типу «точка-точка» (SISO) діапазону 237,5 ГГц, який поєднує в собі технології

електронної та фотонної техніки, з максимальною швидкістю передачі даних 100 Гбіт/с на відстань 20 м при використанні до трьох радіочастотних піднесучих частот. Для безпроводової лінії протяжністю більше 40 м, максимальна швидкість передачі даних 75 Гбіт/с забезпечувалась однією радіочастотною несучою на частоті 237,5 ГГц з модуляцією 8-QAM. Такі радіолінії терагерцового діапазону можуть застосовуватися у середині приміщень для організації надвисокошвидкісного з'єднання між мобільними терміналами та настільними персональними комп'ютерами. Крім того, у роботі [3] продемонстровано експериментальний макет системи волоконно-бездротової системи передачі по 80-кілометровому одномодовому волокну (SMF-28) з пропускною здатністю 108 Гбіт/с і 1-метрову радіолінію діапазону 100 ГГц з використанням квадратурної фазової маніпуляції з поляризаційним мультиплексуванням (PDM) (PDM-QPSK) і двоетапного понижуючого перетворення в аналогових і цифрових трактах приймача.

Враховуючи значний світовий прогрес у технічній розробці пристроїв терагерцового діапазону, метою тез є розгляд варіанту побудови системи безпроводового передавання ТВ сигналу стандарту 8K, який запропонований командою дослідників з Університету м. Осака (Японія) спільно з компанією Rohm Co., Ltd [4]. Прототип цієї системи використовує терагерцові хвилі діапазону 300 ГГц як носій інформації, який забезпечує бездротове передавання відео 8K UHD зі швидкістю передачі даних 48 Гбіт/с у рамках проекту JST CREST «Розробка інтегрованої технологічної платформи терагерцового діапазону шляхом поєднання резонансних тунельних діодів та фотонних кристалів.

Варто відзначити, що необхідність проведення досліджень та розробки прототипів таких систем бездротового передавання пов'язана з тим, що функціонал пристроїв стандарту мобільного зв'язку 6G буде виходити за рамки існуючого покоління систем 5G й передбачатиме передачу відео в форматі 8K з низькою затримкою та низьким енергоспоживанням. З іншого боку, оскільки швидкість передачі відео UHD дуже висока (десятки Гбіт/с), то необхідно стискати дані при його бездротовій передачі системою 5G з використанням мікрохвиль або міліметрових хвиль, що призводить до затримок та збільшення енергоспоживання. Таким чином, потрібна розробка технології бездротової передачі UHD без стиснення, яка орієнтована на стандарт 6G та терагерцовий діапазон.

У прототипі системи передавання відео 8K [4], розробники сконфігурували двоканальний терагерцовий передавач (Tx), модулюючи відеосигналом 8K вихідні оптичні сигнали двох лазерів з довжинами хвиль в діапазоні 1,55 мкм за допомогою модулятора інтенсивності хвилі на базі надшвидкого фотодіода (ФД). При цьому ці лазери були налаштовані таким чином один по відношенню до іншого, щоб різниця їх оптичних частот знаходилася в діапазоні терагерцових хвиль, тобто біля 300 ГГц (Рис.2).

На передавальній стороні прототипу у якості джерела відеосигналу 8K було використано підготовлений та комерційно доступний відеоконтент з повною роздільною здатністю 8K від компанії Astrodesign Inc., який

формувався у вигляді чотириканального сигналу зі швидкістю потоку в кожному з каналів 12 Гбіт/с з подальшим формуванням двоканального сигналу шляхом мультиплексування 4-х відеопотоків у 2. Використовувалася з двопозиційна амплітудна маніпуляція ООК двоканальним сигналом 24 Гбіт/с.

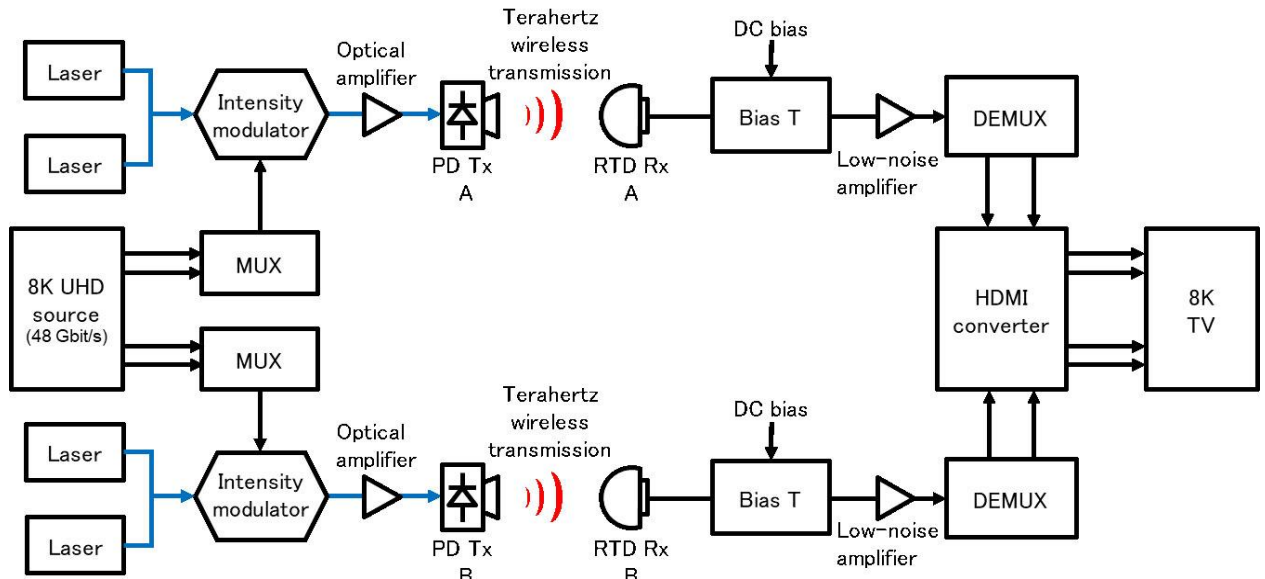


Рис.2. Блок-схема системи бездротової передачі відео 8K UHD в терагерцовому діапазоні, що має два канали по 24 Гбіт/с.

На приймальній стороні (рис.2) дві терагерцові хвилі, що передаються по бездротовому каналу від відповідних терагерцових передавачів, були виявлені чутливими когерентними терагерцовими приймачами (Rx) з використанням резонансних тунельних діодів (RTD) (Рис.3), які виступали у вигляді амплітудних детекторів. Після цього, продетектовані та підсилені відеопотоки 24 Гбіт/с були демультимплексовані з двох каналів на чотири канали по 12 Гбіт/с та підключені до монітора 8K через кабель HDMI. Використовуючи таку систему передавання, нестиснене відео 8K (еквівалент 48 Гбіт/с) успішно вдалось передати бездротовим каналом в діапазоні 300 ГГц (Рис. 4).

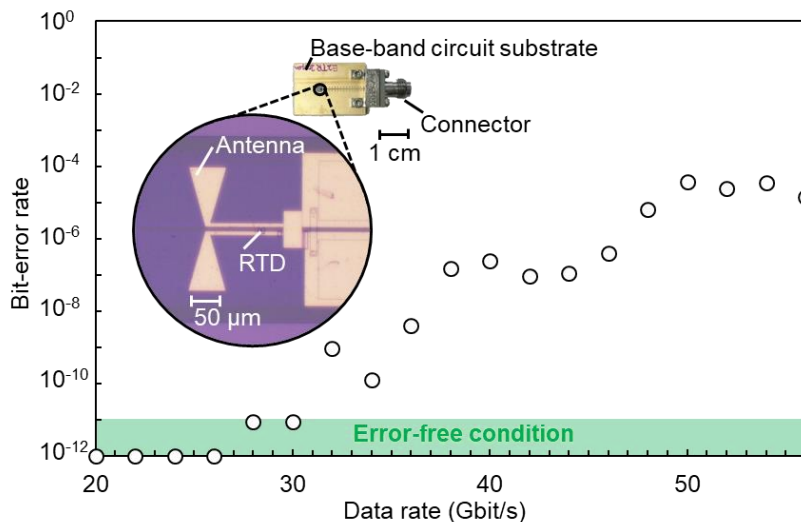


Рис.3. Фотографія терагерцового приймача та бази RTD: ймовірність бітової помилки на швидкості 24 Гбіт/с не перевищує 10^{-11} .



Рис. 4. Фотографія прототипу системи бездротового передавання відео 8K UHD у реальному часі: на передньому плані показані два фотодіодні передавачі (Tx) та два RTD-приймачі (Rx) з телевізійним екраном 8K на задньому плані.

Зазвичай, експерименти з надвисокою швидкістю передачі даних в терагерцовому діапазоні виконуються з використанням багаторівневої модуляції типу QAM за допомогою модуляторів/демодуляторів з високим енергоспоживанням, та цифровою обробкою сигналів [1]-[3]. Експериментальні дослідження прототипу системи передавання відео 8K, що запропонована в [4] показує можливість надійного використання найпростішого формату модуляції - ООК, що дозволяє значно спростити схему приймального пристрою і демонструє можливості надширокосмужових терагерцових хвиль.

Висновки: Наукові та практичні досягнення зарубіжних науковців, розробників та інженерів демонструють корисність застосування терагерцових хвиль, що в свою чергу прискорить дослідження та розробку надвисокошвидкісних систем передачі в стандарті 6G.

Література

1. K. Katayama, K. Takano, S. Amakawa, S. Hara, A. Kasamatsu, K. Mizuno, K. Takahashi, T. Yoshida, M. Fujishima A 300 GHz CMOS Transmitter With 32-QAM 17.5 Gb/s/ch Capability Over Six Channels // IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 51, December 2016, issue 12, pp. 3037-3048.
2. S. Koenig, D. Lopez-Diaz, J. Antes, F. Boes, R. Henneberger, A. Leuther, A. Tessmann, R. Schmogrow, D. Hillerkuss, R. Palmer, T. Zwick, C. Koos, W. Freude, O. Ambacher, J. Leuthold and I. Kallfass Wireless sub-THz communication system with high data rate // Nature photonics, Vol.7, December 2013, pp.977-981.
3. Xinying Li, Ze Dong, Jianjun Yu, Nan Chi, Yufeng Shao, and G. K. Chang Fiber-wireless transmission system of 108 Gb/s data over 80 km fiber and 2×2 multiple-input multiple-output wireless links at 100 GHz W-band frequency // Optics Letters, Vol.37, Issue 24, pp.5106-5108 (2012).
4. Terahertz accelerates beyond 5G towards 6G. Graduate School of Engineering Science, 2021. URL: https://resou.osaka-u.ac.jp/en/research/2021/20210201_1 (дата звернення 28.03.2022).

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

УДК 621.396

**МЕТОД ПРОСТОРОВОЇ СЕЛЕКЦІЇ СИГНАЛІВ
НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО КУТОВІ КООРДИНАТИ
ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Авдєєнко Г. Л., Куликівська Н.І.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КІІІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: django2006@ukr.net

**METHOD OF SPATIAL SELECTION OF SIGNALS BASED ON THE
INFORMATION ABOUT RADIATION SOURCES ANGULAR COORDINATES**

The basic trends of devices on high order modes of dielectric resonators (DR) are summarized. The results of simulation of high order mode of quadruple type in rectangular DR are presented.

На сьогоднішній день адаптивна просторова селекція сигналів за допомогою антенних решіток (АР) є невід'ємною складовою систем радіолокації, радіоелектронної боротьби та радіотехнічної розвідки. Також в останні роки спостерігається значний інтерес стосовно практичного використання адаптивного керування променями АР в системах зв'язку 5G для отримання високих швидкостей передавання даних в умовах обмеженості радіочастотного ресурсу та значної кількості абонентів [1].

У класичних роботах по адаптивним АР [2-3] показано, що вектор вагових коефіцієнтів (ВБК) АР при оптимальній просторовій селекції розраховується відповідно до рівняння Вінера-Хопфа,

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{S}_a, \quad (1)$$

де $\mathbf{R}_{xx}$ – коваріаційна матриця вхідних сигналів АР; $\mathbf{S}_a = \mathbf{a}(\theta_s)$ – вектор-стовпець просторової структури очікуваного сигналу, який знаходиться на пеленгу θ_s .

У свою чергу, $\mathbf{a}(\theta) = [1 \ e^{j2\pi d \sin(\theta)/\lambda} \ \dots \ e^{j2\pi d (M-1) \sin(\theta)/\lambda}]^T$ – керуючий вектор-стовпець АР, що складається з неспрямованих антен, при прийманні гармонійної електромагнітної хвилі з плоским фазовим фронтом від джерела радіовипромінювання (ДРВ), що знаходиться на пеленгу θ в дальній зоні, d – відстань між антенними елементами, λ – довжина робочої хвилі, M – кількість каналів (антенних елементів) АР.

У найпростішому випадку, вхідний сигнал $x_i(t)$ в кожному з M каналів АР можна подати як адитивну суміш суму корисного сигналу та завад (суми зовнішніх та внутрішнього теплового шуму), тому коваріаційну матрицю $\mathbf{R}_{xx}$ при умові, що корисний сигнал та завади не є корельованими одна з одною, можна записати як

$$\mathbf{R}_{xx} = E\{\mathbf{x}(t)\mathbf{x}(t)^H\} = \mathbf{R}_{ss} + \mathbf{R}_{nn}, \quad (2)$$

де $E\{\cdot\}$ – операція математичного очікування, $\mathbf{R}_{ss}$, $\mathbf{R}_{nn}$ – коваріаційні матриці корисного сигналу та завад, $\mathbf{x}(t)$ – комплексний вектор-стовпець вхідних сигналів АР, які в свою чергу можна представити наступним чином

$$\mathbf{R}_{ss} = E\{\mathbf{s}(t)\mathbf{s}(t)^H\} = P_s \mathbf{S} \mathbf{S}^H, \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_{nn} = E\left\{\left(\sum_{n=1}^N \mathbf{n}_n(t) + \mathbf{n}_0(t)\right)\left(\sum_{n=1}^N \mathbf{n}_n(t) + \mathbf{n}_0(t)\right)^H\right\} = \left(\sum_{n=1}^N h_n \mathbf{N}_{v_n} \mathbf{N}_{v_n}^H + \mathbf{I}\right) \sigma_0^2, \quad (4)$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{s}(t) + \sum_{n=1}^N \mathbf{n}_n(t) + \mathbf{n}_0(t), \quad (5)$$

де $\mathbf{s}(t)$, $\mathbf{n}_n(t)$, $\mathbf{n}_0(t)$ – відповідно комплексні вектор-стовпці корисного сигналу, завади від n -го джерела радіовипромінювання (ДРВ), внутрішнього шуму в каналах АР, $n=1\dots N$; N – кількість зовнішніх завад; $\mathbf{N}_{v_n} = \mathbf{a}(\theta_n)$ – вектор-стовпець просторової структури зовнішньої завади, ДРВ якої знаходиться на пеленгу θ_n ; σ_0^2 – дисперсія (потужність) внутрішнього шуму в каналі АР; відношення потужності завади σ_n^2 від n -го джерела завад до потужності власних шумів у каналі АР, тобто $h_n = \sigma_n^2 / \sigma_0^2$; P_s – потужність корисного сигналу в каналі АР; $\mathbf{I} = \text{diag}[1]$ – одинична матриця розміром $M \times M$; $\mathbf{H}$ – знак ермітового спряження.

Нормована характеристика спрямованості (ХС) АР до та після просторової селекції може бути представлена наступним чином:

$$F_0(\theta) = 20 \log |\mathbf{w}_0^H \mathbf{a}(\theta) / M|, \quad F_1(\theta) = 20 \log |\mathbf{w}_{opt}^H \mathbf{a}(\theta) / M| \quad (6)$$

де $\mathbf{w}_0 = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^H$ – ВВК АР з рівномірним розподілом до просторової селекції.

На рис.1,а та рис.1,б представлено відповідно результати розрахунку ХС для лінійної еквідистантної АР (ЛЕАР) при $M = 20$ та частоти $f = 3$ ГГц до та після просторової селекції корисного сигналу, ДРВ якого розташоване на пеленгу θ_n на фоні двох завад з $h_1 = h_2 = 50$ дБ, ДРВ яких розташовано на пеленгах $\theta_1 = -20^\circ$, $\theta_2 = 20^\circ$.

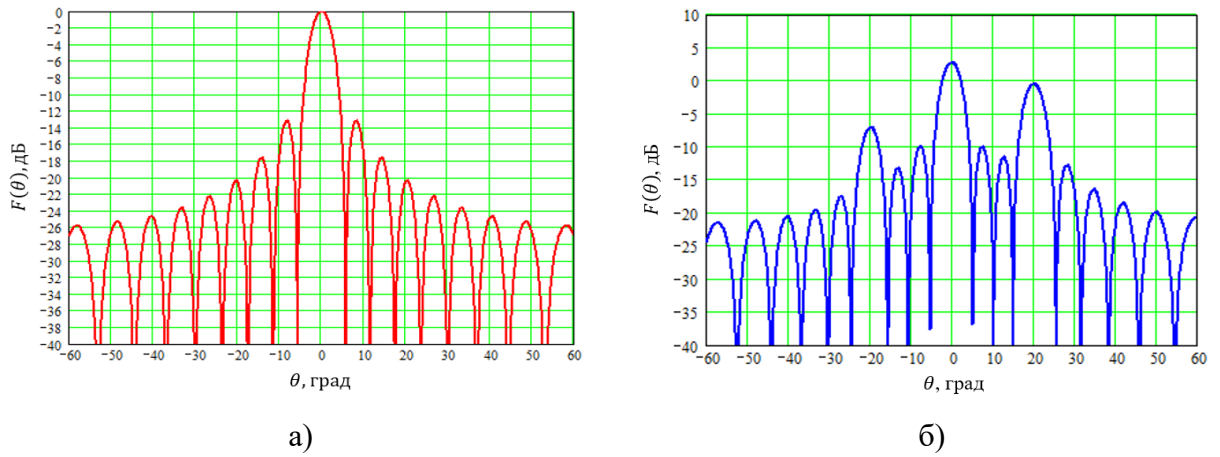


Рис.1. Діаграма спрямованості ЛЕАР до просторової селекції (а) та після просторової селекції (б) корисного сигналу ($\theta_s = 0^\circ$) на фоні двох завад ($\theta_1 = -20^\circ$, $\theta_2 = 20^\circ$) при рівномірному амплітудному розподілі поля на розкритті АР.

Як видно з рис.1.б, метод просторової селекції, при якому ВВК АР формується з використанням рівняння (1), не працює, оскільки в ХС АР відсутні «провали». Це пов'язано з тим, що в структурі коваріаційної матриці $\mathbf{R}_{xx}$ присутня складова корисного сигналу $\mathbf{R}_{SS}$. Використовуючи лему про обернення матриці [2], отримаємо, що

$$\mathbf{R}^{-1} = (\mathbf{P}_S \mathbf{S}_\alpha \mathbf{S}_\alpha^H + \mathbf{R}_{NN})^{-1} = \mathbf{R}_{NN}^{-1} \left(\mathbf{I} - \frac{\mathbf{P}_S \mathbf{S}_\alpha \mathbf{S}_\alpha^H \mathbf{R}_{NN}^{-1}}{1 + \mathbf{S}_\alpha^H \mathbf{R}_{NN}^{-1} \mathbf{S}_\alpha} \right). \quad (7)$$

Підставляючи вираз (7) у (1), отримаємо, що оптимальний ВВК АР дорівнюватиме

$$\mathbf{w} = \mathbf{P}_S \mathbf{R}_{NN}^{-1} \left(\mathbf{I} - \frac{\mathbf{P}_S \mathbf{S}_\alpha \mathbf{S}_\alpha^H \mathbf{R}_{NN}^{-1}}{1 + \mathbf{S}_\alpha^H \mathbf{R}_{NN}^{-1} \mathbf{S}_\alpha} \right) \mathbf{S}_\alpha = \mathbf{P}_S \mathbf{R}_{NN}^{-1} \left(\mathbf{S}_\alpha - \frac{\mathbf{S}_\alpha q^2}{1 + q^2} \right) = \mu \mathbf{R}_{NN}^{-1} \mathbf{S}_\alpha, \quad (8)$$

де $\mu = \mathbf{P}_S / (1 + q^2)$ – дійсна константа, $q^2 = \mathbf{S}_\alpha^H \mathbf{R}_{NN}^{-1} \mathbf{S}_\alpha$ – константа, яка чисельно дорівнює відношенню потужності сигналу до суми потужностей завад та шумів на виході АР.

Отже, з аналізу виразу (8) видно, що вплив складових корисного сигналу на коваріаційну матрицю $\mathbf{R}_{xx}$ вхідних сигналів АР теоретично зводиться до масштабування коваріаційної матриці шумів і завад $\mathbf{R}_{NN}$ за допомогою скалярного множника μ . Для практичної реалізації просторової селекції згідно (8) необхідно виключити складові корисного сигналу з суміші вхідних сигналів АР. Одним з варіантів такої реалізації може буди метод просторової селекції, що базується на використанні алгоритмів кутового надрозрізнення (пеленгації) [4], суть якого полягатиме у наступному: на базі отриманої інформації про пеленги ДРВ сигналів та їх відношення сигнал/шум в каналі АР з пеленгаційного рельєфу що розрахований з використанням одного з алгоритмів пеленгації (Кейпона, MUSIC, ESPRIT) тощо, реконструюється коваріаційна матриця, обчислюється вектор вагових

коефіцієнтів з використанням рівняння (8), після чого суміш всіх сигналів в кожному каналі АР поелементно перемножується з ВВК, і в результаті чого формується ХС, в якій на кутових координатах завад формуються провали. Блок-схема, що реалізує вищевказаний удосконалений метод зображена на рис.2.

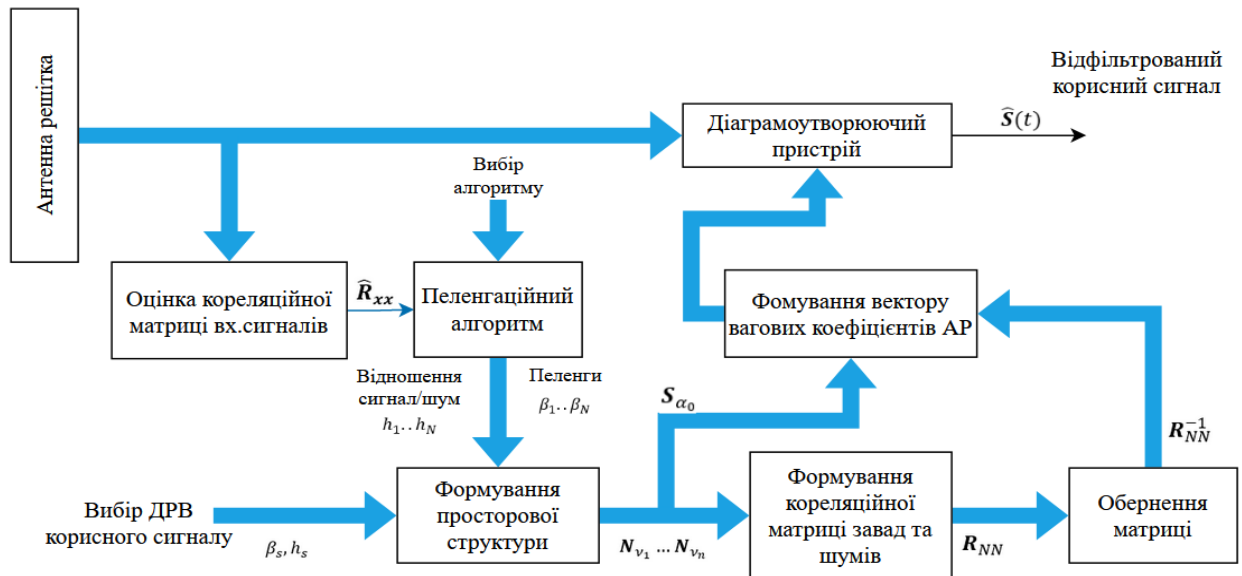


Рис.2. Блок-схема удосконаленого методу просторової селекції.

На рис.3,а та рис.3,б відповідно представлено пеленгаційні рельєфи для алгоритмів пеленгації Кейпона та MUSIC при наявності трьох ДРВ, що розташовані на пеленгах $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_1 = -20^\circ$, $\theta_2 = 20^\circ$.

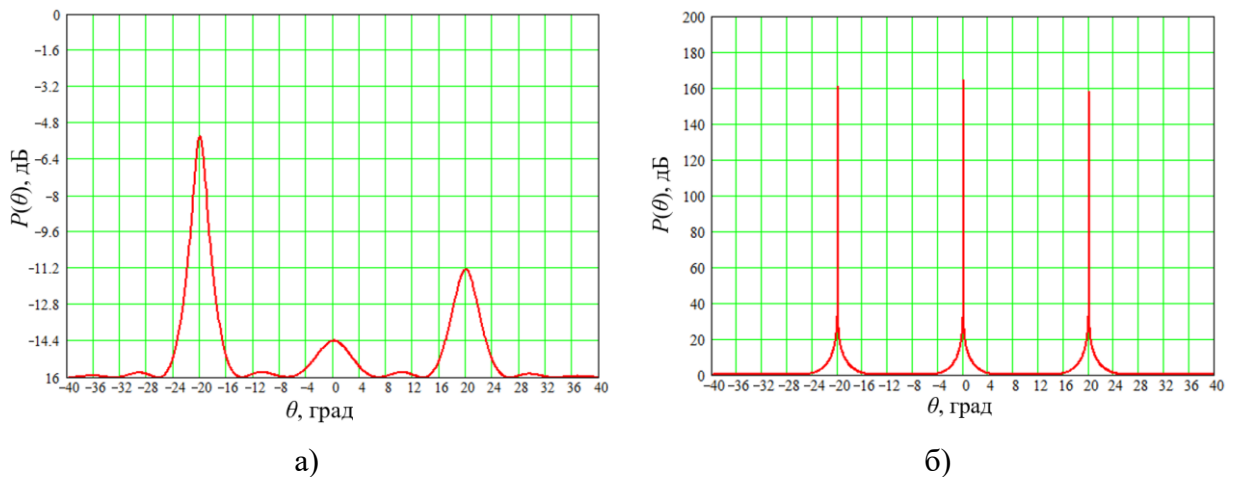


Рис.3. Пеленгаційні рельєфи при застосуванні алгоритмів пеленгації Кейпона (а) та MUSIC (б) для оцінювання кутових координат трьох ДРВ, що розташовані на пеленгах $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_1 = -20^\circ$, $\theta_2 = 20^\circ$.

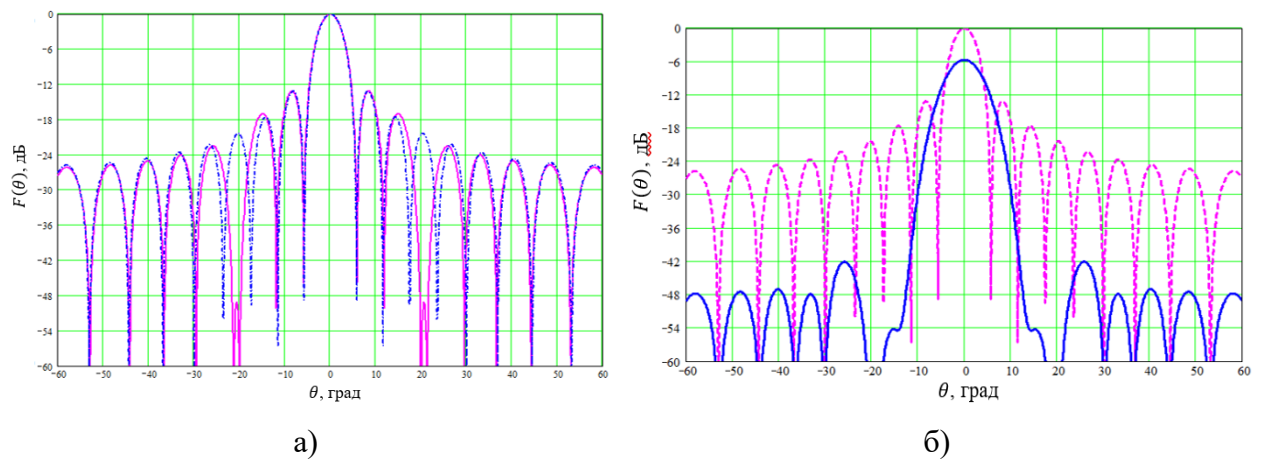


Рис.4. Діаграма спрямованості ЛЕАР до просторової селекції (штрихова лінія) та після просторової селекції корисного сигналу ($\theta_s = 0^\circ$) на фоні двох завад ($\theta_1 = -20^\circ$, $\theta_2 = 20^\circ$) при рівномірному розподілі (а) та спадаючому амплітудному розподілі (б) поля на розкритті решітки.

На рис.4 представлено діаграму спрямованості ЛЕАР до та після просторової селекції корисного сигналу на фоні двох завад, з використанням запропонованого на рис.2 методу селекції при рівномірному та спадаючому амплітудному розподілі поля на апертурі решітки, які відповідно знаходяться в далекій зоні на пеленгах, визначених по максимумах пеленгаційного рельєфу, що зображений на рис.3, тобто $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_1 = -20^\circ$, $\theta_2 = 20^\circ$.

Висновок. Порівняння ХС АР на рис.1,б та рис.4,а,б показує, що запропонований метод просторової селекції дозволяє придушувати завади, формуючи «провал» в ХС в кутових напрямках на ДРВ цих завад.

Література

1. Макаренко В., Потемкин Е. Технологическая эволюция ВЧ-устройств систем 5G миллиметрового диапазона, Беспроводные технологии, №2, 2019, с.35-39.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. 448 с.
3. Адаптивные антенные решетки. Учебное пособие в 2-х частях. Часть 2 / В. А. Григорьев и др.; ун-т ИТМО; общ. Ред. В. А. Григорьев. Санкт-Петербург, 2016. 118 с.
4. Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є. А. Спосіб просторової селекції джерел радіовипромінювання в довільній хвильовій зоні на основі модифікованого алгоритму Кейпона. Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій»: зб. матеріалів конф. 18-21 квіт. 2017р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. С.232-234.

АЛГОРИТМ ВХОДЖЕННЯ В СИНХРОНІЗМ РАДІОЛІНІЇ З ППРЧ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ФАЗИ М-ПОСЛІДОВНОСТІ

Василенко С.В.

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Україна
E-mail: vasylenko.phd@gmail.com*

ALGORITHM OF RADIO LINE SYNCHRONISM ENTERING WITH FHSS ON THE BASIS OF M-SEQUENCE PHASE DETERMINATION

In this paper, based on the method of determining the phase of the M-sequence, an algorithm for synchronizing the radio line with frequency-hopping spread spectrum (FHSS) is proposed, which will increase the reliability of determining the transmitter signal at the frequency controlled by the receiver and minimize the required synchronization time.

Відомо, що системи радіозв'язку спеціального призначення (СРЗ СП) змушені функціонувати у складній радіоелектронній обстановці, яка зумовлюється як природними так і навмисними завадами, що діють в каналі. Ефективним засобом захисту СРЗ СП від навмисних завад є використання сигналів з розширеним спектром [1].

Відомо, що прийом та обробка широкосмугових сигналів, вимагає точної синхронізації між опорною псевдовипадковою послідовністю (ПВП) передавача та прийнятою ПВП. Оскільки у реальних умовах точний момент приходу сигналу на вхід приймача невідомий, то на приймальній стороні повинні бути вжиті заходи для співпадиння у часі опорної й прийнятої ПВП та підтримці цього стану під час передачі повідомлення. Необхідні міри покладаються на систему синхронізації [2–3].

Одним з можливих шляхів підвищення ймовірності вірної синхронізації є зниження інформаційної швидкості передачі циклової синхропослідовності, що відкриває можливості застосування методів надлишкового кодування. Однак, при великих довжинах регістрів генератора ПВП, зростає складність декодерів (що часто є неприйнятним), а при ймовірності помилки на двійковий символ порядку 10^{-1} , яка є типовою для УКХ-радіоліній, ефективність застосування надлишкового кодування катастрофічно знижується [4].

Принципово нові можливості циклової синхронізації відкриваються при використанні методу розширення спектру шляхом псевдовипадкового переналаштування робочої частоти (ППРЧ). При цьому однією з важкорозв'язних залишається проблема їх синхронізації, якій присвячено досить велику кількість робіт [5–8]. Враховуючи різноманіття завдань, що ставляться до системи синхронізації радіолінії з ППРЧ, питання подальшої розробки конкретних алгоритмів входження в синхронізм продовжують залишатися актуальними.

Припускаючи, що номер частотної позиції у двійковій формі містить інформацію про декілька субелементів послідовності, то для правильного визначення значень цих субелементів досить визначити номер частоти передачі кореспондента. У свою чергу, ймовірність правильного визначення номера частоти передачі може бути отримана скільки завгодно високою, наприклад, за допомогою передачі додаткової послідовності необхідної довжини з “гарними” кореляційними властивостями, що виконує завдання тактової синхронізації на частоті випромінювання.

При такому підході зазначена додаткова послідовність виконуватиме одночасно два завдання - початкової тактової синхронізації та необхідного підвищення достовірності визначення номера частоти передачі (що еквівалентно прийому декількох субелементів послідовності, що є двійковим номером частоти передачі).

Оскільки визначення номера однієї частоти передачі при числі частот меншому 2^n не дасть всієї інформації про синхропослідовність довжиною n , необхідно визначити кілька номерів частот передачі. Враховуючи той факт, що структура генератора ПВП на приймальній стороні відома, для циклової синхронізації в межах одного періоду достатньо прийняти таку кількість сигналів передавача на різних частотах (номерів частот), щоб сума символів двійкових номерів частот передачі, що не перетинаються, була не менше довжини n регістра генератора ПВП.

Розглядаючи алгоритм входження в синхронізм, що ґрунтується на описаному вище способі визначення фази M -послідовності, передавач посилає на кожній частотній позиції синхросигнал, який у певний момент часу t_0 на інтервалі T_i співпадає з частотою приймача та здійснить тактову синхронізацію, тим самим ідентифікуючи адресу та визначить деякий сегмент послідовності вектору x^{iw} довжиною n . Після чого приймач переналаштується на наступну робочу частоту, відповідно до закону отриманої послідовності.

З метою аналізу двох частот, можуть застосовуватися або два приймачі, що здійснюють переналаштування на різних частотах, або один приймач, що переналаштовується послідовно на обидві можливі частоти. У випадку використання одного приймача передавач змушений передавати сигнал на одній частоті два рази (рис. 1).

У випадку коли на обох частотах спостерігається високий рівень завади, а сигнал передавача на $(i+1)$ -ому такті не прийнятий, приймач переналаштовується на “кращу” частоту і на $(i+1)$ -ому такті (де l - число тактів до чергового успішного прийому сигналу передавача), визначається сегмент деякого вектор $x^{(i+l)}$. Після чого приймачі переналаштовуються по черзі на ці частоти, а передавач випромінює сигнал на одній частоті двічі. У випадку вдалого прийому сигналу передавача буде прийнятий ще один субелемент вектору $x^{(i+l+1)}$. Далі знову відбувається переналаштування приймачів і так далі.

У випадку неприйняття сигналу передавача приймач переналаштовується на “кращу” частоту і при черговому співпадині частот здійснює прийом синхропослідовності.

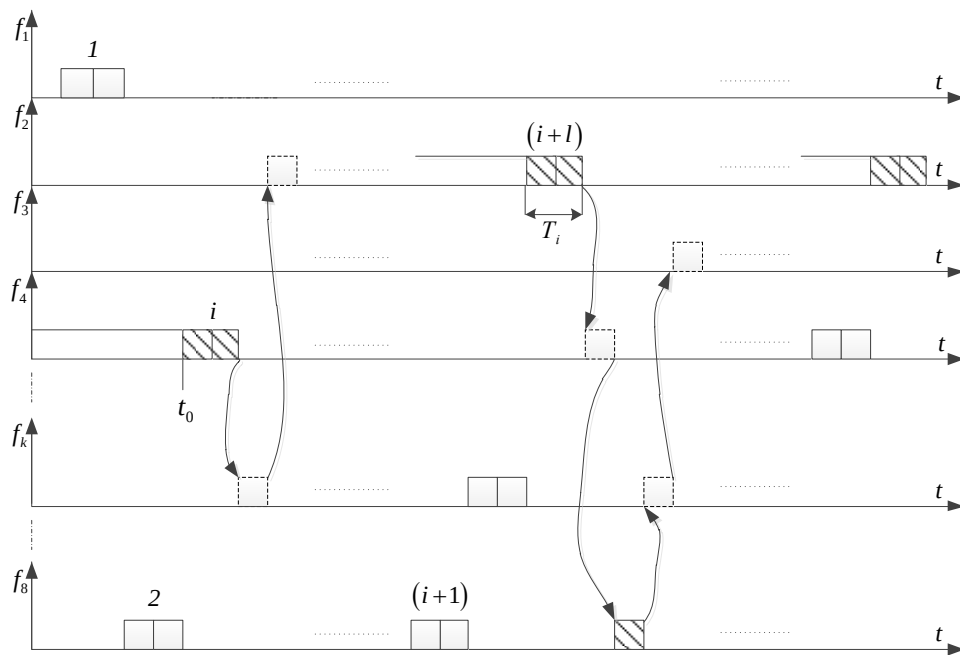


Рис. 1. Часові діаграми циклової синхронізації приймача радіолінії з ППРЧ.

Запропонований алгоритм входження в синхронізм дозволить на основі декількох прийнятих наборів відрізків M -послідовності, сума символів яких не менше довжини регістра генератора ПВП, однозначно визначити всю M -послідовність на будь-якому $(i+1)$ -ому такті роботи, що в свою чергу дозволить підвищити достовірність визначення номеру частоти передачі та зменшити час входження в синхронізм передавача радіолінії з ППРЧ.

Література

1. Борисов В. И., Зинчук В. М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной поход. Москва : *Радиософт*, 2008. С 260.
2. Лосев В. В., Бродская Е. Б., Коржик В. И. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. Москва : *Радио и связь*, 1988. С 224.
3. Свириденко С. С. Основы синхронизации при приеме дискретных сигналов. Москва : *Связь*, 1974. С 144.
4. Кларк Дж. мл., Кейн Дж. Кодування з виправленням помилок у системах цифрового зв'язку. Пер. з англ. Москва : *Радио і зв'язок*, 1987. С. 392.
5. Міщенко В. Г., Єрохін В. Ф. Методика оцінки завадозахищеності алгоритмів входження в синхронізм радіолінії з псевдовипадковим перелаштуванням радіочастоти. *Захист інформації*. 2001. № 2. С. 32–59.
6. Березюк М. В. Завадозахищеність синхронізації радіолінії з ППРЧ та фіксованим набором частот входження. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. матеріалів IV наук.-практ. семін. Київ : ВІПІ НТУУ “КПІ”, 2007. С. 58.
7. Чуднов А. М. Об адаптивных алгоритмах псевдослучайного переключения рабочих частот радиолиний в условиях случайных и преднамеренных помех *Журнал радиоэлектроники*. 2015. № 4.
8. Нагорнюк О. А. Метод автоматичного визначення часових параметрів радіосигналів із псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти на фоні вузькосмугових перешкод. *Збірник наукових праць ЖВІ*. 2018. Вип. 15. С. 53–64.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИХ МЕЖ ЗАЙНЯТИХ ДІЛЯНОК РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ

Бугайов М.В.

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна

E-mail: karunen@ukr.net

METHOD FOR DETERMINING OCCUPIED TIME-FREQUENCY SPECTRUM REGIONS

Proposed robust for noise power uncertainty method for determining occupied time-frequency spectrum regions. The essence of the method is two stage signal consecutive processing in frequency and time domain based on test statistics.

На сьогоднішній день спостерігається постійне зростання кількості радіосистем, що використовують технологію когнітивного радіо. Основою таких систем є динамічне використання радіочастотного спектру [1-2]. Для визначення вільних ділянок радіочастотного спектру (РЧС) необхідно постійно аналізувати визначену смугу частот [3]. З іншого боку стрімкий

розвиток бездротових технологій стимулює процес подальшого удосконалення систем радіомоніторингу. Тому розроблення методів визначення частотно-часових меж зайнятих ділянок РЧС в умовах апіорної невизначеності та динамічної зміни радіоелектронної обстановки є актуальним завданням сьогодення.

Формалізація завдання дослідження: задано ділянку РЧС, в якій може розміщуватися деяка кількість сигналів з невідомими параметрами. Рівень шуму в заданому діапазоні частот є невідомим, практично однаковим на усіх частотах і може змінюватися в часі. Необхідно знайти частотно-часові межі зайнятих ділянок РЧС.

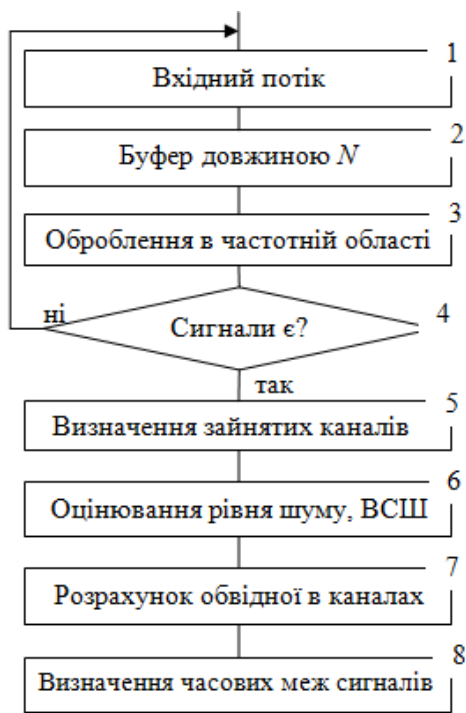


Рис. 1. Блок-схема алгоритму аналізу РЧС.

Сутність запропонованого методу полягає у двоетапному обробленні фрагмента сигналу: спочатку в частотній, а потім в часовій області. На рис. 1 наведено блок-схему алгоритму аналізу РЧС, що реалізує запропонований метод. Спочатку з вхідного потоку відліків сигналу береться вибірка довжиною N і зберігається в буфер (блок 1). Для цієї вибірки розраховується енергетичний спектр P_{xx} на основі періодграми Уелча, а також обчислюється значення тестової статистики (блок 3). Як тестову статистику використано

коефіцієнт варіації частотних відліків. При перевищенні значенням тестової статистики деякого порогу вважається, що у заданій смузі частот є сигнали (блок 4) і в такому разі визначаються частотні

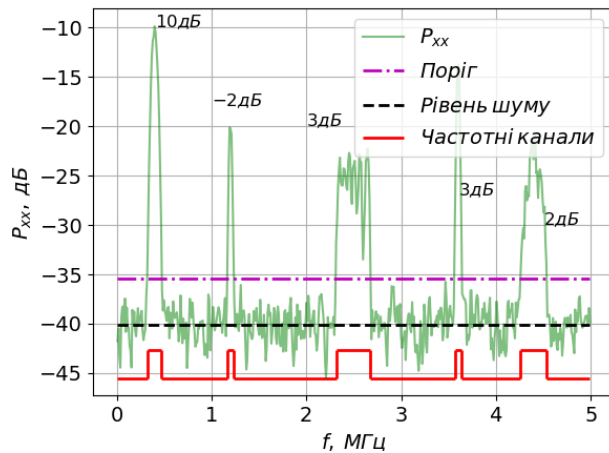


Рис. 2. Оброблення ділянки РЧС в частотній області.

межі зайнятих каналів (блок 5) відповідно до описаного в [4] алгоритму. На рис. 2 наведено результати оброблення фрагменту сигналу з такими параметрами періодограми Уелча: довжина вікна швидкого перетворення Фур'є – 1024 відліки, тип віконної функції – Хеммінга, перекриття між сусідніми вікнами – 512 відліків, кількість вибірових спектрів які усереднюються – 7, довжина фрагмента сигналу, що аналізується – 4096 відліків. Якщо

значення тестової статистики менше порогового, то обробляється наступний фрагмент сигналу і дані в буфері оновлюються. У блоці 6 формується оцінка рівня шуму на основі значень потужності шуму у вільних частотних каналах, розраховується відношення сигнал-шум (ВСШ) в кожному каналі, а також розраховується стандартне відхилення шуму σ_ξ в часовій області із використанням теореми Парсеваля [5]. Для визначення початку сигналу в активних частотних каналах необхідно розрахувати комплексну обвідну (блок 7). Для гауссівського шуму з нульовим середнім і стандартним відхиленням σ_ξ розподіл щільності ймовірностей комплексної обвідної підпорядкований закону Релея. Тоді значення порогу в часовій області для заданої ймовірності хибної тривоги P_F можна розрахувати за таким виразом [6]:

$$\gamma_1 = -\sigma_\xi \sqrt{2 \ln P_F}. \quad (1)$$

Для ненульового значення P_F можливе хибне визначення початку сигналу. При зменшенні P_F зменшуватиметься також ймовірність правильного виявлення P_D початку сигналу. Тому критерієм виявлення початку сигналу можна обрати перевищення заданого порогу кількома (3-5) послідовними відліками. В такому випадку для трьох незалежних відліків шуму значення ймовірності хибної тривоги наближено становитиме P_F^3 . Такий підхід забезпечить необхідне значення ймовірності правильного визначення початку сигналу при досить низькій ймовірності хибного виявлення. Аналогічно визначається закінчення сигналу (блок 8). При низьких значеннях ВСШ (менше 10 дБ) для надійного визначення часових меж сигналів необхідно проводити додаткове згладжування комплексної обвідної за допомогою вікна з ковзаючим середнім. Причому при зниженні ВСШ довжину вікна L необхідно збільшувати. Тому алгоритм оброблення сигналу в кожному каналі залежить від ВСШ. Такий підхід забезпечить

оптимальний розподіл обчислювальних ресурсів, оскільки згладжування обвідної сигналу потребує додаткових обчислень. Значення порогу після згладжування комплексної обвідної можна наближено розрахувати за таким виразом:

$$\gamma_2 \approx \sigma_{\xi} (1,25 + 3L^{-1/2}). \quad (2)$$

На рис. 3 показано оброблення сигналів у часовій області для частотних каналів із ВСШ 10 дБ (а) та 2 дБ (б). Довжина вікна ковзаючого середнього складала при цьому $L = 100$. На виході алгоритму (блок 9) формуються потоки сигнальних відліків у виявлених частотно-часових каналах.

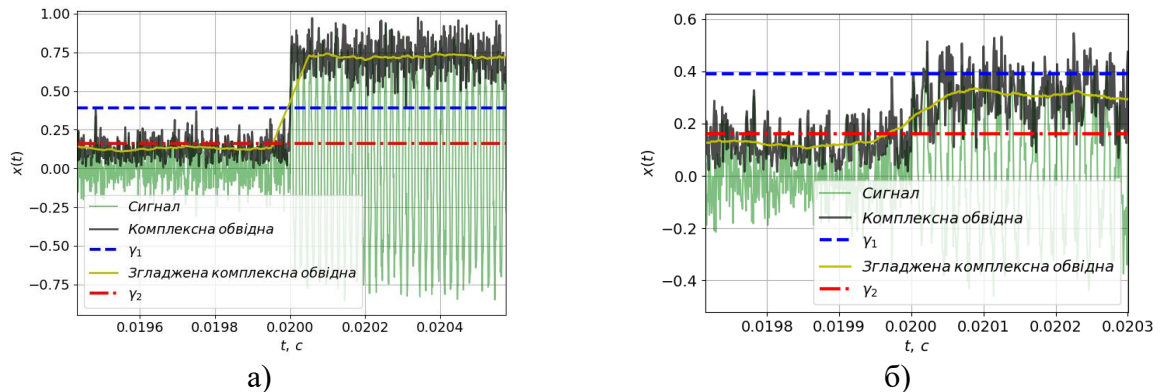


Рис. 3. Оброблення частотних каналів в часовій області для ВСШ = 10 дБ (а) та 2 дБ (б).

Виявлення зайнятих частотних каналів у частотній області можливе навіть при таких значеннях ВСШ, при яких в часовій області початок сигналу виявлятися не буде. В такому разі часові межі сигналів можна визначити з точністю приблизно N відліків.

Таким чином, розроблений метод дозволяє виявляти та визначати частотні межі зайнятих каналів, а також початок і закінчення сигналу в каналі при невідомому і змінному значенні потужності шуму. Запропонований алгоритм може бути реалізований в автоматичних комплексах радіомоніторингу для запису сигналів в активних каналах із їх подальшим аналізом у відкладеному масштабі часу та поповненням бази даних. Перспективи подальших досліджень в даному напрямку доцільно зосередити в розробленні швидких методів попередньої класифікації сигналів в частотних каналах.

Література

1. Elmasry F. G. Dynamic Spectrum Access Decisions. Local, Distributed, Centralized, and Hybrid Designs. JohnWiley & Sons Ltd., 2021. 728 p.
2. Liang Y.-C. Dynamic Spectrum Management. From Cognitive Radio to Blockchain and Artificial Intelligence. Springer, 2020. 180 p.
3. Captain K. M., Joshi M. V. Spectrum Sensing for Cognitive Radio. Fundamentals and Applications. CRC Press. 2022. 256 p.
4. Buhaiov M. V. Iterative method of radiosignals detection based on decision statistics. Visnik NTUU KPI. Ser. Radiotekh. Radioaparotobuduv, 2020. № 81. pp. 11-20. DOI: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.18.11-20>.
5. Moon K. T., Stirling W. C. Mathematical methods and algorithms for signal processing. New Jersey: Prentice Hall Inc., 2000. 937 p.
6. Kay S. M. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Practical Algorithm Development. New York: Prentice Hall, 2013. 475 p.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПЛОТНОГО ЛЕТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Кайденко М.М., Роскошний Д.В.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: kkk610@ukrl.net

IMPROVING THE EFFICIENCY OF USING THE UAV COMMUNICATION CHANNEL EQUIPMENT

The possibility of using partial dynamic reconfiguration of a part of the UAV radio path to expand its functionality is considered.

Протягом останніх років завдяки швидкому розвитку технологій безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все більш ефективними та використовуються в різних сферах – від дитячих іграшок до військових застосувань .

Оскільки передача команд управління та зібраних даних, якими можуть бути записані відео та фото або інша інформація, зібрана при виконанні польотного завдання, здійснюється через канал зв'язку між БПЛА та наземною станцією керування, канал передачі даних БПЛА повинен забезпечити високі швидкість та надійність передачі даних.

Канал зв'язку БПЛА є ключовим фактором, який може вплинути на продуктивність лінії передачі даних з точки зору високої швидкості передачі даних і надійної передачі інформації. Для виконання цих вимог найбільш перспективним є побудова каналів зв'язку на базі програмно-визначених радіосистем (Software Defined Radio).

Програмно визначені радіосистеми (SDR) - це системи радіозв'язку, де компоненти, реалізуються за допомогою вбудованих систем, в яких обчислювальні елементи побудовані на сучасних пристроях обробки сигналів, таких як процесори загального призначення (GPP), цифрові сигнальні процесори (DSP), програмовані логічні інтегральні схеми (FPGA), системи-на-кристалі (SoC) та ін.

У загальному випадку SoC є подальшим розвитком технології FPGA і являють собою інтегровані в одному кристалі процесорне ядро (ядра), блок програмованої логічної матриці FPGA, а також апаратно або програмно реалізовані модулі управління периферійними пристроями.

Використання SoC в програмно визначених радіосистемах надає розробникам та користувачам ряд істотних переваг , а саме:

- можливість застосовувати різні методи модуляції з використанням одного загального набору апаратних засобів;
- можливість змінювати функціональність пристрою лише змінюючи програмне забезпечення;
- можливість адаптивного вибору режиму роботи пристрою, що найкраще відповідає поточним умовам його експлуатації.

Основна особливість FPGA — можливість багаторазового перепрограмування. Це покладено в основу створення цифрових пристроїв і навіть потужних обчислювальних систем, архітектура яких має властивість реконфігурації в залежності від визначених умов з метою збільшення продуктивності обчислень.

Такі системи належать до класу реконфігурованих обчислювальних систем (POC, Reconfigurable Computer, RC), основна концепція їх створення – забезпечення адаптивності архітектури до класів вирішуваних задач [3, 4].

При використанні сучасних FPGA існує можливість динамічно переналаштовувати їх частини (одну або декілька) під час роботи без необхідності зупиняти пристрій. Ця функція називається динамічною частковою реконфігурацією.

Динамічна часткова реконфігурація забезпечує гнучкі можливості зміни ключових функцій пристрою «на льоту», тоді як решта системи на FPGA залишається в робочому стані.

Розробники можуть зберігати різні функції у зовнішній пам'яті та завантажувати їх у FPGA у міру необхідності, знижуючи тим самим розмір вентиляційної матриці та енергоспоживання пристрою.

Використання радіоканалу БПЛА в умовах дії навмисних завад потребує переналаштування параметрів каналу. Таке переналаштування може бути здійснено за наперед заданим алгоритмом, тобто зміною частот обміну за визначеним законом.

При застосуванні такого алгоритму існує ймовірність того, що наступна частота теж належить до смуги дії завади.

За умови критичного погіршення параметрів каналу зв'язку для аналізу параметрів завади та пошуку вільної частини спектру пропонується провести спектральний аналіз можливого діапазону роботи каналу зв'язку.

Для проведення цього аналізу може бути використано відповідний блок, який введено до структури SoC на початковому етапі (рис 1), або проведено динамічну часткову реконфігурацію частини SoC, що працює в складі SDR, а саме FPGA (рис 2).

Мета цієї реконфігурації – заміна блоку модема на блок спектроаналізатора, що дозволить провести аналіз наявності завад в можливому діапазоні роботи каналу зв'язку.



Рис. 1. Початкова структура частини FPGA.

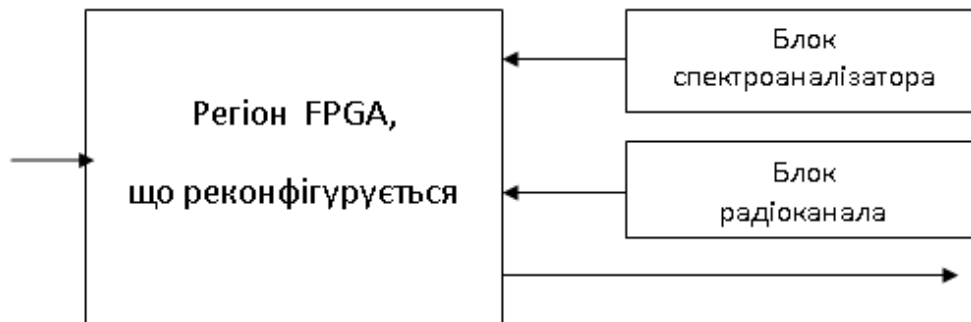


Рис. 2. Структура частини FPGA з використанням часткової реконфігурації.

Потрібно відзначити, що блоків для реконфігурації може бути декілька. В такому випадку використання часткової реконфігурації дозволяє зменшити об'єм та, відповідно, вартість кристалу SoC та значно підвищити функціональні можливості БПЛА.

Література

1. Кайденко, М. М., & Роскошний, Д. В. (2018). АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧУВАНИХ РАДІОСИСТЕМ ДЛЯ РОЗРОБКИ РАДІООБЛАДНАННЯ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/131302>.
2. Гетьман, О. В. ., Кайденко, М. М. ., & Роскошний, Д. В. . (2021). ЗАГРОЗИ БЕЗПЕЦІ ТА ПРОБЛЕМИ ВРАЗЛИВОСТІ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*, 180–182. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/230694>.
3. Partial Reconfiguration IP Core / 101 Innovation Drive, San Jose, CA 9513 <https://cdrdv2.intel.com/v1/dl/getContent/666325?fileName=ug-partrecon-683404-666325.pdf>
4. Intel® Quartus® Prime Standard Edition User Guide: Partial Reconfiguration Intel® FPGA IP / <https://www.intel.com/content/www/us/en/docs/programmable/683404/current/partial-reconfiguration-ip-core.html>

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БПЛА В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ТА НЕНАВМИСНИХ ЗАВАД

Гетьман О.В., Кайдено М.М., Роскошний Д.В.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: kkk610@ukr.net

EVALUATION OF THE SURVIVABILITY OF THE UAV COMMUNICATION CHANNEL UNDER THE INFLUENCE OF INTENTIONAL AND UNINTENTIONAL INTERFERENCE

The paper presents estimates of the survivability of the control channel of an unmanned aerial vehicle under the influence of deliberate interference on it. It is shown that the survivability of a control channel built using two communication channels in two frequency bands increases significantly. Formulas for assessing survivability are given for various options for influencing the UAV control channel.

В останні роки застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) все більше зростає для різних застосувань як у військових цілях, так і в цивільних. Це зростання безперервно продовжуватиметься за рахунок удосконалення технологій, що призведе до створення більш дешевих та інтелектуальних систем БПЛА. Однак все більше поширення застосування БПЛА збільшує й проблеми безпеки. В даний час пов'язані з БПЛА дослідження з протидії загрозам кібербезпеки зосереджені в основному на подавленні сигналів GPS та спуфінгу, але ігноруються атаки на елементи управління та канали передачі даних. При цьому канал передачі даних, який визначає живучість безпілотного апарату як з точки зору виконання місії, так і з точки зору безпеки самого апарату, є найбільш вразливим з точки зору кібератак на БПЛА. Пробіл у дослідженнях атак на канал передачі даних викликає занепокоєння, оскільки оператор може бачити, як БПЛА збивається з курсу через атаку на канал управління, але не має можливості виявити цю атаку та протидіяти їй.

Живучість безпілотного апарату з точки зору управління ним в першу чергу залежить від живучості системи зв'язку та управління, вихід з ладу якої призводить до повної втрати управління апаратом та, як наслідок, до можливої втрати самого апарату.

Живучість каналу зв'язку визначається як здатність зберігати робочі параметри в умовах впливу на нього різноманітних дестабілізуючих факторів у вигляді ненавмисних і навмисних завад. Способи боротьби з ненавмисними завадами широко відомі [1,2], одним з таких способів є адаптивна модуляція та кодування [3]. Опосередковано живучість може бути визначена через ймовірність бітової помилки, або ймовірність помилки в блоці даних. У випадку навмисних завад такий підхід визначення живучості не може бути застосований в силу самої природи навмисної завади. Більш точним підходом

буде визначення живучості як ймовірність збереження робочих властивостей каналу управління при впливі на нього навісних завад.

В роботах [4,5] було запропоновано архітектуру системи зв'язку та управління малогабаритного БПЛА, яка покликана ефективно протидіяти впливу навісних завад та базується на побудові каналу управління з використанням двох каналів зв'язку в двох діапазонах частот. Для запропонованої в цих роботах архітектури системи зв'язку живучість може бути визначена з використанням формули складної ймовірності в залежності від настання подій. В ній враховуються наступні змінні, з врахуванням того що на канал управління БПЛА можуть діяти навісні завади глушення каналу, чи імітаційні завади: ймовірність роботи системи радіопротидії у діапазонах частот, які використовуються для системи зв'язку БПЛА; ймовірність того, що є дві системи радіопротидії, які можуть працювати одночасно; ймовірність того, що дві системи радіопротидії можуть працювати не тільки одночасно, але і бути синхронізовані за часом; ймовірність правильного виявлення та помилкової тривоги за наявності навісних імітаційних завад.

Коефіцієнт живучості каналу управління БПЛА у разі використання одного каналу зв'язку та впливу на нього лише ненавісних завад у припущенні, що помилки (бітові, чи пакетні) призводять до руйнування каналу, може бути визначений як:

$$K_{liv} = 1 - P_{ber}; \quad (1)$$

де: K_{liv} - коефіцієнт живучості каналу управління; P_{ber} - ймовірність бітової (пакетної) помилки в каналі зв'язку.

Коефіцієнт живучості каналу управління БПЛА у випадку використання двох каналів зв'язку та впливу на них лише ненавісних завад може бути визначений як:

$$K_{liv} = 1 - P_{ber_chan1} P_{ber_chan2}; \quad (2)$$

де: P_{ber_chan1} та P_{ber_chan2} - ймовірності бітової (пакетної) помилки в каналах, події незалежні.

Коефіцієнт живучості каналу управління БПЛА у випадку використання одного каналу зв'язку та впливу на нього як ненавісних завад, так і навісних завад глушення може бути визначений як:

$$K_{liv} = 1 - \frac{P_{ber}}{P_{jamm}}; \quad (3)$$

де: P_{jamm} - ймовірність придушення каналу зв'язку завадою глушення.

Коефіцієнт живучості каналу управління БПЛА у випадку використання двох каналів зв'язку та впливу на них як ненавісних завад, так і навісних завад глушення від двох незалежних систем радіопротидії може бути визначений як:

$$K_{liv} = 1 - \frac{P_{ber_chan1}}{P_{jamm_chan1}} \cdot \frac{P_{ber_chan2}}{P_{jamm_chan2}}; \quad (4)$$

де: P_{jamm_chan1} , P_{jamm_chan2} - ймовірності придушення окремих каналів зв'язку завадою глушення, чи імітаційною енергетичною завадою, події незалежні.

Коефіцієнт живучості каналу управління БПЛА у випадку використання двох каналів зв'язку та впливу на них як ненавмисних завад, так і навмисних завад імітації від систем радіопротидії може бути визначений як:

$$K_{liv} = 1 - \frac{P_{ber_chan1}}{P_{im_chan1}} \cdot \frac{P_{ber_chan2}}{P_{im_chan2}} \cdot P_{sync}; \quad (5)$$

де: P_{im_chan1} , P_{im_chan2} - ймовірності підміни даних в каналах зв'язку завадою імітації, події незалежні; P_{sync} - ймовірність синхронної роботи системи постановки завад імітації в обох каналах зв'язку.

Як видно з виразів (4,5) живучість каналу управління БПЛА, побудованого з використанням двох каналів зв'язку в двох діапазонах частот, при впливі на нього навмисних завад буде істотно вищою порівняно з традиційною побудовою управління. У разі застосування складної системи радіопротидії, що працює одночасно у двох діапазонах частот з можливістю постановки синхронної імітаційної перешкоди, живучість каналу управління знизиться. При цьому слід враховувати, що синхронність роботи передбачає перехоплення даних в обох каналах зв'язку, їх підміну та синхронізацію за часом передачі. Однак ймовірність застосування таких систем для протидії малогабаритним БПЛА, особливо цивільного застосування, залишається дуже низькою. Крім того використання двох діапазонів частот крім підвищення живучості каналу управління БПЛА у разі впливу на нього навмисних завад забезпечує ще й більшу стійкість каналу до завмирань внаслідок багатопромовості [6], збільшуючи таким чином живучість каналу управління при впливі на нього ненавмисних завад.

Література

1. B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Second Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.
2. A. Goldsmith, Wireless Communications, U.K., Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005.
3. N. Kaydenko, "Adaptive modulation and coding in a broadband wireless access systems", 23th International Crimean Conference on "Microwave and Telecommunication Technology", CriMico'2013. Sevastopol, on September 8-13, 2013. - P. 275-276.
4. Kaidenko M., Kravchuk S. (2021) Autonomous Unmanned Aerial Vehicles Communications on the Base of Software-Defined Radio. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_16
5. M. M. Kaidenko and S. O. Kravchuk, "Anti-Jamming System for Small Unmanned Aerial Vehicles," 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615403.
6. Palestini, C.: Fighting UAVs: Finding the Magic Solution. NATO Review, 16 December (2020). <https://www.nato.int/docu/review/ru/index.html>.

БЕЗПРОВОДОВІ МЕРЕЖІ З МОЖЛИВІСТЮ РЕКОНФІГУРУВАННЯ

Кравчук С.О., Кравчук І.М.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail:sakravchuk@ukr.net

WIRELESS NETWORKS WITH THE POSSIBILITY OF RECONFIGURATION

The development of reconfigurable wireless networks is relevant for modern and future wireless networks with support for cognition, virtualization, mobility and flexibility of user traffic. In this case, special attention should be paid to the creation of energy-efficient network management systems for new wireless networks.

На даний час розвиток усіх безпроводових мереж йде шляхом інтелектуалізації та віртуалізації, що потребує самоорганізації таких мереж, та можливості реконфігурування функціональних можливостей мереж [1, 2].

Для розробки таких безпроводових систем повністю змінюється традиційна методологія проектування. Безпроводові мережі повинні враховувати широкий спектр об'єктів і умов, що постійно змінюються. Вони повинні бути здатні адаптуватися до характеру, структури і виду послуг мереж, тобто повинні бути реконфігуровані на декількох рівнях стека протоколів відкритих систем. Наприклад, сучасні безпроводові системи повинні адаптувати свою структуру передачі/прийому на фізичному рівні в умовах, що змінюються в часі або за рахунок мобільності. Таким системам доводиться перелаштовувати свої протоколи маршрутизації для роботи в неоднорідних мережах, доводиться адаптуватися до вимог своїх застосувань, щоб задовольнити широкий спектр запитів користувачів. Таким чином, реконфігурація стає ключовим фактором для безпроводових мереж 5-го і 6-го поколінь [3, 5].

У міру того, як безпроводові мережі такі як 5G, отримують функції реконфігурування, розвиваються і стають все більш поширеними, то виникає проблема збільшення обсягу мережного трафіку і енергоспоживання мережі. Звідси додатково виникає потреба у розробки додаткових інтелектуальних рішень з управління мережними ресурсами, такими як рішення, орієнтовані на енергоефективну та інтелектуальну маршрутизацію, для підтримки вимог наскрізних запитів у безпроводових мережах, що реконфігуруються.

Види досліджень реконфігурованих мереж та приклади тематики таких досліджень можна класифікувати у відповідності [6] по трьом напрямкам: мережна інтелектуалізація (когнітивна маршрутизація, штучний інтелект, центри обробки великих даних, контекстна поінформованість), мережна реконфігурованість (мережний менеджмент, мережі, що визначаються програмно, пересічна реконфігурація), реконфігурація на фізичному рівні (когнітивне радіо, вбудовані системи, адаптивні приймально-передавальні системи).

Для інтелектуального розподілу мережних ресурсів та енергоефективної маршрутизації ми використовуємо теорію Штучного інтелекту (ШІ). Зокрема, когнітивний процес на основі ШІ може ефективно та дієво навчатися на минулих рішеннях та застосовувати їх до майбутніх рішень.

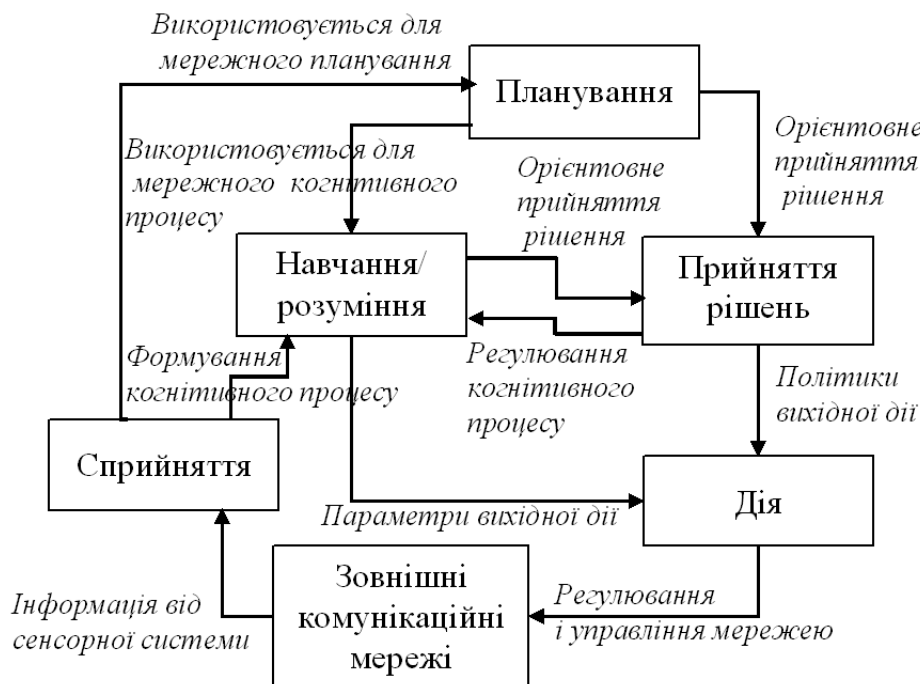


Рис. 1. Когнітивний цикл із задіянням штучного інтелекту.

Можливий повний когнітивний процес показано на рис. 1, який включає сприйняття, навчання/міркування, прийняття рішень, планування і дію. Навчання та міркування є ядром пізнавального процесу, а навчання є результатом безперервного накопичення минулих дій та використання накопичених емпіричних знань для тривалого процесу міркувань.

Міркування – це процес прийняття рішень безпосередньо на основі наявної інформації (включаючи попередню та поточну інформацію). Таким чином, це дозволяє мережі вказати набір заходів для підвищення енергоефективності мережі. Когнітивний цикл складається з шести частин, а саме: сприйняття, планування, прийняття рішень, дії, навчання/міркування та зовнішні комунікаційні мережі. Когнітивна мережа на основі ШІ сприймає навколишні комунікаційні мережі через сенсорний модуль, і рішення приймаються на основі мережної інформації, що сприймається. При цьому корисна мережна інформація, що сприймається сенсорним модулем, також використовується для зберігання модуля навчання/міркування.

Модуль навчання/міркування зберігатиме корисну мережну інформацію, щоб полегшити модуль прийняття рішень у майбутньому. Модуль планування визначає можливі на основі отриманої мережевої інформації. Модуль прийняття рішень приймає рішення про дії, які необхідно зробити, на основі результатів попереднього планування та навчання/обговорення, а модуль навчання/обговорення оновлює збережену інформацію на основі прийнятих дій та рішень.

Реконфігурація фізичного рівня включає SDR, реконфігурацію приймача/передавача, адаптивні антени та формування діаграми спрямованості, адаптивну модуляцію та кодування (AMC) і т. д. При цьому необхідно розглядати реконфігурацію не тільки на рівні пристроїв, а й на мережному (навіть коли безпроводові пристрої є частиною більш широкої мережі).

При реконфігурації підтримка адаптації і економічно ефективних, високопродуктивних операцій обумовлює необхідність у спеціальних процесорах. Архітектура процесора, що реконфігурується, як правило, складається з універсальних мікропроцесорів, програмованих вентильних матриць FPGA (field-programmable gate arrays), процесорів цифрових сигналів DSP (digital signal processor), а також традиційних інтегральних схем ASIC (applications specific integrated circuits) для застосувань з цифровими і змішаними сигналами, і дискретними аналоговими схемами.

Гібридне програмне забезпечення і апаратне забезпечення, що реконфігурується, а також реконфігурація мережних рівнів в процесорі вимагають єдиної об'єктно-орієнтованої парадигми проектування, що охоплює апаратне забезпечення, програмне забезпечення та інтерфейс між ними. Архітектура процесора повинна забезпечувати логічне виконання алгоритмів та обробки сигналів різних рівнів: деякі функції логічно реалізуються програмно, а деякі - апаратно. Задача полягає в тому, щоб розробити інструменти проектування, які спрощують це логічне розміщення обробки.

Таким чином, розробка безпроводових мереж, що реконфігуруються, є актуальною для сучасних та перспективних безпроводових мереж з підтримкою когнітивності, віртуалізації, мобільності і гнучкості користувацького трафіку. При цьому особливу увагу необхідно звернути на створення енергоефективних систем управління мережею для нових безпроводових мереж, що реконфігуруються, таких як 5G і вище.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Advanced in the telecommunications 2019: monograph / by edited M.Y. Ilchenko, S.O. Kravchuk, Kyiv, 2019, 336 p. (ISBN 978-617-7734-12-2).
3. AI-Assisted Energy-Efficient and Intelligent Routing for Reconfigurable Wireless Networks / D. Jiang, Z. Wang, W. Wang, Z. Lv 3, K.-K. R. Choo // IEEE Transactions on Network Science and Engineering. – 2022. - Volume: 9, Issue: 1, p. 78 – 88 (<https://doi.org/10.1109/TNSE.2021.3075428>)
4. Object-Oriented Reconfigurable Processing for Wireless Networks / A. A. Gray, C. Lee, P. Arabshahi, J. Srinivasan // 2002 IEEE International Conference on Communications. Conference Proceedings. ICC 2002 (Cat. No.02CH37333) 28 April-2 May 2002 (<https://doi.org/10.1109/ICC.2002.996903>).
5. Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces / E. Basar, M. de Renzo, J. de Rosny, M. Debbah, M.-S. Alouini, R. Zhang // IEEE Access, IEEE, 2019, 7, pp.116753-116773. [ff10.1109/ACCESS.2019.2935192](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935192)[ff. fffhal-02395891](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935192).
6. Reconfigurable Wireless Networks / A. El-Mougy, M. Ibnkahla, G. Hattab, W. Ejaz // Proceedings of the IEEE, Volume: 103, Issue: 7, July 2015 (<https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2376812>).

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ РАДІОДОСТУПУ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ РАДІОРЕСУРСУ

Акопян П.Г., Кравчук С.О.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: akopian.pavlo@lil.kpi.ua

INCREASING THE EFFICIENCY OF RADIO ACCESS NETWORKS WITH A RADIO RESOURCE REDISTRIBUTION SYSTEM

The report discusses ways to improve the efficiency of cellular networks by redistributing radio resources between technologies within a single frequency band. The main attention is paid to the problem of transmission of the head in the second-generation networks and traffic transmission in the fourth-generation networks.

В умовах стрімкого зростання потреб в послугах передачі мультимедійних даних, що веде до посилення навантаження на мережу мобільного зв'язку, підтримання її продуктивності починає бути проблематичною. Перш за все, оператори мережі стикаються з проблемою нестачі спектру та необхідності існування мережі GSM для передачі голосу. На даний час в Україні технологія Voice over LTE тестується компанією Київстар, проте її потенційне використання із поточним рівнем покриття LTE – поки неможливе для всієї країни. Таким чином оператори вимушені використовувати смуги на 900 МГц та 1800 МГц одночасно для двох технологій. Проте існує рішення динамічного перерозподілу радіоресурсу, яке дозволяє розгортати GSM та LTE в одній і тій самій смузі спектру та визначати використання цієї смуги на основі обсягу послуг GSM. Спільне розгортання GSM та LTE в одній смузі спектру гарантує, що смуга спектра може бути виділена для більш ніж однієї технології радіодоступу, що підвищує спектральну ефективність і, відповідно, продуктивність мережі.

У даній роботі розглянуті способи підвищення ефективності функціонування мереж стільникового зв'язку за рахунок перерозподілу радіо ресурсу між технологіями в межах однієї смуги частот. Основна увага приділена проблемі передачі голосу в мережах другого покоління та передачі трафіку в мережах четвертого покоління.

Контролер базових станцій BSC і базова станція eNodeB реалізують загальний розподіл та планування смуги частот, що використовується спільно. Коли GSM не займає смугу загального спектру, LTE може використовувати смугу загального спектру для задоволення своїх вимог до підтримання великої пропускної здатності. Приклад сумісного використання спектру між GSM та LTE із використанням даного рішення та без нього – представлено на рис. 1.

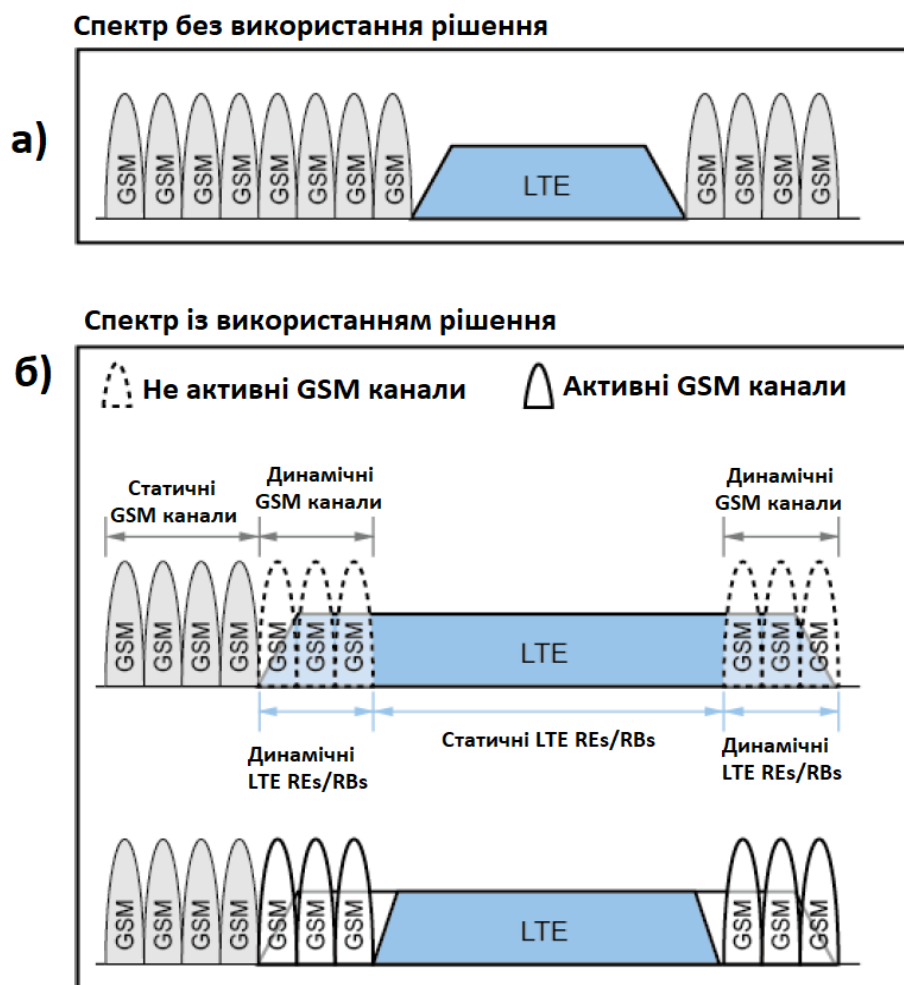


Рис.1. Розподіл спектру: а) без використання рішення; б) із використанням рішення.

До включення цієї функції LTE може використовувати лише порівняно невелику стандартну смугу частот. Після її включення GSM та LTE спільно використовують частину спектра.

Для коректної роботи цієї функції необхідно попередньо встановити канал зв'язку між BSC та eNodeB для ефективного взаємного обміну даними та координації завдань. BSC розраховує перешкоди від LTE для мобільних станцій GSM у режимі реального часу та надсилає статус мультиплексування загальних частот GSM в eNodeB. BTS Передає інформацію між BSC та eNodeB. eNodeB Використовує набутий статус мультиплексування загальних частот GSM для розрахунку кількості тимчасово-частотних ресурсів, доступних на загальному спектрі. Він також розподіляє та планує ресурси відповідним чином.

Виграш, що забезпечується цією функцією, є виграшем у пропускній здатності LTE (тобто виграш у пропускній здатності, що досягається після включення цієї функції, порівняно з пропускною здатністю при стандартній смузі пропускання). Ємність GSM залишається постійною. Нижні межі приросту пропускної здатності LTE досягаються в години пікового навантаження GSM, коли LTE використовує тільки статичний спектр. Верхня межа збільшення пропускної здатності LTE у разі спільного використання

частоти BCCH досягається за відсутності трафіку в GSM, потрібно лише BCCHs і SDCCCHs, проте інші частоти передаються LTE. Верхня межа збільшення пропускної здатності LTE приріст пропускної здатності у разі спільного використання частот TCH досягається, коли GSM використовує тільки спектр за межами стандартної смуги LTE і не займає спектр, що розділяється.

Коли динамічні частоти GSM беруть участь у стрибкоподібної перебудові частоти, GSM переважно займає спектр, віддалений від центральної частоти LTE. Коли динамічні частоти GSM частоти беруть участь у стрибкоподібної перебудові частоти, GSM займає дискретний спектр всього спектра, що розділяється. Якщо припустити, що обсяг послуг GSM залишається незмінним, то виграш, що забезпечується цією функцією, буде більшим, коли динамічні частоти GSM не беруть участь у стрибкоподібної перебудові частоти, ніж коли динамічні частоти GSM частоти беруть участь у стрибкоподібної перебудові частоти.

Коли ця функція розгорнута разом із NB-IoT, завади між NB-IoT та LTE нижче, ніж між GSM та LTE. Для досягнення найкращої загальної продуктивності LTE рекомендується, щоб GSM був переважно розгорнутий в захисній смузі LTE, а NB-IoT був розгорнутий в автономному режимі або в режимі LTE in-band. Коли динамічні частоти GSM розгорнуті лише з одного боку захисної лінії LTE, NB-IoT розгортається у автономному режимі чи режимі LTE in-band. Щоб уникнути перешкод між GSM та NB-IoT, необхідно зарезервувати достатню смугу частот між ними, та має бути зарезервована достатня смуга пропускання. Якщо функція включена на певних ділянках мережі, необхідно спланувати буферну зону для запобігання канальним перешкодам між GSM і LTE. У разі планування буферної зони оператори повинні враховувати ресурси спектра обох RAT.

Література

1. M. Ilchenko, S. Kravchuk, Mobile infocommunication systems, Information and Telecommunication Sciences, Vol. 11, Number 1, pp. 11-19 (2020), (DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.11-19>).
2. Dahlman E., Parkvall S., Skold J. 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Second Edition. - Academic Press, 2013. – 544 p. (ISBN: 9780124199972).
3. GSM and LTE Spectrum Concurrency Feature Parameter Description. 2020-01-20. Huawei Technologies Co., Ltd. 2020. - 89 p. <https://pdfcoffee.com/gsm-and-lte-spectrum-concurrency-sran161-draft-a-pdf-free.html>.
4. Ghimire S., Shah B. Intercell Interference Management in LTE-A Heterogeneous Network: CRSs Interference Cancellation. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.
5. Cortinhal M.J., Captivo M.E. Genetic algorithms for the single source capacitated location problem: a computational study // Proceedings of 4th Metaheuristics International conference, Porto, Portugal, 2015.
6. Maaz M., Lorandel J., Mary Ph. Energy efficiency analysis of hybrid-ARQ relay-assisted schemes in LTE-based systems// EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – №22, 2016.

РЕГУЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КООПЕРАТИВНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ

Урніш В.С., Кравчук С.О.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: tmveraury@gmail.com

BANDWIDTH REGULATION OF COOPERATIVE DECENTRALIZED WIRELESS NETWORKS

This paper will consider the multiple relay selection protocol for decentralized wireless networks. Methods of relays location selection are considered. The purpose of this protocol is to demonstrate that improving connectivity and increasing number of relays reduce the throughput of cooperative decentralized wireless networks.

В роботі запропоновано протокол вибору кількох ретрансляторів для децентралізованих безпроводових мереж із кооперацією. Даний протокол має на меті вирішення трьох проблем: вибір ретрансляторів у межах зони покриття джерела та призначення, щоб гарантувати те, що ретранслятори розташовані на відстані одного кроку від місця призначення; забезпечення найкращого вузла (найкращі ретранслятори з меншою відстанню та загасанням від місця призначення) першим отримати доступ до каналу; гарантування, що запропонований вибір ретранслятора є вільним від зіткнень. Також розглядаються три важливі характеристики децентралізованих безпроводових мереж, на які безпосередньо впливає кооперація: затримка, підключення та пропускна здатність.

Відомо дві категорії кооперації: багатоскачковий кооперативний протокол MCP (multihop cooperation protocol) [1] і протокол кооперації з розподіленим навантаженням LDCP (load distributed cooperation protocol) [2–4]. У MCP джерело ідентифікує вузли поблизу себе та поблизу місця призначення. Ці вузли також називають ретранслятором. Коли джерело знаходить такий ретранслятор, воно передає йому дані, а він повторно передає ці дані до місця призначення. Метою ретранслятора при MCP є уникнення ослаблення сигналу, пов'язаного з прямою передачею, тобто передачею джерела призначення. Протокол розповсюдження коду — це підхід LDCP, за допомогою якого джерело ділить надлишкові біти на дві частини замість того, щоб передавати повні надлишкові біти до місця призначення; перша частина передається джерелом до пункту призначення та ретрансляторів, а друга частина передається ретранслятором до пункту призначення. Ключова відмінність між MCP та LDCP полягає в тому, що в

MCP місце призначення отримує дані, передані лише джерелом, тоді як у LDCP місце призначення отримує дані від джерела та ретрансляторів.

Для вирішення зазначених вище проблем, таких як вибір найкращих ретрансляторів, затримка, підключення та пропускна здатність разом, пропонується протокол спільного доступу до середовища (СМАС) на основі незначних змін у CSMA/CA з пакетами RTS/CTS.

Запропонований Кооперативний MAC протокол полягає у виборі найкращих реле з хорошими параметрами каналу лише для пункту призначення. Канал від джерела до ретранслятора не було враховано в аналізі, оскільки ретранслятори, які правильно декодують отримані кадри, можуть брати участь у кооперації. В іншому випадку вони мовчать. Протокол базується на незначних змінах функції розподіленої координації IEEE802.11 (DCF) з CSMA/CA з пакетами RTS/CTS [5, 6] і вирішує кілька потенційних проблем, пов'язаних із кооперацією, як зазначено в списку нижче.

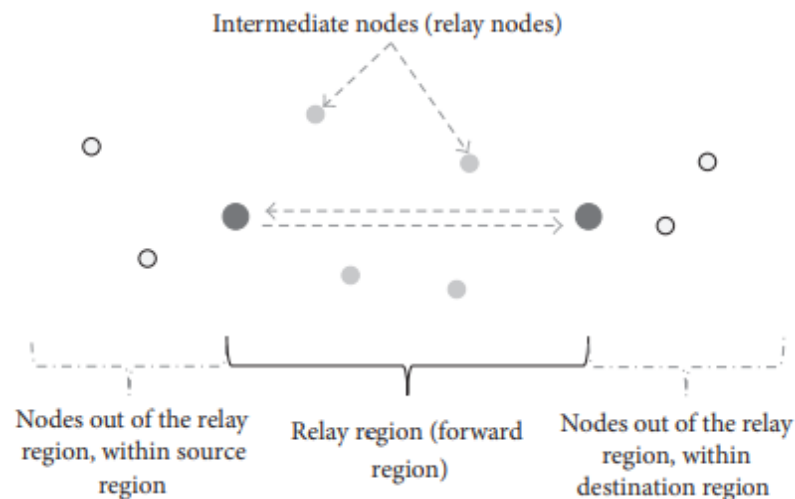


Рис. 1. Сценарій розташування комунікацій та реле.

1) Вибір розташування вузла ретрансляції або регіону ретрансляції (relay region, RR), див. рис. 1: важливо вибирати ретранслятори з прямою передачею до пункту призначення, а не ретранслятори, які знаходяться на відстані двох кроків від місця призначення. Це може запобігти додатковим затримкам, викликаним кількома стрибками (двома або більше)

2) Схеми доступу до каналів: у децентралізованій безпроводовій мережі (decentralized wireless networks, DWN) контроль доступності реле є важливим. Для того, щоб запропонувати хорошу схему доступу до каналу, важливі два питання: (а) реле необхідно вибирати швидко, щоб запобігти затримці; (b) ретранслятори з найкращою якістю каналу до місця призначення повинні отримати доступ до каналу, перш ніж реле нижчої якості, щоб забезпечити високу продуктивність

3) Відсутність зіткнень: LDCP по суті збільшує затримку в DWN; таким

чином, ми повинні переробити протокол MAC, щоб запобігти зіткненням між реле, щоб зменшити затримку.

Вибір місця розташування реле відбувається наступним чином:

Щоб запобігти реле, які знаходяться за два кроки від пункту призначення, брати участь у кооперації, ми повинні вибрати relay region (RR), щоб лише вузли всередині RR могли брати участь у кооперації. Фактично, реле, розташоване за два кроки від пункту призначення, може збільшити затримку. Тому RR вибирається наступним чином: після отримання пакета пунктом призначення (D), Request-To-Send (RTS) вузли в діапазоні джерела встановлюють таймер рівним $2SIFS$; протягом часу $2SIFS$ пункт призначення передає пакет Clear-To-Send (CTS). Вузли в діапазоні S , які чують CTS, можуть брати участь у співпраці; інакше вузли, які не отримують пакет CTS, не беруть участь у кооперації. Як показано на малюнку 2, тільки вузли всередині RR можуть отримувати пакети RTS/CTS, ідентифікуючи їх як один стрибок від місця призначення.

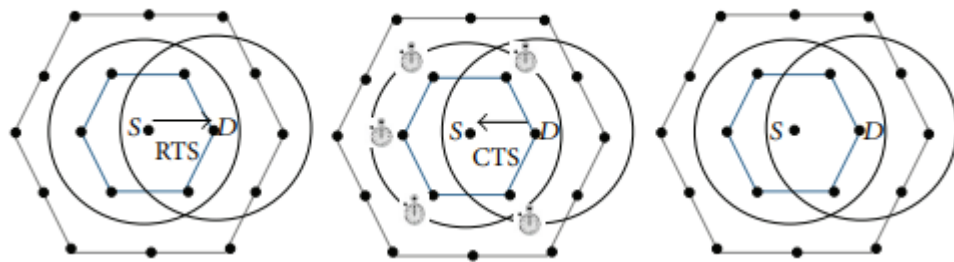


Рис. 2. Етапи вибору RR на основі пакетів RTS/CTS запропонованого протоколу.

Література

1. P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis, and S. S. Panwar, "CoopMAC: a cooperative MAC for wireless LANs," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, no. 2, pp. 340–354, 2007.
2. R. Youssef and A. Graell i Amat, "Distributed serially concatenated codes for multi-source cooperative relay networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 1, pp. 253–263, 2011.
3. W. Zhang, Y. Li, N. G. Xia, P. C. Ching, and K. B. Letaief, "Distributed space-frequency coding for cooperative diversity in broadband wireless ad hoc networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 7, no. 3, pp. 995–1002, 2008.
4. Y. Li, B. Vucetic, T. F. Wong, and M. Dohler, "Distributed turbo coding with soft information relaying in multihop relay networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, no. 11, pp. 2040–2050, 2006.
5. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std. 802.11-2012, 1999.
6. G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 3, pp. 535–547, 2000.

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА ПЕРЕДАЧА ОБСЛУГОВУВАННЯ В СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З КОГНІТИВНИМИ ТЕРМІНАЛАМИ

Нагорна М.М., Кравчук С.О.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. І. Сікорського, Україна

E-mail: margarita.nagornaya999@gmail.com

DECENTRALIZED HANDOFF IN CELLULAR MOBILE COMMUNICATION NETWORKS WITH COGNITIVE TERMINALS

In this article we will talk about decentralized handoff in mobile cellular networks with cognitive terminals. The concept of decentralized wireless networks and the main problem of resource allocation are considered. The purpose of this type of transmission is to increase the number of mobile users.

На даний час концепція децентралізованих або розподілених безпроводових мереж і проблема розподілу ресурсів є актуальною темою досліджень [1, 2]. Найпростішою децентралізованою безпроводовою системою є канал множинного доступу (MAC), який дозволяє описати низхідну лінію стільникової системи з однією базовою станцією (BS) і кількома мобільними станціями (MS). Вважається, що MAC є децентралізованим у тому сенсі, що базова станція не диктує підключенням до неї користувачам швидкість передачі інформації та рівень потужності передачі. Кожен користувач може вільно обирати свою політику розподілу потужності, щоб максимізувати певний індивідуальний критерій продуктивності.

У даній роботі представлено результати дослідження проблеми децентралізованої передачі обслуговування (ПОБ) в когнітивних мережах. Тут кожен термінал оснащений когнітивним радіо, яке використовується для визначення якості його зв'язків з різними BS та застосуванням між ними інтелектуального розподілу ПОБ. У випадку жорсткої BS, для якої існує, так звана, стабільна рівновага за Нешем, визначаємо індивідуальне за власними інтересами розподілення користувачів між BS, а потім оцінюємо його соціальну ефективність, яка вимірюється в термінах сумарної ставки. Також досліджено поширення наданих результатів на випадок багатоантенних терміналів і базових станцій. Тобто проведено дослідження поведінки вільних користувачів, що діють у власних інтересах та, що підключатимуться до різних BS. Вважається, що кожен користувач зацікавлений у максимізації власної швидкості передачі в сенсі Шеннона.

У даній роботі досліджувалась система ортогональних MAC, яка містить S базових станцій, що використовують діапазони частот, що не перекриваються, і групу з K мобільних станцій. Також припускається, що BS з'єднані за допомогою ідеальних каналів зв'язку.

У випадку жорсткої ПОБ, завдання користувача полягає в тому, щоб вирішити, до якої BS найкраще підключитися, враховуючи той факт, що BS мають різні характеристики. Базові станції відрізняються за рівнем шуму прийому та кількістю обслуговуваних користувачів, але вони також можуть відрізнятися за кількістю антен, пропускну здатністю або будь-яким іншим параметром, який може визначити швидкість передачі. Причина, чому припускається, що мобільні термінали обладнані когнітивним радіо [3] полягає в прагненні до максимальної незалежності користувачів від базових станцій. Завдяки когнітивному радіо кожен користувач може контролювати оточення, оцінити швидкість передачі, пов'язану з даним маршрутом, і прийняти оптимальне рішення з точки зору його корисності. Тому проблему, що розглядається, можна розглядати як узагальнену версію проблеми «автомобіль проти громадського транспорту». Кожен пасажир діє у власних інтересах і обирає маршрут, який мінімізує час саме його пересування, а не інших. Припускаючи розумні функції для залежності часу поїздки на роботу від кількості користувачів для двох маршрутів, є доцільним існування та унікальність стабільної рівноваги Неша (NE Nash equilibrium) для даного випадку [4]. У даній установці дана ситуація відповідає мережі з двома базовими станціями, для яких дозволена лише жорстка передача обслуговування, а переповнений маршрут відповідає базовій станції з високим рівнем багатокористувацьких перешкод.

Досліджувана глобальна система складається з K мобільних станцій і S базових станцій, які використовують частотні діапазони, що не перекриваються, які прийняті рівними і нормованими на 1 Гц. Усі термінали мають лише одну антену

Отже, для налаштувань $S = 2$, $N_1 = 1$, $N_2 = 10$, $P = 10$ і $K = 20$ (рис. 1). Для схеми SUD спонтанний перерозподіл користувача в BS 1 становить приблизно 0,5, хоча існує кращий перерозподіл, який забезпечить загальну швидкість близько 5 біт/с замість 3 біт/с, що показує потенціал механізму ціноутворення, коли SUD використовується на базових станціях. З іншого боку, коли припускається, що оптимальний індивідуальний перерозподіл становить приблизно 0,75, а відповідна сумарна швидкість досить близька до оптимальної сумарної ставки, отриманої при $x_1 = 0,52$. Очевидно, що ціноутворення є менш перспективним, коли впроваджується SIC.

У випадку, коли розглядаються кілька антенних терміналів, і для якого канали вже не статичні, а змінні в часі. Налаштування: $S = 2$, $K = 20$, $N_1 = 1$, $N_2 = 10$, $n_r = n_t = 4$ (рис. 2). Схема декодування, що використовується базовими станціями для однокористувацького декодування. Рівновага відповідає точці перетину між утилітою для користувача 1 і корисністю для користувача 2. У вибраній установці перерозподіл користувачів є досить рівномірним, оскільки $x_1^* = 0.525$. Цей перерозподіл відбувається, коли багатокористувацькі перешкоди сильно домінують над шумом. Тоді рівень шуму прийому БС більше не є вирішальною характеристикою для базової станції.

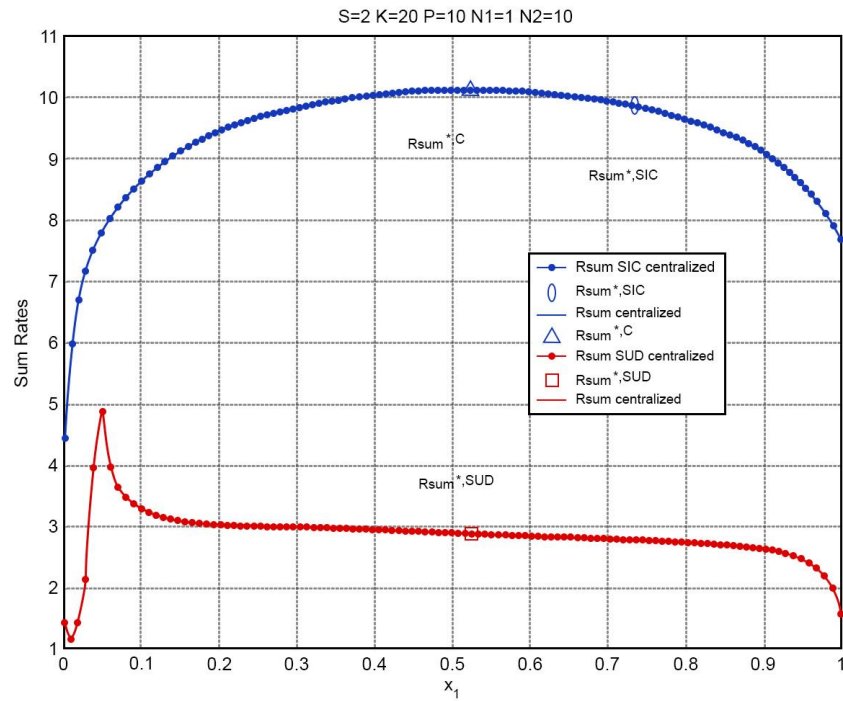


Рис. 1. Досяжна сумарна швидкість у залежності від частки користувача в базовій станції. Припущення: жорстка передача обслуговування, канали AWGN, одиночні антенні термінали. Налаштування: $S = 2$, $K = 20$, $P = 10$, $N1 = 1$, $N2 = 10$.

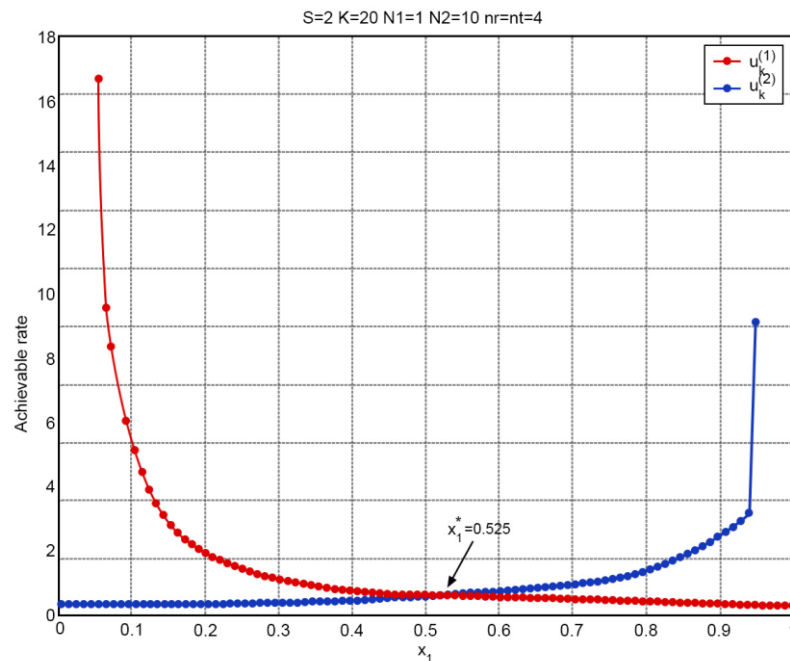


Рис. 2. Залежність утиліт користувача від частки користувачів у базовій станції. Припущення: жорстка передача обслуговування, загасання каналів, багатоантенні термінали. Налаштування: $S = 2$, $K = 20$, $N1 = 1$, $N2 = 10$, $nr = nt = 4$.

У випадку децентралізованих мереж з когнітивними терміналами з жорстким хендовером поняття переваги може бути розширено. У цій статті користувач, що діє у власних інтересах розрізняє базові станції за їх шумами при прийомі та рівнями багатокористувацьких завад. Також було помічено потенціал розробки механізму ціноутворення в мережах з жорстким хендовером, особливо коли на БС передбачається однокористувацьке декодування. Коли передбачається SIC, слід оцінити оптимальність запропонованого механізму координації, щоб знати, чи завжди він ефективний за сумарною швидкістю.

Досліджено проблему децентралізованої ПОБ в когнітивних мережах. Проведено дослідження індивідуальної ефективності, що визначається сумарною ставкою у двох випадках жорсткої передачі: SIC та SUD. Визначено індивідуальне за власними інтересами розподілення користувачів між базовими станціями, також виконано аналіз отриманих даних індивідуальної ефективності, яка вимірюється в термінах сумарної ставки. Проведено дослідження можливості поширення наданих результатів на випадок багатоантенних терміналів і базових станцій. Проведено дослідження поведінки вільних користувачів, що діють у власних інтересах та, що підключатимуться до різних BS. Проведено моделювання, у результаті якого мав місце великий потенціал розробки механізму ціноутворення в мережах з жорсткою ПОБ, особливо коли на BS передбачається однокористувацьке декодування. Тому очевидно, що ціноутворення є менш перспективним, коли впроваджується випадок SIC.

Література

1. M. Serizawa and D. J. Goodman, "Traffic sharing scheme for distributed dynamic channel allocation", in the *IEE Proc. of the 7th European Conference on Mobile and Personal Communications*, Dec. 1993, pp. 131–135.
2. S. A. Grandhi, R. Vijayan and D. J. Goodman, "Distributed power control in cellular radio systems", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42, No. 234, pp. 226–228, Feb/Mar/Apr 1994.
3. B. A. Fette, "Cognitive Radio Technology", *Newnes editors*, 2006.
4. A. K. Dixit and B. J. Nalebuff, "Thinking Strategically: The Competitive Edge in Business, Politics, and Everyday Life", *Paperback*, Chap. 9, pp. 228–231, 1993.
5. A. Tulino and S. Verdu, "Random Matrices and Wireless Communications", *Foundations and trends in communications and information theory*, NOW, *The Essence of Knowledge*, 2004.

СЦЕНАРІЇ ПРОТИДІЇ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД НА КАНАЛИ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Кайденко М.М.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: kkk610@ukr.net

SCENARIOS FOR COUNTERACTING THE INFLUENCE OF INTENTIONAL INTERFERENCE ON COMMUNICATION CHANNELS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

This article presents scenarios for the impact of various types of intentional interference on the UAV communication channel and qualitative estimates of the measured parameters. Based on the presented qualitative assessments, algorithms for detecting and counteracting the influence of intentional interference on the UAV control channel can be built.

Захист каналу передачі даних безпілотного літального апарату (БПЛА) є першочерговим завданням для забезпечення протидії атакам на БПЛА. При цьому треба враховувати, що навіть використання найбільш захищених від впливу навмисних перешкод видів модуляції з розширенням спектру не гарантує захисту такого каналу. У роботах [1-3] було запропоновано архітектурне рішення з використанням двох каналів у різних діапазонах частот для каналу управління БПЛА. При цьому інформація в обох каналах передається одночасно з повним дублюванням, що має підвищити стійкість такого каналу до впливу навмисних перешкод.

В роботі [4] було описано поріг опору заваді (*anti-jam margin*), який визначає стійкість системи до спроб подавлення сигналу. Незважаючи на те, що використання цього терміну не завжди коректне, його можна застосувати у загальному випадку для позначення запасу міцності проти конкретної навмисної завади.

Для традиційного варіанту системи зв'язку, на який впливає навмисна завада *anti-jam margin* можна описати як:

$$M_{AJ} = \left(\frac{E_b}{(N_0 + J)} \right)_{\text{Received}} - \left(\frac{E_b}{(N_0 + J)} \right)_{\text{Required}} \quad (1)$$

Для варіанту, запропонованого в [1-3] з двома каналами прийому, в яких передається дубльована інформація, *anti-jam margin* можна представити як:

$$M_{AJ} = \max(M_{AJ_Channel1}, M_{AJ_Channel2}) \quad (2)$$

Таким чином, у разі впливу навмисних завад тільки на один з каналів, *anti-jam margin* буде максимальним і обмежуватися лише ненавмисними завадами в діапазоні роботи каналу, в якому відсутні навмисні завади. У разі впливу навмисних завад на обидва канали прийому для забезпечення високої достовірності передачі інформації в каналі управління і, відповідно, «живучості» каналу зв'язку БПЛА і самого БПЛА, достатньо забезпечити

достатній *anti-jam margin*, хоча б в одному з каналів прийому.

Незважаючи на те, що вирази (1,2) досить інформативно описують *anti-jam margin* у разі впливу на канал зв'язку енергетичних завад, запропоноване архітектурне рішення матиме аналогічний ефект і при впливі на канал зв'язку структурованих завад. При цьому наступним дуже важливим завданням тракту прийому є розпізнавання наявності в каналі зв'язку навмисних перешкод. У разі впливу енергетичної завади (як шумової, так і структурованої) це завдання не є особливо актуальним, оскільки навмисна завада призводить тільки до втрати управління БПЛА оператором, при цьому вона легко детектується. Засобом протидії впливу такої завади може бути переведення БПЛА в автономний режим польоту. У разі впливу імітаційної завади типу *replay attacks*, або *false data injection attack* ситуація стає неоднозначною, тому дуже важливо правильно визначити канал, на який впливає навмисна завада і таким чином здійснюється атака на БПЛА.

Для ефективної протидії впливу навмисних завад необхідно детектувати цю заваду та, по можливості, класифікувати її з метою правильного вибору та активації оптимального алгоритму протидії. Сучасний приймач має кілька засобів оцінки стану каналу зв'язку: рівень прийнятого сигналу (RSSI - Received Signal Strength Indication), відношення сигнал шум (SNR - Signal-to-noise ratio), коефіцієнт помилок (BER- Bit Error Rate). Показник рівня прийнятого сигналу RSSI визначає кількісну характеристику прийнятого сигналу в певній смузі частот, при цьому не визначається чи сигнал є корисним, це сигнал завади, або це суміш сигналу та завади. Відношення потужності прийнятого сигналу до потужності шуму SNR визначає якість прийнятого корисного сигналу за умови, що цей сигнал корисний (детектується) і приймається суміш сигналу та перешкоди, при цьому не конкретизуючи тип перешкоди. Вимірювання BER (підррахунок кількості помилок на інтервалі кадру N_{error}) можливе в каналах зв'язку з завадостійким кодуванням з прямою корекцією помилок (FEC - Forward Error Correction) і дозволяє точніше визначати якість прийнятого сигналу в порівнянні з SNR, оскільки визначає якість прийнятої інформації. Зазначене вище вказує на те, що для визначення присутності навмисної завади, її класифікацію та ефективну протидію її впливу, в загальному вигляді необхідно мати ще мінімум один ступінь свободи. Такий ступінь свободи може бути досягнутий додатковими вимірами, або (і) архітектурними рішеннями відносно побудови системи зв'язку. Наявність третього ступеня свободи при використанні запропонованих у [1-3] архітектурних рішень дозволяє будувати алгоритми детектування навмисних завад та алгоритми протидії впливу таких завад на систему зв'язку БПЛА.

У таблиці 1 наведено сценарії з якісними оцінками, на основі яких можуть будуватися алгоритми детектування навмисних завад та алгоритми протидії впливу таких завад на канал управління БПЛА. Передбачається, що для роботи алгоритмів використовуються усереднені параметри, при цьому довжина інтервалу усереднення вибирається кратною довжиною одного кадру даних, що дозволяє виключити з розгляду швидкі завмирання в каналі

зв'язку, що виникають у випадку наявності частотно-селективних завмирань. Крім того, потужності в каналах зв'язку повинні бути обрані таким чином, щоб забезпечити однаковий енергетичний потенціал в обох каналах, що буде використано як один із критеріїв при детектуванні навмисної завади.

Сценарії визначені за умови, що потенційний вплив навмисної завади на канал управління виявлено. Найточнішою первинною ознакою виявлення є контроль відмінності інформаційних повідомлень у двох каналах зв'язку:

$$Jam_d = XOR(Message_{Channel1}, Message_{Channel2}) \quad (3)$$

Якщо $Jam_d=1$, то ймовірно, що на один із каналів зв'язку в каналі управління може здійснюватися навмисна атака.

Таб. 1. Сценарії впливу навмисних завад, їх характеристика та ознаки для детектування.

Сценарій	Тип завади	Опис ознаки завади
1	Енергетична шумова завада, широкополосна	В одному з каналів $N_{error} \gg 1$; $RSSI_{Chan_error} > RSSI_{Chan_correct}$; $SNR_{Chan_error} < SNR_{Chan_correct}$; $RSSI_{Chan_error+BW} \sim RSSI_{Chan_error}$
2	Енергетична шумова завада, вузькополосна	В одному з каналів $N_{error} \gg 1$; $RSSI_{Chan_error} > RSSI_{Chan_correct}$; $SNR_{Chan_error} < SNR_{Chan_correct}$; $RSSI_{Chan_error+BW} \ll RSSI_{Chan_error}$
3	Енергетична структурована завада	В одному з каналів $N_{error} \gg 1$; $RSSI_{Chan_error} \geq RSSI_{Chan_correct}$; $SNR_{Chan_error} \leq SNR_{Chan_correct}$; Відсутність синхронізації кадрів (пакетів)
4	Імітаційна завада типу атаки повторення (replay attack)	$N_{error_Chan1} \sim N_{error_Chan2}$; $RSSI_{Chan1} \gg RSSI_{Chan2}$; $SNR_{Chan1} \geq SNR_{Chan2}$; Неправильність порядку слідування імітаційних вставок.
5	Імітаційна завада заміщення (false data injection attack)	$N_{error_Chan1} \sim N_{error_Chan2}$; $RSSI_{Chan1} \gg RSSI_{Chan2}$; $SNR_{Chan1} \geq SNR_{Chan2}$; Спостереження змін на довгому інтервалі часу.

Література

1. Kaidenko M., Kravchuk S. (2021) Autonomous Unmanned Aerial Vehicles Communications on the Base of Software-Defined Radio. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_16
2. M. M. Kaidenko and S. O. Kravchuk, "Anti-Jamming System for Small Unmanned Aerial Vehicles," 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615403.
3. M. Kaidenko and S. Kravchuk, "Creation of communication system for unmanned aerial vehicles using SDR and SOC technologies," 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Odessa, Ukraine, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165422.
4. B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Second Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВМИСНИХ ЗАВАД, ЩО ДІЮТЬ НА КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Гетьман О.В., Кайденко М.М.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: kkk610@ukr.net

CHARACTERISTICS OF INTENTIONAL JAMMING ACTING ON THE COMMUNICATION CHANNEL OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

This article presents the structure of the organization of electronic countermeasures to the UAV communication channel, gives a characteristic of intentional interference that can affect the UAV communication channel, and presents the results of testing the effect of such interference.

Вплив на канал зв'язку БПЛА навмисних завад незалежно від його призначення (військовий чи цивільний) є своєрідним засобом радіоелектронної боротьби. Відносно каналів зв'язку БПЛА можна виділити три складові радіоелектронної боротьби: пасивне радіоелектронне забезпечення (Electronic Support Measures - ESM); активне радіоелектронне подавлення (Electronic CounterMeasures - ECM); протидія радіоелектронному подавленню - радіоелектронний захист (Electronic Counter-CounterMeasures — ECCM). Пасивне радіоелектронне забезпечення стосовно БПЛА полягає переважно у радіорозвідці, яка забезпечує перехоплення сигналів, визначення напрямку їхнього приходу та їх аналіз. Особливістю останніх двох складових частин є те, що розробка використовуваного для їх реалізації устаткування супроводжується постійним змаганням однієї з другою.

Типовий сценарій радіоелектронної боротьби – це протистояння між силами та засобами всіх трьох складових: радіоелектронного забезпечення, радіоелектронного подавлення та радіоелектронного захисту. При цьому важливим аспектом є те, щоб програмне забезпечення системи радіоелектронного захисту було модифікованим, тобто мало б відкриту архітектуру [1]. Для забезпечення ефективного радіоелектронного захисту важливо знати, які типи навмисних завад можуть діяти на канал зв'язку БПЛА, особливості їх застосування та характеристики. Для протидії БПЛА використовуються станції радіоелектронної боротьби, що поєднують у собі функції радіорозвідки і радіоподавлення, що працюють у широкому діапазоні частот наприклад [2], а також малогабаритні малопотужні антидрон рушніці з обмеженим діапазоном частот та функціональністю, наприклад [3]. Станція радіоелектронної боротьби завжди розташовується ближче до об'єктів виконання місії БПЛА, або в безпосередній близькості до них. Внаслідок цього просторові та енергетичні характеристики каналу зв'язку БПЛА та каналу подавлення істотно відрізняються за протяжністю та напрямком випромінювання.

На рисунку 1 показана структурна схема організації радіоелектронної протидії безпілотному літальному апарату, в якій показані канал передачі даних від наземної станції управління БПЛА, організація каналу постановки завади та структура сигналу на вході приймача з усіма викривленнями та завадами.

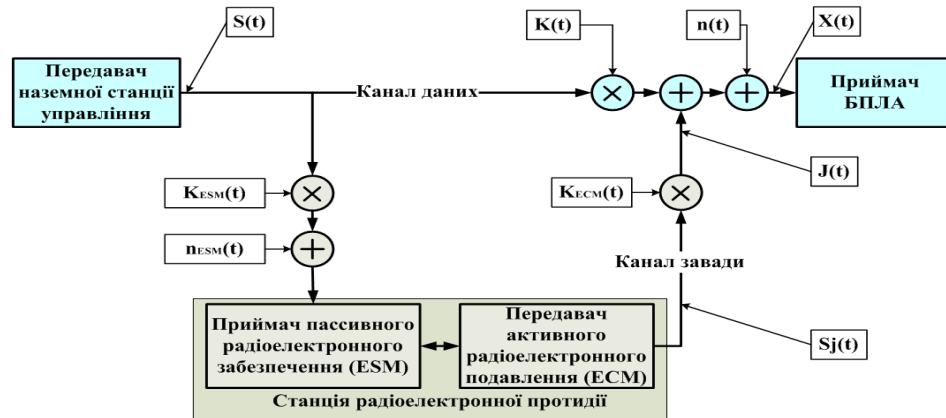


Рис.1. Структурна схема організації радіоелектронної протидії БПЛА.

Модель сигналу, що передається від наземної станції управління до БПЛА у разі відсутності радіопротидії в загальному випадку описується як:

$$X(t) = K(t) * S(t) + n(t) \quad (1)$$

За наявності радіопротидії модель каналу може бути описана як:

$$X(t) = K(t) * S(t) + n(t) + J(t) \quad (2)$$

При цьому канал радіопротидії, аналогічно каналу зв'язку з БПЛА, може бути підданий впливу багатопроменевості і на вхід приймача надходить адитивна перешкода, що описується як:

$$J(t) = K_{ECM}(t) * S_j(t) + n(t) \quad (3)$$

Слід зазначити, що адитивна завада $n(t)$ у виразах 2 і 3 це та сама завада, обмежена по смузі частот вхідним трактом і фільтрами основної селекції приймача БПЛА.

На вхід приймача станції радіорозвідки надходить сигнал, який можна описати аналогічно (1). В ідеальному варіанті станція радіорозвідки розпізнає наявність сигналу управління БПЛА, класифікує його, визначає параметри (частота несучої, вид модуляції, швидкість передачі). Оскільки вимоги за часом реакції станції радіорозвідки та включення системи радіоподавлення не є «жорсткими» в порівнянні з тими, що пред'являються до радіолокаційних систем радіоелектронної боротьби, обробка сигналу в реальному масштабі часу не потрібна і може виконуватись із записаним фрагментом сигналу. Після цього станція радіоелектронної боротьби формує сигнал навмисної перешкоди. В якості такого сигналу можуть бути використані такі завади:

- Енергетична шумова завада (широкосмугова, або вузькосмугова). У першому наближенні вона може розглядатися як рівномірний «білий шум», що випромінюється в діапазоні робочих частот станції управління БПЛА (широкосмугова завада) або в смузі робочих частот каналу управління (вузькосмугова завада). Використання широкосмугової завади вимагає від

станції великої потужності для досягнення N_0 достатнього для забезпечення $SNR < SNR_{min}$, при якому ймовірність помилкового прийому приймачем БПЛА BER гарантовано перевищить заданий рівень (менше 10^{-3});

- Енергетична структурована завада, яка випромінюється на робочій частоті каналу управління БПЛА і повторює його параметри (вид модуляції, смуга частот). Вплив такої завади на канал зв'язку призводить до зриву синхронізації (частотної, фазової, часової) та повного руйнування інформаційного повідомлення. Результати випробувань впливу такої завади на канал зв'язку з модуляцією QPSK показали, що частковий зрив синхронізації в каналі зв'язку відбувається вже при $P_s/P_j = 10 \text{ dB}$, а повне руйнування каналу при $P_s/P_j = 6 \text{ dB}$. Ці випробування проводилися з використанням SDR трансиверів Arradio [4] в якості основного і Pluto SDR [5] в якості джерела перешкоди, при цьому відстань від передавачів до приймача була однаковою. Для порівняння, в результаті аналогічних випробувань впливу на канал з обмеженою фільтрами приймача смугою частот адитивного білого шуму частковий зрив синхронізації відбувався при $P_s/P_j = -3 \text{ dB}$, повне руйнування каналу при $P_s/P_j = -6 \text{ dB}$;

- Імітаційна завада типу атак повторення (replay attack), при якій в якості сигналу завади використовується запис реального сигналу в каналі зв'язку (наприклад з прямолінійним рухом БПЛА), яка повторює всю структуру сигналу, включаючи елементи криптозахисту каналу. Для ефективного впливу такої завади на канал зв'язку на вході приймача має виконуватись умова $P_j/P_s > P_{jmin}$. Результати випробувань у каналі зв'язку з QPSK модуляцією без завадового кодування показали, що P_{jmin} склало 10 dB при ймовірності помилки $BER < 10^{-3}$;

- Імітаційна завада повного чи часткового заміщення інформаційного повідомлення у вигляді введення помилкових даних (false data injection attack). Такий вид завад є найбільш шкідливим з точки зору «живучості» БПЛА, оскільки він дозволяє повністю перехопити керування безпілотним апаратом. Для реалізації такого виду завади станція радіорозвідки повинна повністю детектувати інформаційне повідомлення, включаючи криптозахист і після цього сформувати нове змінене повідомлення. Для ефективного впливу такої завади на канал зв'язку також має виконуватися умова $P_j/P_s > P_{jmin}$.

Література

1. Kaidenko M.M., Roskoshnyi D.V. (2019) Software Defined Radio in Communications. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_11 Print ISBN 978-3-030-16769-1
2. "Groza-S" counter-UAV electronic warfare station: <https://www.bvpservice.by/en/catalog/radio-intelligence-and-electronic-warfare-equipment/groza-s-counter-uav-electronic-warfare>
3. REX-2: <https://zala-aero.com/production/means-of-ew/rex-2/>
4. HSMC ARRADIO Daughter Card: <https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&No=946>
5. ADALM-PLUTO. Software-Defined Radio Active Learning Module: <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/adalm-pluto.html#eb-overview>

Секція 5. Телекомунікації як складова частина
інформаційних технологій

УДК 621.396

**БАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ
ОРБІТАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ**

¹Наритник Т.М., ¹Жабчик А.І., ²Капштик С.В.

¹ *Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

² *Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна*
E-mail: director@mitris.com; nastia2767@gmail.com;
s.kapshtyk@spacecenter.gov.ua

**BASIC TECHNOLOGIES FOR CREATING THE
ORBITAL CLOUD DATA STORAGE NETWORK**

Technologies for the creation of a Satellite Cloud Data Storage Network in the Geostationary Orbit are presented. The Network consists of Satellites - Cloud Data Centers, that perform the functions of Data Centers directly in the orbital; and High-Throughput Satellites, which perform the function of collecting information from consumers and Gateways to access the data network. For the Development of the Satellite Network, the technologies of Phased Array Systems, Software-defined Radio, and Software-Defined networks are used as basic.

Представлені технології для створення на геостаціонарній орбіті супутникової мережі хмарних сховищ даних. До складу мережі входять супутники – хмарні центри даних, що здійснюють функції орбітальних дата-центрів, та супутники великої пропускної здатності, які виконують функцію збирання інформації від споживачів та шлюзів доступу до мережі даних. Для побудови супутникової мережі в якості базових запропоновано використовувати технології фазованих антенних решіток, програмно конфігурованого радіо- та програмно-конфігурованих мереж передачі даних.

Розвиток сучасних інформаційних технологій збирання, накопичення, опрацювання та розповсюдження даних спирається на мережу великих дата-центрів, що розташовані в різних куточках світу і з'єднані високошвидкісними каналами передачі даних. Сформована інфраструктура надає користувачам широкий спектр послуг, які базуються на технологіях віртуальних машин, гіпервізорів, хмарних сховищ даних. Для покращення доступу користувачів до створеної наземної інфраструктури дата-центрів оператори супутникових систем, в першу чергу оператори геостаціонарних систем високої та надвисокої пропускної здатності, спільно з компаніями-операторами дата-центрів розміщують дата-центри в безпосередній близькості від телепортів супутникових систем, або на одному майданчику. Але до цього часу невирішеним питанням є забезпечення глобального доступу до хмарних сховищ даних незалежно від місця розташування користувача, наявності телекомунікаційної інфраструктури, обчислювальної потужності обладнання користувача. Крім того, постійно зростає важливість скорочення часу

звернення користувача до хмарного сховища та отримання необхідних послуг. На розв'язання зазначених питань спрямована пропозиція щодо створення орбітальної мережі хмарних сховищ даних [1]. Така мережа призначена для надання послуг користувачам на поверхні Землі та на низькій навколоземній орбіті із використанням супутників, що розташовані на геостаціонарній орбіті, і є доповненням до наземної мережі великих дата-центрів та хмарних сховищ даних.

1. Орбітальна система хмарних сховищ даних.

Орбітальна мережа хмарних сховищ даних призначена для надання послуг хмарних центрів збирання, обробки, зберігання та поширення даних для користувачів, що знаходяться на поверхні Землі незалежно від їх місця розташування, та низькоорбітальних супутникових інформаційних систем. Мережа складається із геостаціонарних супутників двох типів (рис.1):

- Супутник – дата-центр;
- Супутник – шлюз доступу.

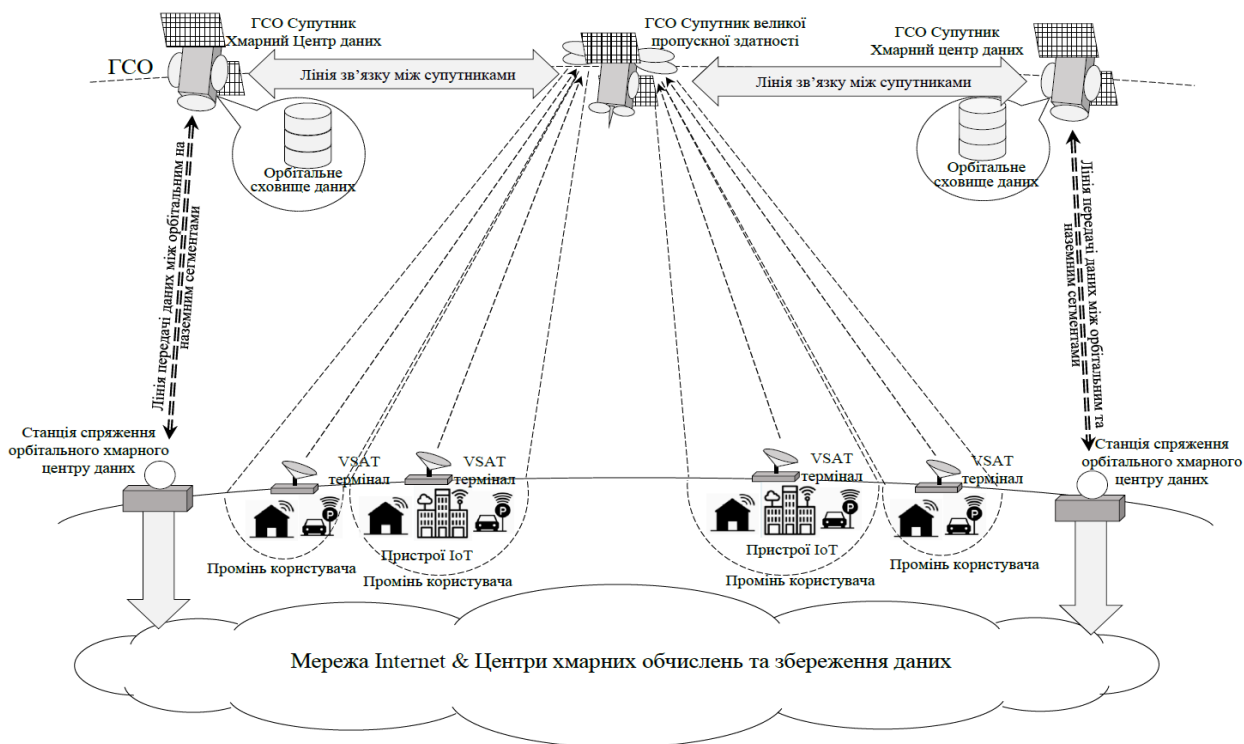


Рис.1. Орбітальна система хмарних сховищ даних.

Корисним навантаженням супутника – дата-центру є обчислювальний модуль із серверами та модуль пам'яті. Корисне навантаження супутника по складу та по порядку взаємодії подібне до цільового обладнання наземного дата-центру. Для підключення до наземної інфраструктури дата-центрів супутник має окремий радіоканал високої пропускної здатності із декількома надвузькими променями, що орієнтовані безпосередньо в точки розташування наземних дата-центрів.

Супутник – шлюз побудований по технології супутника великої пропускної здатності. На додаток до надвузьких променів з фіксованою орієнтацією супутник – шлюз здатний формувати керовані промені, що відстежують рух користувачів на поверхні Землі, та на низькій навколоземній орбіті. На відміну від класичних супутників великої пропускної здатності, супутник – шлюз забезпечує передачу отриманої інформації до супутника –

дата-центра. Одночасно супутник – шлюз здійснює контроль доступу користувачів до ресурсів системи та забезпечує інформаційний захист системи.

Для забезпечення функціонування орбітальної системи створюється орбітальна мережа передачі даних. Мережа передачі даних складається з радіо або оптичних ліній зв'язку між супутниками та комутаційного обладнання і маршрутизаторів, що встановлені у складі супутників – шлюзів.

2. Базові технології для побудови системи.

Створення на геостаціонарній орбіті запропонованої супутникової мережі хмарних сховищ даних базується на сучасні технології, які опрацьовані в різних сегментах сучасних інфокомунікацій. До таких технологій відносяться:

- Фазовані та цифрові антенні решітки;
- Програмно-конфігуроване радіо;
- Програмно-конфігуровані мережі передачі даних.

Фазовані та цифрові антенні решітки. Фазовані антенні решітки представляють собою набір елементарних випромінювачів, що розташовані в певному порядку в лінію або на площині [2,3]. Як показано на рис.2, фронт радіохвилі приходить на випромінювачі антенної решітки в різні моменти часу. Якщо на сумуючий пристрій подати прийняті сигнали із врахуванням відносної затримки надходження фронту хвилі на випромінювачі, то на виході можна сформувати синфазний підсилений сигнал, який визначає радіосигнал, прийнятий із напрямку приходу фронту хвилі. Напрямок прийому радіосигналу визначається відотною затримкою сигналів від сусідніх випромінювачів. Для формування передавального променя сигнали, що надходять на випромінювачі антенної решітки, мають зсув по фазі або затримку в часі, які визначають напрямок формування підсумкового передавального променя.

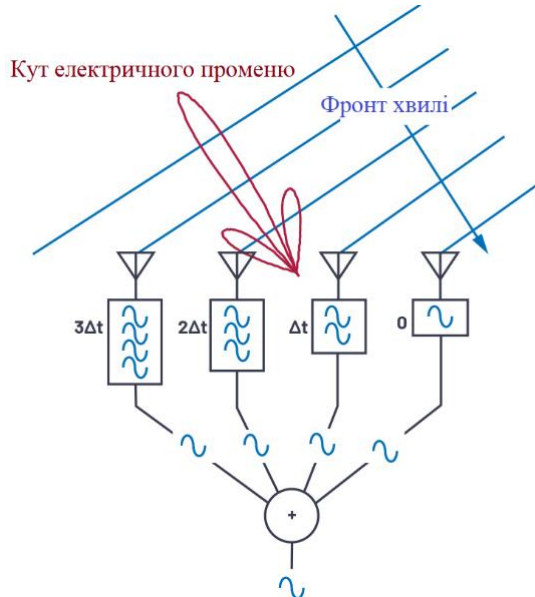


Рис.2. Схематичне представлення формування передавального променя фазованою антенною решіткою.

Для здійснення затримки сигналів від випромінювачів використовується або фазова затримка, яка реалізується за допомогою фазообертачів, або лінії затримки. Останнім часом на ринку з'явилися пристрої, які використовують оптичні системи для забезпечення затримки сигналів. Метод управління сформованим променем за допомогою ліній затримки є більш ефективним з точки зору формування паразитних променів та прояву інших негативних факторів.

Цифрові антенні решітки є різновидом фазованих антенних решіток, в яких усі операції з внесення фазових затримок реалізуються цифровими методами. Сигнал з виходу випромінювача переводиться в цифровий формат і далі застосовуються методи цифрової обробки сигналів.

До переваг фазованих та цифрових антенних решіток відноситься можливість формувати промені складної форми, формувати багато незалежних променів, що дозволяє змінювати зону обслуговування супутника в процесі його орбітальної експлуатації, та формувати

керовані промені для відстеження напрямку на користувача в процесі його руху по поверхні Землі, або руху супутника на низькій навколоземній орбіті.

Програмно-конфігуроване радіо.

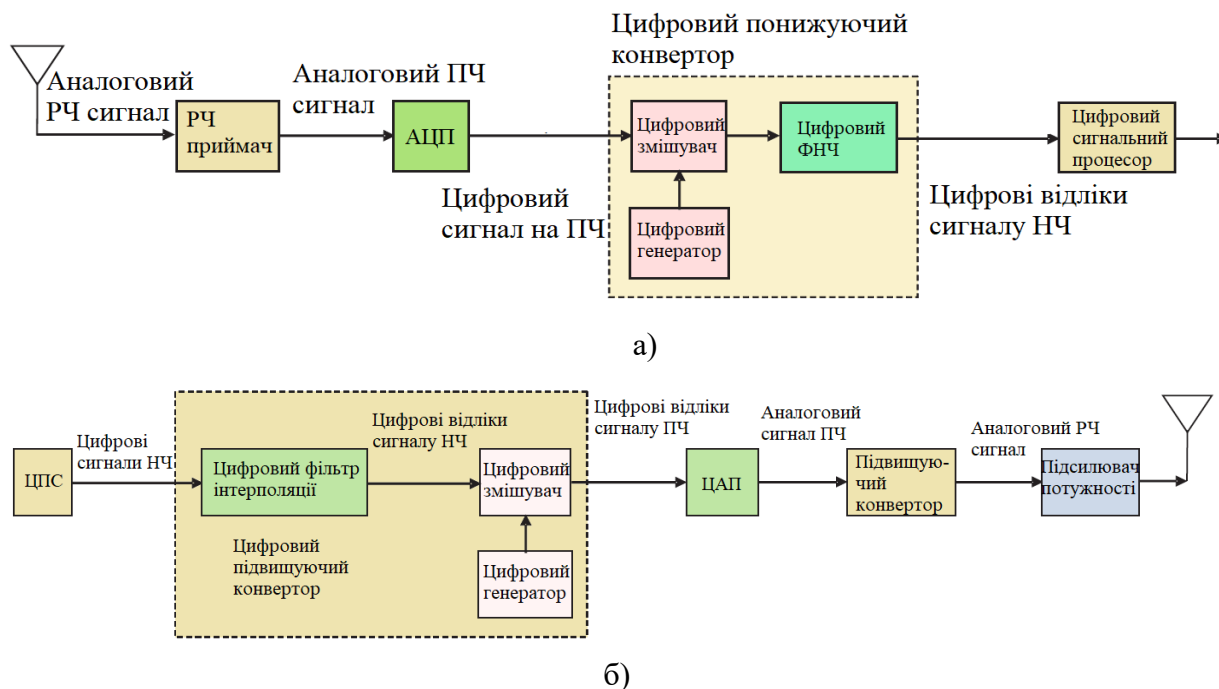


Рис.3. Структурні схеми трактів програмно-конфігурованого радіо:

а) приймальний тракт; б) передавальний тракт.

Програмно-конфігуроване радіо побудоване на базі добре опрацьованих та досліджених алгоритмів цифрової обробки сигналів [4]. В цифровій формі здійснюється модуляція / демодуляція сигналів видами модуляції різної складності, фільтрація, кодування / декодування різними завадостійкими кодами, кореляційна обробка сигналів, тощо. На рис.3 наведено структурну схему програмно-конфігурованого приймального (рис.3.а)) та передавального (рис.3.б)) пристроїв. Аналоговий сигнал, який приймається антеною приймального пристрою і присутній на виході приймальної антени, за допомогою радіоприймача (РЧ приймач) переноситься на проміжну частоту (ПЧ) та надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), де перетворюється в послідовність цифрових відліків, які представляють сигнал в форматі I/Q (синфазна та квадратурна складові). Така форма відліків дозволяє зберегти інформацію про амплітуду та фазу радіосигналу. Далі обробка здійснюється в цифровій формі за допомогою алгоритмів цифрової обробки сигналів. Після перетворення послідовності відліків сигналу ПЧ в послідовність відліків низькочастотного сигналу (НЧ) в цифровому понижуючому конверторі прийнятий сигнал у вигляді послідовності цифрових відліків надходить до цифрового сигнального процесору, де здійснюється його демодуляція, фільтрація, декодування та обробка згідно обраного алгоритму, який встановлюється програмним методом.

На передавальній стороні сигнал, який сформований на виході цифрового

сигнального процесора, і представляє собою послідовність цифрових відліків НЧ модульованого сигналу, надходить до цифрового підвищуючого конвертору, з виходу якого послідовність відліків в форматі I/Q надходить на вхід цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). На виході пристрою формується аналоговий модульований сигнал на проміжній частоті. Далі застосовується аналогова технологія формування радіосигналу.

Сучасні апаратні засоби цифрової обробки сигналів та сигнальні процесори дозволяють здійснювати операції аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення безпосередньо на робочій частоті радіосигналу.

До переваг технології програмно-конфігурованого радіо відноситься гнучкість в застосуванні різноманітних алгоритмів формування та обробки радіосигналів одночасно із використанням універсального апаратного забезпечення.

Програмно-конфігуровані мережі передачі даних.

Програмованість мережі, відкритість та віртуалізація є ключовими словами сучасних мережевих архітектур. Програмно-конфігурована мережа (SDN) виникла як нова архітектура для програмування та управління мережею, яка використовує програмні контролери або інтерфейси прикладного програмування (API) для зв'язку з базовою апаратною інфраструктурою та прямого трафіку в мережі. Ця архітектура відокремлює мережеві функції контролю і передачі, що дозволяє зробити безпосередньо програмний контроль самої мережі, а присутню в основі інфраструктуру виділити для додатків і мережевих сервісів. При цьому OpenFlow є основним елементом, необхідним для створення рішень SDN.

Архітектура програмно-конфігурованої мережі (SDN) визначає, мережу як обчислювальну систему, яку можна побудувати за допомогою комбінації відкритих програмно-базованих технологій та стандартного мережевого обладнання.

В архітектурі мережі присутні три рівні (рис.4):

1) Інфраструктурний рівень або рівень передачі даних (на цьому рівні функціонують мережеві комутатори та канали передачі даних);

2) Рівень управління (на цьому рівні присутній набір програмних засобів які є фізично відокремленими від інфраструктурного рівня, який забезпечує реалізацію механізмів управління пристроями інфраструктурного рівня). Рівень управління визначає спрямування потоків даних на підставі таблиць потоків.

3) Рівень мережевих додатків (на цьому рівні є набір SDN-додатків, що взаємодіють із SDN-контролером через програмний протокол (API) для збору, аналізу, розгортання та управління мережевою інфраструктурою на рівні додатків). Рівень мережних додатків визначає прикладні завдання усієї інформаційної програмно-конфігурованої мережі.

До переваг програмно-конфігурованої мережі відноситься гнучкість управління, простота впровадження нових послуг та модифікації існуючих, можливість використання уніфікованого спрощеного обладнання, яке завдяки програмному управлінню дозволяє реалізувати широкий спектр завдань і функцій мережі.

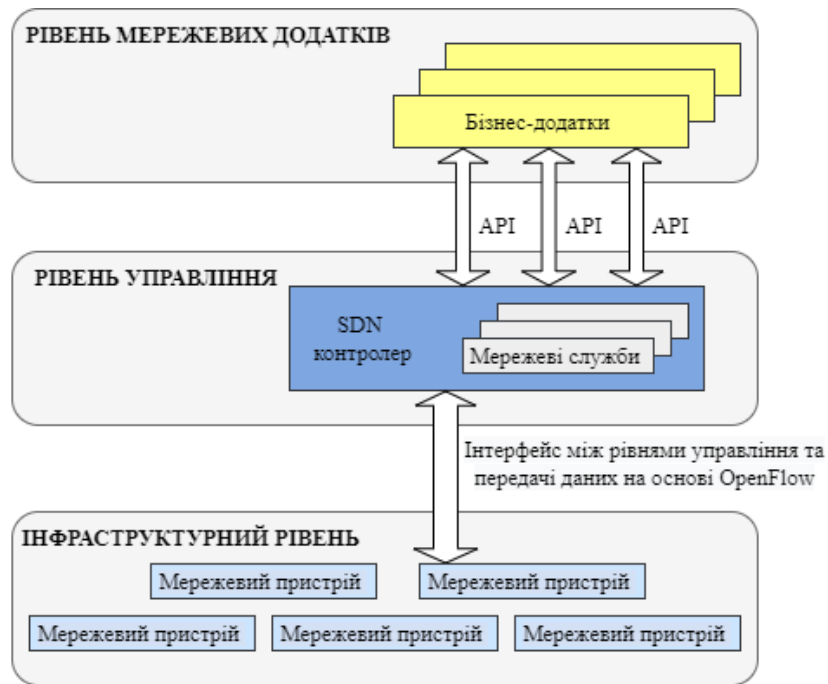


Рис.4. Архітектура програмно-конфігурованої мережі.

Висновки:

1. Технології фазованих / цифрових антенних решіток; програмно-конфігурованого радіо, програмно-конфігурованих мереж передачі даних можна рекомендувати в якості технологічної основи програмно-конфігурованих супутників.

2. Наступним кроком в розвитку супутникових телекомунікаційних та інформаційних систем може стати створення орбітальних систем хмарних сховищ даних, які здатні надавати послуги хмарних центрів даних. Орбітальна супутникова мережа хмарних центрів даних забезпечує взаємодіє із наземною мережею дата-центрів і доповнює її для надання послуг незалежно від місця розташування споживача та стану наявної телекомунікаційної інфраструктури.

3. Беззаперечною перевагою запропонованої технології є можливість забезпечити прийом-передачу та обробку інформації від супутників, які знаходяться на низькій навколоземній орбіті. Таке рішення значно підвищує ефективність та продуктивність функціонування низькоорбітальних супутникових систем різноманітного призначення.

Література

1. The Internet of Things Space Infrastructure. Current State and Development Prospects / Mikhail Ilchenko, Teodor Narytnyk, Vladimir Prisyazhny, Segii Kapshtyk and Sergey Matvienko / Internet of Things / IntechOpen, 2021 / DOI: 10.5772/intechopen.96924
2. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. Второе издание. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с., ил.
3. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010. – 144 с., ил.
4. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 372 с., ил.
5. Основы программно-конфигурируемых сетей: учебное пособие. / Н.Ф. Бахарева, Ю.А. Ушаков, М.В. Ушакова, Е.А. Шухман – Самара.: ПГУТИ, 2015. – 111 с.

ONTOLOGY-BASED APPROACH TO SCIENTIFIC INSTITUTIONS INFORMATION REPRESENTATION

¹Globa L.S., ²Novogradskaya R.L., ^{1,3}Zadoienko B.O., ⁴Yu Junfeng

¹Dept. of Infocommunication Networks,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

²Intelligent network tools department, National Center

«Junior Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

³Anhalt University of Applied Sciences, Kothen, Germany

⁴Information research institute of Shandong academy of science, Shandong, China

E-mail: lgloba@its.kpi.ua, rinan@ukr.net,
zadoenko.bogdan@gmail.com, yujf@sdas.org

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НАУКОВИМИ УСТАНОВАМИ

У статті описується процес створення онтологічної моделі представлення інформації, накопиченої різними науковими та освітніми організаціями. Функціонування наукових та освітніх організацій пов'язано із накопиченням великої кількості інформації, яка в свою чергу використовується в процесі оцінки якості їх функціонування. В основу алгоритму процесу створення онтологічної моделі покладено вилучення змістовної інформації, яка зібрана з різних інтернет джерел, за рахунок її структуризації та систематизації для її подальшого аналізу та обробки. Описано елементи всіх компонентів загальної онтології. Практична розробка запропонованої онтологічної моделі була виконана з використанням платформи розробки онтологічних рішень TEDAOs.

Introduction. Today, there are a large number of public and private institutions providing services in various spheres of social life. The demand for such institutions depends on the efficiency of their functioning. It is for the organizations involved in the fields of science and education that the efficiency of functioning is of particular importance, because the quality of services they provide depends on the future level of the state development and the life of its citizens. That is why there are currently some general-ly accepted principles for evaluating such organizations. The process of such peer review is outlined and approved in the relevant regulatory documents [1, 2, 3].

Today there is a tendency to the development of artificial intelligence and their penetration into any sphere of human life. Specialized technologies based on artificial intelligence are used to develop information systems of various kinds and purposes. Artificial intelligence technologies also offer a wide range for the presentation of knowledge and data. Among the existing models of knowledge representation it is the ontological model that has acquired the greatest use. Presented study proposes to use the ontology as one of the models of knowledge representation to organize information of scientific institutions for its structuring and systematization, as well as for its further processing and use.

Ontology system of scientific institutions information representation. The functioning of scientific organizations is associated with certain specific features that are not characteristic of other types of institutions. For example, the important indicators of the scientific process are as follows - the number of publications, citations, various scientific indexes and ratings, participation in international projects and programs, completed scientific topics, trained specialists of different qualification levels in different specialties and specializations, and more. That is why the information produced during the operation of such institutions also reflects all levels (aspects) of such functioning. This feature must be taken into account when developing an ontological model. Also, several basic processes are involved in the process of organization of scientific activity: organization of activity of institution; definition of indicators by which it is possible to identify the level of performance of a certain type of activity in an institution; the existence of criteria for evaluating such indicators by which it is possible to evaluate the achievements of the organization and to determine whether its activity meets the requirements; organization of the institution's evaluation process itself.

Thus ontology system is a collection of several components (Fig. 1).

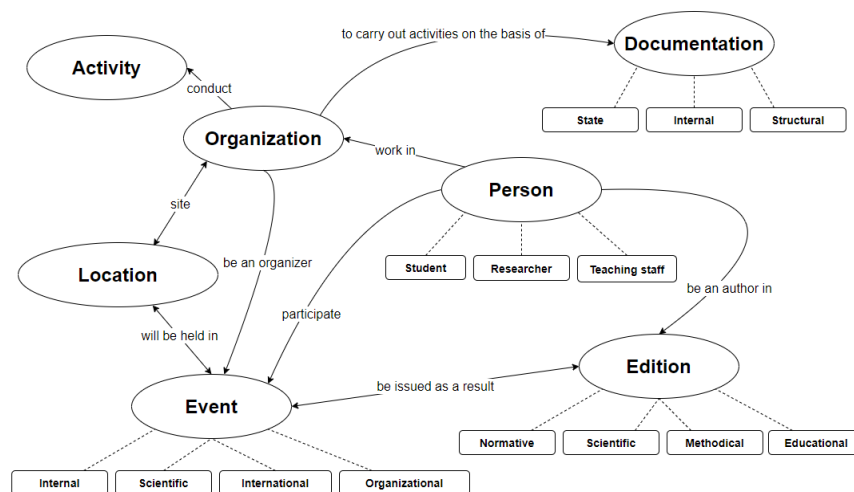


Fig. 1. Ontology system of scientific institutions information representation.

In the process of constructing an ontological model, there is a need to describe its elements. The ontological model includes the following elements [4]:

Ontological model = <classes, attributes, relations, types of attribute values, con-straints on attribute values, instances of classes>,

where classes are elements of an ontological model that describe the concepts of a particular subject or problem area;

attributes – are elements of the ontological model that describe the properties of concepts and relations;

relations – are defined on classes, and display either the relations of classes with each other or the relations of classes to data or attributes. There are relations of the following types:

- associative relations – allow to perform meaningful searches through the ontol-ogy information space,

- part-to-whole relations – allow you to establish relations between classes at the hierarchy level,
- inheritance relations – is used to pass attributes and relations from parent to daughter,
- class-data relations – allow to associate instances of concepts with class;

attribute value types - specify standard types for class attribute values (for example: string, integer, real, date);

restrictions on the values of the attributes of concepts and relations – is used not for all attributes, but only for those whose values must lie in a certain area, they can't be less/more than a given value or they are determined by a certain rule. For example, the value of the attribute “start date” of some ontology class is constrained by $T(\text{date}) = \text{date } F(T) > 0$;

class instances – are an ontology element that displays specific domain data that obey the structure of the ontological model.

In the course of the study, the described ontological model elements were identified for all ontologies. The process of detailing the elements of an ontology is an important step in designing a general onto-logical model that will allow you to set structures for further filling the ontology with domain information (instances of classes).

An ontology for scientific institutions information representation was developed using the IT- TEDAOS environment [5, 6]. During the construction of the ontological model, 895 objects and 2837 data elements (attributes) were created. In Fig. 2. shows the lower level ontology, which shows that the rating of each employee, which is divided into three areas of activity, and each area of work is divided into groups of work by type.

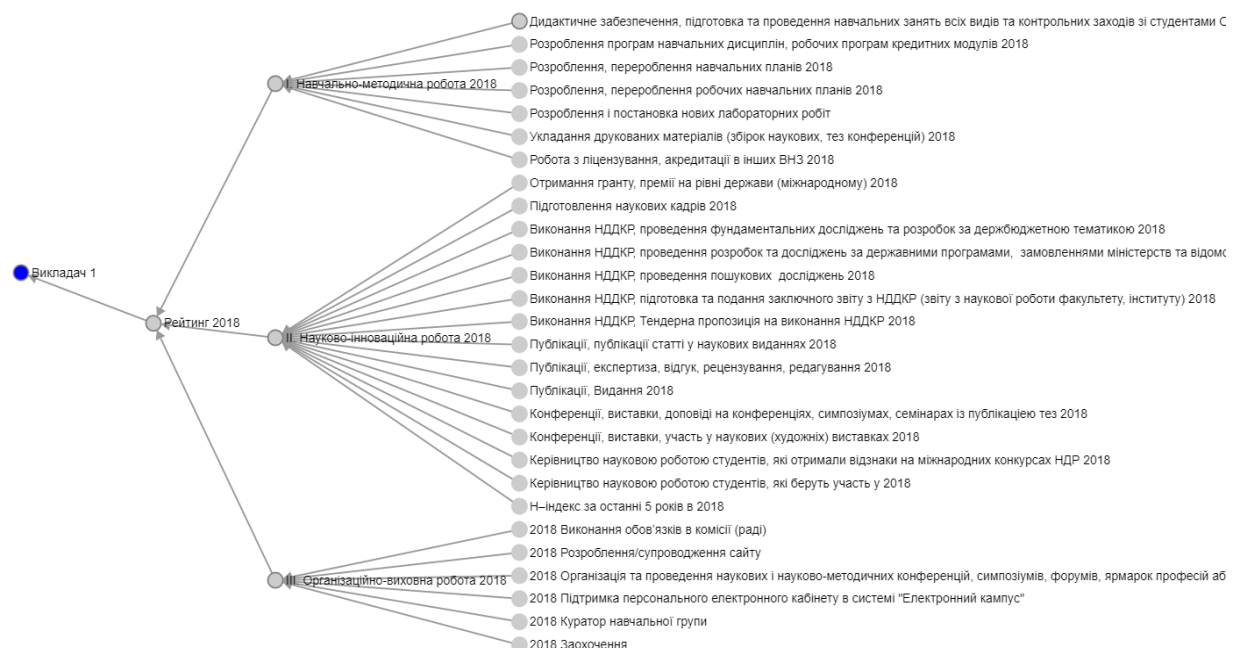


Fig. 2. Lower level ontology.

Each class of the developed ontology is described by attributes which are also set at the program level in the TEDAOS environment.

In Fig. 3. shows the attributes of the object Work №5. Attributes include the following data:

- Type of work,
- Points - the number of points that can be obtained for the work,
- Quantity (part made by the teacher) as a percentage,
- The result - the points received by the teacher for this work.

Fig. 3. Ontology object attribute.

Conclusions. The paper presents an approach to the representation of information accumulated in various scientific institutions on the basis of ontological model. The ontological representation allows to evaluate the quality of scientific institutions functioning on the basis of national principles for such assessment. The information how to organize the evaluation process as well as generally accepted evaluation criteria are also stored in the ontological model. The associative relations between objects that are determined in ontological model allow to link the institution activities indicators with the evaluation criteria for assessment process automation.

Future researches will focus on further ontology development and its filling with subject domain information, as well as on evaluation of proposed approach usage in comparison with other existing ones.

References

1. "Regulations on state certification of research (scientific and technical) institutions" [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/469-98-%D0%BF/print>]
2. "Methods of optimization (certification) of budget research institutions, which are fully or partially funded by the state budget" [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1176-2011-%D0%BF/print>]
3. L. Globa, R. Novogrudska and O. Oriekhov 2013 Method of heterogeneous information resources structuring and systematizing for Internet portals development, in Eurocon 2013, July 2013, pp. 319-326, DOI: <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2013.6625003>
4. L. Globa, R. Novogrudska and O. Oriekhov, "Method of heterogeneous information resources structuring and systematizing for Internet portals development," in Eurocon 2013, July 2013, pp. 319-326, DOI: <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2013.6625003>.
5. Zmitrovich A.I.: Intelligent information systems / A.I. Zmitrovich. - Minsk: NTOOO "TetraSystems", 368 p., (1997).
6. Kruglov V.V.: Intelligent information systems: computer support for systems of fuzzy logic and fuzzy inference / Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 256 p. (2002).

АУДИТ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ ВЕЛИКОГО ВИРОБНИЦТВА

Ковальська Д.Д., Курдеча В.В.

Інститут телекомунікаційних систем „КПІ ім. Ігоря Сікорського”

E-mail: zashkvar.youtube01@gmail.com

AUDIT OF LARGE-SCALE NETWORK EQUIPMENT

Suggestions for improving the audit of a large network through the use of modern technologies, namely software.

Аудит як поняття у телекомунікаціях означає збір даних для аналізу та подальшої обробки, в основному, із ціллю удосконалення існуючої мережі. Це невід’ємна частина модернізації та перевірки поточного стану існуючої інфраструктури. Також це є обов’язковим етапом для перевірки стійкості мережі до зовнішніх загроз та тестування обладнання на стійкість до різних типів атак.

Разом із розвитком Інформаційних Технологій міняються і способи для ефективного проведення аудиту. Проте, під впливом значно швидшого оновлення *технічних і фізичних складових мережі* ріст є недостатнім і аудит так і лишається поняттям, котре описує у *більшому степені* фізичне втручання спеціаліста, яке потребує багато часу, унаслідок чого витрати можуть бути непомірно великими.

Ця стаття присвячена методам спрощення аудиту за допомогою програмного забезпечення та чіткому плану дій, котрий значно скоротить час на виявлення та усунення несправностей у роботі мережевого обладнання. Особливо актуальною дана стаття буде для великих виробництв, адже ефективність дорівнює не лише малій вартості, але й швидкому аналізу та модернізації, за рахунок чого не втратиться продуктивність роботи.

Для початку потрібно виділити основні моменти аудиту, на які варто орієнтуватись при плануванні:

1. Організаційно-технологічні особливості галузі та вплив мережевого обладнання на ефективну роботу
2. Визначення ряду програмного забезпечення для аудиту
3. Побудова логічної схеми інфраструктури
4. Виділення основних груп користувачів інфраструктури
5. Принципи побудови, мережеве ядро та схематичне зображення мережевої інфраструктури
6. Фізична та апаратна серверна інфраструктура – опис та візуалізація
7. Вивчення мережевих сервісів
8. Виявлення недоліків у мережі та їх опис
9. Рекомендації щодо виправлення недоліків та можливі варіанти їх усунення

Слідуючи плану, можна виділити деякі найбільш важливі пункти, які складають вагомую частину аудиту (рис.1).

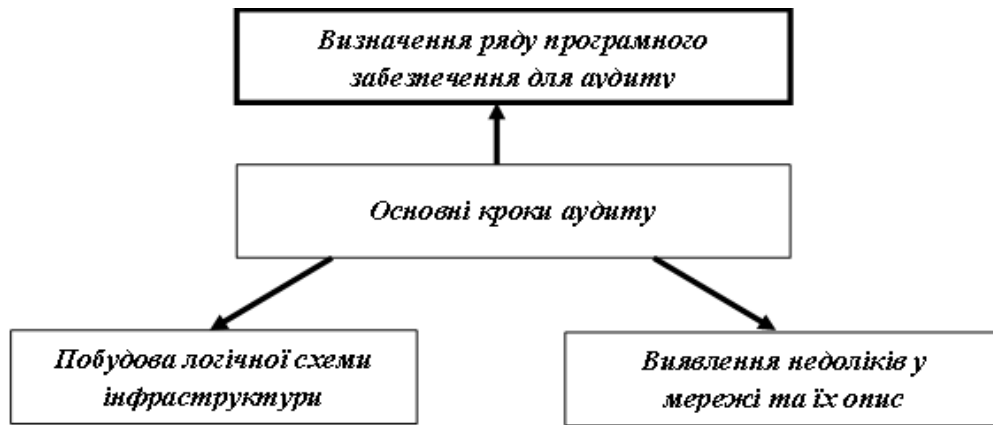


Рис.1. Основні кроки аудиту.

Усі ці пункти нараз можуть відобразити недостатню ефективність системи аудиту у реаліях сучасних мереж. Для прикладу, фізична складова, як можливість огляду і інвентаризації обладнання, застосовується набагато більше, ніж більш доскональне програмне забезпечення[1] (далі – ПЗ), котре має такі ж функції. Більше того, опитування та аналіз не позиціонується як інформація, котра потребує додаткової перевірки. За рахунок цього величина помилки людського фактору збільшується разом із часом проведення аудиту.

Застосовуючи ПЗ як основний метод аудиту, або додатковий (перевірковий), відсоток достовірності даних значно росте, що дозволяє правильно аналізувати та модернізувати мережу.

Для прикладу ми візьмемо велике виробництво.

Серверна інфраструктура складатиметься із:

- серверного обладнання;
- віртуальних машин;
- мережевого обладнання.

В середньому, слідуючи із мого досвіду і математичних розрахунків, виробництво із 100 серверами та віртуальними машинами буде потребувати близько 250 годин, що дорівнює 325 000 (триста двадцять п'ять тисяч гривень)*, при звичному аудиту, без перевірки отриманих даних. Тому перед нами постає питання: «Як зменшити час і кошти на проведення аудиту мережі?».

В середньому, участь беруть щонайменше 3 спеціаліста: фахівець з інформаційної безпеки, фахівець з комп'ютерних мереж, інфраструктурний архітектор. Наше завдання – спробувати скоротити кількість працівників, та час їх безпосередньої участі. Задля цієї мети і застосовується ПЗ. Важливо зазначити, що ціллю не є повне виключення фізичного втручання в процеси аудиту, а лише його максимальне спрощення, без втрачання повноти і якості наданої інформації по головній цілі аудиту – визначенню вразливостей та плану їх запобігання, якщо цього потребує технічне завдання.

Вибір ПЗ базується, в основному, на кількості обладнання, що знаходиться всередині існуючої мережі, якщо ми беремо до прикладу велике виробництво, розрахунки на фізичний аудит якого навели вище, то середня ціна програмного забезпечення буде дорівнювати 27 000 (двадцять семи тисячам гривень)*. Для розрахунку брались 4 найпопулярніші рішення (WhatsUpGold, FortiAnalyzer і т.д), з котрих ми шукали середнє значення. Варто бути уважними і вибрати ПЗ, виходячи із тих завдань, котрих потребує аудит. Це вирішує перший пункт плану із вибором програмного забезпечення.

В основному, мережеве програмне забезпечення створене задля того, щоб спростити шлях спілкування машин із спеціалістом до однієї машини-менеджера, котра повинна видавати стан роботи машини та інші показники, котрі є важливими у безперебійній роботі. Проте, ще одним із завдань ПЗ зазвичай є інвентаризація обладнання, котра навіть при сучасному аудиті проводиться вручну із залученням фахівця із комп'ютерних мереж і побудова логічної схеми роботи. Якщо, з допомогою вищенаведених методів, автоматизувати даний процес, то ми значно скоротимо час фізичного втручання працівників і, як наслідок, час аудиту, що вирішить питання залучення інфраструктурного архітектора.

Виявлення недоліків мережі та їх опис має базуватись на зібраній інформації не лише від ПЗ, але й від наданої технічними працівниками даної установи, та складатись виключно із проміжку робочого часу (тобто активного часу роботи обладнання та серверної інфраструктури). Аудитор повинен використовувати отриману інформацію для визначення відповідної мети. Знайшовши безліч уразливостей, необхідно вибрати серед них ту, котра виявилась найбільш придатною для дослідів та найменш захищеною. Знайшовши, наприклад, безліч уразливих робочих станцій і кілька серверів, краще зосередити свою увагу на останніх, так як їх злом допоможе розвивати подальшу атаку більш ефективно. На мою думку, у цьому етапі спеціалісти мають приймати найбільш активну участь, адже виявлення вразливостей, по суті, і має бути головним завданням аудиту. Опис повинен проводитись зрозумілою мовою, без застосування специфічних технічних термінів, у відповідності до наданого на початку роботи технічного завдання. У даному питанні застосування ПЗ для спрощення роботи є мінімальним, воно потребується лише для звірення даних, котрі надані технічними спеціалістами та використання логічних схем та інвентаризації, метод якої описано вище.

За допомогою математичних розрахунків, можна зробити висновки що аудит став дешевшим, ефективнішим та продуктивнішим, за рахунок використання сучасних технологій. Тепер, виробництво із 100 серверами та віртуальними машинами буде потребувати близько 190 годин, що на 60 годин менше попереднього значення, і, як наслідок, всього 274 000 (двісті сімдесят чотири тисячі) витрат, що на 51 000 (п'ятдесят одну тисячу) менше розрахунків, проведених виключно із фізичним втручанням*, залучення всього двох спеціалістів: фахівця з інформаційної безпеки та фахівця з комп'ютерних мереж. Це стало можливим завдяки скороченню часу на інвентаризацію та побудову логічної схеми, що значно спростило і скоротило час роботи спеціалістів мережевого сегменту і зовсім мінімізувало завдання інфраструктурного архітектора.

Аудит – це процес, який повинен проаналізувати мережу на всі можливі вразливості, тому через занадто велику можливість людської помилки і була створена ця методологія, за якою можна побудувати план аудиту із застосуванням програмного забезпечення і значно скоротити час і ресурси на виконання цього завдання.

Отже, за висновками проведеного експериментального дослідження нам вдалось скоротити час аудиту на 24%, що свідчить про значні успіхи у цьому напрямку. Для написання матеріалу використовувалась спеціально сконструйована мережа, котра складалась із віртуальних машин.

Література

1. Гаврилова Л.В., Ян ван Тайнен, Шкуропат О.Г., Манфред ван Кестерен, Герард ван ден Берг, Рудніцька Р.М., Чорнуцький С.П., Тимохін М.Г., Боровкова Т.В., Любиш-Родченко А.Г., Горбачев С.В.//ПРАКТИЧНА МЕТОДОЛОГІЯ ІТ-АУДИТ.
2. Самойленко В.В. Локальные сети. Полноуководство. — К., 2002. — ISBN 966-7140-28-8. Архивнаякопия от 11 января 2012 на WaybackMachine.

ОБ'ЄДНАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З ХМАРНИМИ ТА ГРАНИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Ушаков С.М., Курдеча В.В.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КІІІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: ushakovsergey21@gmail.com

IOT TECHNOLOGIES WITH CLOUD SYSTEMS COMBINED USE

Both Cloud and edge computing are well known for their various advantages for IoT, which is based on usage scenarios, data processing and storage needs. However, the right combination of this infrastructures provides more flexibility for developers and less latency for consumers, as well as supporting data privacy standards. This publication examines ways and benefits for implementation both cloud and edge computing in IoT deployments.

Останні роки прискорили цифрову трансформацію, і хмарні технології стали більш поширеними. Фактично, за останні роки ми спостерігаємо швидке зростання конвергенції корпоративних ІТ, хмарних технологій та функцій безпеки, частково через пандемію COVID-19[1]. Організації прийняли більш гнучкий спосіб мислення та прагнуть отримати вигоду з переваг підключення всього і вся до мережі, продовжуючи вирішувати поточні проблеми. Оскільки підключення стає все більш необхідним, особливо в умовах, коли багато людей працюють вдома, пристрої підключаються до Інтернету та один до одного більше, ніж будь-коли раніше. Цифрова трансформація та необхідність у тому, щоб різні пристрої обмінювалися даними та взаємодіяли один з одним, вже не просто зручне – це необхідна. Дані, що передаються пристроями IoT, дуже важливі для оптимізації бізнесу, аналізу закономірностей та розуміння тенденцій, що впливають на повсякденну діяльність.

Це підводить нас до сьогодення. Тепер між IoT та хмарою існує інтегрований зв'язок. У хмарі зберігаються дані IoT, і доступ до них можливий у будь-який час і у будь-якому місці, що робить його ідеальним для кількох місць або розрізнених операцій. У поєднанні IoT та хмарні рішення підтримують збір даних з керуванням у режимі реального часу та інтелектуальним моніторингом.

Хмарні системи можуть допомогти організаціям обробляти дані IoT - включаючи відео - за допомогою штучного інтелекту. Вбудований інтелект дозволяє спростити роботу, підвищити ефективність та оптимізувати процеси. IoT робить це можливим. Він дозволяє інтелектуальним датчикам

збирати дані, а потім аналізувати інформацію для відправки повідомлення про подію, що відбулася. Датчики можуть бути різними: погодні, системи управління будівлями, відеоспостереження, моніторинг дорожнього руху, контроль доступу та аналітика.

Поєднання хмари та IoT є бажаним варіантом для багатьох компаній, але як бути тим, хто не має пропускну здатності або можливості підтримувати чисто хмарну інфраструктуру? Сьогодні організації можуть також розглядати гібридні варіанти, щоб перейти до хмари більш стратегічно, економічно ефективно та з меншою пропускну здатністю.

Граничні хмарні продукти розроблені для забезпечення індивідуальної функціональності хмари на основі конкретних пріоритетів безпеки, ризиків та операційних вимог. Вони також вирішують деякі проблеми, з якими стикаються зацікавлені сторони при розгляді варіантів хмарних технологій, такі як проблеми з інтернетом, велика кількість пристроїв IoT та оптимізація мережевого трафіку. При використанні опції "сховище на межі" кінцеві користувачі можуть налаштувати свої опції зберігання таким чином, щоб знизити пропускну здатність та витрати та прискорити досягнення цілей цифрової трансформації. Гібридні варіанти також передбачають можливість повного переходу в хмару у майбутньому.

Постає питання: коли граничні сховища ідеально підходять для розгортання IoT? Це залежить від потреб бізнесу, експлуатації та безпеки. Необхідно визначити параметри, які можуть вплинути на рішення споживача вибрати граничну хмару.

- *Відповідність нормативним вимогам та зберігання даних:* Багато галузей, таких як ігрова або аграрна, стикаються з особливими нормативними вимогами щодо зберігання даних IoT протягом певного періоду часу. Хоча термін зберігання залежить від конкретної сфери застосування, інформація має бути легко доступна, якщо вона знадобиться для розслідування чи перевірки. Граничне хмарне сховище дозволяє операторам налаштовувати час зберігання даних по всьому об'єкту або кожному конкретному пристрої і визначати місце зберігання даних. Загалом, такий підхід забезпечує більшу гнучкість і дозволяє користувачам змінювати налаштування за необхідності.

- *Зростання мережі пристроїв IoT:* З поширенням IoT очікується, що кількість підключених пристроїв продовжуватиме зростати, і на об'єктах буде більше пристроїв. Цей факт призводить до збільшення обсягу зібраних даних та попиту на більш ємні сховища. За даними дослідницької та консалтингової компанії Emergen Research[2], ринок відеоспостереження, який є найпомітнішим виробником даних IoT, до 2027 року зросте до 86,53 мільярда доларів. Зберігання відео на межі, наприклад, звільнить пропускну здатність і надасть користувачам гнучкість хмари без шкоди для

пропускної спроможності мережі, необхідної для задоволення інших мережових та бізнесових потреб організації.

- *Робота з дому*: Коли бізнес-мережі розширюються за рахунок додавання нових корпоративних об'єктів або збільшення кількості працівників, що працюють з інших віддалених місць, налаштування та обслуговування локальних платформ може завадити ефективному моніторингу операцій. Гранична хмара може керувати віддаленими операціями без додаткової потреби у широкій смузі

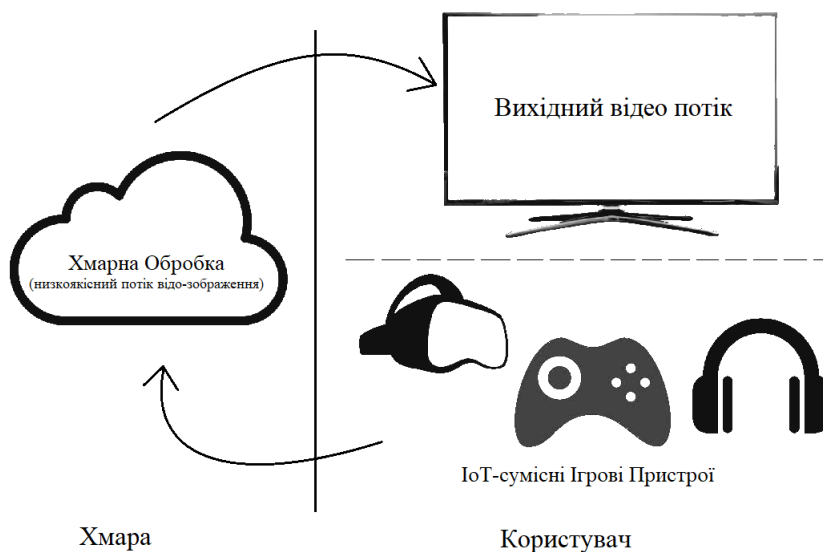


Рис. 1. Взаємодія IoT пристроїв на прикладі ігрової індустрії.

- *Міцність мережі*: Запуск численних хмарних програм може стати складним завданням для ІТ-керівників, які прагнуть забезпечити безпеку, надійність та доступність мережі. Але іноді потреби створюють необхідність оптимізації мережі та підвищення її продуктивності для вихідних операцій. Дані IoT, які завантажуються безпосередньо у хмару, можуть відволікати ІТ-інфраструктуру від інших функцій. Тому збереження відібраних даних IoT на межі стає необхідним наступним кроком, який допомагає ІТ-відділам підтримувати працездатність мережі.

Література

1. Longqi Yang, David Holtz, Sonia Jaffe, Siddharth Suri, Shilpi Sinha, Jeffrey Weston, Connor Joyce, Neha Shah, Kevin Sherman, Brent Hecht & Jaime Teevan: Nature Human Behaviour volume 6, pages43–54 (2022), URL: <https://www.nature.com/articles/s41562-021-01196-4>.
2. ER_00209: Video Surveillance Market By End-Use Verticals (Public Facility, Commercial, Military & Defense, Residential, Industrial), By Component (Hardware, Software, Services), By Customer Type (B2B, B2C), Technology (Analog, IP Video Surveillance, Hybrid), and Regions Forecasts to 2027, Online Reserch: 10 (2020), URL: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/video-surveillance-market>.

МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОСНОГО РУХУ СУПУТНИКІВ У СКЛАДІ РОЗПОДІЛЕНОГО СУПУТНИКА

¹Денисенко М.С., ¹Нарушкевич О.М., ¹Наритник Т.М., ²Капштик С.В.

*¹Навчально науковий Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*²Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна
E-mail: maxdeniss56@gmail.com; sashanarushevych@gmail.com;
director@mitris.com; s.kapshtyk@spacecenter.gov.ua*

METHOD OF UTILIZATION OF PHASED ANTENNA ARRAY WITH DIGITAL BEAMFORMING TO MEASURE THE PARAMETERS OF THE RELATIVE MOVEMENT OF SATELLITES IN A DISTRIBUTED SATELLITE

A method of utilization of the Phased Antenna Array with Digital Beamforming Technology for the operation of the Internal Radio Network of a Distributed Satellite and measurement of relative satellite motion parameters is proposed. The possibility of simultaneous provision of information exchange between satellites and measurement of relative motion of satellites by means of the Internal Radio Network based on Phased Antenna Array with Digital Beamforming technology is shown. Modernization of the Monopulse Method of determining the angular parameters of the signal source and the method of approximation of the envelope coefficient of the array to simplify the calculation of the deviation of the direction to the final satellite from the direction of orientation of the fixed beam of the digital antenna array.

Запропоновано метод використання цифрової антенної решітки для функціонування внутрішньої радіомережі розподіленого супутника та вимірювання параметрів відносного руху супутників. Показана можливість одночасного забезпечення інформаційного обміну між супутниками та вимірювання відносного руху супутників за допомогою внутрішньої радіомережі, що побудована на технології цифрової антенної решітки. Запропонована модернізація моноімпульсного методу визначення кутових параметрів джерела сигналу та метод апроксимації обвідної коефіцієнту масиву для спрощення розрахунків відхилення напрямку на прикінцевий супутник від напрямку орієнтації фіксованого променя цифрової антенної решітки.

Сьогодення характеризується швидким розвитком інформаційних та телекомунікаційних технологій. Важливим чинником та драйвером розвитку інфокомунікаційних технологій став Інтернет речей. Технологія Інтернету речей спирається на телекомунікаційну інфраструктуру наземних радіомереж. Переважно така інфраструктура розгорнута в районах із високою щільністю населення, що можна пояснити економічними чинниками. За межами районів з високим рівнем урбанізації, де розгортання наземних радіомереж стає невиконаним, стає доцільним використання супутникових універсальних та спеціалізованих телекомунікаційних систем. Серед супутникових систем перевагу по показнику мінімізації затримки в двосторонньому обміні інформацією Інтернету речей мають низькоорбітальні супутникові системи. В роботі [1] запропоновано створення низькоорбітальної супутникової системи Інтернету речей на базі архітектури «Розподіленого супутника» (РС).

Архітектура РС передбачає груповий політ мікроугруповання малих космічних апаратів, кожен з яких виконує певні функції, а разом усі супутники реалізують завдання за функціональним призначенням. Це – надання послуг Інтернету речей для споживачів та

реалізація граничних та туманних обчислень для підвищення ефективності систем та послуг Інтернету речей.

1. Використання цифрової антенної решітки для забезпечення функціонування внутрішньої радіомережі розподіленого супутника.

В РС важливим питанням є забезпечення інформаційного обміну між супутниками зі складу мікроугруповання та вимірювання взаємного положення супутників для підтримки встановленого розташування та запобігання небезпечному зближенню чи зіткненню супутників. Ці функції покладено на внутрішню радіомережу (ВРМ) РС. ВРМ побудована на основі модифікованого протоколу із групи протоколів 3GPP. Модифікація стосується введення додатково механізмів вимірювання похиленої дальності між центральним (кореневим) супутником та прикінцевими супутниками і між прикінцевими супутниками [2]. Для реалізації просторового розділення у складі кореневого супутника застосовується цифрова антенна решітка (ЦАР) [3]. Технологія ЦАР дозволяє комплексно вирішувати завдання щодо забезпечення інформаційного обміну та надає можливість вимірювати параметри взаємного руху супутників у складі РС.

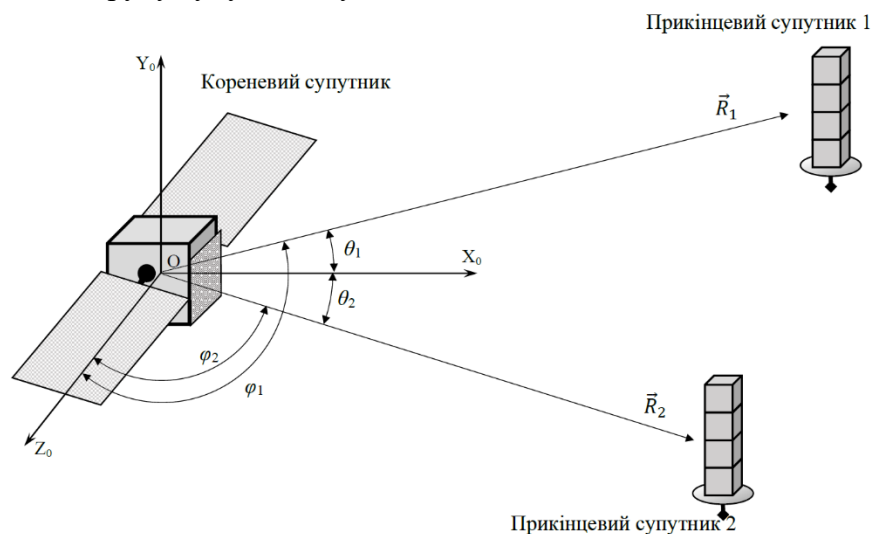


Рис.1. Визначення координат прикінцевих супутників у пов'язаній системі координат кореневого супутника.

2. Модифікація моноімпульсного методу для застосування у ВРМ РС.

Особливість ЦАР полягає в тому, що ЦАР формує цифровим методом фіксовані промені. ЦАР розміром 32x32 формує фіксовані промені шириною $3^\circ \div 5^\circ$. Така точність визначення поточних відносних координат дозволяє забезпечити просторовий розподіл для передачі інформаційних потоків, але є недостатньою для прогнозування відносного руху прикінцевих супутників у складі РС. Тому використання широковідомого моноімпульсного методу [5] вимірювання руху потребує деякої модифікації. Завданням ЦАР у складі ВРМ щодо вимірювання параметрів взаємного руху є вимірювання векторів $\vec{R}_1$ та $\vec{R}_2$ (див. рис.1) в зв'язаній польотній системі координат кореневого супутника. Орієнтація векторів $\vec{R}_1$ та $\vec{R}_2$ визначається кутами місця θ_1, θ_2 та азимуту φ_1, φ_2 відповідно.

ЦАР формує сукупність фіксованих променів, які перекриваються в просторі (див. рис.2). Кутова відстань між напрямком орієнтації фіксованих променів ЦАР приблизно відповідає ширині променів за рівнем половинної потужності θ_3 (відповідає межі зони 3 дБ). Радіосигнал прикінцевого супутника приймається в трьох суміжних променях з різним рівнем по амплітуді або потужності. Сигнал в одному промені буде входити в зону 3 дБ, а в інших променях цей сигнал буде прийматись поза межею цієї зони. Рівень прийнятого прикінцевим супутником сигналу визначається величиною кута відхилення променя від напрямку орієнтації променя ЦАР.

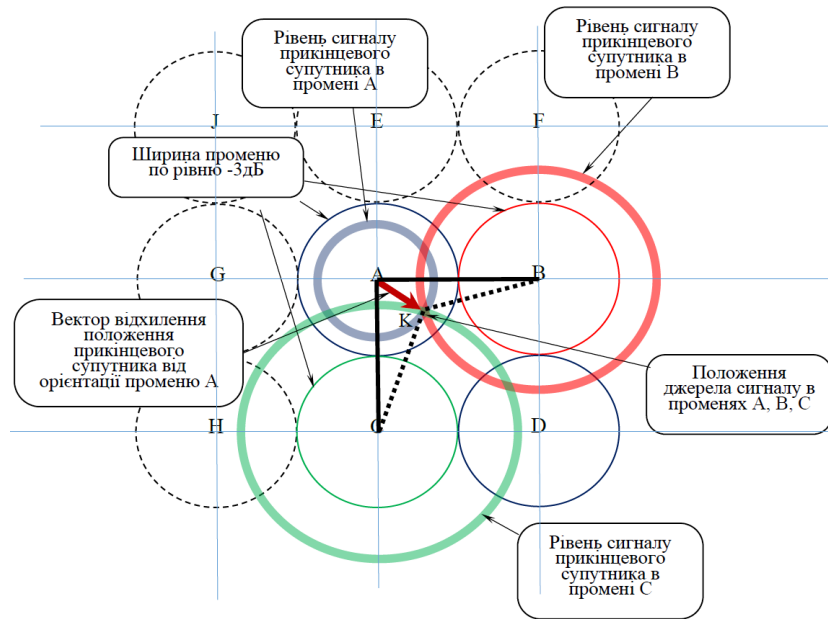


Рис.2. Схематичне представлення визначення кутового положення супутника в фіксованих променях ЦАР.

Потужність сигналу i -го прикінцевого супутника, яка приймається в k -му промені ЦАР, визначається основним рівнянням зв'язку при поширенні радіосигналів у вільному просторі. Відома відстань між супутниками дозволяє розрахувати прогнозований рівень потужності сигналу $P_{\text{пр} \max}$ прикінцевого супутника, що приймається, за формулою

$$P_{\text{пр} \max} = (P_{\text{пер}} G_{\text{пер}}(\varphi_{\text{ок}})) \left(\frac{1}{L_{FS_{\text{ок}}}} \right) G_{\max k}$$

де: $G_{\max k}$ – максимальний коефіцієнт посилення по потужності k -го променю ЦАР.

Таким чином, при прийманні сигналу від прикінцевого супутника в k -му промені ЦАР виникає різниця між рівнем прийнятого сигналу і прогнозованим рівнем сигналу.

$$\Delta P_{\text{пр} k} = P_{\text{пр} \max} - P_{\text{пр} k}$$

Ця різниця обумовлена відхиленням напрямку на прикінцевий супутник від напрямку орієнтації k -го променя ЦАР і залежить від коефіцієнта посилення k -го променя ЦАР в напрямку прикінцевого супутника. Оцінивши величину цього зниження, можна визначити величину кута відхилення напрямку на прикінцевий супутник від напрямку орієнтації k -го променя.

Для спрощення прямих і зворотних обчислень використовується лінійно-кусова апроксимація нормованої обвідної коефіцієнта решітки. Дискретність відліків аргументу огинаючої $\Delta\theta_N$ кута відхилення від напрямку орієнтації k -го променя ЦАР α_k , вибирається з умови:

$$\Delta\theta_N = \frac{\Delta\theta_1}{(N \cdot \cos \alpha_k)}$$

де: $\Delta\theta_1$ – крок відліків кута, $\Delta\theta_1 = 0,08$ рад; N – розмірність ЦАР.

Значення нормованої огинаючої коефіцієнта решітки ЦАР $\hat{G}(\theta)$ [4] при величині кута відхилення $\Delta\theta$ від напрямку орієнтації k -го променя α_k може бути апроксимоване наступним виразом:

$$\hat{G}(\theta) = \hat{G}_i - \Delta\hat{G}_i \cdot |x|$$

тут i – номер дискретної складової аргументу функції апроксимації

$$i = \left\lfloor \frac{\theta}{\Delta\theta_N} \right\rfloor$$

$\lfloor \cdot \rfloor$ - позначає цілу частину від ділення; x – залишок від ділення

$$x = \theta - i \cdot \Delta\theta_N = \theta - \left\lfloor \frac{\theta}{\Delta\theta_N} \right\rfloor \cdot \Delta\theta_N$$

$\hat{G}_i$ – складова, яка набуває значення відповідно до таблиці 1

Таблиця 1. Значення складової $\hat{G}_i$

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
G_i	1,0	0,9974	0,9896	0,9766	0,9587	0,9359	0,9086	0,8768	0,8410
i	9	10	11	12	13	14	15	16	17
G_i	0,8014	0,7585	0,7126	0,6642	0,6136	0,5614	0,5079	0,4537	0,3993
i	18	19	20	21	22	23	24	25	
G_i	0,3450	0,2913	0,2386	0,1875	0,1381	0,0910	0,0464	0,0047	

$\Delta\hat{G}_i$ – коефіцієнт нахилу відрізка прямої на i -тої ділянці апроксимації. Цей коефіцієнт приймає значення

$$\Delta\hat{G}_i = \Delta\hat{G}_{0i} \cdot \cos \alpha_k$$

$\Delta\hat{G}_{0i}$ – коефіцієнт апроксимації для i -го участка, який обирається у відповідності до таблиці 2.

Таблиця 2. Значення коефіцієнта апроксимації $\Delta\hat{G}_{0i}$

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ΔG_{0i}	0	0,0325	0,0979	0,1616	0,2238	0,2850	0,3421	0,3971	0,4479
i	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ΔG_{0i}	0,4946	0,5358	0,5738	0,6054	0,6321	0,6529	0,6683	0,6775	0,6808
i	18	19	20	21	22	23	24	25	
ΔG_{0i}	0,6788	0,6708	0,6583	0,6396	0,6160	0,5892	0,5575	0,5216	

За допомогою лінійно-кускової апроксимації нормованої обвідної коефіцієнта ЦАР можна вирішити зворотну задачу – визначення кута відхилення $\Delta\theta_k$ напрямку на прикінцевий супутник від напрямку орієнтації k -го променю ЦАР. Беручи до уваги особливості діаграми спрямованості променів ЦАР, аналогічно може бути отримана оцінка відхилення напрямку на прикінцевий супутник від орієнтації сусіднього $k\pm 1$ -го фіксованого променю ЦАР $\Delta\theta_{k\pm 1}$. Для плоскої ЦАР буде отримано як мінімум три оцінки: оцінка для k -го променю, для якого кінцевий супутник знаходиться в межах зони ширину діаграми спрямованості за рівнем половинної потужності, тобто $\Delta\theta_k \leq \theta_3$, і дві оцінки для двох сусідніх променів $k\pm 1$, для яких виконується умова $\theta_3 < \Delta\theta_k \leq \theta_0$.

На рис.3. показаний приклад прийому сигналу прикінцевого супутника на виході лінійної рівномірної півхвильової ЦАР розмірності $N=16$. На рис.3 показано рівень коефіцієнта посилення ЦАР по рівню -3дБ, який визначає ширину діаграми спрямованості фіксованих. Сигнал прикінцевого супутника надходить під кутом 20° (на рис.3. кут прийому сигналу прикінцевого супутника виділений вертикальною прямою). Як видно з рис.3, сигнал від прикінцевого супутника приймається в межах основної частини діаграми спрямованості променю +3 дБ, тобто. в межах ширини діаграми спрямованості θ_3 , і приймається в межах ширини діаграми спрямованості за рівнем перших нулів θ_0 променю +2.

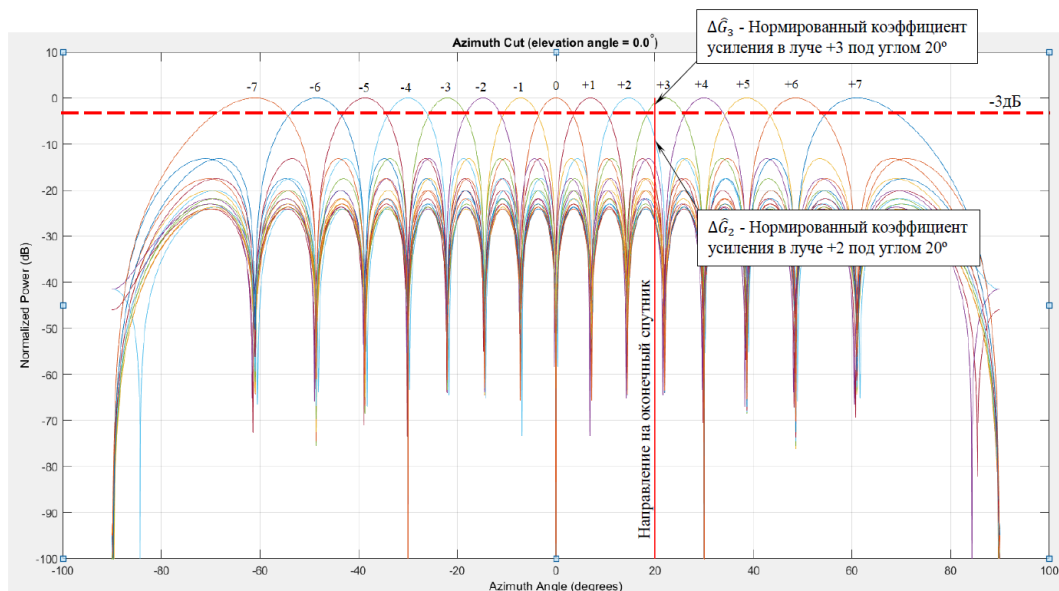


Рис.3. Графік залежності рівня сигналу прикінцевого супутника на виході лінійної ЦАР розмірності N=16.

Висновки:

1. Використання технології цифрової антенної решітки для формування внутрішньої радіомережі розподіленого супутника дозволяє забезпечити просторовий розподіл передачі сигналів до прикінцевих супутників та проводити вимірювання взаємного положення супутників у складі мікроугруповання розподіленого супутника.

2. Для здійснення вимірювань кутових координат запропоновано використовувати модернізований моноімпульсний метод, який комплексно використовує прогнозоване та прийняте значення потужності сигналу прикінцевого супутника.

3. Для спрощення розрахунків кутового відхилення напрямку на прикінцевий супутник від напрямку орієнтації фіксованого променя ЦАР застосовано лінійно-кусову апроксимацію огинаючої коефіцієнта решітки ЦАР.

Література

1. Low-Earth Orbital Internet of Things Satellite System based on Distributed Satellite Architecture / Mikhail Ilchenko, Teodor Narytnyk, Vladimir Prisyazhny, Sergii Kapshtyk, and Sergey Matvienko / Advances in Computer, Communication and Computational Sciences. Proceedings of IC4S 2019. Volume 1158. Springer, 2021. P.p. 301-313.
2. Modification of the IEEE 802.16 Standard in Application to the "Distributed Satellite" / Mykhailo Ilchenko; Teodor Narytnyk; Vladimir Prisyazhny; Sergii Kapshtyk; Sergey Matvienko / 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 9-12 Oct. 2018 / IEEE Xplore: 04 February 2019 / DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632067
3. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010. – 144 с.; ил.
4. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. Второе издание. – М.: Техносфера, 2012. – 560с.
5. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. - М.: Сов.радио, 1970, - 392с.

ПОРІВНЯННЯ ПРОТОКОЛІВ ШИФРУВАННЯ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ

Мілевський О.А., Міночкін Д.А.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: alexmillevs@gmail.com

COMPARISON OF ENCRYPTION PROCEDURES IN THE CORPORATE NETWORK

Due to the pandemic and the war, more and more people in the world are moving to a remote work format. The general principle of the process of connecting between remote computers is analyzed, comparable types of encryption are used in both small businesses and corporations.

У зв'язку з пандемією та війною у світі усе більше людей переходить до формату віддаленої праці. Проаналізовано загальний принцип роботи процесу з'єднання між віддаленими комп'ютерами, порівняні типи шифрування які використовують як в малому бізнесі, так і в корпораціях.

Етапи RDP з'єднання:

- установка з'єднання,
- узгодження параметрів шифрування,
- аутентифікація серверів,
- узгодження параметрів RDP сесії,
- аутентифікація клієнта,
- дані RDP сесії,
- розрив RDP сесії.

У корпоративній мережі найчастіше використовують такі типи шифрування як:

- SSTP,
- IPSec,
- L2TP/IPSec.

SSL (Secure Socket Layer) – протокол захищених сокетів, що забезпечує безпечну передачу даних через Інтернет. Під час його використання створюється захищене з'єднання між клієнтом та сервером.

Internet Protocol Security (IPsec) - це набір протоколів для забезпечення захисту даних, що передаються IP-мережею. На відміну від SSL, який працює на прикладному рівні, IPsec працює на мережному рівні і може використовуватися нативно з багатьма операційними системами, що дозволяє використовувати його без сторонніх додатків.

L2TP або Layer 2 - це протокол тунелювання, який є розширенням протоколу PPP та поєднує найкращі функції двох інших протоколів тунелювання PPTP та L2F. Протокол L2TP, хоч і використовується для VPN

з'єднань, сам по собі не може забезпечити конфіденційність або аутентифікація, тому часто застосовується разом з протоколом IPSec, який забезпечує захищене з'єднання. Комбінація цих двох протоколів відома як L2TP/IPsec.

За приклад було взято розроблену авторську структурну схему корпоративної мережі.(рис.1).

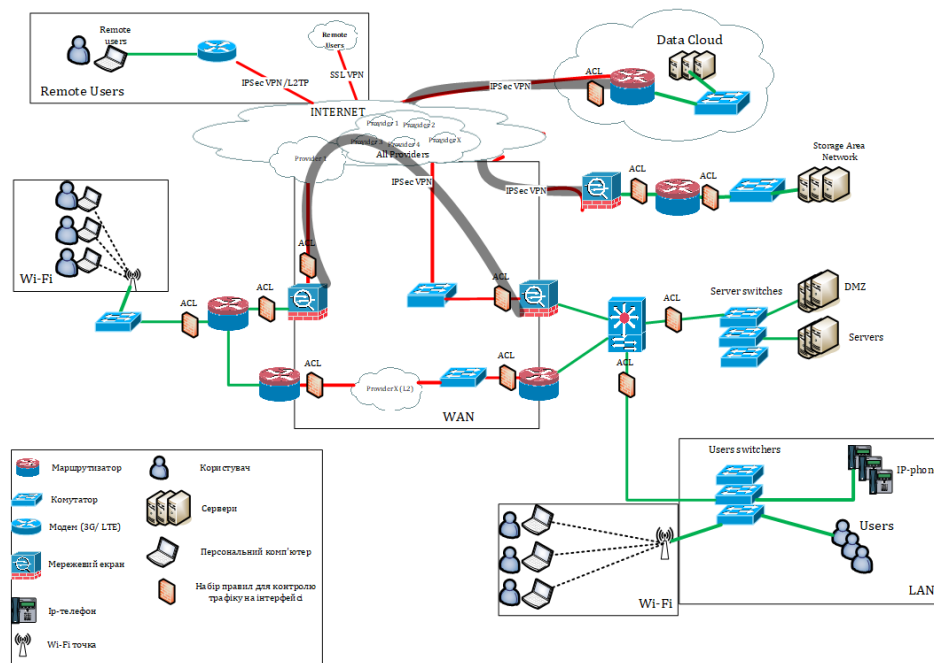


Рис.1. Структурна схема корпоративної мережі.

Таблиця 1. Порівняння протоколів шифрування.

	SSTP	IPSec	L2TP/IPSec
Компанія-розробник	Microsoft	група IP Security Protocol IETF	L2TP – спільна розробка Cisco та Microsoft, IPsec – The Internet Engineering Task Force
Розгортання	Windows. Працює з коробки, не вимагаючи установки додаткового ПЗ	Windows 7+, macOS 10.11+ та більшість мобільних ОС мають вбудовану підтримку	Windows, Mac OS X, Linux, iOS, Android. Багато ОС (включно з Windows 2000/XP+, Mac OS 10.3+) мають вбудовану підтримку, немає необхідності ставити додаткове ПЗ
Шифрування	SSL (шифруються всі частини, крім TCP- та SSL-заголовків)	Протокол AH (Authentication Header) та ESP (Encapsulated Security Payload)	3DES(Triple DES) або AES(Advanced Encryption Standard)

Таблиця 1 (продовження). Порівняння протоколів шифрування.

	SSTP	IPSec	L2TP/IPSec
Порти	TCP-порт 443	Чистий ipsec жодних портів не використовує. Він використовує протоколи. Порти використовують розширення ipsec на зразок IKE. Стандартні IKE-демони використовують udp/500.	UDP-порт 500 для первинного обміну ключами та UDP-порт 1701 для початкової конфігурації L2TP, UDP-порт 5500 для обходу NAT
Недоліки безпеки	Серйозних недоліків безпеки не було виявлено	Серйозних недоліків безпеки не було виявлено	3DES вразливий для Meet-in-the-middle та Sweet32, але AES не має відомих вразливостей.

У сьогоднішньому світі витоків даних і зламів, як ніколи важливо вжити заходів для забезпечення вашої безпеки в Інтернеті. Більшість збереження конфіденційності в Інтернеті полягає в тому, щоб ваші дані проходили безпечними каналами.

В роботі показано, що деякі протоколи застаріли, в той час, як інші все ще розвиваються. Намагаючись порівняти різні VPN-рішення, доступні на ринку, обов'язково вивчіть технології та протоколи, які використовує кожне з них, та шукайте інструмент VPN, який поєднує в собі швидкість, надійність та безпеку.

Література

1. Which Is the Best VPN Protocol [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.howtogeek.com/211329/which-is-the-best-vpn-protocol-pptp-vs.-openvpn-vs.-l2tpipsec-vs.-sstp/>.
2. VPN Protocols [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.flashrouters.com/2021/08/30/vpn-protocols-from-l2tp-to-wireguard-to-openvpn-to-lightway/>.
3. Олифер В. Г. Компьютерные сети [Принципы, технологии, протоколы. 5-е издание] [Електронний ресурс] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rulit.me/books/kompyuternye-seti-principy-tehnologii-protokoly-5-e-izdanie-get-475363.html>.

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРИКЛАДІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ В УМОВАХ ВІЙНИ

¹Олійник Д.І., ²Ніжний Д.А.

¹*Національний інститут стратегічних досліджень, Київ, Україна*

²*ФБТ КІІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

E-mail: olijnukd@i.ua; nizhnyi.danyil@iil.kpi.ua

APPLIED ASPECTS OF APPLICATION OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE OF DIGITAL TECHNOLOGICAL INSTRUMENTS IN WAR CONDITIONS

The application of applied telecommunication technologies on the example of introduction of technological solutions in international practice for integration of digital instruments and possibilities of introduction by domestic subjects of business in the conditions of war is investigated.

В роботі досліджено застосування прикладних телекомунікаційних технологій на прикладі впровадження в міжнародній практиці технологічних рішень для інтеграції цифрових інструментів та можливості впровадження вітчизняними суб'єктами господарювання в умовах війни.

За період військової агресії РФ проти України вітчизняні суб'єкти господарювання розширили способи, за допомогою яких цифрові технологічні інструменти підвищують стійкість не лише для того, щоб пережити потрясіння та стреси, але й адаптуватися до них та краще підготуватися до майбутніх подій. Інформаційні технології надають доступ до широкого спектру цифрових програмних інструментів і послуг, дозволяють отримувати інформацію про диспозиції, цілі та вразливі місця противника. У збройному конфлікті в Україні цифрові технологічні інструменти відіграють ключову роль як інструмент кібератак та технологічної блокади, які в переважній більшості, слугують стимулом для вдосконалення розширення доступу до інформації та послуг, покращення збору та аналізу даних, а також підвищення ефективності існуючих мереж, доступу до геопросторових та наземних даних датчиків, що особливо актуально для відновлення та ефективної діяльності суб'єктів господарювання.

Найбільш вдосконаленими способами функціонування суб'єктів господарювання в цифровому форматі в міжнародній практиці є онлайн платформи або програмні додатки, які використовуються підприємствами для оптимізованого виконання функцій і належать *Google, Apple, Facebook, Amazon та Microsoft* (Додаток 1). Ці цифрові інструменти підвищують ефективність реагування на надзвичайні ситуації, проте вимагають системного підходу до впровадження нових технологічних цифрових інструментів суб'єктами господарювання - носіями економічної складової. Ситуаційна обізнаність та зв'язок між суб'єктами господарювання на основі «високотехнологічних» рішень та впровадження системи моніторингу різних джерел інформації, доступних в Інтернеті, є пошуком інструментів для вирішення найгостріших проблем в умовах війни.

Серед них першочерговими є технологічні рішення із використанням цифрових інструментів для : тривимірної візуалізації ситуації у реальному часі

дронами, які фіксують людей під завалами; пошуку зниклих безвісти людей; локалізації пацієнтів за допомогою сенсорних мереж; мобільної мережі екстреної телемедичної служби; екстреної евакуації населення на основі автономної навігаційної системи за допомогою мобільних телефонів; ситуативної обізнаності населення на основі доповненої реальності; обміну інформацією евакуйованими в умовах відсутності джерела живлення; управління логістикою; системи екстреного постачання продовольства та ін. (Додаток 2).

Однією з проблем, яка перешкоджає широкому застосуванню цифрових технологічних інструментів в умовах війни та підвищенню стійкості вітчизняних суб'єктів господарювання, є відсутність гармонізованих стандартів та сумісності з глобальною архітектурою віртуалізації мережі (NFV). Невідкладного вирішення для повномасштабного впровадження цифрових технологічних інструментів операторами та провайдерами телекомунікацій потребують питання з розвитку мереж наступного покоління (NGN), хмарних обчислень, мереж передачі даних (SDN), міжнародних мобільних комунікацій (MT-2020) та технологій розподіленого реєстру (DLT).

В Білій книзі Всесвітнього економічного форуму¹⁾ акцентується увага на те, що загальноприйняті стандарти, еталонні архітектури та загальні моделі сприяють інтеграції цифрових технологічних інструментів у виробництво для підвищення стійкості компаній, а дані платформи з оцінки ризиків *One Concern* інтегрують технології штучного інтелекту та машинного навчання (AI/ML) наступного покоління для всебічного динамічного розуміння ризиків катастроф та оперативного реагування на наслідки військових дій.

Важливими напрямками інтеграції цифрових технологічних інструментів для підвищення стійкості вітчизняних суб'єктів господарювання в умовах війни мають стати:

- внесення змін до нормативних документів щодо визначення сфер діяльності, в яких центральні органи виконавчої влади України здійснюють функції технічного регулювання;

- визначення пріоритетних напрямків у розробці та сприянні розвитку ІТ стандартів, необхідних для узгодження вимог виробників та споживачів, що включають уніфікацію цифрових технологічних інструментів та розподілених платформ додатків і сервісів;

- визначення цілісних підходів до побудови довгострокового імовірнісного моделювання стійкості та відновлення пошкоджених війною об'єктів на основі інтеграції різних джерел даних (характеристик ушкоджень, збитків і прямих економічних втрат, часу відновлення тощо) з використанням міжнародного досвіду моделювання *ML/AI*, що дозволяють забезпечити візуалізацію ситуації у реальному часі;

- уточнення переліку технічних комітетів стандартизації та аналізу прийнятих стандартів з метою сприяння використанню технологічних інновацій для скорочення розриву в охопленні цифровими інструментами;

- заохочення створення ініціативної групи для перевірки сумісності і відповідності API для реалізації різних основних компонентів сумісності з глобальною архітектурою віртуалізації мережі (NFV);

- дослідження можливості впровадження вітчизняними суб'єктами господарювання технологічних рішень міжнародних організацій для інтеграції цифрових інструментів в умовах війни.

Додаток 1. Перелік найбільш поширених цифрових технологічних інструментів.

№	Найменування цифрового інструменту	Функції, завдання, які виконують технологічні цифрові інструменти
1.	Microsoft Teams	Програмне забезпечення для спільної роботи, яке замінює інші платформи обміну повідомленнями пакетом «все в одному» і складається з функції чату
2.	Додаток Zoom	Інструмент соціального дистанціювання ¹⁾
3.	Zendesk	Інструмент для оптимізації відносин з клієнтами за допомогою таких функцій, як обмін повідомленнями, система продажу квитків, голос, бот-відповідач та ін.
4.	Sage Cloud Accounting	Бухгалтерська програма на основі бізнес-хмари Sage, яка може використовуватися в усіх галузях промисловості
5.	Hootsuite	Соціальні медіа суб'єкта господарювання з управління декількома обліковими записами для спілкування з клієнтами в одному місці (LinkedIn, Facebook, Instagram, Twitter і Youtube)
6.	Asana	Веб-додаток і мобільний додаток, призначений для допомоги командам організовувати, керувати та відстежувати свою роботу
7.	Google Data Studio	Інструмент перетворення даних у візуальні інформаційні звіти для інтеграції з іншими платформами Google (Google Spreadsheets та Google Ads)
8.	Instagram	Інструмент цифрового маркетингу для відстеження каналів знаходження клієнтів
9.	WordPress	Система управління вмістом ²⁾ , яка дозволяє користувачам створювати веб-сайти або блоги і здійснювати пошукову оптимізацію сайту
10.	TalentSoft	Хмарне програмне забезпечення з управління персоналом, яке дає змогу кадровим службам краще взаємодіяти з іншими менеджерами організації, а також із співробітниками
11.	Microsoft Azure	Інструмент для створення програм із задоволення потреб клієнтів за допомогою штучного інтелекту
12.	HubSpot	Платформа поєднує в одному пакеті рішення з управління відносинами з клієнтами на якій можна інтегрувати інші популярні цифрові інструменти
13.	Trello, Evernote	Інструменти спільної віддаленої роботи для обміну проектами
14.	Twitter	Інструмент для швидкого поширення інформації ³⁾
15.	PayFit, Gusto	Інструменти управління заробітною платою працівників шляхом автоматизації процесу за допомогою різних функцій
16.	MailChimp	Інструменти цифрового маркетингу електронної пошти з креативними елементами для створення контенту, автоматизації, аналітики тощо для взаємодії з клієнтами та інтеграції з іншими цифровими інструментами
17.	Google Marketing Platform	Один з інструментів цифрового маркетингу для B2B або B2C для опитування клієнтів з метою швидкого та надійного отримання думок та пропозицій клієнтів
18.	Dropbox	Інструмент (скринька) для відправлення та отримання доступу до будь-яких файлів
19.	Google Workspace	Набір з цифрових інструментів, який включає Gmail, календар, документи, презентації, мої завдання, диск та ін., які співробітники можуть використовувати для обміну інформацією в реальному часі
20.	Whatsapp Busines	Перехід до взаємодії з клієнтами завдяки таким функціям, як бізнес-профіль, каталог для відображення продуктів і послуг, автоматичний обмін повідомленнями, QR-коди для запрошення нових клієнтів та ін.
21.	DT Assessment Tool	Інструмент прийняття суб'єктом господарювання необхідних технологій для операційного процесу та прийняття відповідного рішення

¹⁾ Довідково. Під час сплеску пандемії COVID-19 Zoom став п'ятим за кількістю завантажень мобільним додатком у світі в 2020 році з 477 мільйонами завантажень.

²⁾ Довідково. В 2021 р. 41,4% з 10 мільйонів веб-сайтів у всьому світі використовували WordPress.

³⁾ Довідково. За витік даних, що стався в 2019 році Ірландія оштрафувала Twitter на 450 тис євро

Додаток 2. Технологічні рішення для інтеграції цифрових інструментів в умовах війни.

№	Назва цифрової технології	Технологічні рішення для інтеграції цифрових інструментів в умовах війни
1.	Edgware	Мережа блокчейн, яка зосереджена на фінансуванні та просуванні суб'єктів господарювання за допомогою децентралізованого управління і підключення через доступні дротові та бездротові мережі для забезпечення взаємодії між пристроями, мережами, додатками, вмістом та послугами, дозволяє суб'єктам господарювання вносити свій внесок на запити громад
2.	Sensor networks	Нова технологія, що складається з надзвичайно малопотужних, малих і недорогих вузлів, бездротових сенсорних мереж, датчиків реагування у зоні військових дій та відстеження місцезнаходження постраждалих осіб
3.	MANET	Самоорганізована і розгорнута мобільна тимчасова мережа XML-сервісів для обміну інформацією без використання будь-якої попередньої фіксованої мережевої інфраструктури. Для сценаріїв реагування у зоні військових дій застосовується гібридна схема маршрутизації MANET-DTN
4.	Backup Wi-Fi Ad-Hoc	Архітектура протоколу міжвідомчого реагування у зоні військових дій, заснована для резервного зв'язку на терміналах Wi-Fi (смартфонах). Якщо основні користувачі WLAN (точки доступу) присутні, механізм вибору каналу вибирає альтернативні канали без необхідності спільного каналу керування.
5.	Ad Hoc Network for Emergency Telemedicine Service	Мобільна мережа Ad hoc (MANET) служби екстреної телемедичної допомоги (ETS) на основі бездротової локальної мережі (WLAN) та алгоритму векторної маршрутизації відстаней Ad hoc On-Demand, яка забезпечує ETS, налаштувавши додатковий канал у зоні військових дій, де основний канал мережі недоступний
6.	Multi-hop Walkie-Talkie-Like Emergency Communication System	Система зв'язку на основі платформи P2Pnet, яка є мережею MANET P2P, створеною за допомогою ноутбуків волонтерів, і може підтримувати велику кількість добровольців у перші години військового вторгнення, коли зовнішня допомога блокується паралізованою транспортною системою
7.	Urgent Communications Technologies for Sharing Evacuation	Система екстреного зв'язку за допомогою комп'ютерного моделювання для підтримки евакуації постраждалих (EUC-ESS) незалежно від ситуацій (у приміщенні, місті, підвалі тощо), засновану на мобільних спеціальних мережах (MANET), що складаються з мобільних терміналів
8.	Information Sharing by Evacuee	Мобільний термінальний зв'язок із системою RFID - міток визначає маршрути між евакуйованими для обміну інформацією про маршрути у разі відсутності електропостачання. Спосіб реалізації полягає в тому, що пасивні RFID-мітки наносяться на стіни будівлі. Кожен користувач має мобільний термінал, оснащений зчитувачем/записувачем RFID. Посилаючись на пасивні RFID-мітки, яких торкався користувач, мобільний телефон визначає безпечні маршрути, використовуючи рух людей для безпечної евакуації
9.	Autonomous Navigation System using Mobile Phone	Автономна навігаційна система для внутрішньої системи аварійної евакуації з використанням різних датчиків. Пристрій користувача отримує сигнали бездротового маяка з навколишнього середовища і, таким чином, може самостійно визначити положення за допомогою мобільного терміналу
10.	Rescue Me	Система Rescue Melversion, заснована на мобільних додатках AR з використанням датчиків на смартфоні для внутрішніх закритих приміщень (великі будівлі, метрополітени тощо) з відстеженням крокоміром поведінки користувачів для надання інформації про евакуацію в критичних ситуаціях
11.	ARI	Модуль доповненої реальності тривимірної ситуаційної обізнаності, який застосовують при евакуації багаторівневих будівель

Література

1. Share to Gain: Unlocking Data Value in Manufacturing. URL: <https://www.weforum.org/whitepapers/share-to-gain-unlocking-data-value-in-manufacturin>
2. Transforming Risk Into Resilience. URL: <https://oneconcern.com/en/>

Секція 6. Сенсорні мережі та прикладні аспекти застосування
телекомунікаційних технологій

UDC 621.372.543

**APPLICATION OF SIGNAL HOUND SCALAR NETWORK
ANALYZER FOR MEASUREMENT OF FILTER PARAMETERS
BASED ON METAMATERIAL CELLS**

Avdeyenko G., Galitskiy I., Krylach O., Zhivkov A., Shevtsov K.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Educational and Research Institute of Telecommunication Systems

E-mail: ilyagal26@ukr.net

**ВИКОРИСТАННЯ СКАЛЯРНОГО АНАЛІЗАТОРА КІЛ SIGNAL HOUND ДЛЯ
ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУ НА БАЗІ КОМІРКИ
МЕТАМАТЕРІАЛУ**

У доповіді досліджені характеристики мікрохвильового режекторного фільтра на базі комірки метаматеріалу. Вимірювання коефіцієнта передачі фільтра з різними резонансними частотами одного з резонаторів проведені за допомогою скалярного аналізатора мереж на базі керованого генератора та аналізатора спектра компанії SIGNAL HOUND. За результатами вимірювань побудовані апроксимуючі характеристики коефіцієнта передачі фільтра та визначені відповідні їм коефіцієнти відображення, фазові характеристики та характеристики групового часу затримки. Викладена методика досліджень мікрохвильових фільтрів може бути використана як у навчальному процесі, так і в наукових цілях.

The report explores the characteristics of a microwave bandstop filter based on a metamaterial cell. Measurements of the filter transmission coefficient at various resonant frequencies of one of the resonators were carried out using a scalar network analyzer based on a controlled oscillator and a spectrum analyzer of the SIGNAL HOUND company [2,3]. Based on the measurement results, approximating characteristics of the filter transmission coefficient are constructed and the corresponding reflection coefficients, phase characteristics, and group delay characteristics are determined. The described technique for studying microwave filters can be used both in the educational process and for scientific purposes.

In the report, a microstrip bandstop filter based on a metamaterial cell (Fig.1, a) a photo of filter in the measurement process) previously proposed in [1] was experimentally studied. The filter is made on a FLAN-10 material substrate (dielectric constant $\epsilon=9.8$, substrate thickness – 1 mm). For measurements of the

amplitude characteristic of the filter gain $|S_{21}|$ the Signal Hound USB-SA44B spectrum analyzer [2] and the Signal Hound USB-TG44A tracking generator [3] were used (the measurement scheme is shown in Fig.1,b)). Unlike professional vector network analyzers (see, for example, [4]), Signal Hound equipment in such a configuration does not allow measurements of the phase characteristics of the objects under study.

However, as shown in [5], for filters with several parallel transmission channels of energy, which include the sample under study (it has two transmission channels of energy, one through each resonator), there is an unambiguous relationship between the transmission and reflection coefficients. Thus, if the coupling coefficients K_1 and K_2 of the first and second resonators with the transmission line are determined, it is possible, using well-known analytical expressions from [5, 6], to construct the frequency characteristics of both the reflection coefficient S_{11} and the phase characteristics of the transmission coefficient S_{21} and the corresponding group time characteristics delays (Group Delay - GD).

Figure 2 shows the measured characteristics (from 1st to 5th) of the bandstop filter gain obtained by changing the resonant frequency of the smaller resonator. Its resonant frequency is shifted “down” by pushing a thin dielectric plate onto the resonator, as described in [1].

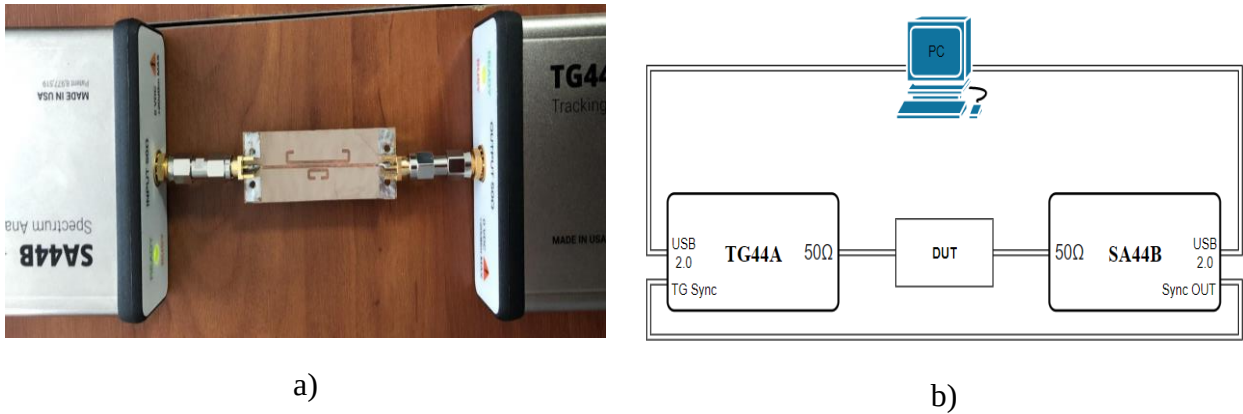


Fig.1. Photo of the bandstop filter connected to the tracking generator and spectrum analyzer (a). Measurement scheme of the bandstop filter (b).

Using the technique described in [6,7], to find the loaded Q factors of the resonators, we can approximate (the measured curves using the LabView-based program, selecting the parameters of the coupling coefficients of the resonators with the K_1 and K_2 lines, the ratio of their Q factors (parameter b) and the relative detuning (parameter a) between them (violet and blue curves in Fig.3,a and Fig.3,b), respectively, similar to curves 1 and 2 in Fig.2) and also obtain “simulated” characteristics of the reflection coefficients S_{11} (green curves in

Fig.3,a and Fig.3,b), as well as phase characteristics and group delay (red and black curves in Fig. 3,a and Fig.3,b) corresponding to the gain S_{21} .

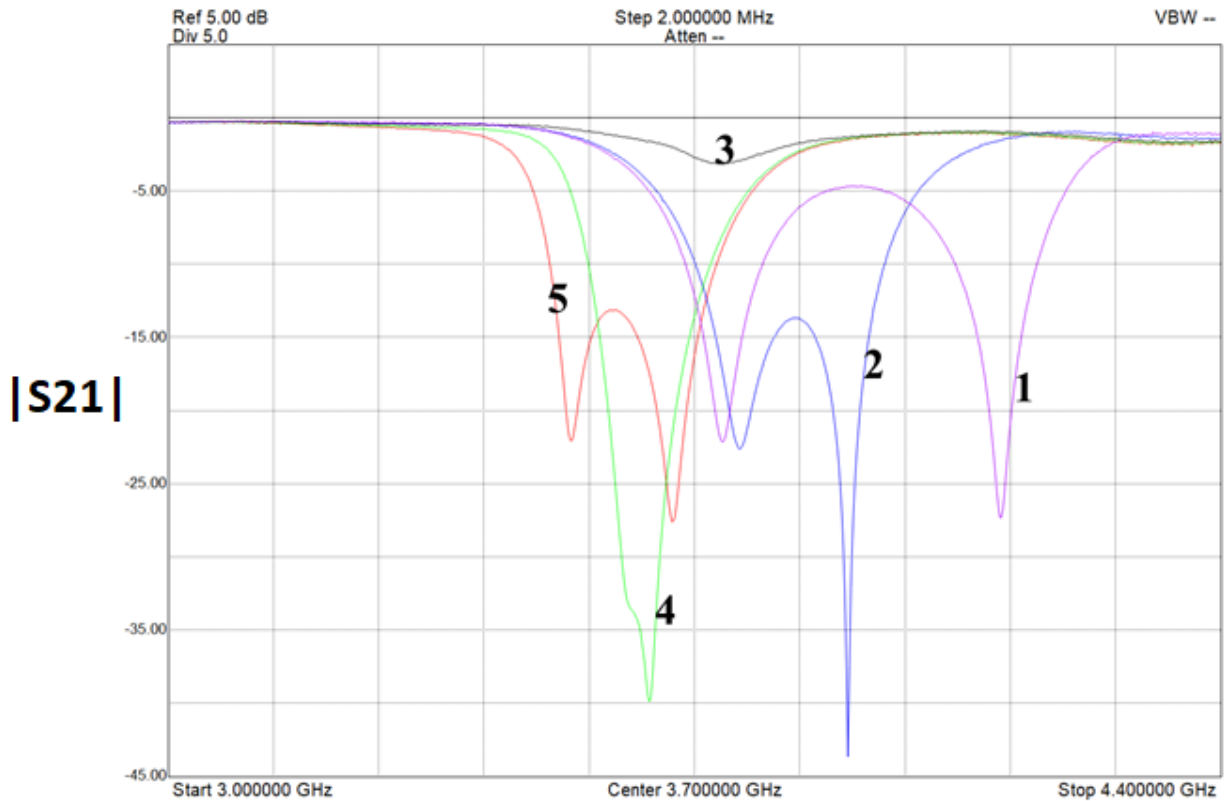


Fig. 2. Amplitude characteristic of the bandstop filter transmitter coefficient S_{21} : curve 1 is the original version, the resonators are initially detuned in frequency; curve 2 is the Fano resonance; curve 3 is the regime close to the “transparency window” (the oscillation frequencies of the resonators are the same), curve 4 is the regime close to the Fano resonance, but it is visible the beginning of the "removal of degeneracy"; curve 5 is the resonant frequency of the "short" resonator is lower than the resonant frequency of the "long" resonator.

Note that in the region of the Fano resonance (anomalously high attenuation and a narrow resonance characteristic around the frequency $f = 3.9$ GHz), as expected [6], the phase response of the filter has a very steep slope, which, in turn, leads to large values of GD. The dependency between a sharp change in phase and amplitude is known in the theory of circuits and is described in sufficient detail in [8] - “the change in attenuation caused by losses will be proportional to the “delay time””.

Conclusion. Thus, using the capabilities of a simple and relatively inexpensive measuring complex based on Signal Hound equipment, on the one hand, and the properties of filters based on metamaterial cells, on the other hand, it is possible to simulate the parameters of such structures that cannot be measured, that is, to obtain their phase characteristics and GD.

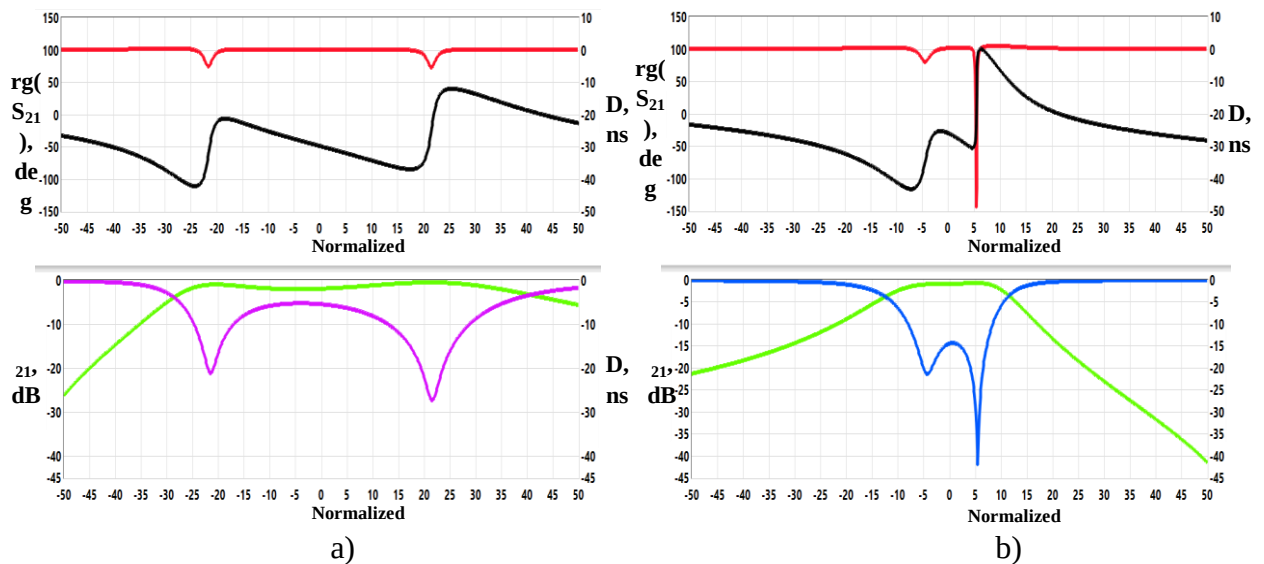


Fig.3. Modeled curves under study: a) Transmission coefficient S_{21} , which corresponds to curve 1 in Fig.2, $K_1=8$, $K_2=20$, $a=50$, $b=1$; b) Transmission coefficient S_{21} , which corresponds to curve 2 in Fig.2, $K_1=8$, $K_2=18$, $a=17$, $b=3$

Acknowledgement. The present work was supported by the National research foundation of Ukraine, project “Microwave devices based on resonant structures with metamaterial properties for the life protection and information security of Ukraine” (ID 2021.01/0030).

References

1. Zhivkov A., Akopian P., Galickiy I., Krylach O., Kopaniev M., Kamarali R., «Microwave filters with variable parameters based on cells of metamaterials». In: Fifteenth International Scientific Conference "MODERN CHALLENGES IN TELECOMMUNICATIONS", pp. 79-82, 2021.
2. <https://signalhound.com/products/usb-sa44b/>
3. <https://signalhound.com/products/usb-tg44a/>
4. <https://www.keysight.com/zz/en/products/network-analyzers/pna-network-analyzers.html>
5. Ilchenko M.E., Zhivkov A.P. Microwave filters based on the structures with resonators in parallel channels as metamaterial cells //KPI Science News. – 2018. – № 6. – c. 7-21. DOI: 10.20535/1810-0546.2018.6.151520.
6. M. E. Ilchenko, A. P. Zhivkov. Bridge Equivalent Circuits for Microwave Filters and Fano Resonance. in: Advances in Information and Communication Technologies. Springer, 2019, pp. 278-298. doi:10.1007/978-3-030-16770-7_14.
7. Zhivkov, A. P., Shevtsov, K. O., Kamarali, R. V., & A.T., O. (2019). Fano resonance and metamaterial cells equivalent circuits. 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). doi:10.1109/ukrmico47782.2019.9165428.
8. H.W. Bode Network Analysis and Feedback Amplifier Design, D. Van Nostrand. Co., Inc., 1945.

ATTENUATION POLES IN MICROWAVE THREE-RESONATOR BANDPASS FILTERS

Galitskiy I., Shevtsov K., Zhivkov A. Kamarali R.

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute" Institute of Telecommunication systems*

E-mail: ilyagal26@ukr.net

ПОЛЮСИ ЗАГАСАННЯ В МІКРОХВИЛЬОВИХ ТРИРЕЗОНАТОРНИХ СМУГОВИХ ФІЛЬТРАХ

У доповіді розглянуто трирезонаторні мікрохвильові фільтри з полюсами згасання. Досліджено різні механізми формування полюсів загасання, запропоновано моделі таких фільтрів на базі мостових чотириполюсників. Аналіз проведено з використанням універсальних фізичних понять – власних, навантажених та зовнішніх добротностей резонаторів та їх взаємних розлаштувань.

In the paper three-resonator microwave filters with attenuation poles are considered. Different mechanisms of formation of attenuation poles are investigated and models of such filters on the basis of bridge quadrupoles are proposed. The analysis is carried out with use of universal physical notions - natural, loaded and external quality factors of resonators and their mutual detuning.

The history of the appearance of works in which microwave filters with attenuation poles were studied is described in detail in [1]. The most common are filters with so-called elliptical characteristics, in which the attenuation poles are formed due to additional connections between cross-coupling resonators [2-4]. However, as shown in [5], this is not the only possible way to form attenuation poles. Another possible way is to use parallel communication channels with resonators of different quality factors. Previously, similar structures were used in 4-pole lattices with lumped-element resonators. Since, as is known [7], bridge filters are more versatile structures than ladder ones, they can be used for modeling an arbitrarily complex combination of resonators that form a particular filter.

In the general case, when using inductive or capacitive couplings between resonators, the number of poles of the n -resonator filter can be equal to $n-1$ [4]. To demonstrate what has been said, on Fig. 1. a) and b) the characteristics and on Fig. 1. c) and d) the topologies of the three-resonator filters considered in [8] are presented.

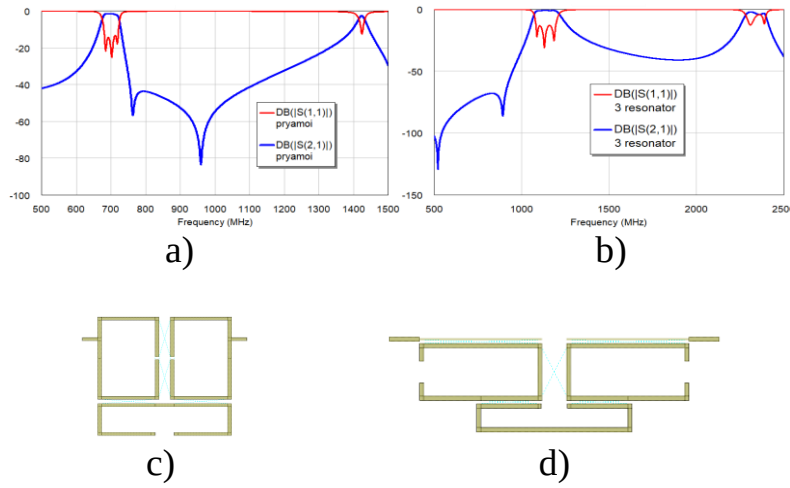


Fig. 1.
a), b) The characteristics of the three-resonator filters.
c), d) topologies of the three-resonator filters.

The attenuation poles in a the three-resonator filters can also be located on opposite sides of the passband.

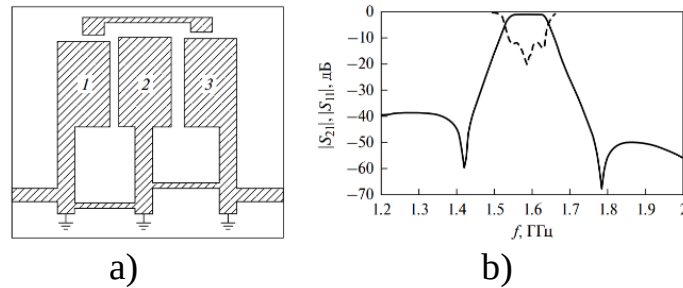


Fig. 2. a) Topology of a microstrip filter with additional coupling between the input and output resonators. Fig. 2 b) transmission coefficients S_{21} and reflection coefficients S_{11} of said filter [2].

As in [5] two-resonator filters and three-resonator filters can also be considered in terms of own and loaded Q-factors, coupling coefficients and mutual detunings, which for series and parallel resonators are defined as [9]:

$$K_i = Q_{0i}/Q_{ei} \quad (1)$$

$$Q_{os} = \omega_0 \cdot L/R_s = 1/\omega_0 \cdot R_s \cdot C \quad (2)$$

$$Q_{op} = R_p/\omega_0 \cdot L = \omega_0 \cdot R_p \cdot C \quad (3)$$

Where Q_{0i} – unloaded Q-factor of “i” resonators, Q_{ei} – external Q-factor of “i” resonators, R_p и R_s – the loss resistance of the parallel and series resonators.

Fig. 3 a) shows the characteristics of a three-resonator filter that modeling the filter of Fig. 2 a) in terms of coupling coefficients and generalized detuning. Next modeling parameters were used $K_1 = K_3 = 5, K_2 = 10, b_1 = b_3 = 1.1, a_1 = -a_3 = 14, a_2 = 0$, b_i corresponds to relative quality factor and a_i to detuning - see formulas from [5]. As can be seen, the characteristics of Fig. 2 b) and 3 a) are quite coincide.

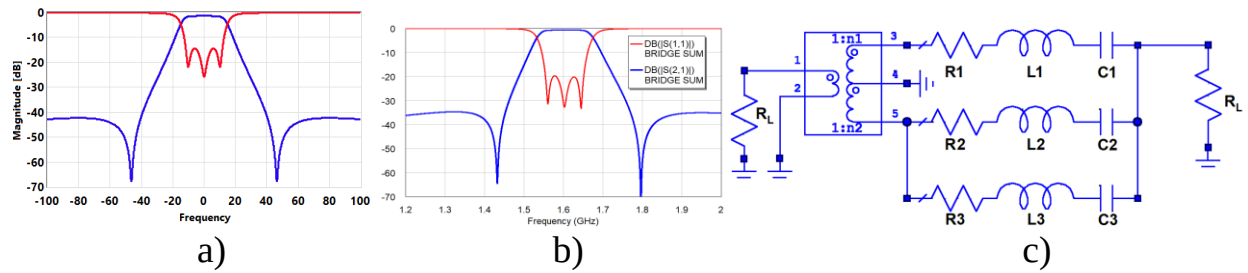


Fig. 3. a) The characteristics of a three-resonator filter, b) characteristics lattice 4-pole, c) Schematic of a three-resonator filter.

Knowing the coupling coefficients, relative Q-factors and detuning's, it is easy to execute the transition to the bridge circuit of the three-resonator filter Fig. 3c, which has similar characteristics Fig. 3b. The modeling was carried out using the AWR software package. (academic licenses were acquired via Cadence Academic Network of university). R_L - external load resistor. At the same time, it was taken into account that during the transition from an unbalanced bridge circuit to a circuit with a transformer with a midpoint in Fig. 3 c) taking into account the transformation of the resistances of the arms [6], the following relations must be fulfilled:

$$K_s = 2 \cdot R_L / R_s \quad (4)$$

$$K_p = R_p / 2 \cdot R_L \quad (5)$$

Small discrepancies in the characteristics of the filters in Fig. 2 and 3 are caused only by the fact that the authors did not set themselves the problem of exact approximation, but only wanted to demonstrate the possibilities of designing microwave filters with attenuation poles using a 4-pole lattice.

References

1. Levy R, Cohn, S. B. A History of Microwave Filter Research. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1984, p 1055–1067.
2. A.V. Zakharov, M.E. Ilchenko, Mixed bonds in microstrip band pass filters. Radio engineering and electronics № 6, 2018, p. 607–618.
3. J.S. Hong, M.J. Lancaster, Microstrip cross-coupled trisection bandpass filters with asymmetric frequency characteristics, IEE Proc.- Microw. Antennas Propag, vol. 146, no. 1, p. 84–90, 1999.
4. R. Levy, New cascaded trisections with resonant cross, MTT-S Int. Microwave, vol. 2, p. 447–450, 2004.
5. M.E. Ilchenko, A. P. Zhivkov. Bridge Equivalent Circuits for Microwave Filters and Fano Resonance, Advances in Communication Technologies. Springer, 2019, p. 278-298.
6. Warren P. Mason Electromechanical Transducers. Van Nostrand Company, Inc., 1942.
7. Guillemin, E.A. Synthesis of Passive Networks: Theory and Methods Appropriate to the Realization and Approximation Problems. Wiley, Hoboken, 1957.
8. Dr. Jia--Sheng HongSheng Hong / Department of Electrical, Electronic and Computer EngineeringDepartment of Electrical, Electronic and Computer Engineering / HeriotWatt University, UKWatt University, <http://f1chf.free.fr/hyper/Design%20de%20filtre.pdf>.
9. David M. Pozar. Microwave Engineering. Wiley, 2011, P. 752.

FOG-МЕРЕЖА З АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ

Осипчук С.О., Будішевський О.В.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: serg.os@ieee.org; ab@it-services.kiev.ua

FOG-NETWORK ARCHITECTURE WITH AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

In the report an FOG-network architecture with an Adaptive Control System (ACS) is proposed. It is emphasized that the introduction of Internet of Things (IoT) technologies causes an increase in traffic and fluctuations, and traffic should be processed with minimal delays to make the right decisions based on the content of IoT traffic. Decision-making takes place with the help of ACS.

У доповіді пропонується архітектура FOG-мережі із адаптивною системою управління (АСУ). Підкреслюється, що впровадження технологій інтернету речей (IoT) викликає зростання обсягів трафіку та флуктуацій, при цьому трафік має бути оброблений із мінімальними затримками, щоб прийняти вірні рішення виходячи із змісту трафіку IoT. Прийняття рішень відбувається за допомогою АСУ.

У статті розглянуті світові тенденції розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій – *мережі FOG* [1]. У даній роботі, FOG-мережа є інструментом забезпечення функціонування іншої технічної тенденції – Інтернету речей (*IoT*) [2].

З часів розробки технологій обробки великих даних (Big Data) та комп'ютерних мереж з'явилися різноманітні парадигми розподілених комп'ютерних мереж: *хмара, туман, край (Clouds, FOG, Edge)*. Парадигма *FOG* займає *проміжне місце* між Cloud та Edge; в той час як розташована якомога ближче до пристроїв *Edge*, FOG частково має можливості зберігання даних та обчислювальні можливості, які має *Cloud*. Збирання даних з пристроїв IoT та обробка тих даних у мережі FOG дозволяє *уникнути певної ситуації, управляти нею, або врегулювати її наслідки* якомога швидше.

FOG визначається як *децентралізована* обчислювальна інфраструктура, у якій дані, обчислювальні блоки та застосунки розташовані між хмарою та джерелами даних; ресурси такої мережі використовуються для зберігання та обробки даних, із доступом до даних як локально, так і з мережі Інтернет. FOG-и характеризуються близькістю до кінцевих користувачів, об'єднанням локальних ресурсів, зменшенням затримки, та заощадженням ємності магістральної мережі. Будь-який пристрій, що має ресурси обчислення, зберігання та комунікації, може бути вузлом мережі FOG. Приклади таких пристроїв включають промислові контролери, комутатори мережі, маршрутизатори, вбудовані сервери, відеонагляд, тощо.

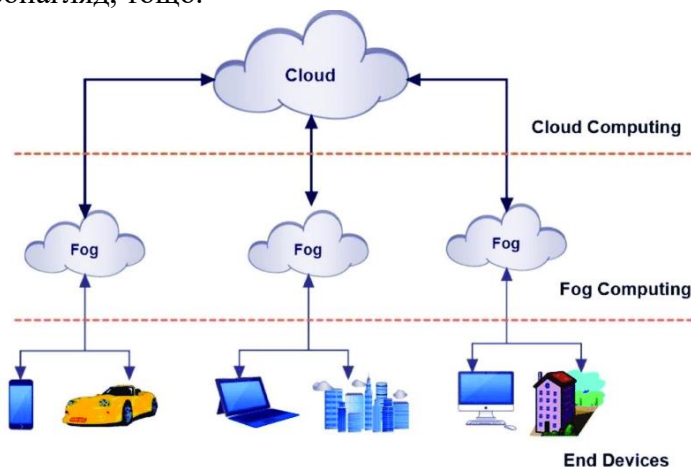


Рис. 1. Місце мережі FOG в телекомунікаційній інфраструктурі. Рівні трьох основних комп'ютерних парадигм: *cloud, fog, edge*.

Обмежені ресурси мережі, зберігання та обчислення вимагають створення ефективної та оптимальної системи управління такими ресурсами – **адаптивної системи управління (АСУ)**, яка буде управляти запитами та даними від пристроїв IoT завдяки **розширенню та скороченню** ресурсів мережі або **зберігання** існуючого обсягу обчислювальних ресурсів, яких потребує обробка вхідного трафіку для мінімізації втрат даних, що генеруються в мережі.

Проблема, яку вирішує запропонована схема організації мережі – це зберігання та передавання всіх даних, що генеруються мережею FOG задля мінімізації обсягів втрат даних, у той самий час використовуючи мінімально необхідну та достатню кількість ресурсів мережі FOG. Два моменти стану мережі FOG (еталонний та поточний) будуть мати або такий самий стан ресурсної ємності, або **різницю** між еталонним та поточним станом.

Задачі, що вирішує запропонована мережа FOG із АСУ:

- Управління ресурсами передачі даних у мережі (пропускна здатність мережі), – додавання або деактивація вузлів мережі з метою забезпечення потрібної пропускної здатності мережі FOG.

- Управління ресурсами зберігання мережних даних, – додавання або деактивація вузлів мережі з метою забезпечення потрібної ємності зберігання даних в мережі FOG.

Ціллю доповіді є опис запропонованої моделі і визначення її математичного означення.

Опис моделі. Будь-які ситуації, де задіяна інформаційна система, можуть бути попереджені шляхом **управління**, щоб до них не доводилося згодом адаптуватися, однак передбачити небажані події не завжди вдається. Тому, замість управління, доводиться вдаватися до **регулювання**. У таких випадках **ефективність системи управління** характеризується єдиним показником – **часом реакції** [4]:

$$\tau = t_1 - t_0, \quad (1)$$

де t_0 – момент часу, коли виникла необхідність здійснення дії (момент виникнення проблеми), t_1 – момент вирішення проблеми. Причому t_1 можна також поділити на дві частини: час, коли **приймається рішення** (внутрішній лаг) та час, коли прийняте **рішення реалізується** (зовнішній лаг).

Для системи також може бути визначений деякий **критичний проміжок часу**, протягом якого будь-які рішення проблеми ще **мають сенс**, – $\tau < \tau_{кр}$.

Реалізація адаптивної системи управління у FOG мережі може допомогти як у **попередженні** певної ситуації, тобто на **фазі управління**, так і в зменшенні часу реакції, тобто на **фазі регулювання** ситуації.

Одним із найважливіших завдань FOG-мережі є **аналіз та реагування на дані**, що збираються в реальному режимі часу, прийняття рішення про реакцію на зібрані дані, та передавання даних чи інформації третім сторонам, що можуть або повинні реагувати на отриману інформацію відповідним чином.

Значні непередбачені зміни обставин, подій, об'єму трафіку в мережі називають **біфуркаціями**. **Біфуркація** — це *суттєва* зміна якісної поведінки динамічної системи за умови *малої* зміни її параметрів.

Аналогічно принципу системи фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ), де корекція фази передбачається в реальному режимі часу на певну величину,

$$\Delta f = \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (2)$$

інформаційна система може бути спроектована з метою реагування на **біфуркації навантаження в мережі** шляхом збільшення чи зменшення числа залучених об'єктів обчислювальної FOG-інфраструктури [5]:

$$\Delta V = \frac{\partial I_H}{\partial t}. \quad (3)$$

Схема адаптації FOG-мережі для обслуговування інформаційного навантаження на

мережу в умовах біфуркацій наведена на рис.2.

В результаті, запропонована **схема адаптації** FOG-мережі для обслуговування інформаційного навантаження на мережу в умовах біфуркацій, забезпечує необхідну **ємність ресурсів** FOG-мережі, що допомагає виконувати поставлені завдання перед FOG-обчислювальною інфраструктурою.

На рис. 3 **наведено архітектуру** системи управління високопродуктивними сенсорними мережами: модель *мережі FOG*, що включає передавання даних від датчиків IoT до мережі FOG і АСУ, обробку інформації в АСУ, і прийняття рішень в АСУ з впливом на *ресурси мережі FOG* та на *об'єкт управління (control object – CO)*.

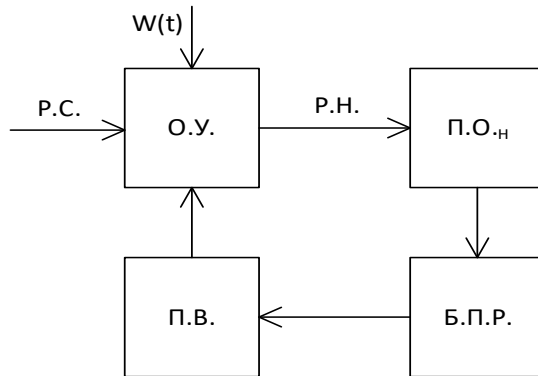


Рис.2. Схема адаптації FOG-мережі для обслуговування інформаційного навантаження на мережу в умовах біфуркацій.

На рис.3.1 позначено: О.У. - Об'єкт управління; Р.С. - Рівняння стану; $W(t)$ - Навантаження на об'єкт; Р.Н. - Рівняння навантаження; П.О.Н. - Пристрій обслуговування навантаження; Б.П.Р. - Блок прийняття рішення; П.В. - Пристрій виконання.

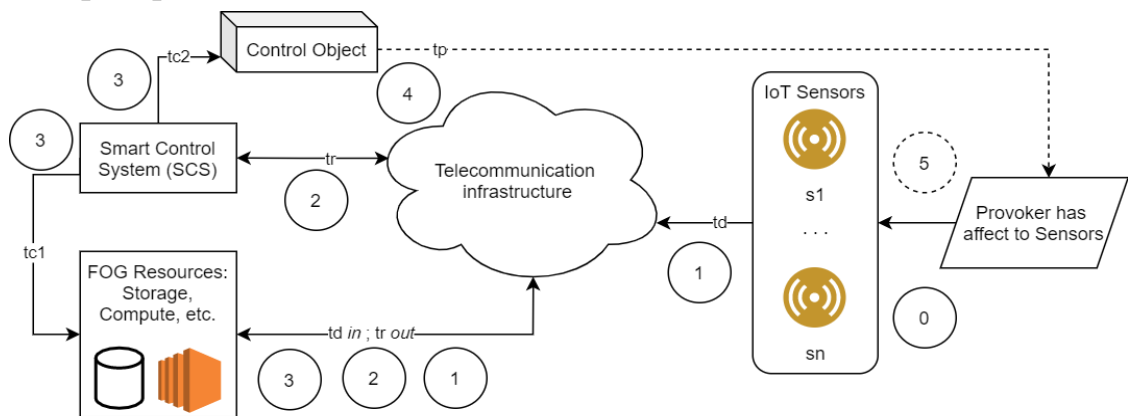


Рис. 3. Схема мережі FOG з АСУ (Smart Control System, SCS).

Розглянемо покроково функціонування запропонованої моделі мережі FOG.

Крок 0. Уявімо, що існує певний збудник, який впливає на датчики IoT.

Крок 1. Вхідний трафік від сенсорних датчиків $s_1, \dots, s_n$, з певними визначеними характеристиками та параметрами: кількість сенсорів: n ; вибірка часу відправки даних від одного сенсора: td ; обсяг даних, відправлених від одного сенсора: V_d .

Інфраструктура телекомунікацій (ТІ) забезпечує зв'язок між сенсорами та ресурсами FOG, АСУ, об'єктом управління (CO).

V_s дані від сенсорних датчиків IoT записуються до *ресурсів зберігання* мережі FOG для подальшого зберігання та обробки.

Ресурси зберігання мережі FOG мають певну обмежену ємність S , що вимірюється у байтах.

Крок 2. АСУ аналізує зібрану інформацію у інтервалах tr . АСУ залучає або вивільнює обчислювальні ресурси мережі FOG для надання обчислювальних ресурсів, необхідних для аналізу даних, отриманих від датчиків.

Важливо зазначити, що обчислювальні ресурси мережі FOG мають обмежену продуктивність P , що вимірюється в інструкціях у секунду (Instructions Per Second, IPS) [3]. На швидкість обчислень в мережі FOG має вплив фактор *складності обчислень* [4]. На *складність обчислень* впливають *тип вхідного трафіку та його характеристики* [5].

Крок 3. АСУ отримує інформацію від мережі FOG та приймає рішення щодо необхідності передачі інструкцій об'єктові управління СО в дискретні інтервали: $tc1$, $tc2$. Об'єктом управління можуть бути:

- *Обчислювальні, мережні ресурси або ресурси зберігання мережі FOG, залучити більше або вивільнити ресурси з ціллю обробки потрібного обсягу даних для прийняття рішень АСУ,*
- *Інші засоби управління що можуть реагувати на події або критичні ситуації певним чином (пожежа, військові, медичні, тощо).*

Крок 4. Відгук об'єкту управління на отриману інформацію в дискретні проміжки часу tr . Наприклад, таким відгуком може бути впровадження дій, спричинених повідомленням найближчих розташувань пожежних бригад, інформуванням публічних служб про підвищення радіаційного фону в регіоні, відповідь на збільшення військових сил супротивника в регіоні та ін.

Крок 5. В результаті виконання дій по відгуку на отриману інформацію, що очікується на кроці 0, але у наступних циклах, збудник може мати модифікований вплив на сенсори IoT, які призведуть до *інших рішень, що прийме АСУ.*

Описані кроки 0-5 пропонуються як алгоритм АСУ для мережі FOG.

Математична модель АСУ. Задача, яку описує математична модель для інформаційної системи – **управління ресурсами** мережі FOG на підставі змін обсягу обслуговування (**дані, трафік**) у телекомунікаційній мережі, з ціллю оперативної реакції на умови, що змінюються, **мінімізації втрат даних та своєчасності обслуговування**. На рис. 4 показано схематичне уявлення автопідлаштування виділених ресурсів мережі FOG для своєчасного обслуговування обсягу даних, що змінюється, та трафіку в мережі.

Математична модель роботи АСУ може бути представлена рівняннями 1-го порядку, які описують зміни **обсягу інформації** в мережі: I , та рівняннями **2-го порядку**, які показують **швидкість зміни обсягу інформації** в мережі та інерційність реакції на зміни обсягу даних в мережі: V .

Визначимо деякі поняття для опису математичної моделі.

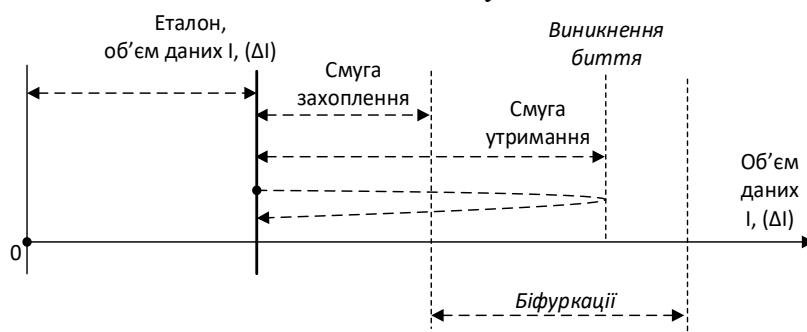


Рис. 4. Схематичне уявлення автопідлаштування виділених ресурсів мережі FOG для своєчасного обслуговування обсягу даних, що змінюється, та трафіку в мережі.

Еталон – деякий **обсяг I даних чи трафіку**, відомий та усталений, що потребує обслуговування в мережі FOG. Важливо відзначити, що значення еталону I може змінюватись в інформаційній системі як функція часу:

$$\Delta I = f(t); \quad (4)$$

Існує декілька режимів роботи **мережі FOG з АСУ**.

Стаціонарний режим роботи мережі FOG з АСУ. Обсяг даних (трафіку) еталону та даних (трафіку) в мережі рівні, і в результаті – немає необхідності коригувати число ресурсів FOG мережі.

Режим утримання. Обсяг даних (трафіку) еталону та даних (трафіку) в мережі рівні, та наявні лише незначні зміни обсягу даних (трафіку), у середньому повністю компенсуються

діями АСУ. **Смуга утримання** – область початкових відмінностей від еталону, у якій можливий цей режим. Ширина смуги утримання дорівнює кількості ресурсів, що відповідають найбільшому й найменшому обсягу даних (трафіку), що потребують обслуговування.

Режим биття. У даному режимі різниця обсягу даних (трафіку) еталону та даних (трафіку) в мережі збільшується з плином часу. Режим биття спостерігається у тих випадках, коли кількість ресурсів мережі FOG, що виділені початково, (еталон) менше, ніж необхідно для обслуговування обсягу даних (трафіку) в мережі, тобто потрібно більше ресурсів, ніж виділено для роботи у **смузі захоплення**.

Режим захоплення – перехідний стан системи, при якому режим биття переходить з плином часу у режим утримання. Під **смугою захоплення** розуміють кількість виділених ресурсів, за яких встановлюється **режим утримання**.

Детектор зміни характеристик трафіку – компонент АСУ, який збирає дані з вузлів мережі FOG про вимоги до обслуговування трафіку FOG з метою їх аналізу та приймає рішення щодо необхідності збільшення чи зменшення ресурсів мережі.

Початкове відхилення значення кількості даних еталону і даних для обробки в мережі:

$$\Omega_{initial} = I_{etalon} - I_{current}; \quad (5)$$

В момент включення АСУ, виникає **необхідність коректування** (додавання або віднімання) кількості ресурсів, що виділені для обробки **нового значення обсягу даних**:

$$I = I_{current} \pm I_{correction}; \quad (6)$$

Миттєве значення кількості даних для обслуговування:

$$I_{correction} = S_{ACS} \cdot I_{ACS}; \quad (7)$$

де **S** – крутизна характеристики керуючого елементу АСУ, яка визначається відношенням *вимірювання* ресурсів мережі, що виділені для обслуговування даних (трафіку), до *зміни* керуючого обсягу даних (трафіку) в мережі, що викликала його; **I_{ACS}** – миттєве значення кількості керуючого обсягу даних (трафіку) в мережі.

Значення кількості керуючого обсягу даних (трафіку) в мережі пов'язано із кількістю даних (трафіку) в мережі таким співвідношенням:

$$I_{ACS} = K(p) \cdot I_{current}. \quad (8)$$

Висновки. В роботі показано, що запропонований алгоритм функціонування мережі FOG з АСУ забезпечує:

- Генерацію трафіку з певними характеристиками сенсорами IoT;
- Зберігання та обробку даних в мережі FOG;
- Впровадження АСУ для прийняття рішень щодо управління ресурсами мережі FOG та об'єктами управління, застосовуючи навчальний механізм для АСУ, що базується на потоці трафіку IoT, прийнятих рішеннях та досягнутому ефекті на об'єкти управління;
- Встановлення взаємозв'язків між вхідним трафіком IoT та його впливом на рішення по виконанню дій або їх униканню на об'єкті управління.

Наступним кроком даної роботи є створення *імітаційної моделі* у відповідності із запропонованою схемою мережі FOG з *інтелектуальною системою управління* та дослідження її поведінки при зміні вхідних параметрів.

Запропонована модель може бути використана у вирішенні *різноманітних потреб національного, локального або корпоративного значення* задля ефективного відгуку на зміни в оточуючому середовищі.

Література

1. FOG networking: https://en.wikipedia.org/wiki/Fog_computing
2. Internet of Things: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
3. Instructions per second: https://en.wikipedia.org/wiki/Instructions_per_second
4. Computational complexity: https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_complexity
5. Network traffic: https://en.wikipedia.org/wiki/Network_traffic

ВИБІР ВИДУ ПОЛІНОМУ АПРОКСИМАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РУХУ БПЛА ТИПУ КВАДРОКОПТЕР

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: cukanov-o@ukr.net

SELECTION OF THE TYPE OF POLYNOMIAL FOR ESTIMATING THE MOTION PARAMETERS OF A QUADCOPTER UAV

To estimate the motion parameters of constantly maneuvering quadcopters by the least squares method “in a sliding window”, it is proposed to use polynomials based on the Puise series with real coefficients.

У роботі [1] авторами, на основі моделювання, проведено порівняльну оцінку параметрів руху для маневруючих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) типу квадрокоптер, методом найменших квадратів у “ковзному вікні” та дробовими поліномами на основі ряду Тейлора. Та на підставі цього моделювання було зроблено висновок, що ідеальних поліномів для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують, немає та необхідно створювати адаптивні алгоритми з урахуванням комбінації різних методів.

На наш погляд, основна проблема використання таких алгоритмів - це забезпечення стійкості оцінювання параметрів руху квадрокоптерів, що постійно маневрують. Крім того, визначення координат кожного квадрокоптера відбувається шляхом вимірювання взаємних відстаней між ними [2], тому пропуск вимірювань малоймовірний. А це означає, що використання рекурентних методів оцінювання на основі відомого фільтру Калмана-Бьюсі не виправдане.

Тож для оцінювання параметрів руху, переважно використовують алгоритми регресійного аналізу з урахуванням методу найменших квадратів. Точність оцінювання цим методом залежить від багатьох чинників, що оглянемо нижче.

Для оцінки параметрів руху квадрокоптерів краще використовувати метод «ковзного вікна». Результати моделювання показують [1], що ширина «ковзного вікна» має важливе значення. Крім того, точність оцінювання залежить від виду поліному регресії. Найбільш відомими такими поліномами є поліноми на основі ряду Тейлора:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f^I(x_0)x}{1!} + \frac{f^{II}(x_0)x^2}{2!} + \frac{f^{III}(x_0)x^3}{3!} + \dots,$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^m a_i x^i, \quad (1)$$

Чебишева:

$$T_0(x) = 1, \quad T_1(x) = x, \quad T_n(x) = 2x T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x), \quad (2)$$

та Паде [3]:

$$P(x) = \frac{a_0 + a_1 x^2 + a_1 x^4}{b + b x^2 + b_1 x^4}, \quad (3)$$

при цьому $x \in [-1, 1]$ розраховується більша кількість коефіцієнтів.

Порівнюючи використання зазначених багаточленів для вирішення нашого завдання зауважимо, що використання ряду Тейлора 2 або 3 порядку дозволяє отримати максимальну точність, якщо порядок траєкторії руху збігається з порядком полінома регресії.

Перевагою ряду Тейлора є те, що коефіцієнти ряду мають фізичний сенс. Зокрема, коефіцієнти a_0 , a_1 , a_2 – розташування, швидкість та половина прискорення.

Що до ряду Чебишева, то коефіцієнти ряду не мають фізичного сенсу, тому з допомогою такого ряду, можна оцінювати лише розташування квадрокоптерів, але не швидкості та прискорення. Крім того, при збільшенні ширини вікна, що «ковзає», точність оцінювання поліномами Чебишева зменшується. Використання поліномів Паде обмежується великою кількістю коефіцієнтів, a_i , b_i які необхідно визначити, крім того взагалі немає фізичного сенсу кожного з них.

Разом з тим, використання поліномів Пюїзе дозволяє отримати точність оцінок вище ніж при використанні полінома Чебишева, але всі без винятку такі поліноми потребують розрахунку більшої кількості коефіцієнтів.

Для визначення поточної оцінки за допомогою ряду Пюїзе з однією змінною - це формальний вираз алгебри виду:

$$F(x) = \sum_{n=n_0}^{\infty} a_n x^{\frac{n}{m}} \quad (4)$$

у якому число $n_0 = 0$ - ціле число - натуральне (при $m=1$ виходить звичайний статичний ряд), коефіцієнти a_n беруть із значень кільця R .

Враховуючи той факт, що $F(x)$ набуває речових значень, у разі коли $n < m$, коефіцієнти a_n повинні бути комплексними

для $m=2$:

$$F(x) = a_0 + a_1 x^{1/2} + a_2 x^1 + a_3 x^{3/2} + a_4 x^2, \quad (5)$$

для $m=3$:

$$F(x) = a_0 + a_1 x^{1/3} + a_2 x^{2/3} + a_3 x^1 + a_4 x^{4/3} + a_5 x^{5/3} + a_6 x^2 \quad (6)$$

У деяких практичних програмах змінна x не може бути комплексною, наприклад, якщо така змінна x це час.

Ряд (4) або Пюїзе у разі коли змінна x набуває речового значення, а значення $n_0 = 0$ може бути представлене у вигляді суми двох рядів, зауважимо без залишкового члена

$$F(x) = T(x) + R(x). \quad (7)$$

Здесь $T(x)$ – ряд Тейлора та дробовий ряд $R(x)$. При $m=2$

$$T(x) = a_0^* + a_2x^1 + a_4x^2$$

$$R(x) = a_0^* + a_1x^{1/2} + a_3x^{3/2} \quad (8)$$

А для $m=3$

$$T(x) = a_0^* + a_2x^1 + a_4x^2$$

$$R(x) = a_0^* + a_1x^{1/3} + a_2x^{2/3} + a_4x^{4/3} + a_5x^{5/3} \quad (9)$$

Розглянемо тепер фізичний зміст коефіцієнтів низки $R(x)$. Так ряду (8) коефіцієнт a_1 це похідна ступеня $1/2$, а коефіцієнт a_3 похідна ступеня $3/2$. Для ряду (9) коефіцієнт a_1 це похідна ступеня $1/3$, а коефіцієнт a_4 похідна ступеня $4/3$, коефіцієнт a_5 похідна ступеня $5/3$.

При цьому можна стверджувати, що в цілому $F(x)$ являє собою ортогональний багаточлен, який також може бути використаний для оцінювання квадрокоптерів ПД.

Тому ряд (4) можна назвати дробовим рядом Тейлора або Пюїзером з речовинною змінною. Дослідження проводилося значення параметра низки $m=2$. Відзначимо оцінка проводиться випадку, коли ступеня полінома регресії менше ніж ступінь полінома траєкторії руху. Іншими словами, дослідження проводилося в умовах оцінювання параметрів траєкторії руху, що постійно маневрують квадрокоптерів.

Як завершення знайдено вид полінома для оцінювання ПР квадрокоптерів у «ковзному вікні», який буде представлений у доповіді.

Література

1. Якорнов Є.А., Цуканов О. Порівняльна оцінка параметрів руху для маневруючих БПЛА методом найменших квадратів з дробовими поліномами та поліномами Чебишева// Матеріали XVI-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи телекомунікацій» (ПТ-22) К.: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2022,
2. Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. Визначення параметрів руху маневруючих безпілотних літальних апаратів у мережах FANET.// Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи телекомунікацій» (ПТ-19) К.: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2019, с. 285 – 287.
3. D. Sierociuk “Fractional Kalman Filter algorithm for states, parameters and order of fractional system estimation”, *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 2006, Vol.16, No.1, pp, 129–140.
4. D. Sierociuk “Fractional Kalman Filter algorithm for states, parameters and order of fractional system estimation”, *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 2006, Vol.16, No.1, pp, 129–140.

ВИБІР ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Штойко О.О., Лисенко О.І., Новіков В.І., Гетьман О.В.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: novikov1967@ukr.net, lysenko.a.i.1952@gmail.com

CHOOSING A ROUTING PROTOCOL FOR A WIRELESS SENSOR NETWORK BASED ON THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD

The article describes the process of choosing an effective routing protocol for application in field sensor networks by the method of hierarchy analysis.

Використання для маршрутизації інформації в безпроводових сенсорних мережах алгоритмів та протоколів, що використовуються в інших таких мережах, часто не є можливим та доцільним. На це є низка причин: велика кількість сенсорних вузлів, що робить використання унікального ідентифікатору не можливим; часті зміни структури мережі, що вимагає від протоколів маршрутизації реактивності; через автономність датчиків задача енергоефективності завжди залишається актуальною [1]. Високим попитом та популярністю сьогодні користуються три типи алгоритмів: централізовані, розподілені та алгоритми, що базуються на місцеположенні.

Метою дослідження є вибір пріоритетного протоколу маршрутизації на основі отриманих характеристик та суб'єктивних оцінок експертів з використанням методу аналізу ієрархій.

Метод аналізу ієрархій (МАІ) полягає у декомпозиції проблеми вибору ліпшого варіанта протоколу маршрутизації на прості складові частини та одержання суджень експертів з парних порівнянь елементів проблеми вибору [2, 3], які подаються у вигляді матриці де a_{ij} – оцінки парних порівнянь елементів.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Оцінки парних порівнянь елементів a_{ij} знаходяться з використанням суб'єктивних суджень експертів, які чисельно визначаються за шкалою відносної важливості елементів [2, 3]. Як міра узгодженості суджень експерта розглядають відношення узгодженості (ВУ). Якщо величина $ВУ \leq 0,15$, то рівень узгодженості суджень експертів слід вважати прийнятною. Інакше експертам рекомендується переглянути свої судження.

В результаті обробки отриманої вище матриці отримують значення компонентів власного вектору V_j та глобального вектору пріоритетів P_j , де n – число варіантів протоколів маршрутизації, що порівнюються.

$$P_j = \frac{V_j}{S}, \quad V_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, \quad S = \sum_{j=1}^n V_j,$$

За максимальним значенням компонент глобального вектору пріоритетів обирається єдиний варіант протоколу маршрутизації.

Було розглянуто 11 протоколів маршрутизації (таблиця 1). Кожним з 10 експертів було наведено матрицю парних порівнянь всіх зазначених протоколів маршрутизації за таблицею 1. Згідно з цих даних 10 експертів було вираховано середній вектор пріоритетів, який продемонстровано в таблиці 2.

Таблиця 1. Узагальнені характеристики розглянутих протоколів маршрутизації.

№	Назва протоколу	Мобільність	Споживана потужність	Узгодженість	Агрегація даних	Локалізація	QoS	Складність структури	Масштабованість	Множинність шляхів
№1	SPIN	Можлива	Обмежена	Так	Так	Ні	Так	Низька	Обмежена	Так
№2	Directed Diffusion	Обмежена	Обмежена	Так	Так	Ні	Так	Низька	Обмежена	Так
№3	Rumor Routing	Дуже обмежена	Не визначена	Ні	Так	Ні	Так	Низька	Хороша	Ні
№4	LEACH	Фіксовані БС	Максимальна	Ні	Так	Так	Так	Головні вузли кластера	Хороша	Ні
№5	TEEN	Фіксовані БС	Мінімальна	Ні	Так	Ні	Так	Головні вузли кластера	Хороша	Ні
№6	PEGASIS	Фіксовані БС	Максимальна	Ні	Ні	Так	Так	Низька	Хороша	Ні
№7	SOP	Відсутня	Не визначена	Ні	Ні	Ні	Так	Низька	Низька	Ні
№8	GAF	Обмежена	Обмежена	Ні	Ні	Так	Так	Низька	Хороша	Ні
№9	GEAR	Обмежена	Обмежена	Ні	Ні	Так	Так	Низька	Обмежена	Ні
№10	SAR	Відсутня	Не визначена	Так	Так	Ні	Ні	Середня	Обмежена	Ні
№11	SPEED	Відсутня	Не визначена	Ні	Ні	Так	Ні	Середня	Обмежена	Так

Представлено вибір варіанта протоколу маршрутизації з урахуванням думки експертів на основі МАІ. З таблиці 2 видно, що згідно з МАІ кращим варіантом маршрутизації є протокол маршрутизації номер 9 - GEAR, який відповідає максимальному компоненту вектору пріоритетів.

Таблиця 2. Вибір пріоритетного протоколу маршрутизації методом експертного оцінювання

Протоколи											Середня оцінка вектору пріоритетів 10 експертів
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	
№1	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,0442
№2	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05	0,09	0,08	0,077
№3	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06	0,04	0,0589
№4	0,10	0,10	0,13	0,05	0,11	0,10	0,10	0,11	0,14	0,10	0,1103
№5	0,14	0,16	0,09	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,15	0,1426
№6	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0237
№7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,0299
№8	0,20	0,19	0,23	0,20	0,19	0,19	0,22	0,20	0,19	0,20	0,2076
№9	0,28	0,27	0,25	0,29	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,2721
№10	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,023
№11	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0145

В результаті застосування МАІ обрано варіант протоколу маршрутизації - GEAR (протокол маршрутизації, заснований на знанні кожним вузлом свого розташування вузлів) для застосування в польових безпроводових сенсорних мереж з локалізацією елементів.

Література

1. Иваненко, В. А. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст] / В. А. Иваненко // Восточно Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 2, № 10(50). – С. 9–12. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1860/1755>.
2. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process [Text] / T. L. Saaty// New York: McGraw Hill, 1980. – 270 p.
3. Безрук, В. М. Применение метода анализа иерархий при выборе средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества [Текст] / В. М. Безрук, Ю. В. Скорик. – Харьков: ХНУРЭ; Радиоэлектроника и информатика, 2013. – С. 24–29.

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Кучеренко А.А., Лисенко О.І., Новіков В.І.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: ns.kycheryashka@gmail.com, novikov1967@ukr.net,

lysenko.a.i.1952@gmail.com

CLUSTERING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS USING FUZZY LOGIC

To increase the operating time of the wireless sensor network, it is proposed in each round of the network to select the main node of the cluster based on the method of fuzzy logic, taking into account the characteristics of the network.

Кластеризація - це механізм, який може застосовуватися в безпроводових сенсорних мережах для забезпечення ефективного використання ресурсів та є невід'ємною частиною в ієрархічних протоколах маршрутизації. Кластеризація забезпечує стабільність мережевої топології, енергозбереження та збільшення часу життя мережі. Загально прийнятої класифікації методів кластеризації не існує, але можна виділити низку підходів, причому деякі методи кластеризації можна віднести до декількох груп [1-2].

Методи кластеризації за способом обробки даних поділяються на дві основні групи: ієрархічні та неієрархічні. Кожна група включає в себе багато алгоритмів та підходів.

Ієрархічні методи кластеризації розрізняються правилами побудови кластерів. В якості умов правил виступають критерії, які використовуються при вирішенні питання подібності об'єктів. При ієрархічній кластеризації виконується послідовне об'єднання менших кластерів у великі (агломеративні методи) або розбиття (розділення) великих кластерів на менші (дівізімні методи).

Значна частина неієрархічних методів – це ітеративні методи, які за способом аналізу даних поділяються на чіткі та нечіткі. Нечіткі методи кластеризації дозволяють одному і тому ж об'єкту належати одночасно декільком (або навіть усім) кластерам, але в різній мірі. Нечітка кластеризація в багатьох ситуаціях більш «природня», чим чітка, наприклад, для об'єктів, що розташовані на межі кластерів. За кількістю застосувань алгоритмів кластеризації методи можуть бути з одноетапною та з багато етапною кластеризацією.

Процес кластеризації складається з двох фаз, які в свою чергу діляться на два етапи (рис. 1):

1 фаза: вибір головного вузла кластера СН (Cluster Head), формування кластера;

2 фаза: агрегація/збір даних і передача даних.



Рис.1. Фази кластеризації.

Як правило, методи кластеризації безпроводових сенсорних мереж класифікують в загальному виді по наступним атрибутам: характеристики кластерів, характеристики головних вузлів кластеру, за процесом проведення кластеризації, за стадіями кластеризації.

За характеристиками кластерів методи кластеризації можуть класифікуватися по кількості організованих кластерів в мережі - це може бути як фіксована, так і нефіксована (змінна) кількість кластерів. По розмірам кластери можуть включати однакову або різну кількість вузлів. Маршрутизація всередині кластерів виконується або односкачковим або багатоскачковим методом. Відповідно між кластерами всередині мережі, можуть використовуватись як односкачкові, так і багатоскачкові методи маршрутизації. Головні вузли кластерів за своїми функціональними можливостями бувають однорідними, тобто такими, що мають однакову ємність акумуляторів, потужність передавача та ін., та гетерогенними, які відрізняються між собою по даним можливостям. Класифікація відбувається також, за мобільністю (мобільні або стаціонарні), за виконуваними функціями (ретрансляція, збір даних, агрегація і т.п.), за управлінням (централізоване, децентралізоване, гібридне).

Призначення функцій вузлам може виконуватись визначено або випадково, так як і час формування кластерів, в деяких методах кластеризації є визначеним (детермінованим), в інших змінним. Зважаючи на обмеження безпроводової сенсорної мережі, з точки зору потужності передавача, пропускної здатності, ємності акумулятора (і т.п.) та для ефективного використання наявних ресурсів застосовують різні методи та алгоритми кластеризації.

На даний час в безпроводових сенсорних мережах найчастіше використовуються наступні методи кластеризації [3]:

- CACC (Clustering Algorithm based on Cell Combination);
- VAP-E (Energy-Efficient Clustering -Virtual Area Partition);
- CFL (Clustering for Localization);
- KOCA (K-Hop Overlapping Clustering Algorithm);
- LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) та різні його модифікації;
- TEEN (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols);
- DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering);
- GMAC (Group Mobility Adaptive Clustering) та інші.

Для збільшення часу функціонування безпроводової сенсорної мережі пропонується в кожному раунд роботи мережі вибір головного вузла кластера здійснювати на основі нечіткої логіки враховуючи особливості мережі.

Зокрема, в якості метрик можна використовувати наступні параметри:

- можливості функціонування (гетерогенні, однорідні);
- метод маршрутизації між кластерами та всередині кластеру (односкачкова, багато скачкова);
- мобільність (вузлів, головних вузлів, шлюзів);
- управління (централізоване, децентралізоване, гібридне);
- режими збору даних (по запиту, по графіку, по подіям).

Таким чином для збільшення часу функціонування безпроводової сенсорної мережі, було запропоновано метод кластеризації із використанням нечіткої логіки. В цьому випадку основна множина методів циклічного відключення надлишкової кількості вузлів може в деякій мірі збільшити час функціонування мережі, але вони не враховують вимог до мережі (особливо з питань надійності та живучості) і не забезпечують задане перекриття зон моніторингу та зв'язності вузлів, що буде враховано в наступних дослідженнях.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2008.-328с.
2. Бунин С.Г., Войтер А.П., Ільченко М.Е., Романюк В.А. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными импульсными радиосигналами. – Киев, Наукова Думка, 2012.
3. Gheisari M, Abbasi AA, Sayari Z, Rizvi Q, Asheralieva A, Banu S, Alwaysheh FM, Shah SBH, Raza KA (2020) A survey on clustering algorithms in wireless sensor networks: challenges, research, and trends. In: International computer symposium (ICS). <https://doi.org/10.1109/ICS51289.2020.00065>.

ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАГАЛЬНИХ ВИМОГ ДО БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

¹Лисенко О.І., ¹Новіков В.І., ¹Гетьман О.В., ²Фуртат О.В.

¹Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

²Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського, Україна

E-mail: novikov1967@ukr.net

APPROACH TO JUSTIFICATION OF GENERAL REQUIREMENTS FOR WIRELESS SENSORY ENVIRONMENTAL SENSOR NETWORKS

An approach to substantiation of general requirements for wireless sensor networks (OSM) for environmental purposes based on the integrated use of information from BSM on the monitoring of biotic and abiotic factors, taking into account the accumulation of pollution in the environment arising from the operation of distributed man-made.

Історично склалось так, що значна площа території України є найбільш трансформованою в результаті діяльності техногенних об'єктів. Після багаторічного техногенного навантаження на довкілля не проводились комплексні заходи щодо екологічного обстеження територій розподіленими техногенними об'єктами за виключенням ситуацій екологічного лиха.

Під розподіленими техногенними об'єктами (РТО) будемо розуміти випробувальні полігони, кар'єри, шахти, техногенні об'єкти із значною просторовою протяжністю та прилеглими територіями (наприклад, атомні електростанції), території захоронення забруднюючих речовин. а також відходів виробництва та життєдіяльності, зони стихійного лиха [1-4].

Проведений загальний аналіз функціонування РТО виявив високу потенційну загрозу впливу їх технологічних циклів на навколишнє природне середовище (НПС) [1-4]. Аналіз стану системи екологічного моніторингу РТО виявив наступні суттєві недоліки:

- методики оцінки та прогнозування стану НПС, що використовуються на теперішній час, непристосовані для РТО, які характеризуються специфічним, заздалегідь спланованим або випадковим імпульсним техногенним впливом;

- оцінювання стану довкілля РТО проводиться, головним чином, шляхом контролювання техногенного впливу агресивної техногенної діяльності і, при цьому, фактичний стан НПС майже не досліджується;

- відсутня система постійного спостереження за станом НПС. Спостереження починається лише у випадках виникнення надзвичайних ситуацій;

- для спостереження за якістю НПС застосовуються лише технічне обладнання і не використовується метод біоіндикації;

- в системі екологічного моніторингу НПС РТО відсутня всеохоплююча первинна різноманітна інформація, яка може бути отримана від безпроводових сенсорних мереж (БСМ).

В цих умовах стають актуальними розробка методів і методик формулювання вимог до БСМ, що постачають первинну інформацію для систем оцінки впливу еколого-небезпечних факторів РТО на НПС. Завдяки отриманню якісної та кількісної інформації від БСМ ці системи дозволять об'єктивно, точно, достовірно та економно витрачати ресурси, виділені на природоохоронну діяльність та захист НПС від впливу РТО.

В екологічних дослідженнях під об'єктивністю екологічного моніторингу розуміють незалежність оцінки та прогнозування стану наземних екосистем РТО від суб'єкту, який виконує спостереження, тобто сприйняття досліджуваного об'єкту або процесу так, як вони дійсно існують. Об'єктивність дозволяє зробити висновок у відповідності з зібраним матеріалом, не дивлячись на те, чи співпадають ці висновки із загальноприйнятими поняттями, навичками, мораллю або хорошим тоном, з попередніми авторами та поглядами визначних авторитетів з даного питання [1-8]. Це може бути досягнуто завдяки розгортанню БСМ за рахунок:

- приладових (об'єктивних) вимірів рівня забруднення;

- обґрунтованих в системній екології контактних способах вимірювання та наступних оцінки й прогнозуванні стану НПС;

- строгого використання математичного апарата теорії ідентифікації систем (їх структури та параметрів), оцінки та прогнозування стану цих систем.

Для реалізації комплексної оцінки та прогнозування впливу техногенної діяльності на стан екосистеми РТО пропонується застосувати метод декомпозиції з використанням імітаційного моделювання та інформаційного забезпечення алгоритмів моніторингу, що отримується від спеціально розгорнутої під даний РТО безпроводової сенсорної мережі [1-8].

Для досягнення мети статті необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз джерел багатокомпонентного забруднення екосистеми РТО.

2. Визначити розподіл забруднюючих речовин на території екосистеми РТО взагалі і на функціональних об'єктах зокрема.

3. Провести аналіз існуючих методик оцінки та прогнозування стану екосистем РТО.

4. Розробити процедуру визначення складу вектору забруднення наземних екосистем РТО.

5. Розробити алгоритм вибору датчиків (сенсорів) первинної інформації (ДПІ) для використання у сенсорній мережі.

6. Провести аналіз, пошук та обґрунтування технічної реалізуємості такого вектору спостереження, який забезпечує спостерігаємість наземної екосистеми у розумінні виконання критеріїв спостерігаємості - тобто необхідно розв'язати задачу спостерігаємості системи з урахуванням технічних можливостей формування вектору спостережень.

7. Побудувати такий алгоритм обробки вектору спостережень, що забезпечує отримання оцінки всього вектору стану наземної екосистеми.

8. Виконати агрегування біологічних компонентів наземних екосистем та вибір математичної моделі її функціонування.

9. Створити математичну модель спостерігача наземної екосистеми РТО з врахуванням техногенного впливу його функціонування.

10. Моделювання впливу забруднення на стан екосистеми відбувається через параметри математичної моделі, які залежать від узагальненого показника забруднення - індексу забруднення.

11. Розробити методику, що дозволяє комплексувати різноманітну інформацію для вирішення задачі оцінки та прогнозування стану наземних екосистем РТО.

12. Створити модель оцінки та прогнозування стану наземних екосистем функціональних об'єктів РТО з високою та низькою інтенсивністю екологічного впливу.

13. Створити модель оцінки та прогнозування стану екосистеми вільної від впливу РТО (модель еталонної екологічної зони).

14. Виконати математичне моделювання стану наземних екосистем об'єктів РТО з урахуванням факторів його функціонування, погодно-кліматичних умов та відновлювальних (реабілітаційних) факторів.

15. Провести прогнозування стану наземних екосистем РТО з врахуванням реальних планів його використання.

16. Провести експериментальні дослідження стану екосистем РТО.

Запропонований підхід обґрунтування вимог до БСМ інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій РТО вказує на необхідність передбачити використання у складі БСМ датчиків первинної інформації про стан біотичних та абіотичних факторів НПС РТО.

Використання БСМ, склад сенсорів якої та їх розміщення будуть обґрунтовані на основі запропонованого підходу, дозволять застосувати концепцію індексно-біоіндикаторного підходу до побудови інтегральної оцінки поточного та прогнозного станів НПС РТО і тим самим забезпечити об'єктивність, точність та достовірність цих оцінок і, в кінцевому результаті, сталий розвиток регіону розташування РТО, тобто, завдяки використанню БСМ зробити ці РТО „зеленими”.

Література

1. Агробіорізноманіття України: Теорія, методологія, індикатори, приклади. Книга 1 / За редакцією О.О. Созінова, В.І. Придатка. – К.: ЗАТ «Нічлава», 2005. – 384 с.
2. Романченко І.С., Сбітнєв А.І., Бутенко С.Г. Екологічна безпека: екологічний стан та методи його моніторингу. - К: “Полісся”, 2006. – 560 с.
3. А.Б.Качинський, “Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення”. - К.: НІСД, 2001. – 312 с. – (Сер. ”Екологічна безпека”; Вип. 5).
4. Романченко І.С., Сбітнєв А.І., Чумаченко С.М., Слободяник В.А. Методологічні підходи до створення бази даних для системи керування станом навколишнього середовища в Збройних Силах України // Наука і оборона. – 2003. – №3. – С.50-56
5. Галченко Ю.П. Методические подходы к оценке техногенного воздействия через изменение компонентов экосистем // Экологические системы и приборы, №1, 2003.- С. 29-37.
6. Данилишин Б.М., Ковтун В.В., Степаненко А.В. Наукові основи прогнозування природно-техногенної (екологічної) безпеки: Монографія. – К.: Лекс Дім, 2004. – 552 с.
7. Лысенко А.И., Чумаченко С.Н., Чеканова И.В., Турейчук А.Н. Математическая постановка задачи оптимального управления экологическим состоянием техногенно нагружаемых территорий. Адаптивні системи автоматичного управління // Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип.5(25) – Дніпропетровськ: Системні технології, 2002. – С. 45-55.
8. Olexander Lysenko - Olena Tachinina - Valeriy Novikov - Iryna Alekseeva - Serhii Chumachenko - Andrii Tureichuk: EXPERT-MODELING DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE DEPLOYMENT AND MANAGEMENT OF A WIRELESS SENSOR NETWORK WITH MOBILE SENSORS AND TELECOMMUNICATION AIR PLATFORMS IN THE EMERGENCY ZONE SECURITY FORUM 2021 14th Annual International Scientific Conference February 10 th, 2021 at Matej Bel University in Banská Bystrica, Slovakia Conference Proceedings Banská Bystrica, Slovakia 2021 с. 249-258. ISBN 978-80-973394-5-6. Link to the web-page: <https://www.fpvmv.umb.sk/fakulta/bezpecnostne-forum>. Link for the direct download: <https://www.fpvmv.umb.sk/drive/2021-11-04/security-forum-2021.pdf>.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ДЛЯ МАНЕВРУЮЧИХ БПЛА МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ З ДРОБОВИМИ ПОЛІНОМАМИ ТА ПОЛІНОМАМИ ЧЕБИШЕВА

Цуканов О.Ф., Якорнов Є.А.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: cukanov-o@ukr.net

COMPARATIVE ESTIMATION OF MOTION PARAMETERS FOR MANEUVERING UAVS BY THE LEAST SQUARES METHOD WITH FRACTIONAL POLYNOMIALS AND CHEBYSHEV POLYNOMIALS

A comparative estimation of motion parameters for maneuvering UAVs is presented by the least squares method with fractional polynomials and Chebyshev polynomials for different widths of the "sliding window", simulation results are presented.

В даний час відбувається інтенсивне використання безпілотних літаючих апаратів (БПЛА) у різних напрямках діяльності людства: повітряне фото- та відео-зйомка приватних та засекречених об'єктів, спостереження в реальному часі за наземними промисловими та військовими об'єктами, доставка товарів та продуктів до споживачів, а також при розв'язанні низки інших специфічних завдань. Застосування в терористичних, військових цілях, або вторгнення у приватне життя, породжує необхідність розробки систем безпеки, які вирішують завдання виявлення БПЛА, визначення його розташування та параметрів руху, особливо при їх використанні у складі сенсорних мереж.

При створенні таких мереж, одним із завдань, з яких доводиться стикатися розробникам, - це визначення параметрів руху таких БПЛА та особливо квадрокоптерів з високою точністю. Траєкторію останніх, необхідно описувати на кожній ділянці польоту системою диференціальних рівнянь, оскільки рух таких БПЛА можна розглядати, як траєкторію об'єкту, що постійно маневрує, через вплив зовнішніх факторів (вітер, тиск на певній висоті).

У роботі [1], на основі математичного апарату змішаних марковських процесів у дискретному часі, синтезовано оптимальний та квазіоптимальний адаптивні алгоритми фільтрації параметрів руху БПЛА за даними сенсорної мережі на основі вимірювання потужності прийнятого сигналу, що не завжди прийнятне. Також з оцінки параметрів руху маневруючого БПЛА доцільно застосовувати адаптивний підхід з урахуванням рекурентного фільтру Калмана. Основним недоліком останнього є той факт, що у разі постійного

короткочасного маневру фільтр Калмана завжди працюватиме на перехідній ділянці, а відомо, що максимальна точність оцінювання досягається саме на стаціонарній ділянці. Це означає, що алгоритми з перехідною ділянкою, як правило, рекурентні, не застосовують для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують.

Тому для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують порівняємо можливості методу найменших квадратів у "ковзному вікні" [2, 3] та дробових поліномів на основі ряду Тейлора [4].

Як робочі співвідношення вибираємо алгебраїчний поліном виду:

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_1 t^2 + a_1 t^3. \quad (1)$$

Багаточлени Чебишева першого роду мають вигляд:

$$\begin{aligned} T_0(x) &= 1; \quad T_1(x) = x; \quad T_2(x) = 2x^2 - 1; \quad T_3(x) = 4x^3 - 3x; \\ T_n(x) &= 2x T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= a_0 + a_1 t + a_2 (2t^2 - 1), \\ y(t) &= a_0 + a_1 t + a_2 (2t^2 - 1) + a_3 (4t^3 - 3x). \end{aligned} \quad (3)$$

Дробні поліноми на основі ряду Тейлора запишемо у вигляді:

$$y(t) = a_0 + a_1 t^{0.5} + a_2 t^{1.5}. \quad (4)$$

$$y(t) = a_0 + a_1 t^{0.5} + a_2 t + a_3 t^{1.5} \quad (5)$$

Передбачається, що БПЛА постійно здійснює маневр відповідно до поліному третього порядку та параметрами шуму розподіленого за нормальним законом розподілу з нульовим середнім і дисперсією 25 м^2 .

При цьому відомо, що багаточлени Чебишева в інтервалі $[-1; 1]$, тому "ковзне вікно" має найкраще наближення серед усіх відомих багаточленів, а багаточлени (4)-(5) аналізуються в інтервалі $[1; 5]$.

Результати моделювання показано на рис. 1-2 де: Nfr=1/2 поліном (5) ступеня 1.5; Nal =3 ступінь полінома 3; E cheb, E frac, E alg – помилки оцінювання відповідним поліном; W - ширина "ковзного вікна".

З графіків на малюнках видно, що максимальна точність оцінювання, має місце під час використання полінома (4). Це пов'язано з величиною $W=12$. Аналогічний результат представлений і на рис.2 для ступеня 1.5.

Результати моделювання також показують, що, якщо ширину вікна, що ковзає, зменшити в 2 рази ($W=6$), то максимальна точність оцінювання буде у багаточлена Чебишева 3 порядку. У той же час, при використанні багаточлена Чебишева 2 порядку, кращу точність показує поліном (4), а при використанні полінома (5), максимальна точність буде у багаточлена Чебишева другого та третього порядку.

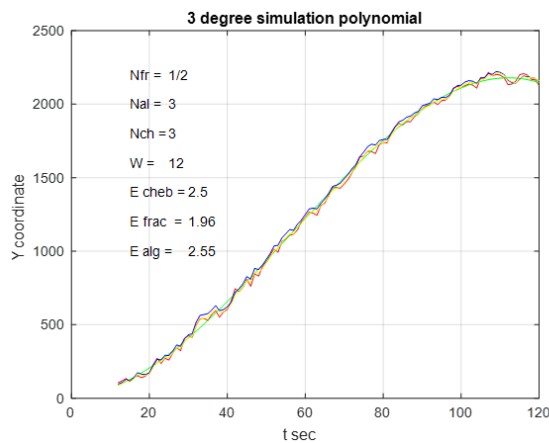


Рис.1. Результати моделювання поліном ступеня 1.5 при $N_{fr}=1/2$.

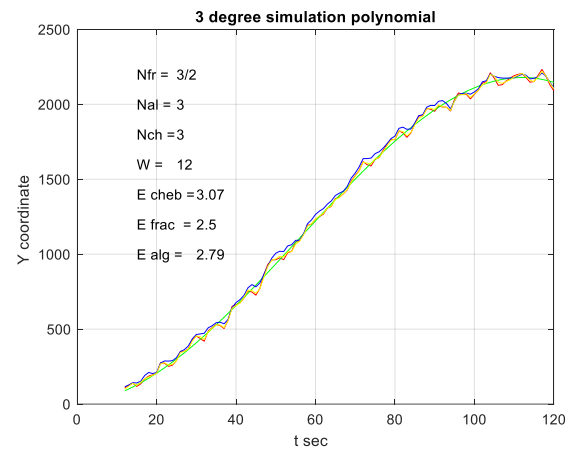


Рис.2. Результати моделювання поліном ступеня 1.5 при $N_{fr}=3/2$.

Таким чином, порівняння розглянутих вище методів оцінювання показує, що при невеликій ширині "ковзного вікна", максимальна точність досягається застосуванням багаточленів Чебишева, а при великій ширині - дробних рядів Тейлора.

Звідси випливає, що ідеальних поліномів для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують немає та необхідно створювати адаптивні алгоритми з урахуванням комбінації різних методів.

Література

1. Товкач И. О., Жук С. Я. Адаптивная фильтрация параметров движения БПЛА по данным сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала. Вестник НТУУ «КИИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратное строение. 2017. № 69. с. 41-48.
2. Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. Визначення параметрів руху маневруючих безпілотних літальних апаратів у мережах FANET.// Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи телекомунікацій» (ПТ-19) К.: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2019, с. 285 – 287.
3. Y. Yakornov, O. Tsukanov Estimation of the Motion Parameters of Unmanned Aircraft of Wireless Sensor Networks Using Taylor Fractional Series. 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (IEEE UkrMiCo'2021), Kyiv, Ukraine, November 29 – December 3, 2021, pp. 212-215.
4. D. Sierociuk "Fractional Kalman Filter algorithm for states, parameters and order of fractional system estimation", *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 2006, Vol.16, No.1, pp, 129–140.

ПРОПРІЄТАРНИЙ ПРОТОКОЛ ЗВ'ЯЗКУ МІНІТЕПЛИЦЬ PANMAC

Нідченко І. А., Ільченко М. Ю., Лисенко О. І.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: nidchenkoilya@gmail.com

PROPRIETARY COMMUNICATION PROTOCOL PANMAC FOR MINI-GREENHOUSES

The article describes possible solutions for connecting a mini-greenhouse control system by a proprietary protocol PanMAC. It shows the main advantages of using custom communication stack.

Поява технологій малопотужних глобальних мереж LPWAN дозволила розробити революційні додатки у сфері Інтернету речей, яка охоплює безліч пристроїв на великій території. Однак підключення може бути проблемою для не прямої видимості в експлуатаційних приміщеннях або для районів без достатнього покриття.

Для збільшення ефективності зв'язку мінітеплиць при наявній пропускній здатності пропонується використання пропрієтарного протоколу зв'язку PanMAC. PanMAC використовує технологію LoRa для підтримки низького споживання і розширення зони покриття. PanMAC заснований на прогнозуванні пробудження комунікаційних модулів мінітеплиці для досягнення тривалого терміну служби модулів з сенсорами.

LoRa є найдешевшою технологією у реалізації для комерційного використання, що дає можливість використовувати цей вид технології у Інтернеті речей через її основні характеристики:

- Вузькосмуговий/широкосмуговий діапазон: вона може працювати однаково як у вузькосмуговому, так і в широкосмуговому діапазоні, оскільки пропускна здатність і центральна частота масштабуються і легко адаптуються до будь-яких вимог для застосування.

- Постійна огибаюча: інформація сигналу полягає у зміні частоти і є незалежною амплітудою. Тоді малопотужний високоефективний підсилювач потужності може працювати при насичення на рівні або біля нього.

- Висока надійність: символи дуже довгі в порівнянні з пропускною здатністю, що забезпечує чудовий результат стійкості до перешкод сусідніх каналів.

- Псевдоортогональність: це може бути однією з найбільш актуальних і цікавих характеристик у LoRa. Коефіцієнти розповсюдження мають ефект, який дозволяє правильно передавати/отримувати декілька сигналів в каналі одночасно, якщо вони використовують різні коефіцієнти розповсюдження. Цю функцію можна розширити до комбінації каналів, що перекриваються,

якщо різниця потужності між ними велика достатньо, щоб розглядати перешкоди як шум.

- Стійкість до багатопроменевості/згасання: імпульси сигналу мають відносно велику тривалість, тому вони стійкі до багатопроменевості та згасання сигналу.

- Доплерівська стійкість: мобільний зв'язок коректно підтримується LoRa, починаючи з ефекту Доплера створює лише невеликий і незначний зсув частоти в імпульсі, який не вимагає дуже точного джерела годинника.

- Локалізація: LoRa підходить для визначення дальності розташування передавача завдяки здатності розрізняти між частотними та часовими помилками, які можуть бути викликані багатопроменими ефектами, подібними до застосування радарів.

Ключові особливості стеку протоколу PanMAC полягають у наявності кожного модуля:

- Pan-ID – ідентифікаційний ключ, у якому зашифровано тип модулю.
- Status – статус пристрою
- Object Dictionary – словник об'єктів-показників представленого модулю.

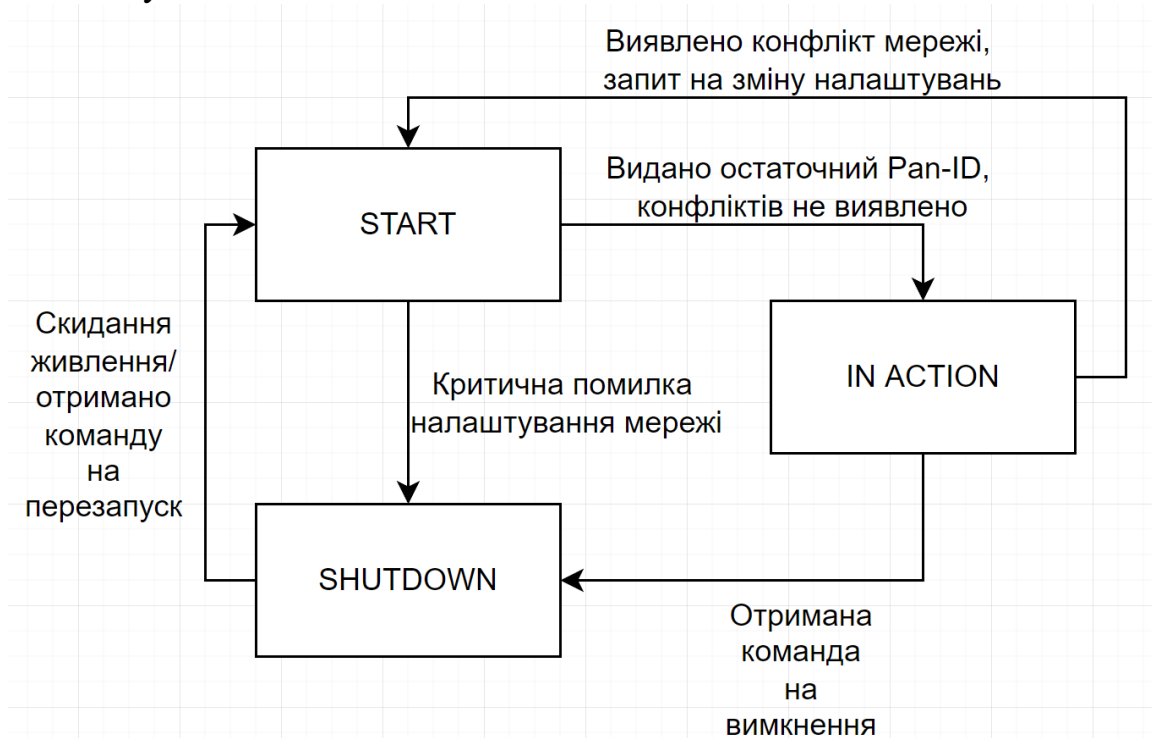


Рис. 1. Алгоритм роботи стеку комунікацій за наданою стейт-машиною.

Обраний стек комунікацій також має декілька сервісів для налаштування, обробки та передачі інформації між модулями. Основі сервіси:

- 1) Сервіс налаштування слоїв
- 2) Сервіс даних об'єкту
- 3) Сервіс критичних сповіщень

Вміст словнику об'єктів прив'язаний до ідентифікаційного ключа, отож майстер заздалегідь знає структуру і розмірність словника кожного модулю.

Із вищезазначених особливостей може виникнути проблема, коли клієнт має декілька модулів у одній мережі з однаковими Rap-ID. Для вирішення цієї задачі використовується спеціальний сервіс з налаштування слоїв поточного стеку. За допомогою цього сервісу при кожному старті мережі майстер змінює ідентифікаційний код кожного модулю, шифруючи у його новому значенні порядковий номер та ще один унікальний код. Порядковий номер зберігається у енергозалежній пам'яті, а унікальний код – у енергонезалежній. При цьому порядковий номер використовується лише при старті системи для швидкого вирішення усіх конфліктів адресації модулів.

Зазначені параметри у словниках об'єктів іноді потребують доступ для зчитування головним пристроєм. Для цього використовується сервіс даних об'єкту, за яким можливо отримувати значення з словнику об'єктів.

Деякі параметри або дії мають критичне значення для роботи системи, тому можуть бути оброблені за допомогою сервісу критичних сповіщень.

Наявний параметр у кожного модулю Status інформує про поточний стан пристрою. Існує 3 основні стани: «старт», «активний», «вимкнення». Цей параметр допомагає у інформуванні мережі для коректного налаштування модулів.

Запропонований протокол також проявляє свою ефективність у використанні кластерів мінітеплиць, що пов'язані між собою територіально, а отже можуть використовувати показники сусідніх мінітеплиць або розраховувати середні значення температур, тиску та вмісту газу для збільшення точності вимірів.

Література

1. Нідченко І. А., Лисенко О. І., Інформатизація процесу управління мінітеплицею. V - Міжнародна науково-практична конференція «Відкриті еволюційні системи», 19 - 21 травня 2020 р, Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського. - С.120-122.
2. Нідченко І. А., Лисенко О. І., Система управління мінітеплицею. Проблеми інформатизації: Матеріали п'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції, 9 – 10 квітня 2020 року. - Київ : НАУ, НТУ; Полтава: ПНТУ; Катовице: КЕУ; Париж: Університет Париж VII Венсент-Сен-Дені; Вільнюс: ВДТУ; Харків : ХНДІТМ: Білорусь: БДАЗ, 2020. – С. 106.
3. Нідченко І. А., Лисенко О. І., Інформаційно-телекомунікаційна система управління мінітеплицею з використанням сервісного робота. XIV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2020: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 275-277.
4. Нідченко І. А., Лисенко О. І., Сукало М. Л. Удосконалення інформаційно-телекомунікаційного забезпечення автоматизованої системи управління мінітеплицею С.132-135. Наукові праці Третьої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 25–26 січня 2021 р. (Київ, Україна). – К. : НУХТ, 2021. – 182 с. Надано у Польщі: ISBN 978-83-956296-3-1 © НУХТ, 2021.

ПРОЦЕДУРИ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СКЛАДУ СЕНСОРІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

¹Лисенко О.І., ¹Новіков В.І., ²Алексеева І.В., ³Кірчу Ф.І.

¹Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

²Фізико-математичний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

³ROESYS MedTec GmbH, Німеччина

E-mail: novikov1967@ukr.net, lysenko.a.i.1952@gmail.com

PROCEDURES FOR SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS FOR THE COMPOSITION OF SENSORS OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK OF THE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

The requirements for the composition of the sensors of the primary information of the wireless sensor network of the information support of the procedures and algorithms of the system of ecological monitoring of the distributed man-made object are substantiated.

Моніторинг екосистеми розподіленого техногенного об'єкту (РТО) – це апаратно-аналітична система спостережень, ідентифікації, контролю стану мікро- та мезоекологічних систем, що знаходяться на території РТО, а також локальної екосистеми всього РТО в цілому у складі регіональної екосистеми з метою прогнозування розвитку природно-техногенних процесів на РТО під впливом факторів функціонування РТО. Цей моніторинг використовується для підтримки прийняття рішення щодо управління станом навколишнього природного середовища (НПС) РТО [1-8].

В системі екологічного моніторингу РТО, що існує на теперішній час, відсутній постійний безперервний збір та попередня аналітична обробка інформації. Вона надається лише за запитом від верхнього за ієрархією рівня, або в разі безпосереднього виникнення надзвичайної ситуації екологічного характеру. За таких умов, у разі виникнення надзвичайних ситуацій екологічного характеру або терористичних дій із застосуванням різного роду небезпечних речовин, відсутня можливість оперативного оповіщення відповідних державних служб. Розгляд діяльності РТО виявив той факт, що заходи із застосування нової техногенно-небезпечної техніки супроводжуються утворенням специфічних негативних впливів, які не мають аналогів у інших видах людської діяльності. Це означає відсутність сенсорів, які б могли своєчасно фіксувати появу цих небезпечних речовин.

Таким чином інформаційне забезпечення системи екологічного моніторингу РТО не забезпечує належний рівень спостереження процесів на території розташування РТО та на функціональних об'єктах РТО. Ця обставина вимагає проведення спеціальних теоретичних досліджень щодо методичного забезпечення вирішення задачі формування якісного складу

вектору вимірювань факторів функціонування РТО і ці вимірювання буде отримано від датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі [9].

Пропонується в якості головного методологічного підходу щодо розробки вимог до складу комплексу сенсорів БСМ з'ясування наступної моделі входної, по відношенню до процедури, інформації, яка забезпечує виконання відповідних розрахунків в інтересах спостереження стану забруднення природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів:

1. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) завдяки розробці алгоритму обчислення індексу забруднення наземної екосистеми РТО.

Аналіз питання оцінки стану забруднення наземної екосистеми РТО показав, що для вирішення цієї задачі достатньо контролювати поточні, фонові та гранично допустимі параметри забруднення екосистеми та функціональні параметри РТО [2].

2. Процедура визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного забезпечення алгоритмів моніторингу наземної екосистеми РТО, що побудована на основі визначення складу вектору їх забруднення. До складових вектору забруднення (ВЗ) Z входять концентрації речовин, які забруднюють повітряні, наземні, поверхневодні, ґрунтововодні, ґрунтові складові екосистеми [2].

3. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) завдяки побудові процедури визначення показників фонових забруднень наземної екосистеми РТО. Для обчислення індексу забруднення необхідно знати показники фонових рівнів забруднення наземної екосистеми РТО ($C_{фон}$) [3, 4].

4. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) на основі аналізу інформації про гранично допустимі показники забруднення. Для визначення допустимих рівнів антропогенного впливу проводиться екологічне нормування якості екосистеми. В його основі та в якості кількісної міри припустимого екологічного навантаження використовуються гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин.

5. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) на основі запиту на інформацію про параметри розподіленого техногенного об'єкту. При моделюванні стану наземної екосистеми потрібні вихідні дані щодо параметрів РТО, особливостей наземної екосистеми, виду та інтенсивності функціонування РТО. Індивідуальні дані для кожного РТО будуть різними, але основний набір базових даних є загальним. Цей набір можливо вважати загальноприйнятим для всіх РТО. Крім того, може бути сформований

специфічний набір даних, що забезпечує додаткову інформацію для системи управління станом природного середовища РТО [2-4].

6. Процедури обґрунтування загальних вимог до апаратного забезпечення процесу збору інформації про забруднення наземної екосистеми РТО. Датчики первинної інформації (ДПІ) про стан забруднення екосистеми можуть бути технічними та біотичними (біоіндикатори).

Таким чином зазначені основні процедури визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі забезпечують адекватне спостереження за станом наземної екосистеми РТО завдяки вимірюванню векторів поточного та фоновго забруднень при умові оптимізації комплексу сенсорів, що для цього вимірювання використовуються.

Для всеохоплюючого інформаційного забезпечення процедур і алгоритмів екологічного моніторингу розподілених техногенних об'єктів слід використовувати безпроводові сенсорні мережі із стаціонарними та (або) мобільними мультисенсорами, що забезпечують спостереження за біотичними та абіотичними параметрами природного середовища РТО.

Література

1. Лисенко О.І., Гуйда О.Г. і т.д. ТНУ, №6 2021 Методика обґрунтування вимог до безпроводових сенсорних мереж інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів.
2. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління/ Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев, Ю.Л. Забулонов, Ю.Є. Тищенко. – К. : Наук. думка, 2014. – 328 с.
3. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар. – К.: Вид-во Нац. авіац. Ун-ту „НАУ - друк”, 2009. – 312 с.
4. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюнник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: Монографія. – Х. : НУЦЗУ, 2016. – 319 с.
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – К. : „Наукова думка” НАН України, 2008. -542 с.
6. Биченок М.М., С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. Ін-т пробл. Нац. Безпеки Ради нац. Безпеки і оборони України. - К. : 2008. – 160 с.
7. Окружающая среда: Энциклопедический словарь. Справочник.: Пер. с нем. – М.: Прогресс, 1993.-640 с.
8. Чумаченко С.М., Турейчук А.М., Слободяник В.А. Високоточне адаптивне оцінювання негативного впливу озброєння та військової техніки на навколишнє середовище // Збірник матеріалів науково-практичної конференції “Актуальні проблеми військової екології”, 16-17 жовтня 2003р. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2003. – С. 37-38.
9. O. Lysenko, O. Tachinina. Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles. Proceedings of the National Aviation University. –K.: NAU, 2020. –№ 2(83). – pp. 13-19. DOI: 10.18372/2306-1472.83.14629.

РОЗРОБЛЕННЯ ЛЧМ-РАДАРУ БЛИЖНЬОЇ ДІЇ ДЛЯ РОБОТИ В ТЕРАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ

Авдєєнко Г.Л., Наритник Т.М.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: django2006@ukr.net

DESIGN OF THE SHORT-RANGE FMCW RADAR OF THE TERAHERTZ BAND

This paper present the design of short-range frequency-modulated continuous wave (FMCW) radar prototypes of terahertz band ($f > 100$ GHz). It based on the application of Silicon Radar integrated circuit (IC) transceiver modules of TRX120_001 and TRA120_002. The theoretical assessment of radar range and its accuracy for various parameters of digital signal processing are presented. The block diagram of terahertz FMCW radar are developed. The printed-circuit board of radar transceiver are developed and successfully tested with usage of SiRad Easy evaluation board. This paper must be useful for radar specialists, radar and telecommunication equipment vendors.

На сьогоднішній день терагерцовий діапазон (100 ГГц – 3 ТГц) став цікавим для проведення наукових досліджень та виробництва засобів телекомунікацій, радіолокації, медицини тощо [1]. Деякі компанії, такі як Silicon Radar, Texas Instruments, виробляють інтегральні схеми (ІС) для радарів малої дальності в терагерцовому діапазоні, які почали широко використовуватися в промисловості (датчики ІоТ, автоматизація виробництва, вимірювання рівня рідини, мастил, палива в цистернах), робототехніці (локація об'єктів, уникнення зіткнень), для дронів та БПЛА (попередження зіткнення, безпечна посадка), в автомобілях (допомога при паркуванні, водіння), медицина (контроль дихання) та інші. Такі радарні пристрої використовують ЛЧМ-сигнал і називаються ЛЧМ-радарами (FMCW radar). Вони забезпечують компактне та економічне технічне рішення для вимірювання на короткій відстані (до 300 м) з високою точністю. Наприклад, ЛЧМ-радары, що використовуються в промисловості для контролю рівності поверхонь матеріалів, мають точність 200 мкм на відстані 50 мм [2]. У деяких зразках промислових ЛЧМ-радарів отримано точність визначення від 1 мм до 30 мм на відстані до об'єкта до 30 м [3]-[5].

У даній тезі представлено результати розроблення плати трансиверу терагерцового діапазону для ЛЧМ-радара на основі ІС TRX120_001/TRA120_002 (рис.1). Ця плата була успішно протестована з використанням стандартних оціночних плат радара SiRad Easy від компанії Silicon Radar.

Блок-схему ІС приймально-передавальних модулів (трансиверів) TRX120_001 і TRA120_002 Silicon Radar для ЛЧМ-радарів показано на рис.2. Інтегральна схема модуля складається з гетеродину, тракту передачі та тракту прийому. Гетеродин складається з генератора, керованого напругою

(VCO), дільника частоти на 32 і двовихідного підсилювача потужності. Виходом VCO є ЛЧМ-сигнал з несучою частотою 120 ГГц, який керується сигналами $Vt0...Vt1$ від ІС ФАПЧ синтезатора ADF4159. Вихідні сигнали дільника частоти $divn$, $divp$ утворюють коло зворотного зв'язку синтезатора частоти. Тракт передачі складається з підсилювача потужності та передавальної антени. Приймальний тракт складається з приймальної антени, малошумного підсилювача (МШУ), підсилювача потужності та понижуючого I/Q-змішувача.

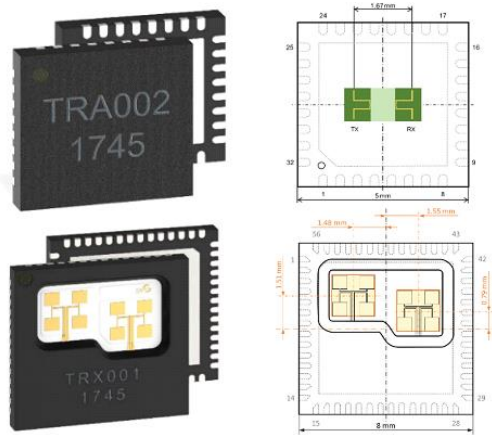


Рис. 1. Зовнішній вигляд ІС прийомо-передавачів TRX120_001/TRA120_002.

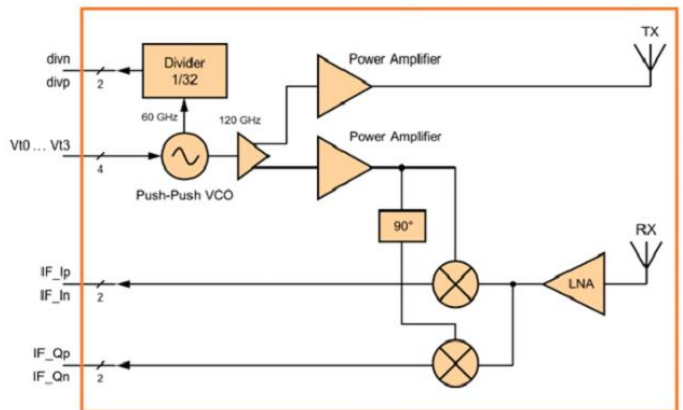


Рис. 2. Структурна схема ІС прийомо-передавача TRX120_001/TRA120_002.

Основними параметрами приймально-передавального модуля є: вихідна частота VCO $f_{out} = 119,3...125,8$ ГГц; діапазон хитання частоти VCO $\Delta f = 5,5...7,5$ ГГц; кількість регульованих частотних смуг = 8; напруга живлення $V_{cc} = 3,3$ В; споживаний струм $I_c = 112...125$ мА; вихідна потужність передавального тракту $P_{tr} = -7...+1$ дБм; вихідна частота дільника частоти

$f_{div} = 1,84...1,99$ ГГц; коефіцієнт підсилення приймального тракту $G = 8..10$ дБ; коефіцієнт шуму приймача $N_F = 8,7$ дБ; діапазон проміжних частот $f_{IF} = 0...200$ МГц; Дисбаланс амплітуди I/Q = 3 дБ; дисбаланс фаз I/Q = $-10^\circ...10^\circ$; коефіцієнт поділу частоти $N_{div} = 64$; габаритні розміри 8×8 мм² (TRX120_001) і 5×5 мм² (TRA120_002); тип антени – патч 4x4 (TRX120_001), дипольна (TRA120_002).

Спрощена структурна схема запропонованого ЛЧМ-радару діапазону 122 ГГц з використанням інтегрального модуля TRX120_001/TRA120_002 представлена на рис.3. Він складається з двох плат: плати трансиверу (Board №1) і плати синтезатора частоти ФАПЧ/плати аналогової обробки IQ (Board №2). Електрична схема плати трансиверу була розроблена за допомогою програмного забезпечення для проектування друкованих схем Altium Designer. Також були побудовані 2D та 3D моделі плати трансиверу, які представлено на рис.4. Плата трансиверу виготовлена на двосторонньому скловолоконному ламінаті FR4 діаметром 35 мм та товщиною 1 мм. Експериментальні дослідження виготовленої плати трансиверу ЛЧМ-радару (рис.5) у поєднанні з синтезатором частоти/платою аналогової обробки

сигналу IQ та платою контролера Nucleo STM32 стандартного оціночного комплекту плат SiRad підтвердили працездатність розробленої плати трансиверу для ЛЧМ-радару на базі модуля TRX120_001 (рис.6).

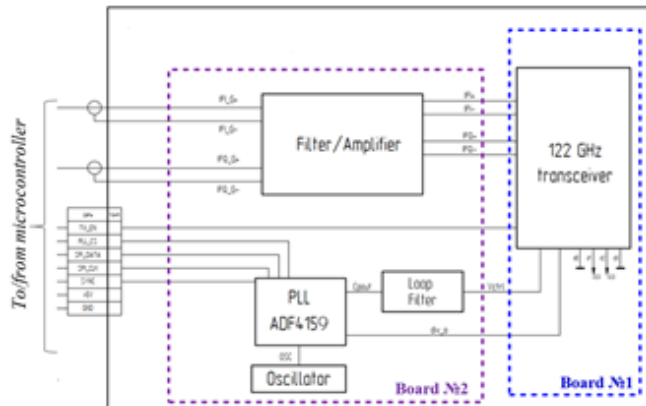


Рис.3. Структурна схема запропонованого ЛЧМ-радару діапазону 122 ГГц.

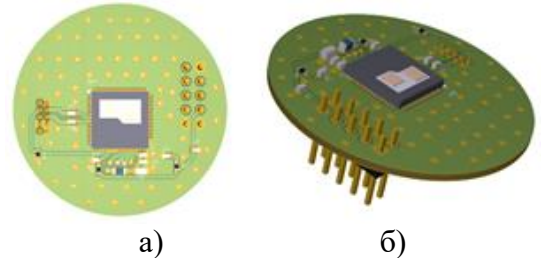


Рис.4. 2D (а) та 3D (б) моделі плати трансивера на базі IC TRX120_001.

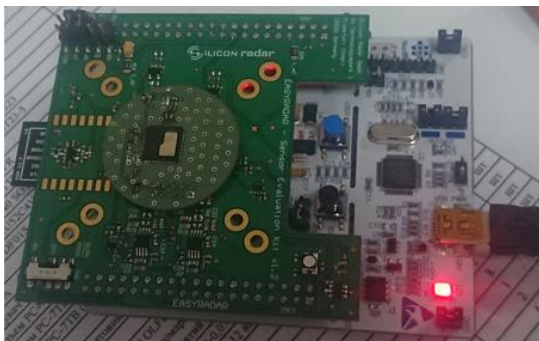


Рис.5. Устаткування для тестування розробленої плати трансивера ЛЧМ-радару.



Рис.6. Візуалізація результатів вимірювання дальності.

Висновок. Представлено та розроблено плату прийомо-передавача терагерцового діапазону для ЛЧМ-радару на базі IC TRX120_001/TRA120_002. Ця плата була успішно протестована з використанням стандартного оціночного комплекту плат SiRad Easy від компанії Silicon Radar.

Література

1. M. Ilchenko, T. Narytnyk, G. Avdeyenko "Wireless Communication Systems of Terahertz Frequency Range", Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, 212 LNNS, pp. 189–222.
2. S. Scherr, B. Gottel, S. Ayhan, A. Bhutani, M. Pauli, W. Winkler, J. Scheytt, T. Zwick "Miniaturized 122 GHz ISM band FMCW radar with micrometer accuracy", 2015 European Radar Conference, EuRAD 2015 – Proceedings, December 2015, pp. 277-280.
3. M. Pauli, B. Göttel, S. Scherr, A. Bhutani, S. Ayhan, W. Winkler, T. Zwick "Miniaturized Millimeter-Wave Radar Sensor for High-Accuracy Applications", IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol.65, Issue 5, May 2017, pp. 1707-1715.
4. C. Zech et al., "A compact W-band LFMCW radar module with high accuracy and integrated signal processing," in Proc. Eur. Microw.Conf. (EuMC), Sep. 2015, pp. 554–557.
5. K. Schmalz, W. Winkler, J. Borngräber, W. Debski, B. Heinemann, and J. C. Scheytt, "122 GHz ISM-band transceiver concept and silicon ICs for low-cost receiver in SiGe BiCMOS," in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., May 2010, pp. 1332–1335.
6. TRX_120_001 120-GHz Highly Integrated IQ Transceiver with Antennas in Package in Silicon Germanium Technology.

СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРСУ

Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В.

Навчально науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: yavisya42@gmail.com

ORIENTATION SYSTEM FOR TELECOMMUNICATION NANOSATELLITES FOR MARS RESEARCH

An analysis of the ways of orientation and stabilization of telecommunication nanosatellites for the study of Mars. Known methods are evaluated in terms of their practical implementation with restrictions on weight, size and energy consumption. A complex method of orientation and stabilization of telecommunication nanosatellites is proposed, which additionally allows to change their orbit.

На сьогодні існує багато проектів щодо колонізації та дослідження Марсу. Після розгортання першого поселення на Марсі передбачається вирішення завдань, щодо дослідження його поверхні. Отже необхідно потурбуватися про створення системи зв'язку та навігації для дослідників, яким необхідно віддалятися від базового поселення на значні відстані.

Доцільним буде застосування супутникових засобів. В такому разі процес виведення супутників на орбіту Марсу не вимагатиме запуску ракет-носіїв з поверхні планети. Супутники зв'язку можуть там опинитись практично одразу після від'єднання від корабля, що здійснює доставку вантажів, на етапі наближенні його до Марсу.

З погляду на це, одним з можливих варіантів побудови системи супутникового зв'язку на Марсі, розглядається використання угруповання, що складається з наносупутників (НС).

Для виконання функцій, що покладаються на окремий НС необхідно передбачати засоби керування положенням НС на його орбіті.

Взагалі 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 НС. Активні методи стабілізації реалізують за допомогою двигунів-маховиків, моментного магнітоприводу 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.

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 впродовж коротких інтервалів часу. Таким чином, система орієнтації телекомунікаційного НС повинна будуватись на активних методах.

Потрібно зазначити, що в наслідок фактичної відсутності магнітного поля на Марсі, активні методи, які використовуються для стабілізації й орієнтації НС можуть бути лише двох типів: на основі двигунів-маховиків та з РД.

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. 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 системи з ІД фактично відбувається в два за тривалістю етапи – на першому відбувається розгін НС до певної кутової швидкості обертання, а на другому – його гальмування [2].

Тоді, можна показати, що кут повороту НС навколо певної осі для різних систем орієнтації визначають наступні вирази:

- для системи на двигунах-маховиках:

$$\alpha_{нс}(t) = 3 \frac{m_m r^2}{m_{нс} R^2} \omega_m t \quad (1)$$

де m_m – маса маховика; r – радіус диска маховика; ω_m – швидкість обертання маховика;

- для системи з ІД:

$$\alpha_{нс}(t) = \frac{3F}{4m_{нс} R} t^2 \quad (2)$$

де F – сила, що розвивається ІД.

Зазначимо, що для системи на двигунах-маховиках кут обертання є лінійною функцією часу, а для системи з ІД – залежність квадратична. Для порівняння активних систем були обрані наступні значення параметрів, що входять до формул (1-2): $m_m = 0,02$ кг, $r = 0,03$ м, $\omega_m = 1,16$ рад/с (в середньому 4000 обертів за хвилину), $F = 100$ 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 обидві 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, а системи з ІД мають ресурс роботи, який обмежений запасами палива.

З погляду на це обґрунтованим буде одночасне використання обох систем. Наприклад, орієнтацію може забезпечувати система на двигунах-маховиках, а їх розвантаження буде виконуватись системою з ІД. Зазначимо, що лише компактні іонні прискорювачі дозволять НС змінювати орбітальну позицію або утримуватись на ній тривалий час.

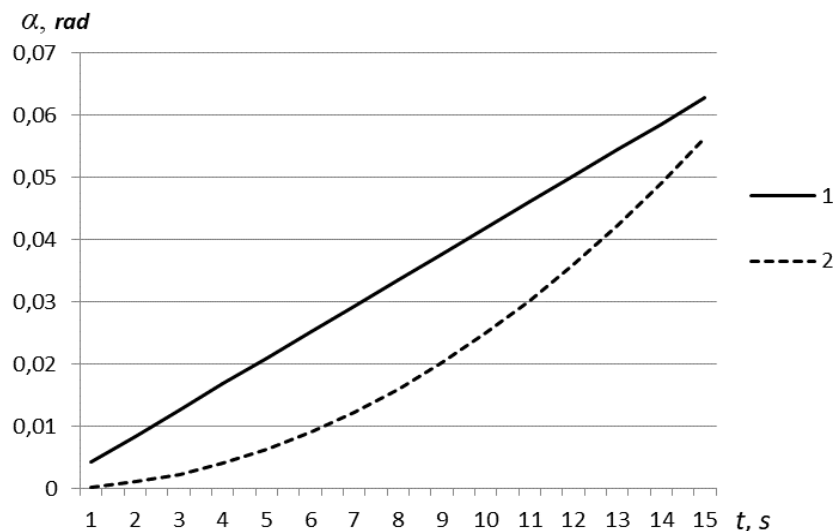


Рис . 1. Часова залежність величини кута повороту НС: 1 – для системи на двигунах-маховиках, 2 – для системи з ІД.

Також двигуни малої тяги можуть використатися для керованого сходу з орбіти ушкоджених НС. Отже, оскільки системи орієнтації на двигунах-маховиках не дозволяють здійснювати зміни орбіти НС, доцільним є використання комбінованої системи, яка складається з двигунів-маховиків та ІД. Двигуни-маховики дозволяють вирішувати завдання стабілізації й орієнтації. ІД будуть задіяні, в основному, для періодичного розвантаження двигунів-маховиків та 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. Явіся В.С. Гібридна система орієнтації телекомунікаційних наносупутників // Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – С. 273-275.
2. Явіся В.С., Лысенко А.И. Анализ методов ориентации и стабилизации наноспутника // Научный вестник Академии Муніципального Управління, Збірник наук. праць АМУ. Серія «Техніка». – Вип.1-2(11)–2016. – К.: АМУ, 2016. – С. 262–270.

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ РОЗГОРТАННЯ БПЛА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МЕРЕЖІ MANET

Валуйський С.В., Турчин Я.В.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: valuisnyi.stanislav@iit.kpi.ua

ADVANCED UAV DEPLOYMENT ALGORITHM TO ENSURE MANET NETWORK CONNECTIVITY

The article examines the problem of combining the management of existing UAVs and the deployment of new UAVs so that the number of new deployed UAVs to maintain ground-based UAVs can be minimized. This problem is formulated as the problem of a minimal Steiner tree with existing Steiner mobile points with constraint on the length of the edges of the network graph and we prove NP the completeness of this problem.

Рух наземних мобільних абонентів, призводить до швидкої і непередбачуваної зміни топології епізодичних радіомереж, що може призводити до порушення зв'язності мережі і втрати зв'язку між деякими абонентами. Підвищення зв'язності таких мереж можливо шляхом введення нових додаткових вузлів повітряного базування (БПЛА), що мають більшу зону радіопокриття і пожутуть поєднувати роз'єднані ділянки мережі. На сьогодні не достатньо вирішеною є проблема оптимального управління положенням таких БПЛА, а саме проблема поєднання управління рухом існуючих БПЛА та розгортання нових БПЛА, щоб кількість нових розгорнутих БПЛА для підтримки зв'язку наземних абонентів могла бути мінімізована.

Роботи Лисенка О.І., Романюка В.А., Чумаченка С.М., Валуйського С.В. присвячені теоретичним і практичним дослідженням методам підвищення пропускної здатності епізодичних радіомереж з управлінням положенням телекомунікаційних аероплатформ [1]. В роботі [2] автори також досліджують проблему підвищення зв'язності мобільних епізодичних радіомереж за рахунок розміщення нових і переміщення існуючих БПЛА, але математична модель не враховує дальність зв'язку повітря-повітря, що буде враховано у данній роботі.

Математична постановка задачі. Оскільки ця задача подібна до задачі дерева Штейнера з мінімальною кількістю точок Штейнера, в даному розділі сформульовано цю задачу як задачу мінімального дерева Штейнера з існуючими мобільними точками Штейнера із обмеженням по довжині ребер графу мережі. Точки Штейнера тут означають БПЛА, а обмеження по довжині ребер графу мережі — це діапазон максимальної дальності зв'язку вузла мережі, що визначається енергетикою радіолінії (потужністю передавача, чутливістю приймача, характеристиками антени і т.п.), місцевістю та різними завадами [8].

Формальне визначення проблеми мінімального дерева Штейнера з існуючими мобільними точками Штейнера із обмеженням довжини ребер графу мережі показано наступним чином:

Нехай існує набір наземних вузлів P , що характеризується поточною позицією кожного вузла p , набір існуючих БПЛА Q , що характеризується поточною позицією кожного існуючого БПЛА, діапазон руху БПЛА l , дальність зв'язку наземного вузла r , дальність зв'язку земля-повітря R і дальність зв'язку повітря-повітря D .

Таким чином $r < R$,

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (1)$$

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\},$$

де n - кількість наземних вузлів, m - кількість існуючих БПЛА.

Нові позиції існуючих БПЛА складатимуть множину U , позиції нових доданих БПЛА — S , а дерево графу мережі T складатиметься з сукупного набору вузлів (P , U та S) та набору ребер E :

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\},$$

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad (2)$$

$$T = \{P \cup U \cup S, E\}.$$

Тоді математичну постановку задачі можна сформулювати наступним чином: знайти мінімальну кількість k нових доданих БПЛА, розміщення яких забезпечить зв'язність епізодичної радіомережі

$$\min(k). \quad (3)$$

при виконанні наступних обмежень та збереження цілісності мережі:

$$\Omega_1: |e_{ij}| \leq r, (e_{ij} \in E, i, j \in P),$$

$$\Omega_2: |e_{ij}| \leq R, (e_{ij} \in E, i \in P, j \in U \cup S), \quad (4)$$

$$\Omega_3: |e_{ij}| \leq D, (e_{ij} \in E, i, j \in U \cup S),$$

$$|u_i - q_i| \leq l, 1 \leq i \leq m,$$

де $|e_{ij}|$ - довжина ребра графу мережі між вузлами i та j .

Під цілістістю мережі розуміється наявність лише одної компоненти зв'язності графу мережі. Перевірка цілісності мережі можливо шляхом побудови мінімального дерева Штейнера (МДШ) графу (наприклад, згідно алгоритму Пріма) та перевірка кожного ребра дерева на виконання умови Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 . Якщо умови виконуються, то мережа є структурно зв'язаною на момент часу t , інакше – необхідне певне управлінське рішення (наприклад, вивід нового (переміщення існуючого) БПЛА).

Опис алгоритму. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення існуючих БПЛА. Основна ідея алгоритму розгортання нових БПЛА під час переміщення існуючих БПЛА полягає в наступному. Спочатку генерується повний граф $G(V, E)$ на базових вузлах і сортуємо всі ребра E у порядку збільшення довжини. Тоді розглянемо всі ребра e_{ij} у множині E , що довжина ребра не більше r , а вершини ребра належать різним компонентам. Після цього кроку ми отримаємо кілька компонентів, які складаються із підключених заземлюючих вузлів. Тепер будемо рекурсивно переміщати існуючі БПЛА та додавати нові БПЛА для з'єднання розділених компонентів, доки всі розділені компоненти не будуть з'єднані в один компонент. У кожному циклі ми спробуємо з'єднати всі пари вершин V_i і V_j , які належать різним компонентам, за допомогою двох різних методів. Один із методів використовує існуючі БПЛА для встановлення ланцюга зв'язку між V_i і V_j шляхом переміщення БПЛА на певні позиції. Нові БПЛА будуть додані до країв ланцюга, довжина яких перевищує r . Інший метод не враховує існуючі БПЛА і просто намагається налаштувати ланцюжок зв'язку між V_i і V_j , додаючи нові БПЛА. Кількість нових доданих БПЛА за допомогою цих двох методів буде порівнюватися, і менша кількість буде записана як мінімальна кількість нових БПЛА (MNN) для з'єднання V_i і V_j . Для з'єднання двох розділених компонентів у цьому циклі буде обрана пара вершин, яка має мінімальний MNN. Нові позиції існуючих БПЛА та позиції нових доданих БПЛА, створених для з'єднання цієї пари вершин, також будуть записані як частина кінцевого результату (рис.1).

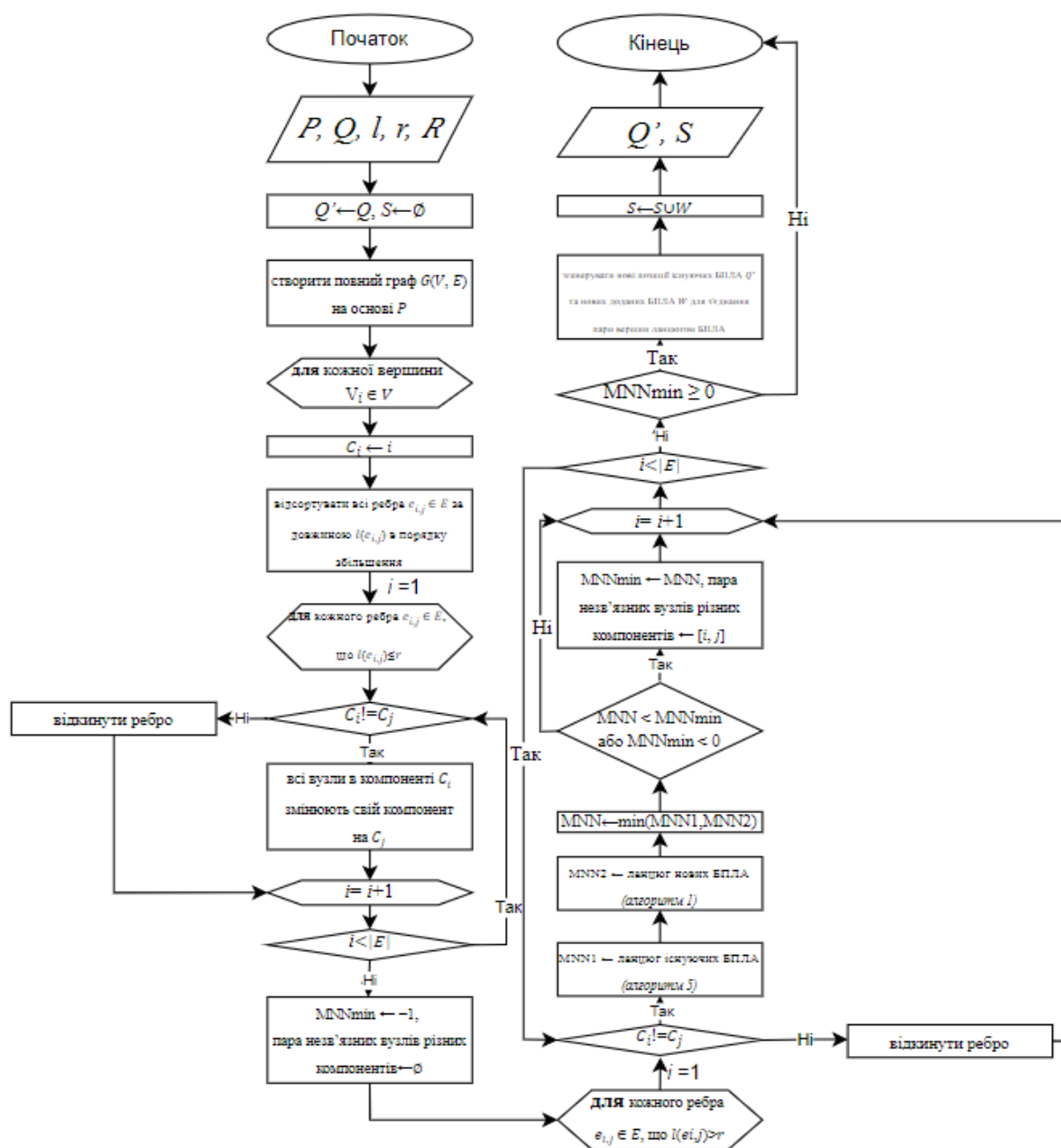


Рис. 1. Блок схема удосконаленого алгоритму розгортання нових БПЛА під час переміщення існуючих БПЛА.

Література

1. Lysenko O., Romaniuk V., Tachinina O., Valuiskiy S. (2020) The Problems of Control in Wireless Sensor and Mobile Ad-Hoc Networks. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1113. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_33.
2. Ming Zhu, Fei Liu, Zhiping Cai, Ming Xu, "Maintaining Connectivity of MANETs through Multiple Unmanned Aerial Vehicles", Mathematical Problems in Engineering, vol. 2015, Article ID 952069, 14 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/952069>.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРСУ

Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В.

Навчально науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: yavisya42@gmail.com

ENERGY CALCULATION OF TELECOMMUNICATION NANOSATELLITES FOR MARS STUDY

When using nanosatellites to create a satellite communications system in the study of Mars, it is necessary to provide them with power. The calculation of the specific energy consumption of the main systems is performed and the format of such telecommunication nanosatellites is proposed.

В процесі колонізації Марсу для дослідників його поверхні необхідно створити системи зв'язку та навігації. Сьогодні вже існують пропозиції створення таких систем з використанням угруповань наносупутників (НС) [1].

До складу космічного сегменту такої системи буде входити певна кількість НС. Саме за рахунок використання НС підвищується надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики всього угруповання.

За функціональним призначенням НС угруповання будуть відрізнятися. При кластерній побудові системи, до складу кластеру будуть входити НС для зв'язку із абонентськими терміналами, НС для концентрації і комутації навантаження всередині кластеру, НС зв'язку із сусідніми кластерами, а також для зв'язку із станцією на поверхні Марсу. Причому більша частина з них необхідна для створення зон обслуговування на поверхні Марсу.

Виконання такого завдання потребує вирішення питання енергозабезпечення обладнання НС. Зазвичай, основними споживачами є приймально-передаюче обладнання та система орієнтації НС [2].

Тому спочатку визначмо відстань від НС кластеру до межі зони обслуговування на поверхні Марсу, яка позначена a на рисунку 1. Зазначимо, що h – висота орбіти кластеру НС.

Довжина поверхні планети в екваторіальному поясі:

$$l_M = 2\pi R, \quad (1)$$

де R – радіус Марсу, складає $l_M=21264$ км.

Кут α знайдемо з виразу:

$$\alpha = 2\pi / \left(\frac{l_M}{r_K} \right) \quad (2)$$

де r_K – радіус зони обслуговування кластером НС.

Тоді, відповідно до теореми косинусів, відстань a визначається:

$$a = \sqrt{R^2 + (R + h)^2 - 2R(R + h) \cos \alpha} \quad (3)$$

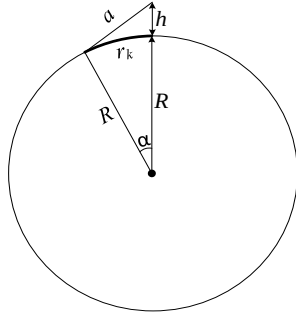


Рис. 1. До визначення відстані від НС кластеру до межі зони обслуговування на поверхні Марсу.

Для формування діаграми спрямованості НС для зв'язку із абонентськими терміналами пропонується використовувати спіральну кінцеву антену.

Ширина діаграми спрямованості окремого НС за теоремою косінусів в позначеннях рис. 1, визначається:

$$\theta = \arccos \left(\frac{a^2 + (R+h)^2 - R^2}{2a(R+h)} \right) \quad (4)$$

Як що висота орбіти НС – 700 км, радіус зони обслуговування окремого НС – 650 км, то ширина діаграми спрямованості $\theta = 53$ градуси.

Для середньої частоти взаємодії НС і абонентського терміналу 1,6 ГГц при довжині антени $l = 18$ 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 $V = 0,9$ см³, тобто 0,9 % від загального об'єму CubeSat-1.

Загасання для ідеальної ізотропної антени у вільному просторі визначається:

$$L = 32,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d), \quad (5)$$

де f – частота в МГц, d – відстань в км.

Тому в центрі зони обслуговування кластеру (відстань до 1000 км) загасання становить $L = 156$ дБ.

Чутливість сучасних приймачів терміналів персонального супутникового зв'язку близько -118 дБ. Враховуючи підсилення антени до $G = 11$ 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:

$$P = 156 - 118 - 11 + 3 + 3 + 3 = 36 \text{ дБ},$$

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.

При цьому необхідно врахувати той факт, що частина електричної потужності витрачається на підзарядку акумулятора, який забезпечує роботу НС під час знаходження його в тіні Марсу.

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 систему, яка буде складатись з двигунів-маховиків, що дозволяють вирішувати безпосередньо завдання стабілізації й орієнтації, а також іонних двигунів, які будуть задіяні, в основному, для розвантаження двигунів-маховиків та 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 до 8 Вт.

Виходячи з цього, сонячна батарея повинна забезпечити потужність живлення близько 45 Вт.

Середнє значення сонячної постійної для Землі дорівнює 1367 Вт/м^2 , оскільки відстань від Сонця до Марсу є більшою – 1,524 астрономічної одиниці, то сонячна постійна для Марсу складе близько 590 Вт/м^2 . На сьогодні переважна більшість виробників сонячних батарей представляють продукцію з ККД, що не перевищує 20-35%. 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:

$$P = 590 \times \eta \times S \quad (6)$$

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:

$$S = \frac{P}{590 \times \eta} \quad (7)$$

тобто $S = 0,38 \text{ м}^2$. 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 близько 2 м.

Виходячи з цього та враховуючи необхідність наявності акумулятора у конструкції НС, його формат можна визначити як *CubeSat-3*. Загальна вага такої конструкції буде знаходитись в межах 9 кг.

Література

1. Monitoring System and Fixed Communication on the Basis of Nanosatellites. Lysenko, A., Yavisyay, V., Alekseeva, I., Tureichuk, A. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings, 2019, p. 495–498.
2. Явісія В.С. Енергетичний розрахунок телекомунікаційних наносупутників // Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – С. 276-278.

ШЛЯХИ ОТРИМАННЯ СИГНАЛІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ОРІЄНТАЦІЇ І СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОСУПУТНИКА

Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В.

*Навчально науковий Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya42@gmail.com*

WAYS OF RECEIVING SIGNALS OF CONTROL SYSTEM OF ORIENTATION AND NANOSATELLITE STABILIZATION

Methods of receiving control signals of executive bodies of systems of orientation and stabilization of spatial position of ultrasmall spacecraft are investigated. Traditional methods are evaluated in terms of the possibility of their practical implementation, as well as taking into account the limitations of weight and dimensions.

При знаходженні на орбіті наносупутник (НС) зазнає збурень, тому навіть у випадку забезпечення правильної орієнтації при виводі на орбіту, через якийсь час виникає необхідність керування його положенням. Для роботи системи стабілізації і орієнтації необхідно одержати сигнали керування. Таке завдання вирішується як правило за допомогою інерційних систем.

Інерція є найбільш універсальним фактором, що дозволяє створити прилади для реєстрації зміни швидкості тіл у просторі. Акселерометри або датчики прискорень дозволяють вимірювати проекцію на свою вісь чутливості прискорення тієї точки НС, де він установлений. Акселерометр реагує тільки на сили, що прикладаються за посередництвом НС. Якщо одна зі складових загальної сили, що визначає прискорений рух НС, обумовлена дією тяжіння, то відповідна їй складова прискорення не може бути виміряна акселерометром. Сили тяжіння діють однаково як на прилад, так і на НС і тому при відсутності інших сил за допомогою акселерометра не можуть бути виявлені.

Таким чином, при русі НС у полі тяжіння вимірюване акселерометром прискорення відрізняється від дійсного й тому одержало назву *гаданого прискорення*. Вимір гаданого прискорення дозволяє визначити дійсне положення НС щодо центру тяжіння за допомогою інтегрування навігаційного рівняння:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = \frac{dU}{dR} + a_k$$

де R – вектор положення центру маси НС щодо центру тяжіння; a_k – вектор гаданого прискорення центру маси НС; U – вектор-потенціал поля тяжіння.

Для керування необхідно знати три ортогональні складові вектори a_k , тобто мати три датчики, встановлені у центрі маси НС, із трьома взаємно

перпендикулярними осями чутливості. Ці осі чутливості повинні бути орієнтовані по тім осям координат, у яких заданий вектор R . Триєдр осей чутливості акселерометрів являє собою *осі вимірювальної системи*, а осі, у яких заданий вектор R – *інерційний координатний базис*, тобто базис, щодо якого відлічується абсолютне прискорення. Осі інерції (або осі форми) НС не збігаються з інерційним базисом, а обертаються щодо нього залежно від напрямку вектора швидкості центру маси НС. Отже, для керування за допомогою виміру гаданих прискорень або *інерційного керування* необхідно або сполучати осі вимірювальної системи з інерційним координатним базисом незалежно від руху НС, або в кожний момент часу знати взаємне розташування осей вимірювальної системи й інерційного базису. В останньому випадку складові вектора гаданого прискорення з осей вимірювальної системи повинні бути перепроєктовані на осі інерційного координатного базису. Найбільш вигідним розташуванням вимірювальної системи для другого з названих вище варіантів інерційного керування є сполучення її осей з осями форми НС [1].

Технічна реалізація методу інерційного керування можлива у двох варіантах. Перший – за допомогою пристроїв, які не обертаються разом із НС і, зберігаючи своє положення відносно інерційного базису, служать опорою для вимірювальної системи. Другий варіант – за допомогою пристроїв, які забезпечують обчислення параметрів, що визначають кути між осями вимірювальної системи й інерційного базису, а також проектування вимірюваних компонентів прискорення на осі цього базису.

Перший варіант вимагає наявності приладів, що фізично моделюють інерційний базис на борті НС, – гіростабілізованих платформ, другий – використання безплатформних інерційних систем (БІС).

Тривалий час створення БІС стримувалося внаслідок обмежених можливостей обчислювальних пристроїв, здатних у реальному часі вирішувати складні рівняння зв'язку двох координатних систем, у той час як рівень розвитку гіроприладобудування вже дозволяв створити високоточні тривісні платформи.

Зараз ситуація стала діаметрально протилежною. При реалізації платформових систем забезпечення необхідної надійності й збільшення точності виявилось пов'язаним зі значним ростом маси й габаритів платформ, негативною є і їх чутливість до великих перевантажень і кутів обертання, що характерно для НС. Тому БІС, завдяки наявності сьогодні високошвидкісних обчислювальних пристроїв у мініатюрному виконанні, займають лідируюче положення при створенні нових систем керування об'єктами, для яких є критичними ваго-габаритні показники таких систем [2].

БІС, як і будь-яка інерційна система керування НС, як правило, складається із двох підсистем, які, у свою чергу, іменуються навігаційною системою й системою стабілізації. Завдання навігаційної системи – визначити початкове положення НС і програму польоту. Завдання системи стабілізації – забезпечити керування таким чином, щоб виконати програму польоту з необхідною точністю. При автоматизації системи стабілізації

насамперед вирішується завдання демпфірування коливань НС, що виникають при зміні програми польоту й дії зовнішніх збурень.

Теорія повністю автоматизованої системи стабілізації, як і будь-якої системи автоматичного керування, містить математичний опис руху НС, який розглядається як об'єкт керування. Центральним завданням цієї теорії є обґрунтування вибору законів керування, тобто співвідношень, що зв'язують різницю між вимірюваними поточними й програмними значеннями параметрів руху НС із командами на органі керування. Закони керування в сучасних системах стабілізації НС, крім забезпечення точності, стійкості й певного характеру перехідного процесу в системі, повинні надати можливість досягти екстремуму певних критеріїв.

У платформних системах фізично реалізуються кути між осями інерційного базису й осями вимірювальної системи. Ці кути безпосередньо і є параметрами керування, тобто функціями, що служать основою для одержання команди керування. У безплатформних системах стабілізації (БСС) зв'язок між інерційним і вимірювальним базисами виражається в процесі обчислень через параметри, які не можуть безпосередньо служити параметрами керування, тому теорія БСС містить методи одержання параметрів керування як функцій параметрів зв'язку, що обчислюються.

Специфіка БСС відносно математичного опису об'єкта стабілізації полягає в тому, що рівняння руху НС повинні бути записані через вимірювані датчиками параметри й через параметри зв'язку. Це спрощує замикання систем рівнянь стабілізації. І ще одна особливість теорії БСС – необхідність розробки методів синтезу алгоритмів, що забезпечують обчислення параметрів зв'язку в реальному часі, а також аналізу системи помилок, що супроводжують ці обчислення.

У цілому розробку БСС доцільно будувати таким чином, щоб незважаючи на її специфіку математичний опис окремих частин системи дозволив би при виборі закону керування використовувати ефективні й добре розроблені загальні методи теорії автоматичного керування й, зокрема, методи, які застосовуються в платформних системах. Саме для цього необхідно визначити метод, що дозволяє одержати сигнали керування, що забезпечують роботу виконавчих органів систем орієнтації й стабілізації положенням НС.

Тому при побудови системи стабілізації НС для одержання керуючої інформації доцільно використовувати системи з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.

Література

1. Лисенко О.І., Явіся В.С. Аналіз методів отримання сигналів управління для систем орієнтації та стабілізації наносупутника // Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». – Херсон: Гельветика. – 2017. – Т. 28 (67), № 2. – С. 31-37.
2. Явіся В.С., Явіся Д.В. Аналіз способів отримання даних для систем керування положенням наносупутника // Чотирнадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 285-288.

Секція 7. Системна й програмна інженерія інфокомунікацій

УДК 534.08 + 531.768

РОЗРОБКА БЕЗДРОТОВОГО ДАТЧИКА ВІБРАЦІЇ НА ОСНОВІ MEMS АКСЕЛЕРОМЕТРА

Іванов С.В., Олійник П.Б.

НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: Ivanov.sergiy@lil.kpi.ua , poleinik@ukr.net

DEVELOPMENT OF WIRELESS VIBRATION TRANSDUCER BASED ON MEMS ACCELEROMETER

Wireless vibration transducer, based on the MEMS accelerometer, is presented. Moving of the machine condition detection process from the high-level system to the transducer level allows one to decrease network traffic and simplify monitoring system as a whole.

При вимірюванні вібрації важких машин (генератори, турбоагрегати) однією з важливих проблем є підключення датчиків. Застосування кабелю довжиною в десятки метрів є незручним через його велику довжину та масу. Для вирішення цих проблем запропоновано використати для вимірювання вібрації датчик на основі MEMS акселерометра з передачею даних по Wi-Fi.

Дослідження використання MEMS акселерометра як первинного датчика вібрації ведуться досить давно. В [1] наведено порівняння даних, вимірюваних п'єзоелектричним акселерометром та MEMS за однакових умов. Використання MEMS не забезпечувало стабільного коефіцієнту чутливості і зсуву фази навіть при вимірюванні синусоїдального сигналу, нерівномірність АЧХ складала до 6 дБ в діапазоні 300 Гц. Аналогічне порівняння, проведене в [2], підтверджує наведені в [1] результати. В роботі [3] описано розробку датчика на базі MEMS з використанням процесора ARM7, що збільшує його вартість і енергоспоживання. Крім того в [3] не вирішено проблему фільтрації шумів датчика.

Застосування MEMS-акселерометрів для моніторингу обертового обладнання досліджено в кількох роботах. В [4] описано розробки фірми Analog Devices. Автори [4] розробили акселерометр для вимірювання вібрації на базі ADXL322 і застосували для підвищення співвідношення сигнал/шум автокореляційну функцію і адаптивні порогові фільтри.

Безпроводну систему моніторингу обертового обладнання на основі MEMS описано в [5]. Автори [5] зосередили свої дослідження на задачах синхронізації вимірювальних модулів та компенсації різниці частот їх тактових генераторів. Недоліком описаної в [5] системи є значна її складність, і високі вимоги до обчислювальної потужності застосованих контролерів.

В процесі розробки датчика було:

- розроблено конструкцію датчика, що забезпечила б ефективну фільтрацію шумів та частотний діапазон 10–1000 Гц;

– розроблено ефективний та простий метод компенсації нерівномірності АЧХ MEMS акселерометра;

– забезпечено вирішення супутніх задач, в т. ч. синхронізацію вимірювання з різних датчиків та електромагнітну сумісність датчика.

За основу датчика вибрано акселерометр LIS 344, оскільки він має високий коефіцієнт чутливості ($660 \text{ мВ}/(\text{м}/\text{с}^2)$) і незначну поперечну чутливість (2%). Оскільки основними даними для систем моніторингу є середньоквадратичне значення (СКЗ) віброшвидкості в діапазоні 10–1000 Гц, то верхню межу частотного діапазону обмежено вбудованим ФНЧ акселерометра до 1 кГц. Для виключення впливу низькочастотної складової застосовано активний фільтр Саллена–Кі з частотою зрізу 10 Гц; застосування фільтру більш високого порядку недоцільне, бо алгоритм обробки даних дозволяє виключити при обробці вібрацію на низьких частотах.

Як модуль Wi-Fi вибрано плату ESP8266 виробництва фірми Espressif systems. Особливостями модуля є можливість управління за допомогою АТ команд через послідовний інтерфейс та низьке енергоспоживання (менше 1 мА в режимі підтримання зв'язку з точкою доступу). Суттєвим недоліком ESP8266 є неможливість роботи вбудованого в його процесор АЦП при передачі даних, тому для проведення вимірювань, синхронізації вимірювань та проведення обчислень застосовано контролер C8051F120. Для забезпечення електромагнітної сумісності і виключення похибок вимірювання, що виникали при передачі даних, застосовано екранування Wi-Fi модуля.

Живлення датчика забезпечує використання зовнішнього акумулятора (до 8–10 годин вимірювання при ємності 2000 мА·год), на важких машинах можна застосувати п'єзоелектричний збирач енергії [6].

Схему програмного забезпечення показано на рис. 1. Основою програмного забезпечення є керуюча програма, що організує роботу датчика в режимах встановлення конфігурації, вимірювання даних та проведення оцінки виміряних даних, а також передачі даних системам верхнього рівня.

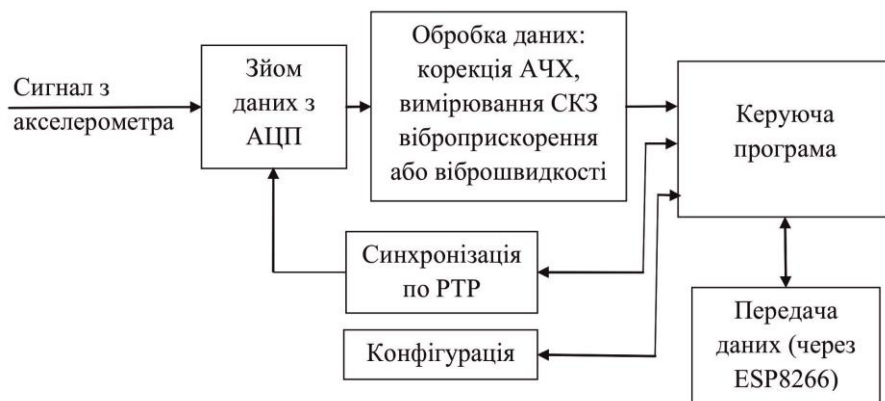


Рис. 1.
Структурна схема програмного забезпечення датчика.

Передачу даних реалізовано з використанням протоколу TCP, що гарантує доставку виміряних даних. Підключення датчика в систему моніторингу повністю автоматизовано: після увімкнення живлення датчик

сам шукає систему моніторингу за заданим в конфігурації ідентифікатором, підключається до неї, синхронізує внутрішній годинник і переходить у режим вимірювання.

Корекцію нерівномірності АЧХ виконано шляхом застосування алгоритму:

- 1) Виміряти буфер даних віброприскорення.
- 2) Виконати швидке перетворення Фур'є вимірюного буфера і обчислити масив ліній спектру потужності віброприскорення a_i .
- 3) Відкинути лінії з середніми частотами менше 10 і більше 1000 Гц.
- 4) СКЗ віброприскорення A обчислити за формулою

$$A = \sqrt{\sum_i (a_i q_i)^2}, \quad (1)$$

де q_i – коригуючий множник лінії спектру з середньою частотою f_i , визначений при калібрувці методом порівняння з еталонним акселерометром.

- 5) спектр потужності віброшвидкості обчислити за формулою

$$v_i = a_i q_i \frac{1}{2\pi f_i}. \quad (2)$$

- 6) Обчислити СКЗ віброшвидкості за формулою

$$V = \sqrt{\sum_i v_i^2}. \quad (3)$$

Передбачено можливість задати в датчику три граничних рівня – «зміна» (межа зон А/В за ISO 10816–1), «тривога» (межа зон В/С) і «аварія» (межа зон С/Д). Датчик передає дані або періодично, або при виході за межі зон, що дозволяє зменшити мережевий трафік і спростити систему моніторингу в цілому. Випробування показали, що датчик забезпечує вимірювання СКЗ віброшвидкості та віброприскорення з похибкою не гірше 3-5%.

Література

1. Albarbar, Alhussein. Suitability of MEMS Accelerometers for Condition Monitoring: An experimental study [Text] / Alhussein Albarbar, Samir Mekid, Andrew Starr, Robert Pietruszkiewicz // Sensors. – 2008. – nr. 8. – pp. 784–799.
2. Albarbar, A. Performance evaluation of MEMS accelerometers [Text] / A. Albarbar, A. Badri, Jyoti K. Sinha, A. Starr // Measurement. – 2009. – vol.42, issue 5. – pp.790–795.
3. Marne, N. S. Vibration Measurement System with Accelerometer Sensor Based on ARM [Text] / N. S. Marne, M. S. Nagmode, R. D. Komati // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2014. – Vol. 4, Issue 4. – pp. 760–764.
4. Looney, Mark. An Introduction to MEMS Vibration Monitoring [Text] / Mark Looney // Analog Dialogue. – 2014. – vol. 48, issue 06. – pp. 1–3.
5. Huang, Qingqing. Development of high synchronous acquisition accuracy wireless sensor network for machine vibration monitoring [Text] / Qingqing Huang, Baoping Tang, Lei Deng // Measurement. – 2015. – Vol. 66. – pp. 35–44.
6. MIDE Vulture Piezoelectric Energy Harvesters [Online resource] REVISION N0. 002 REVISION DATE: 01–23–2013 – Available at: http://www.mide.com/pdfs/Vulture_Datasheet_001.pdf – Title from screen.

SEMINAR

Modern information and telecommunication trends

UDC 621.39

OPEN SOURCE INTELLIGENCE (OSINT)

Nser A.M., Minochkin D.A.

Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

E-mail: nser.anzhela@gmail.com, dmytro.minochkin@gmail.com

РОЗВІДКА НА ОСНОВІ ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ

У статті наводиться опис технологій, методик та можливості розвідки з на основі відкритих джерел (OSINT - Open-source intelligence). А саме буде розглянуто методи та приклади використання, фреймворки та рекомендації з оперуванням певного роду інформації.

The article describes the technologies, methods, and exploration of open-source intelligence (OSINT). Namely, methods and examples of use, frameworks, and recommendations for the operation of certain types of information will be considered.

Open-source intelligence (OSINT) is information collected from public sources such as those available on the Internet, although the term isn't strictly limited to the internet, rather means all publicly available sources.

The U.S. Department of Defense (DoD) defines OSINT as follows: “Open-source intelligence (OSINT) is an intelligence that is produced from publicly available information and is collected, exploited, and disseminated in a timely manner to an appropriate audience for the purpose of addressing a specific intelligence requirement” [1].

OSINT sources are distinguished from other forms of intelligence because they must be legally accessible by the public without breaching any copyright or privacy laws. That’s why they are considered “publicly available.” This distinction makes the ability to gather OSINT sources applicable to more than just security services. For example, businesses can benefit from exploiting these resources to gain intelligence about their competitors.

OSINT can be passive or active. Passive methods are those that do not involve interaction with target systems and are not subject to automatic detection. In active data collection, analysts interact with target systems, which can involve employing advanced techniques or even simple interactions such as registering on an organization’s website to get materials available to registered users only [2].

A great place to start is the OSINT Framework put together by Justin Nordine [3]. The framework provides links to a large collection of resources for a huge variety of tasks from harvesting email addresses to searching social media or the dark web. OSINT framework focused on gathering information from free tools

or resources.

Let's look at practical tools for OSINT. And we will start with the easiest and most used in real life is Google dorking.

In simple words one can say Google Dorks are a technique that makes use of Google's advanced search services to locate valuable data or hard-to-find content.

Let's look at the most popular Google Dorks operators and what they do.

- intitle: used to search for various keywords inside the title, for example, intitle:security tools will search for titles beginning with "security" but "tools" can be somewhere else in the page;

- filetype: used to search for any kind of file extensions, for example, if you want to search for pdf files you can use: email security filetype: pdf;

- intext: useful to locate pages that contain certain characters or strings inside their text, e.g. intext:"safe internet";

- site: will show you the full list of all indexed URLs for the specified domain and subdomain, e.g. site:securitytrails.com;

- cache: this dork will show you the cached version of any website, e.g. cache:securitytrails.com.

Maltego specializes in uncovering relationships among people, companies, domains and publicly accessible information on the internet. It's also known for taking the sometimes enormous amount of discovered information and plotting it all out in easy-to-read charts and graphs. The graphs do a good job of taking raw intelligence and making it actionable, and each graph can have up to 10,000 data points [4].

The Maltego program works by automating the searching of different public data sources, so users can click on one button and execute multiple queries. A search plan is called a "transform action" by the program, and Maltego comes with quite a few by default that include common sources of public information like DNS records, whois records, search engines and social networks. Because the program is using public interfaces to perform its searching, it's compatible with almost any source of information that has a public interface, so adding more searches to a transform action or making up a whole new one is easily possible.

Once the information is gathered, Maltego makes connections that can unmask the hidden relationships between names, email addresses, aliases, companies, websites, document owners, affiliations and other information that might prove useful in an investigation, or look for potential future problems. The program itself runs in Java, so it works with Windows, Mac and Linux platforms.

Shodan is a network security monitor and search engine focused on the deep web & the internet of things. It was created by John Matherly in 2009 to keep track of publicly accessible computers inside any network.

It is often called the 'search engine for hackers', as it lets you find and explore different kinds of devices connected to a network like servers, routers, webcams, and more.

Shodan is pretty much like Google, but instead of showing you fancy images

and rich content / informative websites, it will show you things that are more related to the interest of IT security researchers like SSH, FTP, SNMP, Telnet, RTSP, IMAP and HTTP server banners and public information. Results will be shown ordered by country, operating system, network, and ports.

Shodan users are not only able to reach servers, webcams, and routers. It can be used to scan almost anything that is connected to the internet, including but not limited to traffic lights systems, home heating systems, water park control panels, water plants, nuclear power plants, and much more.

Nmap is one of the most popular and widely used security auditing tools, its name means "Network Mapper". Is a free and open source utility utilized for security auditing and network exploration across local and remote hosts.

Some of the main features include [5]:

- Host detection: Nmap has the ability to identify hosts inside any network that have certain ports open, or that can send a response to ICMP and TCP packets.
- IP and DNS information detection: including device type, Mac addresses and even reverse DNS names.
- Port detection: Nmap can detect any port open on the target network, and let you know the possible running services on it.
- OS detection: get full OS version detection and hardware specifications of any host connected.

Version detection: Nmap is also able to get application name and version number.

In this article, I have covered the basic idea of OSINT and why it's useful. We've looked at a great place where you can discover many OSINT tools to help you with virtually any kind of information gathering you need to do, and we've also given you a taste of a few individual tools and shown how they can work.

Gathering OSINT is also a great way to understand what information you are gifting potential attackers. Once you are aware of what kind of intel can be gathered about you from public sources, you can protect this information and develop better defensive strategies.

References

1. Hassan, Nihad A.; Hijazi, Rami (2018). Open Source Intelligence Methods and Tools doi:10.1007/978-1-4842-3213-2.
2. OSINT (Open-source intelligence). Kaspersky IT Encyclopedia. (n.d.). URL: <https://encyclopedia.kaspersky.com/glossary/osint>.
3. Justin Nordine. OSINT framework. URL: <https://osintframework.com/>
4. Sharma, (2021, June 28). 15 top open-source intelligence tools. CSO Online. <https://www.csoonline.com/article/3445357/what-is-osint-top-open-source-intelligence-tools.html>.
5. Borges, E. (2021, October 19). Top 25 OSINT Tools for Penetration Testing. URL: <https://securitytrails.com/blog/osint-tools>.



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

**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
НДІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

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

Присвячена Дню науки та Всесвітньому Дню телекомунікацій

14 квітня 2022 року

Тези конференції

м. Київ

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРІТС-2022

Співголови конференції:

ІЛЬЧЕНКО М.Ю. – директор Інституту телекомунікаційних систем
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського", академік НАНУ, д.т.н., професор;
ЯКОРНОВ Є.А. – к.т.н., професор Інституту телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського;
КОНОНОВА І.В. – к.т.н., доц., Інституту телекомунікаційних систем КПІ ім.
Ігоря Сікорського;;
ЛІСОВСЬКИЙ К.С.–в.о. голови студентської ради НН ІТС 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;
УРИВСЬКИЙ Л.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ЛИСЕНКО О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
РОМАНОВ О.І. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ТРУБІН О.О. - д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
СКУЛИШ М.А. - д.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
МОШИНСЬКА А.В. - д.т.н., с.н.с., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
КАТОК В.Б. - к.т.н., проф., ПАТ «УКРТЕЛЕКОМ», Київ;
ПРАВИЛО В.В. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ;
ЯВІСЯ В.С. - к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.
КОНОНОВА І.В. – к.т.н., доц., 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;

Члени програмного комітету:

Авдеєнко Г.Л., к.т.н., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
Валуйський С.В., к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
Курдеча В.В., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
Новіков В.О., к.т.н., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
Кравчук І.М., к.т.н., ст. викладач, КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ;
Штогрина О.С., к.т.н., КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, Київ.

Засідання 1.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В WSN

Насвіт Ю.О., кер. Лисенко О.І.,

Науковий консультант: Валуйський С.В.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: nasvit17@gmail.com

Проаналізовано новий підхід до кластеризації в WSN, заснований на методі FFUCA і на метриці визначення споживання енергії. Модифіковано правила пошуку для мінімального охоплюючого дерева (minimum spanning tree - MST) за алгоритмом Красскала. Розвинуто механізми самоорганізації (Organizing Mechanism) та агрегації даних (Data Aggregation Mechanism) і ротаційного вибору СН (ClusterHead Rotational Selection) на основі алгоритму порівняння енергетичних цінностей вузлів.

AN ANALYSIS OF CLUSTERING ALGORITHMS IN WSN

Nasvit Yu.O., head Lysenko OI,

Scientific consultant: Valuysky SV

Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

E-mail: nasvit17@gmail.com

A new approach to clustering in WSN, based on the FFUCA method and the metrics for determining energy consumption, is analyzed. Modified search rules for minimum spanning tree (MST) according to Kraskal's algorithm. Mechanisms of Organizing Mechanism and Data Aggregation Mechanism and Rotary Selection CH (ClusterHead Rotational Selection) based on the algorithm for comparing the energy values of nodes have been developed.

ОСОБЛИВОСТІ АУДИТУ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ

Ковальська Д.Д.

Науковий керівник: **Курдеча В.В.**

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: zashkvar.youtube01@gmail.com

Аудит як спосіб досліджу означає збір даних для аналізу та подальшої обробки, в основному, із ціллю удосконалення існуючої мережі. Разом із розвитком Інформаційних Технологій міняються і способи для ефективного проведення аудиту. Проте, під впливом значно швидшого оновлення *технічних і фізичних складових мережі* ріст є недостатнім і аудит так і лишається поняттям, котре описує у *більшому степені* фізичне втручання спеціаліста, яке потребує багато часу, унаслідок чого витрати можуть бути непомірно великими.

До особливостей, котрі застосовуються у даній роботі можна віднести використання програмного забезпечення як основної функції аудиту, що несе за собою спрощення процедури самого аудиту і, як наслідок, зменшення витрат ресурсів.

FEATURES OF NETWORK EQUIPMENT AUDIT

Kovalska D.D.

Scientific adviser: **Kurdecha V.V.**

Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

E-mail: zashkvar.youtube01@gmail.com

Audit as an experimental method means collecting data for analysis and further processing, mainly in order to improve the existing network. Along with the development of Information Technology, the ways to conduct an effective audit are changing. Under the influence of much faster updating of the technical and physical components of the network, growth is insufficient and audit remains a concept that describes more time-consuming physical intervention, which can be very costly.

Among the features used in this work is the use of software as the main function of the audit, which simplifies the audit procedure and, consequently, reduce resource costs.

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ ІОТ

Бутько І.Ю.

Науковий керівник: **Глоба Л.С.**

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: butkoinna2000@gmail.com

В роботі досліджено методи підвищення безпеки «розумної» оселі у випадку надзвичайних ситуацій за рахунок відтворення подібних ситуацій на базі мікрокомп'ютера і можливість інтеграції та реалізації подібної системи контролю в «розумних» мережах. Перспективність дослідження полягає в автоматизації та ефективному використанню всіх пристроїв будинку за допомогою датчиків, які дозволяють здійснювати безпеку «розумного будинку». У даному проєкті «розумного будинку» буде можливість приєднати та дослідити системи освітлення, клімат – контролю, захист від зловмисників.

Система безпеки у випадку надзвичайної ситуації буде відправляти повідомлення власнику про небезпеку. Система безпеки розумного будинку буде реалізована на основі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi.

Основними завданнями дослідження є вивчення основних небезпек, вплив яких можна зменшити шляхом забезпечення надійної безпеки «розумного будинку», аналіз існуючих датчиків та сенсорів для під'єднання їх до мережі, збір показників спрацювання датчиків та сенсорів. Також буде написано програму, яка надасть можливість прототипування небезпечних ситуацій та написано програму через яку можна буде надсилати повідомлення до GSM – модуль.

IMPLANTATION OF SECURITY SYSTEMS BASED ON IOT TECHNOLOGY

I.Y.Butko

Scientific adviser: **L.S. Globa**

Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

E-mail: butkoinna2000@gmail.com

Project must increase safety of the “smart house” in the events of emergencies by creating similar situations on the basis of microcomputer and the possibility of integration and implementation of such a control system in “smart networks”. Prospectivity of the research lies in the automation and efficient use of all devices of the house with the help of sensors, which allow carrying out safety “smart house”. This project “smart house” will connect and investigate systems of lighting, climate control, and protection from rubbers.

The emergency safety system will notify the owner about the danger. The smart house security system will be based on the Raspberry Pi single board computer.

The main points of are studying of the main emergencies that can be reduced by ensuring the reliable security of the “smart house”, analysis of existing sensors for connecting it to the “smart house” network, collecting the indicators of the sensors’ operation, developing a program enabling prototyping of emergencies related to the “smart house» systems, writing a program on the Raspberry Pi that will allow sending notifications about emergencies through the GSM module and access to the system via the Internet.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Лобода Р.І.

Науковий керівник: **Осипчук С.О.**

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: lobodaroman777@gmail.com

Представлено результат дослідження технологій високошвидкісної передачі даних IEEE 802.11ac виду точка-точка в польових умовах на відстані 12 км в умовах прямої видимості, з метою встановлення на безпілотному літальному апараті (БПЛА). Передача відео в реальному режимі часу високої чіткості дозволяє спостерігати та контролювати ситуацію на певній території, причому оператор фізично перебуває на відстані, виконуючи моніторинг стану лісів, полів, чи зон надзвичайної ситуації. Час реагування на аварійні ситуації значно зменшується. Використання технологій високошвидкісного якісного передавання даних з БПЛА надає значні оперативні і тактичні переваги у вирішенні поставлених завдань.

RESEARCH OF HIGH-SPEED DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Loboda R.I.

Scientific adviser: **Osypchuk S.O.**

Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

E-mail: lobodaroman777@gmail.com

The study result of high-speed PtP data transmission technologies IEEE 802.11ac in the field conditions at 12 km distance in line of sight for installation on unmanned aerial vehicles (UAVs) is demonstrated. Real-time HD video transmission allows to monitor and control the situation in a certain area, while UAV operator is physically located in safe area and monitoring the state of forest, field, or emergency zone. Emergency response time is significantly reduced when use this technology. The use of high-speed high-quality UAV data transmission technologies provides significant operational and tactical advantages in solving the tasks.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯ, РОЗСІЯНОГО АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ, АСИМПТОТИЧНИМИ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

Пилипенко О.В., Смолій М.С.

Науковий керівник: **Сидорчук О. Л.**

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна

Pylypenko.oleksii@gmail.com

В роботі досліджено електромагнітне поле, розсіяне розкритом одного випромінювача та всієї антени із застосуванням леми Лоренца та точних граничних умов. Інтегральні електродинамічні рівняння розв'язано асимптотичним методом перевалу в двох довільних площинах. Побудовані графіки амплітуд поля, як функції кута зондування, свідчать, що покращення узгодження в антенному тракті призведе до збільшення максимальної амплітуди сигналу в режимі передачі. Відповідно до принципу оберненості антен, таке узгодження покращить поглинання вищих типів хвиль, що наводяться на розкриті одного випромінювача або еквідистантної антенної решітки. Це дозволить зменшити коефіцієнт стоячої хвилі за напругою та рівень бічних пелюсток. Результати досліджень можна використати під час розробки алгоритмів виявлення, розпізнавання та ідентифікації радіотехнічних об'єктів з антенними решітками.

RESEARCH OF A FIELD SCATTERED BY ANTENNA ARRAY BY ASYMPTOTIC METHODS OF ELECTRODYNAMICS

Pylypenko O.V., Smolii M.S.

Scientific adviser: **Sydorchuk O. L.**

Korolov Zhytomyr Military Institute, Ukraine

Pylypenko.oleksii@gmail.com

The field scattered by opening one emitter and the whole antenna using Lorentz lemma and exact boundary conditions is studied. Integral electrodynamic equations are solved by the asymptotic method of passing in two arbitrary planes. The constructed graphs of field amplitudes as a function of the probing angle show that improving the alignment in the antenna path will increase the maximum signal amplitude in the transmission mode. According to the principle of inversion of antennas, such coordination will improve absorption of higher types of waves which is given at the opening of one emitter or equidistant antenna array. This will reduce the standing wave ratio by voltage and level of the side lobes. The results of the research can be used in the development of algorithms for the identification of detection, recognition and evaluation of radio objects with antenna arrays.

КІБЕРСТІЙКА МАРШРУТИЗАЦІЯ У КРИТИЧНО ВАЖЛИВИХ МЕРЕЖАХ

Персіков М.А., Лемешко В.О., Кашаїджа Д.

Науковий керівник: Єременко О.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

E-mail: mykhailo.persikov@nure.ua, valentyn.lemeshko@nure.ua,

kashaija.joel@nure.ua

Досліджено схему кіберстійкої маршрутизації у комунікаційній інфраструктурі критично важливих мереж. Основна ідея полягала в поєднанні маршрутизації композитними та простими шляхами та підходу розділення секрету. Отже, навіть якщо зловмисник зкомпрометує деякі канали зв'язку та маршрути, він не зможе відновити вихідні дані, якщо кількість частин повідомлення у цих маршрутах буде меншою за визначений поріг. В процесі моделювання та розв'язання оптимізаційної задачі нелінійного програмування продемонстровано ефективність використаної схеми. Показано, що схема Шаміра з надмірністю забезпечує краще балансування частин конфіденційного повідомлення за розрахованими маршрутами, ніж схема без надмірності.

CYBER-RESILIENT ROUTING IN MISSION-CRITICAL NETWORKS

Persikov M.A., Lemeshko V.O., Kashaija J.

Scientific adviser: Yeremenko O.S.

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

E-mail: mykhailo.persikov@nure.ua, valentyn.lemeshko@nure.ua,

kashaija.joel@nure.ua

The scheme of cyber-resilient routing in the communication infrastructure of mission-critical networks is studied. The main idea was to combine routing over composite and simple paths and the secret-sharing approach. Therefore, even if an attacker compromises some communication links and routes, he will not recover the original data if the message parts number in these routes is less than a certain threshold. In the process of modeling and solving the optimization problem of nonlinear programming, the efficiency of the used scheme is demonstrated. It is shown that Shamir's scheme with redundancy provides better balancing of the confidential message parts on the calculated routes than the scheme without redundancy.

**ПРИЙМАЧ З АЛГОРИТМІЧНОЮ АВТОКОМПЕНСАЦІЄЮ
ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАВАД ДЛЯ ОДНОЧАСТОТНИХ СИСТЕМ
РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

Тарасенко Н.А.

Науковий керівник: **Якорнов Є.А.**

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: tarasenko.nazar@lil.kpi.ua

В роботі наведено опис розробленої схеми приймача з алгоритмічною автокомпенсацією інтерференційних завад для одночастотних систем радіорелейного зв'язку, яка забезпечує їх придушення до 80 дБ.

**RECEIVER WITH ALGORITHMIC AUTO COMPENSATION
OF INTERFERENCE INTERFERENCES FOR SINGLE-FREQUENCY
RADIO RELAY RELATION SYSTEMS**

Tarasenko N.A.

Scientific adviser:: **Yakornov Ye.A.**

Educational and Scientific Institute of Telecommunication Systems,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

E-mail: tarasenko.nazar@lil.kpi.ua

The paper describes the developed circuit of the receiver with algorithmic autocompensation of interference interference for single-frequency radio relay communication systems, which provides their suppression up to 80 dB.