

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ
В ПАКЕТНІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ
08-34.МКР.007.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТТК-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Матвеев В.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Войцеховська О.В.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМІ

_____ Коваль Л.Г.

« ____ » _____ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Технології та засоби телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Матвееву Вадиму Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

керівник роботи Войцеховська Олена Валеріївна, канд. техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи вид технології з організації радіоканалу - LTE 3GPP R8; кількість рівнів кодування символу – 8; формат модуляції - 64QAM; смуга робочих частот каналу передачі даних – 15 МГц; ширина смуги сигналу передавача - 18 МГц; тип мультиплексування – OFDM; пропускна здатність радіоканалу LTE – 120 Мбіт/с; спектральна ефективність використання радіоканалу – б; циклічна затримка передачі даних – 24 мс; тип кодування – LDPC; скорочення затримок передачі даних реального часу – 2,1 рази; підвищення динамічності взаємодії об'єктів інтегрованої мережі за рахунок збільшення швидкості обміну даних – 1,25 рази; метод просторового кодування сигналу – MIMO (8x8).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз особливостей передачі мультимедійного трафіку по пакетних мережах; 2. Підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованій пакетній мережі; 3. Аналіз спектральної ефективності цифрового кодування з багаторівневим поданням символів; 4. Моделювання алгоритмів управління ресурсами радіоканалу в пакетній мережі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління; 2. Діаграма підвищення динамічності радіоканалу за рахунок зменшення затримки пакетів; 3. Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування символу; 4. Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування і глибини модуляції; 5. Алгоритм мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Войцеховська О.В., доцент кафедри ТКСТБ		
Економічна частина	Адлер О.О., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	06.09.2019р.	
2.	Аналіз особливостей передачі мультимедійного трафіку по пакетних мережах	13.09.2019р.	
3.	Підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованій пакетній мережі	04.10.2019р.	
4.	Аналіз спектральної ефективності цифрового кодування з багаторівневим поданням символів	25.10.2019р.	
5.	Моделювання алгоритмів управління ресурсами радіоканалу в пакетній мережі	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11.2019р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	29.11.2019р.	
9.	Нормоконтроль МКР	02.12.2019р.	
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12. 2019р.	
11.	Захист МКР ЕК	09.12. 2019р.	

Студент

(підпис)

Матвеев В.О.

Керівник роботи

(підпис)

Войцеховська О.В.

РЕФЕРАТ

УДК 621.391

Матвеев Вадим Олегович. Підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 122 с. На українській мові.

Рисунків 54, таблиць 9, бібліографія 69.

Удосконалено метод розподілу ресурсів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу 5G, яка будується на основі фундаментальних фізичних принципів технології LTE 3GPP R8, шляхом об'єднання частини ресурсних блоків спадного напівфрейма в пакетні транспортні модулі.

Одержав подальший розвиток метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу, шляхом резервування інформаційних блоків змінної довжини в пакетних транспортних модулях для потоків реального часу, за рахунок чого забезпечуються індивідуально задані показники динамічності взаємодії мобільних об'єктів.

Вперше запропоновано метод комбінованого частотно-часового порозрядного кодування символів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу, шляхом формування окремих розрядів символу за допомогою частинно-лінійних функцій фазової модуляції; даний метод підвищує динамічність взаємодії об'єктів інтегрованої пакетної мережі за рахунок збільшення швидкості передачі даних в 1.0-1.5 разів в залежності від поточного стану каналу зв'язку.

ABSTRACT

UDC 621.391

Vadim Matveev. Increasing the dynamic interaction of mobile devices on a packet telecommunications network. Master's qualification work in the specialty "Telecommunications and Radio Engineering" - Vinnitsa: VNTU, 2019. - 122 p. In Ukrainian language.

Figures 54, tables 9, bibliography 69.

The method of resource allocation in the radio channel of the integrated 5G mobile access packet network, which is built on the basis of the fundamental physical principles of LTE 3GPP R8 technology, has been improved by combining part of the resource blocks of the descending semi-frame into packet transport modules.

The method of multiplexing of segments of real time and packet data in the radio channel of the integrated packet network of mobile access has been further developed by redundancy of information blocks of variable length in packet transport modules for streams of real time, due to which individually set indicators of dynamic interaction of mobile objects are provided.

For the first time, a method of combined frequency-temporal bit-encoding of characters in the radio channel of an integrated packet network of mobile access is proposed, by forming separate digits of a character by means of partially-linear functions of phase modulation; this method increases the dynamic interaction of the objects of the integrated packet network by increasing the data rate by 1.0-1.5 times, depending on the current state of the communication channel.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ ПО ПАКЕТНИХ МЕРЕЖАХ	11
1.1 Принципи та методи передачі мультимедійного трафіку по бездротових пакетних мережах	11
1.2 Аналіз концепції програмно конфігурованих мереж в системах реального часу	24
1.3. Особливості функціонування радіоканалу LTE при передачі даних реального часу	33
2 ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ МОБІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ В ІНТЕГРОВАНІЙ ПАКЕТНІЙ МЕРЕЖІ.....	39
2.1. Вдосконалений метод розподілу ресурсів в радіоканалі пакетної мережі мобільного доступу.....	40
2.2. Алгоритм розподілу ресурсів в логічному каналі ad hoc	53
2.3. Метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі мобільної мережі доступу.....	57
Висновки до розділу 2	62
3 АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВОГО КОДУВАННЯ З БАГАТОРІВНЕВИМ ПОДАННЯМ СИМВОЛІВ	63
4 МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ РАДІОКАНАЛУ В ПАКЕТНІЙ МЕРЕЖІ	72
4.1 Алгоритм інтеграції мультимедійних даних в цифровому радіоканалі	72
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	82
5.1 Аналіз комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі.....	82
5.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	82
5.1.2 Визначення рівня якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	84
5.1.3 Визначення конкурентоспроможності підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі..	86
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно- конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи	87
5.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	87

5.2.2 Розрахунок загальних витрат на підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	92
5.2.3 Прогнозування витрат на виконання та впровадження підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	92
5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	93
5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності	94
5.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	94
5.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	95
5.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі	96
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...	97
6.1 Гігієна праці та виробнича санітарія.....	97
6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.....	97
6.1.2 Виробниче освітлення	98
6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.....	99
6.1.4 Виробничі випромінювання	99
6.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження	101
6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць	101
6.2.2 Електробезпека.....	101
6.2.3 Пожежна безпека	102
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	102
6.3.1 Дослідження безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань	103
6.3.2 Дослідження безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	104
6.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах НС.....	105
6.4 Висновки до розділу 6	106
ВИСНОВКИ.....	107

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	109
ДОДАТКИ.....	116
Додаток А (Технічне завдання).....	117
Додаток Б (Архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління).....	118
Додаток В (Діаграма підвищення динамічності радіоканалу за рахунок зменшення затримки пакетів).....	119
Додаток Г (Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування символу).....	120
Додаток Д (Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування і глибини модуляції).....	121
Додаток Е (Алгоритм мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних).....	122

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ВСТУП

Актуальність теми. Згідно з концепцією ІТУ, мережі NGN припускають інтеграцію більшості послуг на базі інтернет протоколу ІР [1]. Зокрема, мережі мобільного зв'язку четвертого покоління (4G), на відміну від попередніх поколінь, передбачають передачу всіх видів мультимедійного трафіку (в т.ч. цифрової телефонії) через протокол ІР шляхом інкапсуляції даних відповідно до стеку TCP / ІР [7-13]. В даний час ІР є основним протоколом між мережевою взаємодією, а однією з невирішених проблем ІР є забезпечення вимог якості обслуговування (QoS) при передачі трафіку реального часу (мовного, відео і т.д.) [4]. Ця проблема виникає внаслідок варіацій затримок передачі ІР-пакетів і втрат пакетів в разі перевантаження окремих сегментів транспортного ланцюга [5]. Це призводить до погіршення якості мови і зображення, розривів з'єднань абонентів, уповільнення динаміки між машинної взаємодії [6].

Мультисервісна платформа ІР Multimedia Subsystem (IMS) є певним компромісом між існуючою інфраструктурою мережі і новими вимогами до якості обслуговування, [7]. Удосконалення транспортної функції мережі NGN йде шляхом підвищення швидкості передачі даних і зменшення затримок при передачі даних реального часу на основі технології когерентних комунікацій COC (Coherent Optical Communications) [8], модифікації технології MPLS [9], динамічного управління ресурсами, спрямованого на адаптацію мережі до конкретних умов функціонування [10]. Одним з підходів в цьому напрямку є концепція програмно-конфігурованих мереж SDN (Software Defined networks), яка активно розвивається в останні роки, в т.ч. в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління [34-36].

Аналіз останніх досліджень. Досвід впровадження 4G показує, що найбільш актуальним є впровадження бездротових мереж на основі поступового розвитку технології LTE [37-39]. Широке застосування стаціонарних і пересувних технічних пристроїв шляхом інтеграції в мережеві структури, висуває нові вимоги до динамічних властивостей мережевих каналів, які забезпечують оперативну взаємодію термінальних пристроїв з централізованими процесорами різних рівнів ієрархії в складі розподілених систем автоматичного регулювання. Такі завдання пов'язують з концепцією мереж 5G (сенсорні мережі, мережі між машинної взаємодії M2M, Інтернет речей) [40-44]. Внаслідок вищесказаного, виникає важлива науково-прикладна задача подальшого підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованих пакетних мережах мобільного доступу

п'ятого покоління шляхом скорочення затримок передачі даних і збільшення швидкості обміну в додатках реального часу. Виходячи з цього, тематика даної роботи є актуальною для побудови пакетних мереж бездротового зв'язку п'ятого покоління.

Мета та постановка задачі. Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі доступу п'ятого покоління шляхом скорочення затримок і збільшення швидкості передачі даних.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- визначення особливостей відомих методів інтеграції мультимедійних даних і обґрунтування передумов для подальшого підвищення динамічності взаємодії об'єктів бездротових пакетних мереж 5G за показниками затримок пакетів і швидкості при передачі даних реального часу;

- удосконалення методів розподілу ресурсів в радіоканалі мережі 5G, що будується на основі фундаментальних фізичних принципів технології LTE 3GPP R8, для підвищення динамічності взаємодії об'єктів інтегрування пакетних мереж шляхом скорочення затримок передачі даних реального часу;

- розробка методу кодування символів в радіоканалі, який підвищує динамічність взаємодії об'єктів інтегрованої пакетної мережі 5G шляхом збільшення швидкості передачі даних.

- комп'ютерне моделювання запропонованих методів розподілу ресурсів і кодування в радіоканалі для верифікації функціональної коректності алгоритмів їх реалізації.

Об'єкт дослідження є процеси передачі даних і розподілу ресурсів радіоканалу в пакетних мережах мобільного доступу.

Предмет дослідження є методи підвищення динамічності при взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованих пакетних мережах 5G.

Методи досліджень базуються на використанні: принципів системного аналізу, теорії інформації та мереж зв'язку, теорії телетрафіка, методів теорії графів і матричного числення, методів імітаційного та комп'ютерного моделювання, методів теорії автоматів і формальних граматики, методів теорії ймовірностей, методів спектрального аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Удосконалено метод розподілу ресурсів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу 5G, яка будується на основі фундаментальних фізичних принципів технології LTE 3GPP R8, шляхом об'єднання частини ресурсних блоків спадного напівфрейма в пакетні транспортні модулі, які передаються з частотою 0.5 кГц або 1.0 кГц в

залежності від обраного режиму, і утворюють окремий логічний підканал ad hoc; таке рішення підвищує динамічність взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованих пакетних мережах за рахунок зменшення циклічних затримок даних реального часу і керуючих команд в 2.1 рази відносно типового режиму функціонування радіоканалу LTE.

2. Одержав подальший розвиток метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу, шляхом резервування інформаційних блоків змінної довжини в пакетних транспортних модулях для потоків реального часу, за рахунок чого забезпечуються індивідуально задані показники динамічності взаємодії мобільних об'єктів - циклічні затримки передачі даних між об'єктами контролю та керуючим процесором.

3. Вперше запропоновано метод комбінованого частотно-часового поразрядного кодування символів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу, шляхом формування окремих розрядів символу за допомогою частинно-лінійних функцій фазової модуляції; даний метод підвищує динамічність взаємодії об'єктів інтегрованої пакетної мережі за рахунок збільшення швидкості передачі даних в 1.0-1.5 разів в залежності від поточного стану каналу зв'язку.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає в створенні науково-технічної основи для подальшого розвитку і вдосконалення технології бездротового і мобільного зв'язку п'ятого покоління в напрямку підвищення динамічності взаємодії об'єктів в інтегрованих пакетних мережах мобільного доступу шляхом скорочення затримок і підвищення швидкості передачі даних реального часу.

Для застосування отриманих результатів в практичній площині, основні теоретичні положення МКР доведені до конкретних алгоритмів і комп'ютерних моделей їх реалізації.

Практично значущими результатами МКР є:

- алгоритм динамічного розподілу ресурсів в радіоканалі шляхом виділення логічного каналу ad hoc, який будується на основі технології LTE;
- протокол інтеграції мультимедійних даних в пакетні транспортні модулі логічного каналу ad hoc, а також програмний модуль для комп'ютерної емуляції роботи даного протоколу;
- програмний комплекс імітаційного моделювання для алгоритму розподілу ресурсів в радіоканалі пакетної мережі, який дозволяє перевіряти логіку і працевлаштування здатність даного алгоритму;

- алгоритм комбінованого частотно-тимчасового поразрядного кодування символів в радіоканалі за допомогою кусочно-лінійних функцій фазової модуляції.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020) у 2019 році.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ ПО ПАКЕТНИХ МЕРЕЖАХ

В даному розділі досліджені методи передачі мультимедійних даних в мережах бездротового пакетного доступу, а також пов'язані з ними питання управління трафіком в транспортних мережах мобільних операторів.

Мережі мобільного зв'язку покоління 4G орієнтовані на передачу трафіку по IP згідно стеку TCP / IP [14]. При цьому завдання забезпечення вимог якості обслуговування (QoS) при передачі потоків даних реального часу по IP-мережі до кінця не вирішена. Це може призводити до спотворень мовного сигналу або зображення, розривів з'єднань абонентів, зниження точності управління мобільними сенсорними об'єктами [15].

Відома платформа IMS є, певною мірою, компромісним рішенням на існуючій мережі в світлі нових технічних вимог [16]. На сьогоднішній день, поліпшення транспортних характеристик IP-мереж здійснюється, як правило, екстенсивно за рахунок підвищення загальної продуктивності мережі і пропускної здатності каналів зв'язку, в тому числі на основі технології когерентних оптичних комунікацій (COC) [17] і нових методів кодування даних. Важливими аспектами є також модифікація технології MPLS [18] і динамічне управління ресурсами [19], підвищення швидкості доступу в мобільних і дротяних мережах. Широко дискутуються серед фахівців можливості і перспективи застосування концепції програмно-конфігурованих мереж (SDN), в тому числі для мереж мобільного зв'язку четвертого покоління [20]. Конкурентно-спроможною платформою мобільного зв'язку, на думку багатьох експертів, є технологія LTE, в якій вперше використані ряд інноваційних науково-технічних рішень [22].

1.1 Принципи та методи передачі мультимедійного трафіку по бездротових пакетних мережах

В останні роки було запропоновано велику кількість протоколів передачі даних для мережі Інтернет, в тому числі технології, засновані на стандартах 4G [13]. На фізичному рівні моделі OSI важливим досягненням останніх років є застосування в технології 4G методу OFDM, що істотно підвищує ефективність використання діапазону частот [12]. Набір стандартів 4G поєднує в собі дві основні рекомендації: LTE Advanced (LTE-A) і WiMax-2 (IEEE 802.16m). Досвід розгортання технології 4G показав, що в багатьох регіонах світу (в тому числі США, ЄС, України і т.д.), найбільш

перспективним є впровадження бездротових мереж на основі поступового розвитку технології LTE.

Повсюдне проникнення мережевих технологій підвищує вимоги щодо забезпечення сумісності термінальних пристроїв з централізованими вузлами обробки (процесорами) різних рівнів ієрархії, які утворюють розподілену систему автоматичного управління і контролю. Такого роду завдання мають пряме відношення до побудови так званих інтегрованих мереж п'ятого покоління 5G, які включають в себе сенсорні мережі і системи між машинної взаємодії M2M, [40-44].

У зв'язку зі сказаним, виникає актуальна науково-прикладна задача подальшого підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в пакетних бездротових мережах за рахунок зменшення затримок і збільшення швидкості обміну потоками реального часу.

Історично, розробка стандартів і технологій мереж бездротового доступу і мобільної телефонії почалася з запуском аналогової системи мобільного зв'язку першого покоління NMT-450 (1981 р Саудівська Аравія).

Одним з кращих на сьогоднішній день технічних рішень в цьому напрямку є реалізація двома провідними американськими операторами зв'язку об'єднаної мережевої системи мобільного зв'язку четвертого покоління (4G) на базі технології передачі мовного сигналу через LTE (VoLTE) (2014 року, Verizon Wireless і AT & T Inc.) [38]. Однак, деякі експерти визнали, що де-факто термін "4G" до сих пір ще остаточно не визначений [7].

Проведений аналіз показав, що на даному етапі впровадження мереж четвертого покоління, слід розрізняти, по крайній мере, наступні три можливих інтерпретації терміна "4G".

1) Офіційний стандарт 4G, який включає в себе дві специфікації: LTE Advanced і WiMax2 (IEEE 802.16m); розробку цього пакета стандартів завершено в 2010р. ([10]), а в 2011 році цей пакет був схвалений офіційними організаціями. Як показав досвід наступних років, серед цих двох стандартів 4G технологія LTE є найбільш перспективною.

2) Комерційний бренд «4G», який передбачає спільне використання платформи 3G з комутацією каналів для телефонних розмов і каналу, заснованого на технології LTE з комутацією пакетів, для ширококутового мобільного / бездротового доступу до мережі Інтернет (так звана технологія повернення до комутації каналів або CSFB) . Технологія CSFB вимагає одночасної наявності в мобільному пристрої двох радіосистем, так як 3G і LTE розрізняються фізично. Перше комерційне розгортання LTE було здійснено в Стокгольмі і Осло (грудень 2009) шведсько-фінським

оператором TeliaSonera і оператором, який є його норвезьким брендом, - компанією NetCom (Норвегія) [11].

3) Радіодоступ до мережі 4G тільки з комутацією пакетів на основі технології VoLTE.

Поняття «четверте покоління мереж мобільного зв'язку» спочатку було асоційоване з розробкою і прийняттям пакету стандартів 4G (LTE-A і WiMax2). Перший реліз стандарту 4G, відомий як специфікація "IMT Advanced" (покращений стандарт міжнародного мобільного зв'язку), був опублікований в Секторі радіозв'язку Міжнародного Союзу Електрозв'язку (ITU-R) в 2008 р [8].

Основна ідея стандарту 4G - це широкосмуговий доступ бездротових і мобільних пристроїв до інформаційно-комунікаційної інфраструктури. Відповідно до стандарту 4G, пікова швидкість доступу мобільного пристрою становить 100-300 Мбіт/с, а максимальна швидкість доступу для стаціонарних бездротових пристроїв до 1 Гбіт/с.

Другий основний принцип стандарту 4G - це інтеграція різних видів телекомунікаційних та інформаційних послуг (включаючи послуги телефонії) на платформі IP-протоколу (концепція мультимедійної підсистеми на базі IP- протоколу, або IMS) [9].

Третя особливість 4G - прагнення до «універсальної мобільності» як базового принципу розвитку мереж NGN. Цей принцип передбачає можливість плавного переходу будь-якого мобільного абонента з однієї мережі в іншу без втрати з'єднання [11-14].

Четвертий принцип - поступовий перехід до версії протоколу IPv6 замість версії IPv4. Стандарти 4G були завершені на засіданні Сектора радіозв'язку (ITU- R) в Китаї (жовтень 2010 р [10]) і ратифіковані в МСЕ навесні 2011. В останні роки ряд операторів оголосили про розгортання мереж мобільного зв'язку під брендом «4G». Так, в 2009 Литва проголосила розгортання першої в Балтійському регіоні мережі мобільного зв'язку «4G» на базі технології WiMax; в 2009 оператори TeliaSonera і NetCom запустили першу комерційну мережу мобільного телефонного зв'язку.

У грудні 2010 року на семінарі ITU-R було визнано, що LTE, WiMax і інші технології, які були розроблені для поліпшення технології «3G», можна розглядати як технології «4G»; насправді, це означає відмову від початкової стратегії ITU по концепції 4G [4].

У 2011 в Литві (Omnitel) відкрита мережа LTE «4G» в п'яти великих містах країни. В Аргентині (Claro) і Таїланді (TrueMove-H) розгорнуто мережі по так званій технології «Pre-4G» на базі технології HSPA +.

У 2012 в ряді країн, у тому числі Індії (Bharti Airtel), Азербайджані (Azercell), Південній Африці (Vodacom), Мексиці (Telcel), Казахстані та інших, були розгорнуті системи під брендом «4G» для комерційного використання з використанням виключно технології бездротового доступу LTE. В даний час кількість мереж, повністю побудованих на технології доступу LTE, становить уже більше десятка.

Головною відмінною рисою LTE є вдосконалений метод доступу (ортогональне частотне ущільнення OFDM), який використовується на фізичному рівні замість таких відомих раніше методів як множинний доступ з частотним поділом, який використовується в стандарті GSM (технологія 2G) або множинний доступ з кодовим поділом каналів (CDMA), що є специфічним для технології 3G. Обидва методи - GSM і CDMA-використовують імпульсно-кодovu модуляцію, що передбачає подання спектра сигналу по всій виділеній смузі; тому гауссівський (білий) шум в тій чи іншій мірі впливає на сигнал всюди в межах використовуваної ширини смуги частот. Замість цього, OFDM використовує дискретний набір частот для подання кодованих символів; це зменшує вплив гауссівського шуму, покращує співвідношення сигнал / шум (SNR) і, отже, збільшує спектральну ефективність каналу зв'язку (до значень приблизно 1 біт/с/Гц і більше).

Технологія LTE теоретично, при ширині смуги частот 20 МГц, забезпечує пікову швидкість прийому даних до 326.4 Мбіт/с, а швидкість передачі до 172.8 Мбіт/с. На практиці, швидкість обміну в розгорнутих мережах LTE значно менше в порівнянні з значеннями пікової швидкості, які наведені вище.

Система LTE підтримує два режими дуплекса: частотний (FDD) і тимчасової (TDD); стандартні смуги частот становлять 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 МГц; при цьому режим FDD є основним для LTE. У кожній соті LTE при ширині смуги частот 5 МГц можуть обслуговуватися приблизно кілька сотень активних клієнтів. Однак, технологія LTE не є сумісною фізично з радіоканалами, які раніше використовувалися в технологіях 2G-3G; саме тому більшість мереж LTE, що функціонують в режимі CSFB, вимагають підтримки двох радіо модулів в обладнанні користувача (UE) - один для передачі телефонних розмов (наприклад, за допомогою імпульсно-кової модуляції CDMA) і ще один для даних в режимі OFDM. Перший модуль використовують для синхронного мультиплексування з тимчасовим поділом каналів (TDM), а другий модуль забезпечує асинхронну пакетну доставку.

Технологія CSFB («Відкат від 4G до 3G», тобто повернення до комутації каналів для установки телефонних з'єднань), суперечить основній

концепції стандарту 4G («Все по IP-протоколу», або "All Over IP"). Паралельна робота мобільного пристрою в двох радіомережах (мовної канал і канал даних) призводить до прискореного розряду акумулятора, і є серйозною проблемою, як для користувачів, так і для виробників.

Ще однією серйозною проблемою технології OFDM є високий пік-фактор сигналу, синтезованого за допомогою рядів Фур'є, який вимагає широкого динамічного діапазону і лінійності підсилювачів в приймально-передавальних пристроях.

У 2011 р компанія Bell Canada одна з перших в світі розгорнула комерційну мережу пакетної передачі даних, яка повністю побудована на технології «4G» з використанням спеціальних протоколів передачі голосу через тракт LTE (VoLTE) [37]. У 2012 р три компанії з Південної Кореї (в тому числі LG Uplus), а також компанія MetroPCS (США) заявили про створення бездротових мереж доступу VoLTE. У 2014 р приблизно 10 операторів, в тому числі Verizon Wireless в США (дочірня компанія одного з провідних в світі телекомунікаційних Verizon Communications), AT & T, T-Mobile, почали надавати послуги на основі VoLTE. В кінці 2014 Verizon і AT & T перші заявили про свій намір інтегрувати в 2015 р свої бездротові мережі в об'єднану національну інфраструктуру мобільного зв'язку.

Суттю технології VoLTE (на відміну від LTE) є те, що передачі всіх видів трафіку (в тому числі телефонії) здійснюється по одному радіоканалу OFDM по розширеному стеку протоколів VoLTE, що базується на TCP / IP. Для подолання відомих проблем пакетної доставки даних реального часу (наприклад, можливості втрати пакетів і варіювання часу затримки) в сегментах мережі доступу та транспортування на каналному рівні в технологію VoLTE було введено цілий ряд технологічних поліпшень. Зокрема, разом з еволюційної транспортної платформою IMS (eIMS) було розроблено оновлене еволюційне ядро пакетної комутації (EPC) для мережі мобільного доступу VoLTE [38].

Мережа транспортування eIMS також відома як концепція «мультимедіа поверх телефонії» (MMTel). Це означає, що базовою послугою такої мережі є телефонне з'єднання з гарантованою якістю обслуговування, в той час як всі інші послуги (відео трансляція, передача текстових повідомлень і файлів) надаються додатково в звичайному пакетному режимі обслуговування за залишковим принципом (best effort service).

Максимальний час затримки пакетів з голосовими даними в каналі радіодоступу по VoLTE обмежена завдяки суворій циклічності передачі фреймів. Також в межах EPC час затримки передачі голосових повідомлень обмежується за рахунок цільового планування пропускнуої здатності каналів. Ці особливості викликали необхідність в розробці нового типу комутації, який займає проміжне положення між традиційно відомою схемою комутації каналів і комутації пакетів. «Остання миля» технології VoLTE дуже схожа на радіо-тракт з комутацією каналів, в той час як мережа eIMS як і раніше базується на комутації пакетів (по крайній мере, формально).

Таким чином, в технології VoLTE зміщується акцент від широко використовуваної платформа IMS з фонові службою IP-пакетів в сторону переважної доставки пакетів з мовним сигналом на основі гарантій QoS (саме це становить сутність еволюційної платформи eIMS). Завдяки цьому, виникає новий тип послуг GBR (гарантована швидкість передачі даних), заснований на пакетній передачі. Ця послуга доповнює відомий раніше режим передачі цифрового потоку з постійною швидкістю (CBR), який здійснюється по каналах TDM.

З іншого боку, технологія VoLTE, разом з інтегрованою сервісною платформою EPC / eIMS / MMTEL, є ще одним важливим кроком на шляху до конвергенції мереж наступних поколінь (NGN). Однак, цей підхід є істотною трансформацією початкової ідеї підтримувати всі види мережевих послуг безпосередньо на вершині стека TCP / IP.

Традиційна платформа IMS розвивається в напрямку транспортної інфраструктури eIMS через слабку масштабованість протоколів резервування ресурсів, заснованих на IP-протоколі (наприклад, RSVP, NSIS і т.п.), а також через проблеми обмеження затримки IP-пакетів.

Іншим ключовим аспектом платформи eIMS, на наш погляд, є розуміння того, що розподілена архітектура мережі Інтернет ускладнює процес реальної конвергенції мереж передачі голосу і даних; одночасно активно дискутується протилежна концепція плавного переходу до централізованого управління та адміністрування регіональної мережею, яка формує вимоги до проектування мереж майбутніх поколінь.

Це розуміння перегукується з дослідженнями в напрямку так званої технології програмно-конфігурованих мереж (SDN) з централізованою архітектурою. Ці дослідження активно проводяться в даний час. Підтвердженням даного тренду є недавні декларації про наміри в 2015 р інтегрувати корпоративні бездротові мережі Verizon і AT & T в США, а також поява великих гравців на світовому ринку мобільних телекомунікацій (наприклад, British Vodafone Group).

Стек протоколів LTE вбудований в набір TCP / IP, як це показано на рис. 1.1.

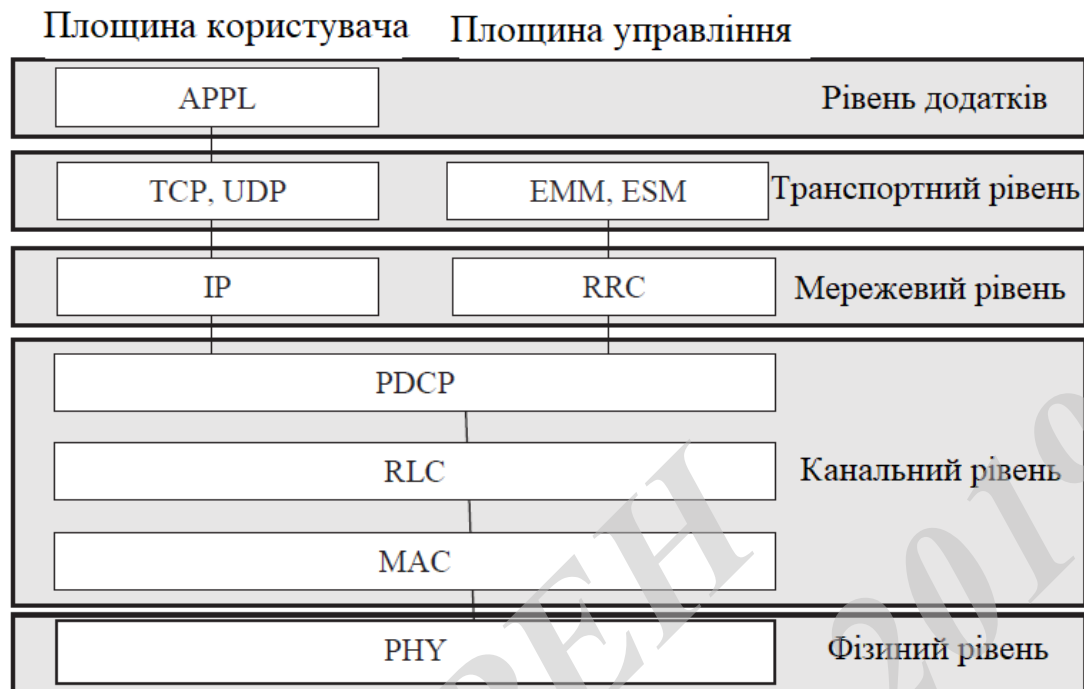


Рисунок 1.1 – Стек протоколів LTE

Функції, які є специфічними для LTE, розподілені на фізичному (PHY) і каналному рівні (DL), а також в площині управління мережевого і транспортного рівнів. Рівень DL системи LTE ділиться на три підрівні: MAC (Media Access Control, керування доступом до середовища), RLC (Radio Link Control, управління з'єднанням в радіоканалі) і PDCP (Packet Data Convergence Protocol, протокол конвергенції пакетних даних).

У площині управління IP-протоколу діє протокол управління ресурсами радіоканалу RRC (Radio Resource Control); площину управління транспортного рівня представлена об'єктами EMM (Mobility Management Entity, об'єкт управління мобільністю) і ESM (EPS Session Management, управління сеансом EPS), де EPS - це еволюційна система з пакетною передачею даних.

Фізичний рівень LTE.

Рівень PHY системи LTE в радіоканалі низхідній лінії забезпечує передачу цифрових символів за допомогою методу OFDM з дискретним набором значень ширини смуги частот 1.4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц, 20 МГц. У каналі LTE передбачені наступні три види модуляції: QPSK (2 біт / символ), 16QAM (4 біт / символ), 64QAM (6 біт / символ), див. Рис. 1.2, [14].

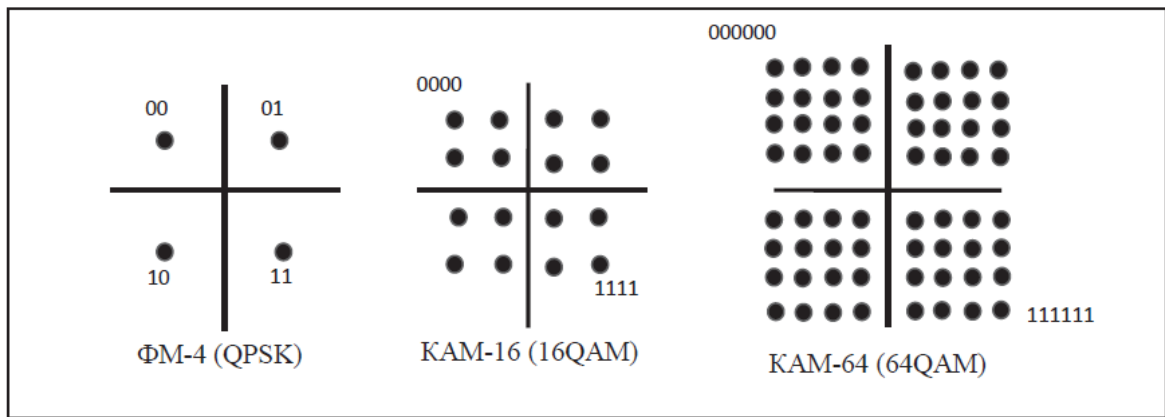


Рисунок 1.2 – Типи модуляції в системі LTE

Технологія LTE забезпечує гнучкість використання спектра, при якій ширина смуги частот може бути обрана в межах від 1.4 до 20 МГц в залежності від доступного діапазону. Таким чином, максимальна кількість користувачів, які можуть бути обслужені за кожні 0.5 мс, становить 800 користувачів з каналу 20 МГц з 8 паралельними каналами, таб. 1.1, [43]. Крок частот в OFDM дорівнює 15 кГц. Для висхідного радіоканалу LTE використовується технологія множинного доступу з передачею на одній несучій (SCFDMA) [44].

Таблиця 1.1 Характеристики фізичного каналу системи LTE

1	Ширина смуги частот каналу, МГц	1.4	3	5	10	15	15
2	Ширина смуги сигналу передавача, МГц	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
3	Кількість ресурсних блоків (за 0.5 мс)	6	15	25	50	75	100
4	Кількість ресурсних блоків (MIMO 2 × 2)	12	30	50	100	150	200
5	Кількість ресурсних блоків (MIMO 4 × 4)	26	60	100	200	300	400
6	Кількість ресурсних блоків (MIMO 8 × 8)	48	12	200	400	600	800

Техніка SCFDMA є модифікованою формою OFDM з аналогічною пропускною спроможністю і складністю. Цей метод зазвичай представляють як попередню дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) над заданим вектором, який визначає деякий безліч кодових символів OFDM (тобто символи даних в тимчасовій області перед проходженням

стандартної модуляції OFDM переводяться в частотну область за допомогою ДПФ). Іншими словами, інформація про кожного вихідному символі розподіляється по всьому обраному безлічі символів, що підвищує стійкість алгоритмів декодування при випадкових помилках окремих символів. Таким чином, SCFDMA успадковує всі переваги OFDM над такими методами, як TDMA і CDMA.

Основна проблема в переході від традиційних методів імпульсної модуляції в технології GSM з частотним ущільненням, а також технології кодового ущільнення в усій смузі (CDMA), до широкосмугових систем з ортогональним частотним ущільненням (OFDM), є збільшення складності обробки при прийомі багатопроменевого сигналу в умовах інтерференції багаторазово відбитих електромагнітних хвиль.

Разом з тим, важливою перевагою методу SCFDMA, є його стійкість до багатопроменевого розповсюдження сигналу, що робить його придатним для широкосмугових систем. Крім того, метод SCFDMA забезпечує додаткову перевагу в порівнянні з OFDM в сенсі зменшення співвідношення пікової потужності до середньої потужності (PAPR), що робить його придатним для використання при передачі інформації терміналами по висхідній лінії.

Часові одиниці виміру для LTE-фрейма наведені в табл. 1.2. Мінімальний часовий інтервал (слот) для LTE-фрейма становить 0.5 мс; він може містити 7 символів для звичайного циклічного префікса (CP) або 6 символів для розширеного циклічного префікса CP. Якщо використовують 7 символів в слоті, тоді загальний часовий інтервал для передачі 1 символу становить $0.5 \text{ с} / 7 = 0.0714 \text{ мс}$.

Таблиця 1.2 Часові характеристики структурних елементів фрейму LTE

Номер	Елемент	Значення
1	Фрейм	10 мс
2	Напівфрейм	5 мс
3	підфреймів	1 мс
4	Слот	0.5 мс
5	Символ	(0,5 мс) / 7 для звичайного CP; (0,5 мс) / 6 для розширеного CP
6	Ts	$1 / (15000 \times 2048) \text{ з} \approx 32,6 \text{ нс}$

Тривалість OFDM сигналу Δt_s для спектрального набору символу визначається першою гармонікою, яка визначає крок квантування частоти

OFDM-сигналу (тобто $f_1 = 15$ кГц): $\Delta t_s = 1/15$ кГц = 0,0667 мс = 66,7 мкс. Звичайний циклічний префікс дорівнює 0.0714 мс – $0,0667$ мс = $0,0047$ мс = 4,7 мкс. Розширений префікс дорівнює 0.5 с / 6 – $0,0667$ мс = 0.0166 мс = 16,6 мкс.

Наприклад, якщо виділений діапазон частот радіоканалу LTE становить $\Delta F = 5$ МГц, то фактично використовується смуга частот $\Delta FT = 4,5$ МГц. Загальна кількість тих, що піднесуть частот OFDM, які діють в одному часовому інтервалі $\Delta t_s = 66,7$ мкс, становить $4,5$ МГц/15 кГц = 300; ці підносійні об'єднані в 25 ресурсних блоків по 12 піднесуть в кожному ($25 \times 12 = 300$).

Для випадку застосування методу модуляції QPSK, кожна з 300 піднесуть переносить 2 біти інформації; таким чином, пропускна здатність радіоканалу LTE в діапазоні частот 5 МГц і методі модуляції QPSK, складає $R = (300 \cdot 2\text{біт}) / 66,7\text{мкс} = 9$ Мбіт. Спектральна ефективність дорівнює $\gamma = R / \Delta F = 9$ Мбіт / с / 5МГц = 1,8біт / с / Гц.

Ресурс радіоканалу може бути динамічно виділений активним пристроїв UE. Якщо один пристрій UE отримає пропускну здатність радіоканалу LTE, яка відповідає 128 кбіт / с, то в цьому випадку, загальна кількість мобільних пристроїв можуть спільно і одночасно працювати в межах стільники базової станції, оцінюється як 9 Мбіт / с / 128 кбіт / с ≈ 70 . Якщо в системі використовується швидке перетворення Фур'є з кількістю точок 2048, то мінімальний інтервал часу $T_S = 32,6$ нс в фізичному каналі є інтервалом дискретизації.

Тривалість символу тоді становить $2048 \cdot T_S = 2048 \cdot 32,6 \cdot N_s = 66,7$ мкс.

Структура каналного рівня системи LTE

Рівень DL системи LTE охоплює підрівні MAC, RLC і PDCP, як показано на рис.1.1. Підрівень MAC системи LTE працює з комплексними фреймами тривалістю 10мс, кожен з яких складається з двох напівфрейм (тривалістю 5мс в TDD або 10мс в режимі FDD) для низхідної і висхідної ліній відповідно.

Кожен наівфрейм в режимі передачі в низхідній лінії складається з 7 або 6 символів, помножених на певну кількість блоків піднесуть (по 12 піднесуть частот). Два послідовних слота утворюють під фреймів тривалістю 1мс. Мінімальний блок інформації ΔI_{\min} , який адресований об'єкту UE, є одним слотом тривалістю 0.5мс з інформаційної пропускну спроможністю, яка визначається як 7 або 6 слотів символів $\times 12$ піднесуть $\times 1$ символ. Для випадку QPSK (зі звичайним префіксом CP) це значення одно $\Delta I_{\min} = 7 \cdot 12 \cdot 2 = 168$ біт = 21 байт.

Напівфрейм низхідної лінії передається в режимі спільного використання всієї смуги частот (тобто кожен об'єкт UE аналізує весь підфрейм і приймає тільки свою, заздалегідь певну його частину). Мінімальний інформаційний блок ΔI_{\min} в режимі спадної лінії, який може бути розподілений в UE в межах інтервалу 0.5 мс (якщо $\Delta F = 5$ МГц і метод модуляції - QPSK) дорівнює $\Delta B_{\min} = 300 \cdot 2 = 600$ біт = 75байт.

Смуга частот висхідній лінії в каналі LTE розділена на підносійні частоти з кроком 15 КГц; цей частотний ресурс динамічно виділяється активним об'єктам UE за допомогою процедури розподілу в низхідній лінії. Підносійні висхідної лінії об'єднані в підфрейми аналогічно низхідної лінії. Однак, на відміну від низхідної лінії, кожен об'єкт UE формує своє власне розбиття підфреймів загальної висхідної лінії з використанням обмеженої кількості підносійних.

Це призводить до зменшення пік-фактора. Однак, через багатопроменевого поширення і наявність в радіоканалі сигналів, сформованих безліччю UE, виникає проблема взаємовпливу різних UE. Для боротьби з цим явищем, інформацію висхідній лінії символів попередньо разносять по спектру "абстрактних" гармонік за допомогою прямого дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), застосованого до блоку символів перед подальшим розподілом піднесуть і наступним зворотнім швидким перетворенням Фур'є (БПФ) для його передачі в ефір. Під час прийому сигналів висхідній лінії після звичайної процедури демодуляції OFDM після прямого аналогового перетворення Фур'є проводять зворотне дискретне перетворення Фур'є (IDFT).

На підрівні RLC системи LTE проводять сегментацію і повторне складання в прозорому режимі (TM), режимі з підтвердженням (AM) або режимі без підтвердження (UM). Підрівень RLC забезпечує послідовну передачу і виявлення дублікатів [16]. Процес сегментації включає в себе розпакування блоку пакетних даних RLC (PDU) в блоки службових даних RLC (SDU) або сегменти SDU.

Розмір протокольної одиниці даних (PDU) на підрівні RLC не є постійним, а залежить від умов каналу, які базова станція (eNB) призначає призначеному для користувача пристрою (UE) в низхідній лінії. Розмір транспортного блоку може змінюватися в залежності від вимог до ширини смуги частот, відстані, рівнів потужності, методів модуляції і розміру пакетів.

Підрівень PDCP (протокол конвергенції пакетних даних) системи LTE успадковує попередні версії для стандартів GSM і 3GPP (використовується

для управління пакетними даними) і додатково забезпечує послугу передачі мовних даних з комутацією каналів.

Функції PDCP в площині користувача низхідній лінії (рис.1) включають: декодування, розпакування заголовка, який був підданий стиску функцією ROHC (Robust Header Compression, помехоустойчивое стиснення заголовку), нумерація послідовності і видалення дублікатів даних [16].

Функції PDCP в площині управління включають в себе декодування, захист цілісності, нумерацію послідовності і видалення дублікатів даних. Кожен односпрямований радіоканал формується зі своїм власним зразком протоколу PDCP. Однонаправлені радіоканали пропонуються рівнем 2 для більш високих рівнів з метою обміну даними користувача або керуючими даними; вони є аналогами логічних каналів.

Перспективи використання технології LTE для обміну інтерактивними даними реального часу.

Технологія LTE, в першу чергу, орієнтована на доставку даних мовних сигналів з гарантованою якістю з'єднань, з метою передачі телефонії в мобільних / бездротових мережах. Завдяки циклічній синхронізації фрейма в радіоканалі LTE з періодом 10 мс, одностороння затримка (OWD) в радіоканалі обмежена величиною приблизно 20 мс. Досвід використання мережі VoLTE компанії Verizon показує, що наскрізна затримка OWD в межах географічної території США не перевищує 50 мс [38]; цей параметр знаходиться в межах допуску відповідної вимоги QoS стандарту з цифрової телефонії (тобто, менше 100 мс).

На сьогоднішній день поки не спостерігається активне розгортання послуги VoLTE в масштабах великих регіонів, а тим більше, в глобальних масштабах. Разом з тим, очікуване значення OWD для майбутньої міжконтинентальної мережі VoLTE значного охоплення складає приблизно 150 мс, що є цілком прийнятним рішенням для якісного обміну голосовим трафіком.

Разом з тим, надійне обмеження затримки передачі голосових даних VoLTE за принципом «від краю до краю» через транспортну інфраструктуру Інтернет, як і раніше, є серйозною невирішеною проблемою для операторів мобільного зв'язку. Створення еволюційної інфраструктури IMS (eIMS) в регіональних і міжрегіональних масштабах є завданням, яке можуть ефективно вирішувати великі оператори мобільного зв'язку, яким належать компоненти глобальної телекомунікаційної інфраструктури, як для бездротового доступу, так і транспортування по дротових оптичних мереж (наприклад, оператор Verizon).

Якщо оператор телекомунікацій має можливість об'єднати управління доступом і транспортом, тоді виникають реальні організаційні та технічні можливості для розробки конвергентної автономної системи (AS) типу «Доступ + Основний транспорт». У такій автономній системі, завдання прискореної передачі пакетних мовних даних може бути вирішена на каналному рівні (наприклад, через GMPLS), на відміну від існуючого взаємоз'єднання мереж на рівні IP. Це дозволяє усунути ключові питання між доменною маршрутизацією IP-пакетів. Дана обставина є серйозним фактором, який стримує перспективи розгортання мереж 4G, заснованих на VoLTE, за межами регіональних автономних систем.

Інший аспект застосування мультисервісної платформи VoLTE обумовлений заданим фіксованим циклом передачі фрейму по радіоканалу LTE (10 мс). Даний показник цілком підходить для якісної передачі мови і доставки пакетних даних, не критичних до флуктуацій затримки; однак, затримка передачі в 10 мс вже не може відповідати новим збільшеним вимогам з точки зору динамічних властивостей сенсорних мереж і систем між машинної взаємодії (M2M) нових поколінь.

Третім вразливим місцем архітектури мережі LTE / VoLTE є надмірна складність мультиплексування в радіоканалі і наявність занадто великого системного заголовка в стеку протоколів VoLTE. Це призводить до додаткового збільшення експлуатаційних витрат при обміні даними між різними рівнями і підрівнями стека LTE / VoLTE.

Одним з перспективних напрямків мережевий конвергенції та інтеграції мультимедійних послуг на базі загальної мобільної платформи, є, на наш погляд, метод динамічного управління потоками DFC (Dynamic Flow Control) в інтегрованій технології телекомунікацій (ІТТ), яка розроблена в Україні. Даний метод може бути реалізований для управління ресурсами радіоканалу, а також для побудови між мережевими комунікаційними протоколів [17].

Основна ідея методу динамічного управління потоком DFC полягає в формалізації цифрового послідовного каналу на першому рівні взаємодії відкритих систем моделі ІТТ. А саме, подання даних у цифровому каналі зв'язку у вигляді асинхронного необмеженого потоку довільних символів, в якому містяться в довільному порядку сегменти корисного навантаження даних (DS) і керуючі службові символи (CS). На другому рівні моделі взаємодії відкритих систем ІТТ, послідовність даних і команд (DS / CS) перетвориться в послідовність більших смислових одиниць - так званих «слів даних» (DW) і «керуючих слів» (CW); дана послідовність слів і команд (DW / CW) інтерпретується як абстрактний машинний (програмний)

код на специфічному мовою програмування цифрового потоку. Такий підхід дозволяє використовувати велику різноманітність алгоритмів обробки даних і протоколів разом з широким розмаїттям сценаріїв доставки даних, чутливі до затримок часу.

Підсумовуючи вищевикладене, зазначимо, що мережі доступу LTE стикаються з певними труднощами забезпечення якості обслуговування при організації голосового зв'язку кінцевих абонентів, що знаходяться в різних мережах доступу і на значних відстанях один від одного (наприклад, в різних регіонах).

Широке впровадження стандартів 4G стримується співвідношенням «Ціна / якість» послуг, а також небажанням клієнтів платити додаткові гроші за підвищення якості послуг 4G.

Однією з проблем в реалізації еволюційної платформи eIMS, яка має значення для мережі VoLTE, є обмеження затримки надіслати голосове повідомлення «від краю до краю» в умовах транспортування через існуючу інфраструктуру глобальної мережі Інтернет.

Стек протоколів LTE на основі TCP / IP виглядає вельми складним і зарегульованим. Тимчасова синхронізація передачі фреймів кожні 10 мс в радіоканалі LTE не відповідає в повній мірі новим вимогам щодо забезпечення динамічності систем між машинної взаємодії в реальному часі і технічним особливостям сенсорних об'єктів в інтегрованих мережах нового покоління.

Таким чином, існує актуальна необхідність продовження досліджень в напрямку мультисервісної конвергенції мереж. Принципово новий підхід до вирішення цього завдання може базуватися на основі інтегрованої технології телекомунікацій (ІТТ), розробленої і запатентованої в Україні. Цей підхід дозволяє використовувати велику різноманітність алгоритмів обробки даних і протоколів разом з широким розмаїттям сценаріїв доставки даних, чутливі до часу затримки.

1.2 Аналіз концепції програмно конфігурованих мереж в системах реального часу

В останні роки активно досліджуються питання інтеграцій різних видів послуг в мережах наступних поколінь (NGN) [18]. Значна частина інновацій в цьому напрямку орієнтовані на використанні вже адаптованих технологій, в тому числі - на основі поступового переходу від протоколу версії IPv4 на версію IPv6, який має розширене адресний простір і додаткові можливості управління потоками.

Такий підхід, можливо, є виправданим компромісом між існуючою інфраструктурою мережі Інтернет та новими викликами часу. Альтернативним варіантом реалізації транспортної функції в мережах NGN є концепція програмно-конфігурованих мереж (SDN), для яких ключовим елементом виступає протокол OpenFlow. Деякі експерти вважають SDN та OpenFlow новим словом в подальшому розвитку пакетної передачі даних по IP-протоколу. Тим не менш, є досить багато критичних оцінок щодо перспектив застосування мереж SDN. В цьому розділі дослідження ми проаналізуємо потенціал і технологічні особливості, а також перспективи реалізації транспортних сегментів мереж SDN з пакетною передачею мовного трафіку і інших даних операторами мобільного зв'язку. Концепція SDN пропонує мережеву архітектуру, в якій просування окремих типів пакетних даних програмується спеціальними механізмами управління мережею. Перехід до такого управління, як і раніше, оперує окремими мережевими пристроями або вбудованими процесорами. Однак концепція SDN дозволяє додаткам і службам абстрагуватися від базової інфраструктури мережі і розглядати її як логічний або віртуальний об'єкт змінною архітектури.

Загальна архітектура SDN показана на рис. 1.3. Вона складається з трьох рівнів: управління, інфраструктури і застосування [34]. «Інтелект» SDN мережі логічно зосереджений в програмованих SDN-контролерах, які забезпечують загальний моніторинг ресурсів мережі. Концепція SDN зміщує акцент з побудови розподіленої плоскою і однорівневою конфігурації (об'єднання мереж за типом «рівний з рівним») в бік переходу до ієрархічної централізованій архітектурі.

Передбачається, що централізоване планування і управління ресурсами SDN мережі відкриє нові можливості для оптимізації її функціонування та адаптації до постійно змінюваних умов (циклічні трендові флуктуації трафіку, випадкові пошкодження каналів або обладнання та ін.). Контролери підтримують кілька драйверів, які керують процесами підлеглих логічних елементів мережі, забезпечуючи, таким чином, надання необхідних мережеских послуг.

Контролер SDN забезпечує функціонування, продуктивність і управління обробкою несправностей в роботі по протоколу SNMP і іншим стандартним протоколам. Ця функція є, в певному сенсі, проміжним мережеским рівнем, який абстрагується від нижчих фізичних мережеских компонентів, таких як комутатори, маршрутизатори, міжмережесві фільтри і диспетчери навантаження. В результаті, мережесві додатки представлені як цілісна система в вигляді єдиного логічного комутатора.

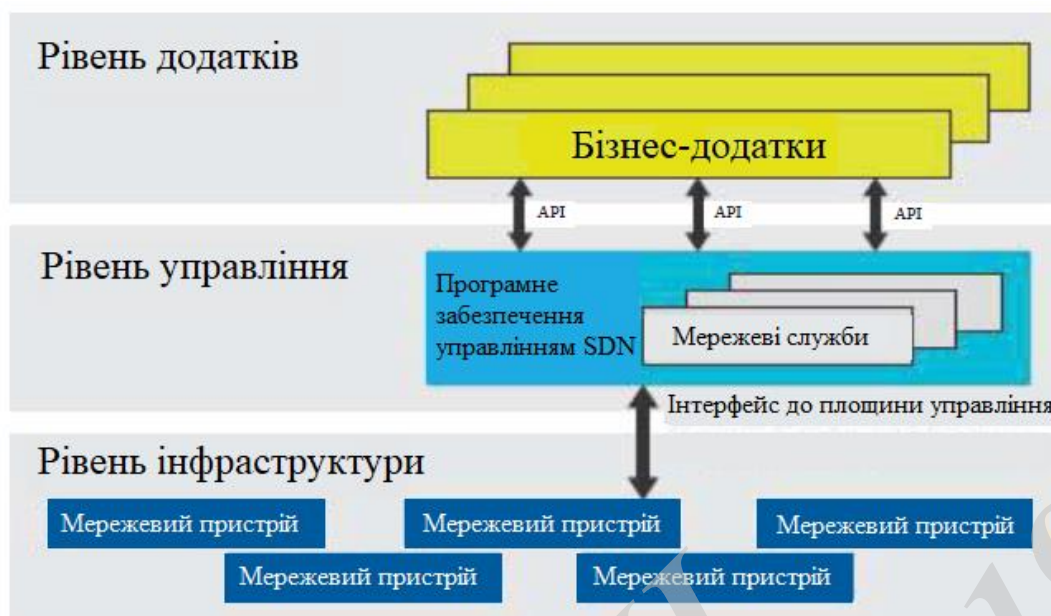


Рисунок 1.3 – Узагальнена архітектура SDN

При цьому архітектура SDN орієнтована на те, що оператори і корпорації зволіють можливість використання незалежних від виробників мережевих пристроїв логічних функцій для управління мережею. У певних ситуаціях, це може спростити проектування і експлуатацію мережі, і зокрема, знизити технічні вимоги до мережевих пристроїв, так як ці пристрої не будуть більше зобов'язані працювати з великим числом документальних форм; замість цього, їм буде досить приймати і обробляти обмежений набір команд від SDN-контролерів.

Адміністратори програмно-конфігурованої мережі, згідно з концепцією SDN, можуть налаштовувати свою мережу за допомогою спрощеного програмування високого рівня абстракції, замість традиційного написання вручну конфігураційних файлів, що містять ножество рядків і розкиданих серед безлічі пристроїв.

Використовуючи централізовані «інтелектуальні» SDN-контролери, можна змінити поведінку мережі в режимі реального часу і впровадити нові програми та послуги протягом декількох годин або днів, а не протягом тижнів і місяців, як це відбувається традиційно.

Централізація управління станом мережі в архітектурі SDN може дати адміністраторам нові можливості по налаштуванню, контролю, безпеки та оптимізації мережевих ресурсів за рахунок динамічних SDN-програм.

Вважається, що адміністратори мережі SDN зможуть самотійно писати програми конфігурації своїх мереж, не чекаючи реалізації виробниками власних технологій в базовій мережі.

Абстрактне уявлення архітектури мережі SDN забезпечується підтримкою відповідних прикладних програмних інтерфейсів (SDN API), що передбачає впровадження єдиних мережних послуг, управління пропускнуою спроможністю каналів, регулювання трафіку, забезпечення якості обслуговування, оптимізацію завантаження процесора, реалізацію різних політик управління і налаштувань користувачів відповідно до конкретних моделями бізнес-процесів.

Одним з ключових аспектів концепції SDN є ідея управління всією мережею за допомогою механізмів динамічного розподілу ресурсів. Відкриті для широкого використання прикладні програмні інтерфейси (API) можуть сприяти інтеграції державного управління і прикладного бізнесу в рамках «абстрактної мережі», не вдаючись у деталі її реалізації. В результаті, можуть бути оптимізовані обчислювальні і мережеві ресурси.

Особливості організації протоколу OpenFlow.

Протокол OpenFlow розроблений в Стенфордському університеті, і його перша версія була опублікована в кінці 2009 р У березні 2011 р була створена організація Open Network Foundation (ONF). OpenFlow є першим стандартом інтерфейсу зв'язку між верхніми рівнями управління і пакетами підтримки SDN-рішень. Він реалізує переваги прямого доступу до мережевих пристроїв для управління і передачі даних, таких як комутатори і маршрутизатори (які визначені як фізичні або віртуальні сутності). Відсутність на ринку відкритих інтерфейсів для управління потоками даних робить сучасні мережеві пристрої замкнутими.

На відміну від інших відомих протоколів, протокол OpenFlow, підтримує ефективний і простий обмін даними і керуючими повідомленнями між мережевими комутаторами і централізованим програмованим контролером. Цей протокол можна порівняти з набором команд в центральному процесорі.

Як показано на рис.1.4, протокол OpenFlow визначає основні примітиви, які можуть бути використані для зовнішнього програмного конфігурування мережевих пристроїв обробки даних, подібно до того, як програмний код реалізується центральним процесором в комп'ютерній системі. Він реалізується на обох кінцях інтерфейсу між пристроями та програмним забезпеченням менеджера мережевої інфраструктури SDN. Протокол використовує концепцію, яка полягає в ідентифікації потоків трафіку на основі заздалегідь визначених критеріїв, які можуть бути статично або динамічно запрограмовані головним пристроєм SDN.

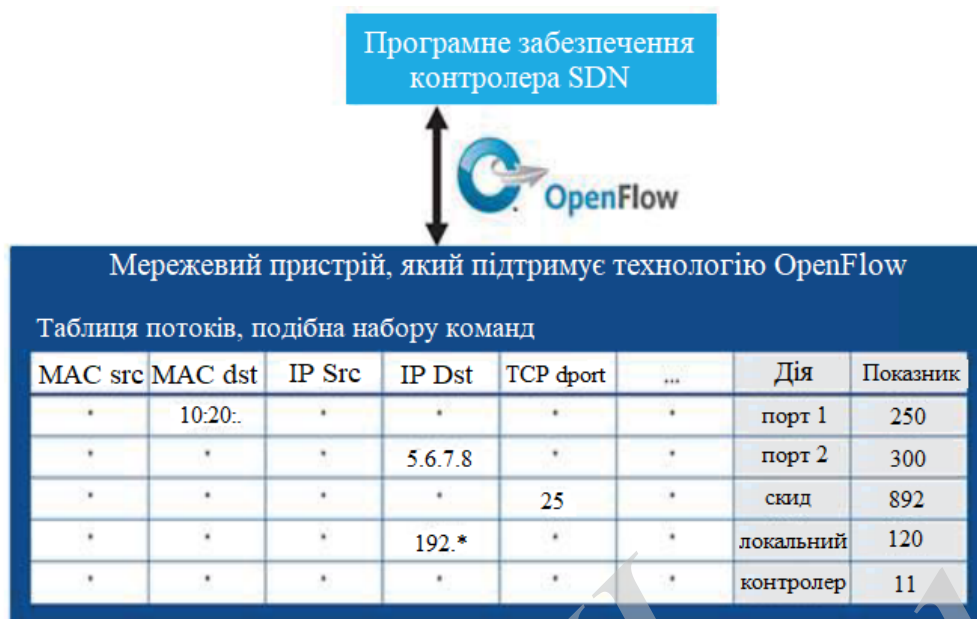


Рисунок 1.4 – Приклад набору команд в таблиці OpenFlow

Завдяки тому, що протокол OpenFlow дозволяє програмувати мережі для потокової передачі даних на основі конкретної власної архітектури SDN, це сприяє підвищенню релевантності функції управління вимогам додатків користувачів і сеансів зв'язку в режимі реального часу. Існуючі методи IP-маршрутизації не забезпечує достатній рівень контролю потоків в мережі, так як всі пакети заданого потоку між двома кінцевими точками мережі зобов'язані дотримуватися однаковим маршрутом через мережу, незалежно від особливості вимог до їх передачі.

Протокол OpenFlow є ключовим компонентом для SDN, і на сьогоднішній день, він є поки єдиним стандартизованим протоколом, за допомогою якого можна безпосередньо контролювати площину мережевих пристроїв для просування пакетів. Мережі SDN з імплементацією протоколу OpenFlow можуть бути розгорнуті на існуючих мережах, як фізичних, так і віртуальних. При цьому мережеві пристрої можуть підтримувати як традиційні, так і орієнтовані на OpenFlow методи просування пакетів; це дозволяє корпораціям і провайдерам поступово впроваджувати SDN-технологію, навіть у разі використання мережевого обладнання різних виробників.

Принципи побудови комутаторів OpenFlow.

Більшість сучасних комутаторів і маршрутизаторів мережі Ethernet мають таблицю переходу, зазвичай з підтримкою троичної пам'яті і адресацією по контенту TCAM (потрійна асоціативна пам'ять). Ця таблиця обробляється по рядках для виконання функцій просування пакетів на основі заголовків пакетів на рівнях L2, L3 і L4 (рис. 1.5). Хоча кожен

виробник має свою власну таблицю, існує загальний набір функцій, підтримуваних широким спектром комутаторів і маршрутизаторів.

Цей загальний набір функцій використовується в протоколі OpenFlow, який являє собою відкритий інтерфейс між контролером і OpenFlow-комутатором. Комутатор OpenFlow об'єднує, як мінімум, три функціональних компонента. Перший компонент - це таблиця переходів з діями, які обумовлені дескрипторами потоків, що визначають способи обробки потоків комутаторами. Другий компонент - захищений канал, що з'єднує комутатор з віддаленим контролером, в якому пристрої обмінюються командами і пакетами. Третій компонент - це власне протокол OpenFlow, який підтримує обмін. Оскільки кожен дескриптор таблиці переходів може бути визначений ззовні, то при цьому відпадає необхідність в програмуванні комутатора.

Слід розрізняти два функціонально різних типи комутаторів:

- OpenFlow-комутатори з комутацією по колірних мітках, які не підтримують звичайну обробку пакетів на рівнях L2 і L3;
- комерційні Ethernet-комутатори і маршрутизатори загального призначення, в яких деякий протокол і відповідний йому інтерфейс можуть бути додані в якості нової функції.

Комутатори, призначені тільки для роботи по протоколу OpenFlow, є «дурними» елементами тракту, які сприяють проходженню пакетів між портами, як це було визначено командами в процесі дистанційного керування процесом. На рис. 1.5 показано приклад такого комутатора. Кожен дескриптор потоку визначає проста дія, пов'язане з потоком. Спеціалізований комутатор повинен підтримувати виконання, принаймні, трьох основних дій:

- а) напрямок пакетів на певний порт (маршрутизація);
- б) інкапсуляція і напрямок пакетів до контролера потоку;
- в) відкидання пакетів.

Друга дія по обробці пакетів (інкапсуляція і спрямування їх до контролера), як правило, застосовується до першого пакету нового потоку; при цьому контролер може вирішити, чи слід внести новий елемент в карту маршруту. Третя дія (відкидання пакетів) може бути використано з метою безпеки, для запобігання DoS-атак або для зменшення паразитного широкомовного трафіка від кінцевих хостів.

Як зазначалося раніше, деякі комерційні комутатори можуть бути змінені шляхом додавання таблиці перетворення, захищеного каналу і підтримки протоколу OpenFlow. При цьому, таблиця переходів зазвичай використовує існуючі апаратні засоби (такі як вищезгадана трійкова

асоціативна пам'ять TCAM або протокол захищеного каналу - Secure Channel Protocol), які має бути перенесені для роботи з операційною системою комутатора. На рис. 1.6 показаний приклад мережі з використанням таких модифікованих комерційних комутаторів і точок доступу.

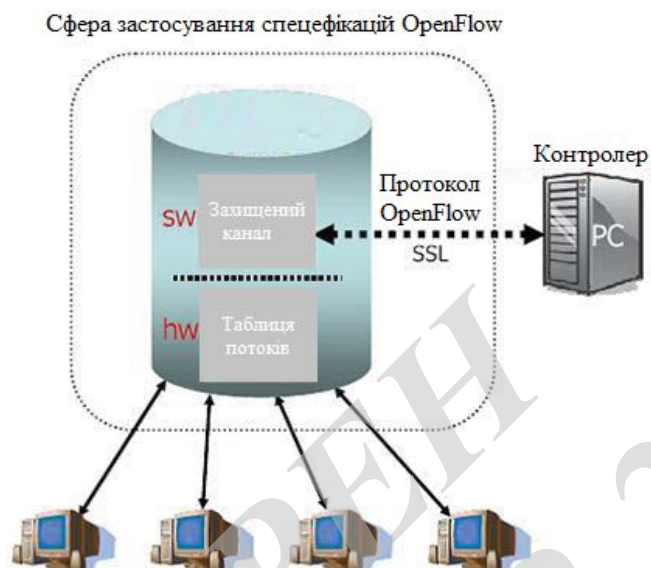


Рисунок 1.5 – Ідеалізований OpenFlow-комутатор

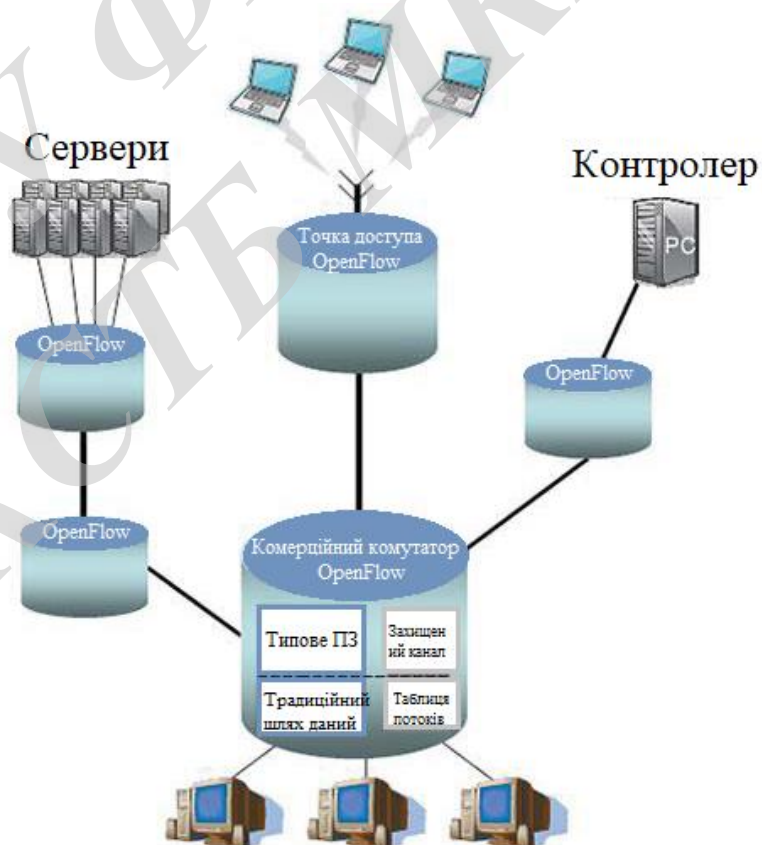


Рисунок 1.6 – Мережа з модифікованими комерційними комутаторами і точками доступу

У розглянутому прикладі на рис. 1.6 всі таблиці переходів управляються одним контролером, однак протокол управління комутатором OpenFlow дозволяє використовувати два або більше контролера для підвищення продуктивності або надійності.

Принципи віртуалізації мереж в концепції SDN.

Один з найбільш важливих і активно розвиваються механізмів функціонування програмно-конфігурованих мереж SDN заснований на принципі віртуалізації мереж з метою підвищення ефективності використання мережевих ресурсів. Віртуалізацію мережі розуміють, звичайно, як фрагментацію мережевого трафіку шляхом угруповання (мультиплексування) декількох потоків даних зі схожими характеристиками в межах однієї логічної мережі, як оверлейної структури поверх даної фізичної мережі.

Одна і та ж фізична мережа SDN допускає побудову безлічі т.з. «Зрізів мережі», тобто окремих логічних мереж, кожна з яких використовує властиві їй методи, алгоритми і конкретні протоколи комутації та / або маршрутизації, способи адресації і критерії якості обслуговування.

Віртуалізація мережі дозволяє підвищити ефективність мережевих ресурсів і балансувати навантаження в них, а також ізолювати потоки різних користувачів і додатків в рамках однієї фізичної мережі. Разом з тим, адміністратори використовують різні логічні сегменти мережі і правила маршрутизації на основі політик управління потоком даних; вони також забезпечують експерименти над мережею з використанням реальної фізичної мережевої інфраструктури, а також використовують в кожній секції тільки ті послуги, які необхідні для конкретних застосувань.

Концепція програмно-конфігурованих мереж SDN, в певному сенсі, конкурує з однією з останніх розробок компанії Cisco - технологією оптичних транспортних мереж OTN (Optical Transport Network). Технологія OTN має ряд особливостей, орієнтованих на надання ефективних та доступних послуг, зниження експлуатаційних витрат, спрощення управління мережею і можливість подальшої еволюції в майбутньому. Розробники OTN вважають, що OTN-комутатори розширюють спектр можливостей для мереж з пакетною передачею даних.

Зокрема, передбачається підвищення прозорості послуг, надання наскрізних каналів моніторингу затримки в лінії і маршрутизація на основі затримки. При цьому, технологію OTN позиціонують як відносно просту в обслуговуванні пакетних мереж з високими вимогами до пропускної здатності і специфічними вимогами різних видів послуг.

З іншого боку, прихильники розвитку і впровадження SDN-архітектури вважають досить очевидними переваги такого роду рішень не тільки для центрів обробки даних, а й для інших видів діяльності. В якості аргументів, розглядається перевага централізованого управління в середовищі з різними виробниками, що значно спрощує обслуговування і модернізацію, скорочує час для оновлення програмного коду комутаторів / маршрутизаторів і впровадження нових послуг.

В рамках даного дискурсу, ми схильні розділити точку зору експертів, не готових протягом наступних десятиліть відмовлятися від застосування традиційних підходів до побудови тимчасових пакетних мереж, в яких кожне мережеве пристрій має досить високий рівень власного "інтелекту". Швидше за все, істина знаходиться десь між цими крайніми підходами (централізація - децентралізація), тобто можна розглядати задачу і приймати рішення в кожному конкретному випадку, з урахуванням всього комплексу вимог, а також технічних і фінансових можливостей їх реалізації.

Ймовірно, що окремі елементи концепції SDN будуть реалізовуватися поступово. При цьому, далеко не всяка компанія дозволить собі перехід до використання комутаторів, повністю керованих з центрального контролера, як це зробила Google.

Більш кращим є поетапне розширення можливостей центрального контролера мережі деякими специфічними для SDN функціями, зберігаючи при цьому традиційну конфігурацію і політику безпеки наявних комутаторів, по крайній мірі, для того, щоб підтримувати традиційні протоколи маршрутизації і балансування трафіку.

Порівнюючи дві конкурентні технології (OTN і SDN) можна побачити ряд схожих рис, які мають ці технології. По-перше, орієнтація на збільшення пропускної здатності мережі в цілому. Це обумовлено істотним підвищенням обсягів інформації, що передається і трафіку в сучасних умовах. Друга подібна риса - це вимога «прозорості» і простоти керуючих рішень. Це означає, що традиційні популярні протоколи пакетної передачі (такі як IP, MPLS, Ethernet) повинні і далі підтримуватися мережею.

Також слід зазначити, що обидві технології (OTN і SDN) позиціонуються як гнучкі і досить добре масштабовані. Звідси можна зробити висновок, що SDN має багато спільних властивостей з технологією OTN. Аналіз існуючого ринку телекомунікацій показує, що компанії продовжують впроваджувати технологію OTN для транспортних мереж, одночасно купуючи ліцензії для використання цієї технології в транспортних мережах SDN. В цілому, багато експертів схиляються до думки, що концепція SDN в кінцевому підсумку, стане домінуючою в

змаганні з технологією оптичних транспортних мереж OTN на сучасному ринку телекомунікацій.

В області телекомунікацій і програмного забезпечення масштабованість є бажаною властивістю системи, мережі або процесу; вона демонструє здатність системи виконувати більше роботи або бути легко розширеною. Наприклад, масштабованість може означати здатність системи збільшувати загальну пропускну здатність при підвищеному навантаженні шляхом простого нарощування, головним чином, апаратних ресурсів. Масштабна автоматизація зменшує кількість точок в мережі, які вимагають автоматизації кожен раз, коли надходить новий запит на виділення ресурсів, а також знижує ризик, зменшуючи кількість автоматизованих елементів мережі.

Однак, перехід від децентралізованої системи до централізованого управління мережею має ряд недоліків, наприклад, знижує надійність, масштабованість і стійкість до несправностей. Зараз ці питання активно дискутуються і пропонуються альтернативні методи їх вирішення. На думку експертів, найбільш очікуваними областями можливого використання технологій SDN є:

- центри обробки даних;
- Інтернет речей;
- використання в корпоративних мережах;
- використання в кампусних мережах;
- використання в транспортних мережах операторів мобільного зв'язку.

1.3. Особливості функціонування радіоканалу LTE при передачі даних реального часу

Розглянемо особливості сучасних технологій мобільного зв'язку з точки зору їх можливої адаптації до перспективних рішень в концепції програмно-конфігурованих мереж SDN в контексті масштабування динамічних властивостей мережі при передачі даних реального часу в пакетних сенсорних мережах і системах між машинної взаємодії. Зокрема, досліджуємо способи планування ресурсів радіоканалу, який базується на протоколах фізичного рівня технології LTE, і в якому ключову роль відіграє метод ортогонального частотного ущільнення OFDM. Мета даної частини дослідження полягає в оцінці можливостей подальшого розвитку і вдосконалення базової технологічної платформи LTE, а також розширення

сфери можливих застосувань цієї технології в нових областях (Інтернет речей, сенсорні мережі і т.п.).

Концепція LTE з паралельною передачею піднесуть, відома також як мультиплексування ортогональних підносійних з поділом їх за частотою (OFDM), вперше була опублікована в 60-х роках минулого століття [19]. Технічні рішення з паралельними потоками даних використовують як альтернативу обробці сигналів протягом коротких інтервалів часу, для боротьби з імпульсивним шумом і багатопроменевим завмиранням, а також для використання всієї доступної ширини смуги частот [21]. Перші застосування в цьому напрямку мали місце в системах зв'язку збройних сил; в той же час, термін «модуляція з багатьма несучими» (MCM) отримав широке застосування, а іноді він став синонімом OFDM.

На відміну від методу OFDM, при якому всі підносійні є ортогональними один одному, властивість ортогональності не властиво MCM; навпаки, метод OFDM є скоріше оптимальним варіантом методу MCM. Метод OFDM дає переваги для технологій, в яких необхідно збільшити швидкість передачі даних шляхом підвищення спектральної ефективності, і де необхідно подолати значні спотворення в каналі, що виникають в умовах безлічі мобільних абонентів. Метод OFDM був реалізований в таких додатках, як радіо-інтерфейс для цифрового звукового мовлення (DAB) та цифрового наземного телевізійного мовлення (DVB-T). Він також обраний в якості методу модуляції для фізичного рівня в бездротових локальних мережах (стандарт IEEE 802.11).

Динамічні властивості мережі LTE в значній мірі визначається ключовими особливостями фізичного та каналного рівнів LTE, такими як спосіб циклової передачі фреймів кожні 10 мс, і також прийнятим способом розподілу частотно-часових ресурсів каналу [23]. Розрахунок показує, що мінімальна затримка в один кінець (OWD) для невеликої локальної мережі LTE становить приблизно 30 мс.

Насправді, більш важливим параметром, з точки зору взаємодії кінцевих мережевих пристроїв, є двостороння затримка TWD (Two Way Delay), мінімум якої для локальної мережі LTE оцінюється приблизно на рівні 60 мс. У масштабах регіональної мережі величина OWD становить приблизно 50 мс [24]. Екстраполюючи ці значення в глобальному масштабі, ми отримуємо значення OWD приблизно рівне 150 мс. При цьому затримка в обидва кінці TWD виявиться в діапазоні 60-300 мс, в залежності від масштабів мережі, що цілком прийнятно для передачі голосового спілкування звичайних людських індивідуумів в режимі реального часу з точки зору діючих стандартів якості обслуговування в цифровій телефонії.

Однак зрослі вимоги до динаміки розподілених систем автоматизованого управління, в умовах між машинної взаємодії (M2M) через мережу мобільного зв'язку, вимагають нових підходів до частотно-тимчасового планування ресурсів, і, перш за все, значного скорочення мінімальної двосторонньої затримки в будь-якій інфраструктурі мобільного або бездротового зв'язку. Ключовим фактором управління автоматизованою системою є мінімізація затримки в зворотного зв'язку в максимально можливій мірі.

На рис. 1.7 показана функціональна діаграма основних процесів при передачі даних по мережі LTE в одному напрямку (від джерела до одержувача). Сумарна затримка передачі в один кінець OWD становить близько 50 мс, і це обмеження, в першу чергу, визначається методом планування частотно тимчасових ресурсів, прийнятим в стандарті фізичного рівня LTE. Основним методом управління частотно-тимчасовим ресурсом радіоканалу LTE є, фактично, ширококомовна адресація кінцевих пристроїв (UE), що працюють в безпосередній близькості від базової станції (eNB).

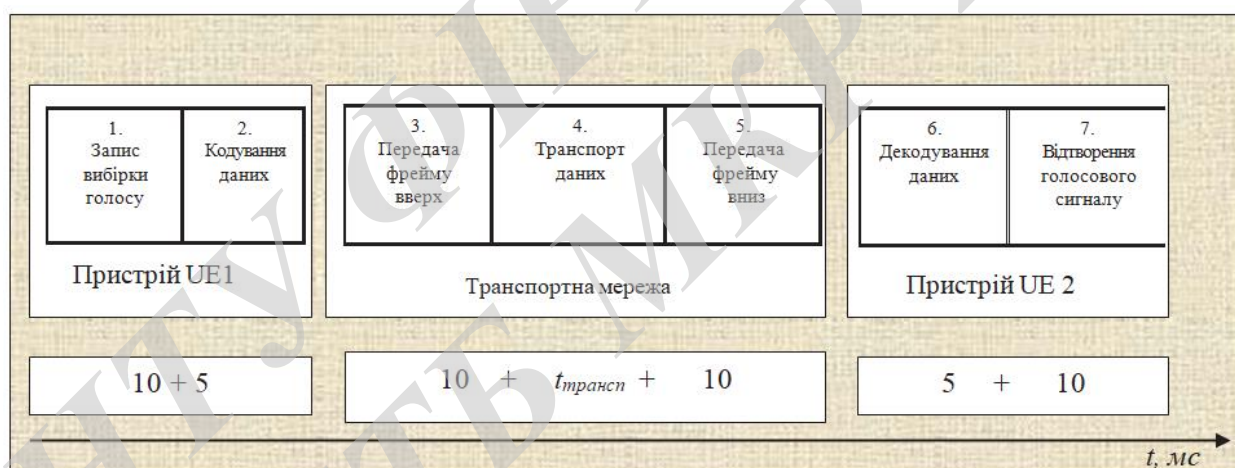


Рисунок 1.7 – Функціональна діаграма процесів односторонньої передачі голосових даних по мережі LTE

Це означає, що загальний фрейм низхідній лінії передається кожні 10 мс станцією eNB і приймається кожним активним пристроєм UE; але тільки попередньо певна частина цього фрейму реально використовується об'єктом UE. Аналогічно, всі пристрої UE частково беруть участь у формуванні фрейма висхідній лінії для eNB в межах такого ж проміжку часу тривалістю 10 мс.

Розглянемо спрощену схему низхідній лінії системи LTE в дуплексному режимі з частотним поділом каналів (FDD), рис. 1.8. Режим FDD забезпечує одночасну передачу напівфрейма низхідного потоку

системи LTE від eNB, в той час як формування напівфрейма висхідного потоку здійснюється усіма активними пристроями UE; ці два потоки даних передають в різних діапазонах частот. У підсумку, мінімальний блок даних OFDM, який може бути сформований за допомогою eNB, - це OFDM-символ, що перетворюється в вибірку аналогового сигналу AWS (Analog Wave Sample) за допомогою зворотного перетворення Фур'є (IFT).

Кожен відлік AWS може бути детектований будь-яким пристроєм UE як повністю, так і частково за окремими складовими гармонікам загального спектра AWS.

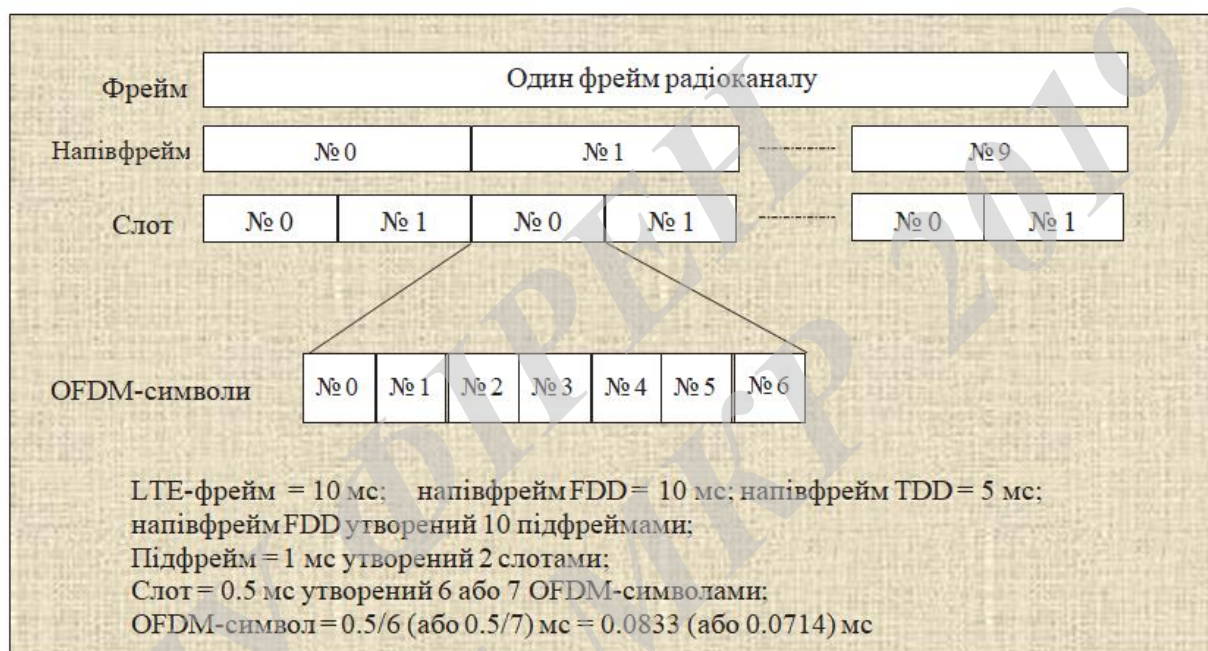


Рисунок 1.8 – Структура спадного напівфрейма LTE

З рис. 1.8 видно, що OFDM-символ утворюється набором з NSC ортогональних підносійних, де NSC залежить від діапазону частот, що використовується оператором LTE. Загальна кількість OFDM-символів в складі напівфрейма FDD LTE становить «7 вибірок \times 2 слота \times 10 напівфреймів = 140» (якщо використовується звичайний циклічний префікс), або 6 вибірок \times 2 слота \times 10 напівфреймів = 120 (якщо використовується розширений циклічний префікс). Один OFDM-символ об'єднує фіксований набір ресурсних блоків, кожен з яких містить 12 елементарних символів по кожній з 12 бічних частот загального спектра OFDM сигналу. Кількість ресурсних блоків залежить від смуги частот сигналу, що передається і конфігурації антен MIMO (див. табл. 1.1 в розділі 1.1).

З урахуванням сказаного вище, стає очевидним наступне. Формально заданим функціональним блоком для передачі даних в низхідній лінії LTE є напівфрейм з періодом циклу 10 мілісекунд. Однак фактичний розмір розпізнається пристроями блоку даних можна потенційно зменшити, щонайменше, до величини окремого під-фрейма з періодом циклу 1 мс (тобто в 10 разів меншим).

У табл. 1.3 наведені розрахунки інформаційної ємності CS одного OFDM- символу в режимі FDD системи LTE. З таблиці видно, що мінімальна інформаційна ємність одного OFDM символу дорівнює 18 байт, що складає половину мінімальної одиниці інформації, яку можна потенційно адресувати окремому об'єкту мобільного доступу в рамках LTE-фрейма (розрахований вище як 36 байт). Максимальна кількість 18-байтових блоків для MIMO (8 × 8) в частотному діапазоні 20 МГц становить $7200/18 = 400$.

Таблиця 1.3 Інформаційна ємність OFDM-символу в системі LTE

MIMO	Канал, МГц	1.4	3.0	5.0	10.0	15.0	20.0
	Модуляція	Інформаційна ємність (C_s), байт					
(1×1)	QPSK	18	45	75	150	225	300
	16QAM	36	90	150	300	550	600
	64QAM	54	135	225	450	675	900
(2×2)	QPSK	36	90	150	300	450	600
	16QAM	72	180	300	600	1100	1200
	64QAM	108	270	450	900	1350	1800
(4×4)	QPSK	72	180	300	600	900	1200
	16QAM	144	360	600	1200	2200	2400
	64QAM	216	540	900	1800	2700	3600
(8×8)	QPSK	144	360	600	1200	1800	2400
	16QAM	288	720	1200	2400	4400	4800
	64QAM	432	1080	1800	3600	5400	7200

Висновки до розділу 1

1) Мінімальним фізичним блоком спадного напівфрейма є один OFDM-символ з інформаційною ємністю $C_s \cdot m_{sc} = N_{sc}$ біт, який відображається однією вибіркою аналогового сигналу у часовій області; цей сигнал формується у вигляді суми ряду Фур'є для N_{sc} підносійних бічних частот, де величина $m_{sc} \in (2, 4, 6)$ залежить від типу QAM-модуляції

2) Мінімальний логічний інформаційний блок (ЛІБ) спадного напівфрейма LTE, який може бути адресований окремому термінальному пристрою користувача, формується 12-ма підносійними частотами. Вони

логічно збільшуються на 12 або 14 OFDM-символів (в залежності від розміру циклічного префікса) в рамках окремого підфреймів LTE тривалістю 1 мс, з мінімальної інформаційної ємністю, що дорівнює $C_{LIV} = 12 \cdot 12 \cdot 2 = 288$ біт.

3) У штатному режимі роботи радіоканалу LTE все логічні інформаційні блоки (LIV) в низхідному каналі об'єднані в напівфрейми тривалістю 10 мс кожен; проте, в режимі з'єднання типу «точка-точка» існує потенційна можливість індивідуальної обробки блоків LIV тривалістю 1 мс.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

2 ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ МОБІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ В ІНТЕГРОВАНІЙ ПАКЕТНІЙ МЕРЕЖІ

У даному розділі представлені два наукових результати магістерської кваліфікаційної роботи. Перший результат - метод розподілу ресурсів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління на основі технології LTE 3GPP R8. Даний метод підвищує динамічність взаємодії мобільних об'єктів в мережі шляхом скорочення затримок у передачі даних реального часу між об'єктами управління в мережі і центральним керуючим процесором.

Другий результат - метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі інтегрованої мережі мобільного доступу, який дозволяє забезпечити індивідуально задані показники динамічності взаємодії окремих мобільних об'єктів контролю. Основним показником підвищення динамічності даного методу є обмеження на максимально допустимому рівні циклічних затримок при передачі даних реального часу між різними об'єктами контролю та керуючим процесором мережі в інтегрованій мережі мобільного доступу 5G.

Особливість побудови і функціонування інтегрованих мереж мобільного доступу п'ятого покоління полягає в тому, що, крім традиційних мобільних абонентів покоління 4G на основі LTE, в мережі 5G можуть бути присутніми сегменти так званих систем міжмашинного взаємодії M2M (Machine-to-Machine systems), елементами яких виступають мобільні та стаціонарні сенсорні об'єкти контролю і управління. Для систем типу M2M принципово важливим є скорочення в максимально можливій мірі циклічних часових затримок в контурі управління «об'єкт контролю - станція мобільного зв'язку - керуючий процесор - станція мобільного зв'язку - об'єкт контролю».

Циклічна затримка в контурі управління системи M2M обчислюється від моменту вимірювання параметрів поточного стану об'єкта (наприклад, безпілотного автомобіля на транспортній розв'язці). Далі здійснюється передача даних телеметрії мобільного об'єкта через базову станцію на керуючий процесор, обробка цих даних спільно з даними від інших контрольованих об'єктів, вироблення рішення і передача команд управління на об'єкти контролю за посередництвом базової станції мобільного зв'язку; отримання об'єктом команди центрального процесора визначає кінець циклічної затримки.

У теорії автоматичного управління добре відомим є той факт, що тимчасові затримки в ланцюзі зворотного зв'язку контуру управління

негативно впливають на якість управління об'єктом, і зокрема, при спробі збільшувати точність контролю стану об'єкта, призводять до виникнення паразитних автоколивань, тобто до самозбудження системи, [27]. Для запобігання такого роду коливань доводиться штучно обмежувати точність управління об'єктом, тобто «Загрубляти» систему.

У свою чергу, необхідна точність управління рухомими мобільними об'єктами істотно залежить від швидкості зміни їх параметрів у часі, і в тому числі, від швидкості переміщення цих об'єктів в просторі. Таким чином, допустима циклічна затримка в контурі управління мобільного об'єкту є однією з найбільш важливих характеристик динамічності даного конкретного об'єкта в його взаємодії з іншими об'єктами інтегрованої мережевої середовища.

Технологія LTE, з одного боку, являє собою перспективну платформу 4G, яка може бути вдосконалена і адаптована до вимог мереж покоління 5G. З іншого боку, технологія LTE має обмеження по затримці передачі повідомлень, яка обумовлена фіксованою тривалістю фрейма LTE. При цьому циклічна затримка, з урахуванням затримок прямих і зворотних повідомлень і реакції керуючого процесора, може бути критичною для об'єкта управління.

2.1. Вдосконалений метод розподілу ресурсів в радіоканалі пакетної мережі мобільного доступу

Розглянемо перший науковий результат дисертаційної роботи - метод розподілу ресурсів в радіоканалі інтегрованої мережі мобільного доступу п'ятого покоління (5G), який будується на основі модифікації відомої технології LTE четвертого покоління мобільного зв'язку (4G). За основу технології LTE взято її опис, опубліковане в рекомендаціях групи 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project, Release 8).

На рис. 2.1 показана узагальнена архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу 5G, яка повинна забезпечувати автоматизований контроль і управління безпекою руху в інфраструктурному домені з багатокomпонентним трафіком.

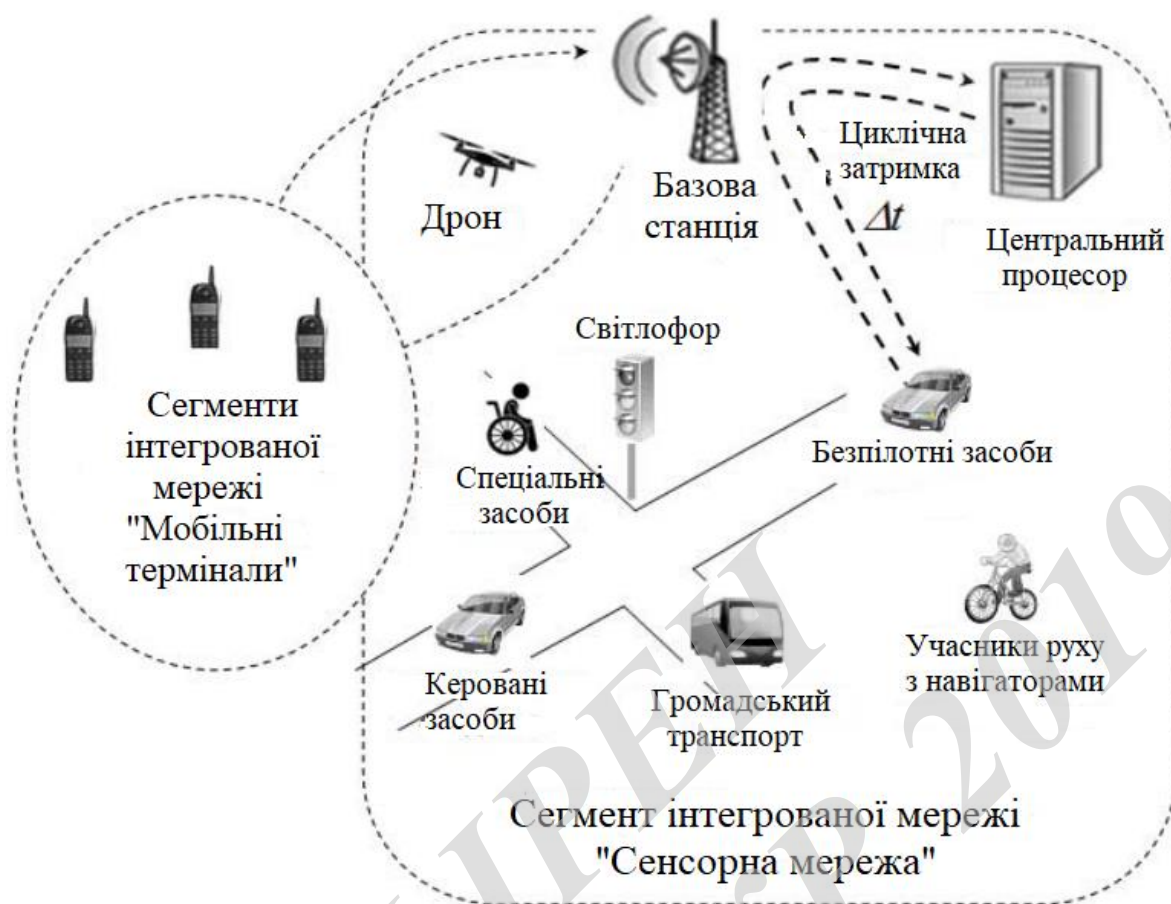


Рисунок 2.1 – Архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління

Інтегрована мережа мобільного доступу передбачає об'єднання однієї або декількох базових станцій мобільного зв'язку з центральним процесором і термінальними об'єктами - учасниками спільної системи безпеки руху.

Термінальними об'єктами інтегрованої мережі можуть бути звичайні пішоходи з мобільними телефонами, люди з обмеженими можливостями, які пересуваються за допомогою спеціальних дистанційно контрольованих та / або керованих транспортних засобів, велосипедисти з мобільними навігаторами, пілотовані і безпілотні транспортні засоби, громадський транспорт і ін.

Розглянутий метод використовує в якості вихідних даних технічні вимоги до інтенсивності трафіку окремих елементів мережі, а також виділену смугу частот радіоканалу LTE. Вихідними даними методу є кількість базових станцій інтегрованої мережі і спосіб поділу ресурсів радіоканалу між звичайними телефонними абонентами і спеціалізованими сенсорними об'єктами контролю і управління. Ключовими проміжними даними для розрахунків розглядаються методом є інтенсивність трафіку типових мобільних абонентів (позначимо її R_T) інтенсивність трафіку сенсорних

об'єктів мережі (позначимо її R_S). Величини R_T і R_S обчислюються на основі заданих вхідних даних. Нехай $R_{\square} \square R_T \square R_S$. Величина R_{\square} визначає загальну інформаційну потужність базових станцій в інтегрованій мережі доступу. Інформаційна потужність окремої базової станції (позначимо її R_{LTE}) розраховується за допомогою пакета моделювання LTE System Toolbox в середовищі MATLAB, і визначається трьома основними факторами: смугою використовуваних частот (стандартні опції - 1.3 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц або 20 МГц); типом модуляції (QPSK, 16QAM, 64QAM); типом циклічного префікса CP (нормальний або розширений).

Для базового розрахунку обраний діапазон 3МГц з розширеним циклічним префіксом і модуляцією типу 16QAM. Особливістю інтегрованої мережі є те, що крім звичайних абонентів мобільного зв'язку, вона охоплює спеціальні сенсорні пристрої з локальними контролерами управління об'єктами. Останні відрізняються від мобільних телефонів різноманіттям технічних вимог до швидкодії, точності управління і максимально допустимим затримок при передачі даних телеметрії і керуючих команд центрального процесора. Чим швидше рухаються об'єкти, тим менше повинна бути циклічна затримка прямого і зворотного зв'язку в замкнутому контурі управління між об'єктом контролю і центральним процесором.

Інакше кажучи, чим менше циклічна затримка передачі даних реального часу по відношенню до конкретного об'єкта, тим більш динамічним є даний термінальний об'єкт як елемент інтегрованої мережі, і тим точніше буде здійснюватися управління даним об'єктом для безпеки руху всіх учасників процесу.

Адаптація відомого методу передачі даних по радіоканалу LTE для мережі мобільного доступу 5G полягає в тому, що певна частина частотно-часового ресурсу фрейма LTE змінює своє основне призначення і перекладається в спеціальний режим експлуатації, утворюючи при цьому окремий логічний канал adhoc, в якому істотно зменшується тривалість циклу обміну даними.

Далі буде показано, що в силу специфіки конфігурації фрейма LTE, спеціальний режим функціонування радіоканалу і виділення окремого логічного каналу ad hoc, побудованого на базі технології LTE, доцільно здійснювати, починаючи з діапазону частот 3 МГц і вище. Таке рішення досягається перерозподілом частини інформаційних ресурсних блоків LTE-фрейма (позначимо ці ресурсні блоки IRB - Information Resource Blocks).

На відміну від штатного режиму, в якому LTE-фрейми передаються з періодом 10 мс, блоки IRB можуть незалежно передаватися і адресуватися активним термінальним пристроям з періодом 1 мс або 2 мс в залежності від обраного режиму роботи каналу LTE. При цьому чиста затримка передачі

даних в один кінець знижується відповідно в 10 або в 5 разів. Такі блоки IRV використовуються при транспортуванні сегментів реального часу - даних телеметрії і керуючих команд - для організації взаємодії між мобільними об'єктами контролю та центральним керуючим процесором інтегрованої мережі доступу.

Виграш в динамічності взаємодії об'єктів в радіомережі досягається за рахунок скорочення циклічної затримки при передачі інформаційних повідомлень і керуючих команд між термінальними об'єктами контролю та центральним процесорним пристроєм. Зменшення односторонньої затримки в каналі в 10 або в 5 разів дозволяє скоротити загальну циклічну затримку при обміні даними в контурі управління об'єктами.

Якщо центральний процесор інтегрованої мережі доступу синхронізований зі стандартною частотою передачі фреймів LTE, яка дорівнює 100 Гц (з періодом 10 мс), то при затримці 2 мс в логічному каналі ad hoc, то відносне скорочення циклічної затримки передачі даних по каналу ad hoc оцінюється величиною: $(10 \text{ мс} + 10 \text{ мс} + 10 \text{ мс}) / (2 \text{ мс} + 2 \text{ мс} + 10 \text{ мс}) = 2.1$ рази.

Розглянемо особливості технології LTE стосовно до вирішення завдань управління мобільними об'єктами в інтегрованих пакетних мережах бездротового доступу п'ятого покоління. Згідно специфікаціям стандарту 4G [10], технологія LTE визначає одне з двох основних напрямків розвитку в системах бездротового зв'язку. У табл. 2.1 представлені маркерні точки в еволюції системи LTE щодо способів ущільнення каналу і модуляції несучої в каналах зв'язку.

Таблиця 2.1 Етапи еволюції технологій мобільного зв'язку до LTE

Покоління	1G	2G	3G	4G
Модуляція	Аналогова	Цифрова (маніпуляція)		
Мультиплексування	FDM	FDM	CDMA	OFDM
Система мобільного зв'язку	NTT	GSM	UMTS	LTE

На відміну від мультиплексування з частотним поділом в перших двох поколіннях (1G і 2G), наступні покоління 3G і 4G використовують загальний частотний діапазон для взаємодії з усіма активними термінальними пристроями користувачів. При цьому елімінуються так звані захисні частотні інтервали між сусідніми робочими смугами окремих частотних каналів. Це покращує використання ширини смуги частот каналу.

Слід зазначити, що на відміну від аналогових систем мобільного зв'язку першого покоління (1G), всі наступні є цифровими системами (тобто

в них використовується вже не принцип модуляції сигналу безперервними функціями, а техніка маніпуляції, або стрибкоподібного зміни деякого параметра несучого сигналу). Так, в системах 2G і 3G реалізується т.зв. амплітудна маніпуляція, тобто перемикання потужності несучого електромагнітного сигналу з допомогою імпульсної функції. Як відомо, такий спосіб призводить до появи широкого (теоретично нескінченного) спектра бічних частот і явищ взаємного впливу різних пристроїв, що працюють в суміжних частотних діапазонах.

У системах 3G використовується множинний доступ з кодовим поділом CDMA (Code Division Multiple Access), при якому активні пристрої стільники займають всю виділену смугу частот (без захисних інтервалів між ними). Однак при цьому, один біт інформації для різних пристроїв кодується «двійкового словом», тобто заданим набором біт, в якому тільки два значення (умовні «0» і «1») адресуються заданому термінальному пристрою, а інші значення слова не сприймаються цим пристроєм.

Кожному пристрою призначається унікальна комбінація з двох значень «Бітового слова». Це дозволяє раціональніше використовувати виділену смугу частот.

Відзначимо, що перші три покоління технологій мобільного зв'язку (1G - 3G) працюють з не когерентною несійною радіосигнала; основними функціональними характеристиками такого сигналу є його частота і амплітуда (або точніше, потужність). У той же час, системи мобільного зв'язку покоління 4G на основі стандарту LTE (так само, як стандарт WiMax-2), використовують більш складну схему кодування інформації на основі когерентного несучого сигналу, в якому функціональними характеристиками є частота, фаза і амплітуда. При цьому безпосередньої маніпуляції піддаються, в загальному випадку, дві величини - фаза і амплітуда.

Даний спосіб відомий в російськомовній літературі як КАМ – квадратурно-амплітудна модуляція (або маніпуляція - в залежності від контексту); в англійській літературі використовується близьке за змістом термін QAM, проте в разі КАМ-4 відповідний англійський термін звучить як QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). У системах 4G на основі LTE метод квадратурної амплітудної модуляції реалізується паралельно для безлічі дискретних частот в межах займаного діапазону на основі принципу ортогонального частотного ущільнення (OFDM). Такий підхід дозволяє підвищити спектральну ефективність каналу зв'язку в порівнянні з CDMA при інших рівних умовах.

Як вже було раніше розглянуте в попередньому розділі, базова станція

(eNB) радіо мережі доступу LTE циклічно генерує напів-фрейми низхідній лінії (DL) тривалістю 5 або 10 мс в залежності від режиму дуплексу (тимчасового TDD або частотного FDD відповідно). Частота генерації напів-фреймів є фіксованою незалежно від режиму дуплексу TDD або FDD, і становить 100 Гц, рис.2.2.

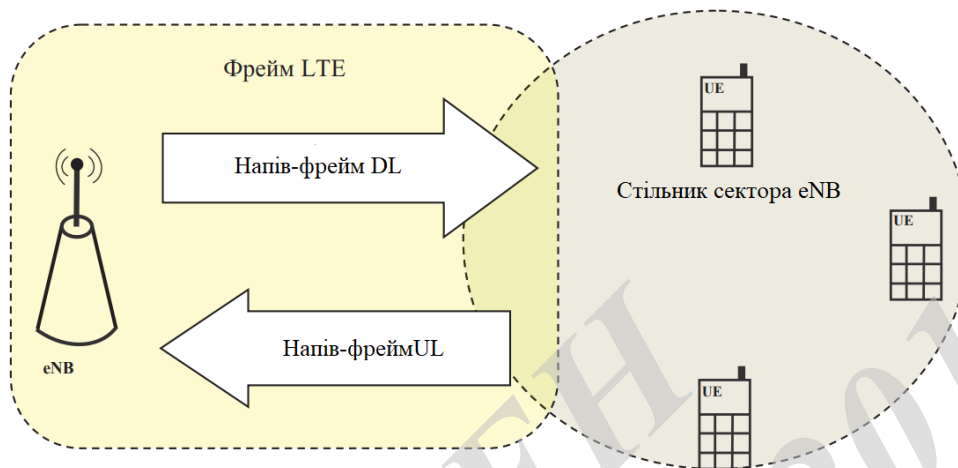


Рисунок 2.2 – Загальна архітектура мережі доступу LTE

Кожен спадний напів-фрейм приймається всіма активними термінальними пристроями UE, однак, кожен з UE сприймає тільки певну, адресовану безпосередньо йому частину напів-фрейма. Полу-фрейм містить весь набір піднесуть дискретних частот даного діапазону з кроком дискретизації частоти 15 КГц; наприклад, в діапазоні 5 МГц використовується 300 піднесуть частот. У свою чергу, всі активні пристрої даної сільники спільно генерують напів-фрейм висхідній лінії (UL), адресований приймачу базової станції eNB.

Однак при цьому кожен пристрій UE використовує виділений тільки йому обмежений набір піднесуть (наприклад, 12 дискретних гармонік із загального числа 300). На рис. 2.3 показана ґратчаста структура напів-фрейма LTE (LTE grid), згенерованого в середовищі MathLab для ширини смуги частот 3 МГц в режимі частотного дуплексу (FDD). Напівфрейм низхідній лінії системи LTE в режимі FDD розділений на 10 подфреймов тривалістю 1 мс кожен, причому кожен з них в свою чергу утворений двома часовими слотами тривалістю 0.5мс. Це поділ відображається в горизонтальному плані решітки фрейму на рис. 2.4. У вертикальному плані, решітка фрейма розділена на 15 частотних ресурсних блоків по 12 частот, у кожному.

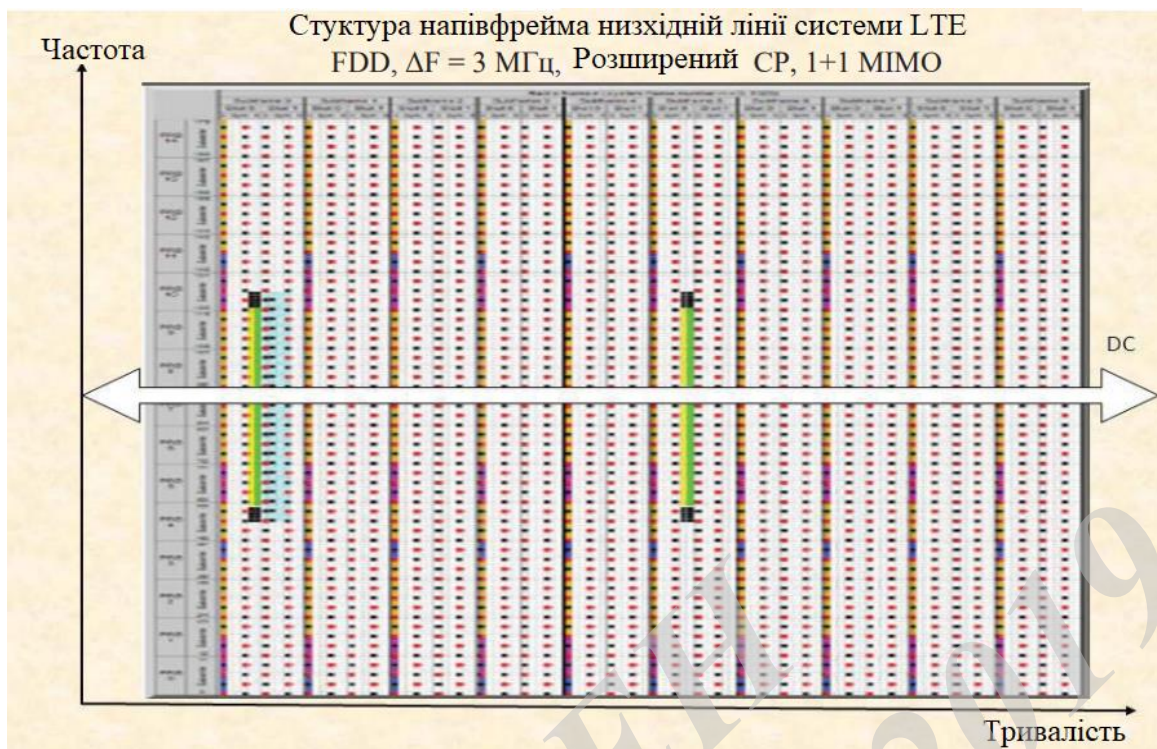


Рисунок 2.3– Структура напівфрейма системи LTE

Кожен тимчасовий слот складається з шести або семи (в залежності від розміру циклічного префікса CP) логічних елементів - т.зв. символів OFDM. Символ OFDM є агрегацією безлічі елементарних символів, які переносяться окремими дискретними гармоніками в загальному спектрі модульованого сигналу передавача базової станції LTE.

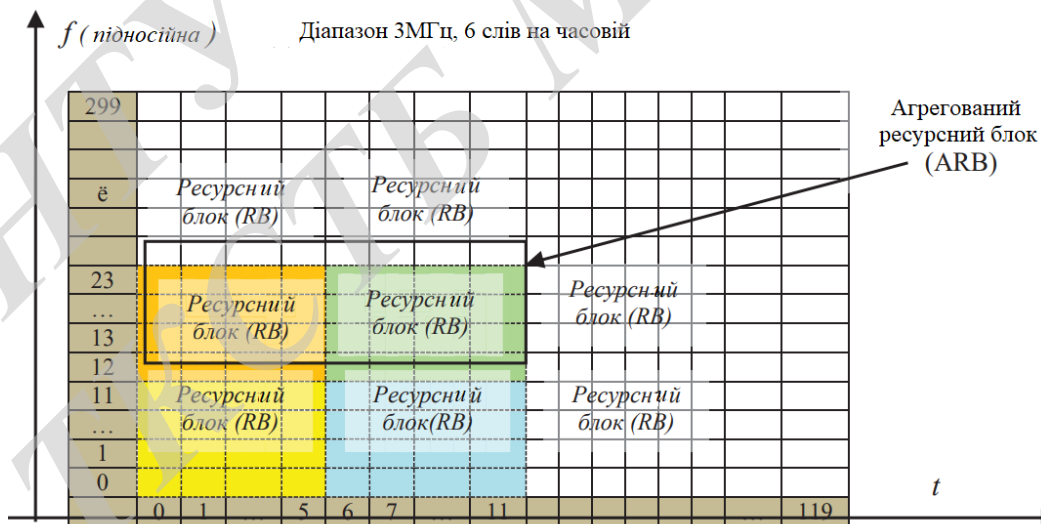


Рисунок 2.4 – Частотно-часова ресурсна сітка LTE-фрейма

В даному випадку на рис. 2.4 кількість таких елементарних символів дорівнює 180 (за кількістю підносійних гармонік). Елементарний символ формується методом квадратурної амплітудної маніпуляції [47] (QPSK, 16QAM або 64QAM).

З метою спрощення термінології, будемо далі використовувати термін «символ» для позначення елементарного символу однієї частоти в структурі LTE-фрейма. Безліч всіх елементарних символів (тобто повний OFDM-символ), назвемо коротким терміном «слово». Таким чином, кожне «слово» в решітці фрейму на рис. 2.4. при ширині смуги частот 3 МГц містить 180 символів.

У підсумку, «слово», яке передається по низхідному каналу LTE, є мінімальним інформаційним блоком, який може переноситися на фізичному рівні каналу LTE (в силу того, що фізичним представленням

«Слова» є одна часова вибірка OFDM-сигналу). Однак на каналному рівні, безліч «слів» формує структуру сітки LTE-фрейма у вигляді агрегованих ресурсних блоків (ARB), як показано на рис. 2.4. Кожен блок ARB містить два звичайних ресурсних блоку, утворених логічною похідною 12 підносійних (тобто одного частотного ресурсного блоку) на 6 або 7 «Слів» (тобто OFDM-символів).

Для 6-ти «слів» в одному тайм-слоті ми отримуємо блок ARB з 12 підносійних по 12 «слів». На рис. 2.4 блок ARB показаний в межах гармонік з номерами від 12 до 23 і з номерами «слів» від 0 до 11. Кожен символ піднесе гармоніки $\bar{\omega}$ визначається номером точки $n \in \{1 \div 4, 1 \div 16, 1 \div 64\}$ на фазовому сузір'ї, рис. 2.5; вид цього сузір'я залежить від використовуваного в конкретному випадку способу QAM- модуляції.

У тимчасовій області, відповідний модульований сигнал описується комплексною сумою $f[n(k), t]$ виду:

$$f[n(k), t] = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \sum_{k=1}^K \mu_k^n \cdot \exp(i \cdot \omega_k \cdot t + \varphi_k^n), \quad (2.1)$$

де μ_k^n , φ_k^n - значення амплітуди і фази k -ої гармоніки в n -ої точці фазового сузір'я; ω_k кругова (фазова) частота відповідної k -ої гармоніки.

Окремий символ для піднесе гармоніки з номером n описується комплексною функцією $f(n, t)$ виду:

$$f(n, t) = \mu^n \cdot \exp(i \cdot \bar{\omega} \cdot t + \varphi^n) = \mu^n \cdot \left[\cos(\bar{\omega} \cdot t + \varphi^n) + i \cdot (\bar{\omega} \cdot t + \varphi^n) \right], \quad (2.2)$$

де μ^n , φ^n - амплітуда і фаза; $\bar{\omega}$ - кругова (фазова) частота гармоніки.

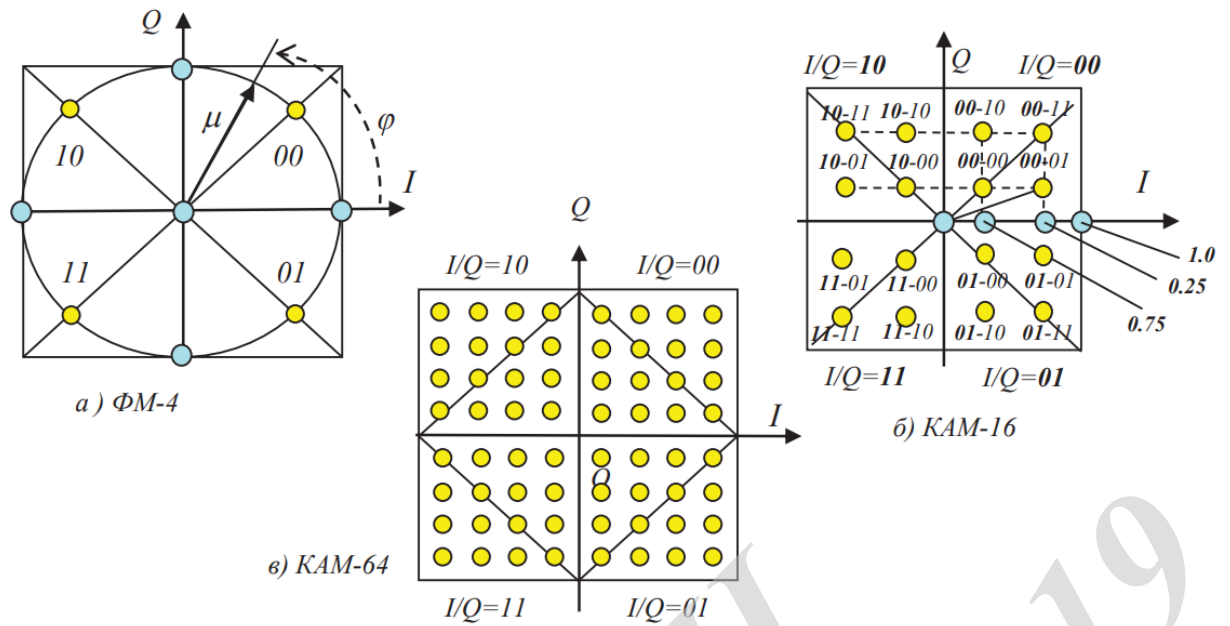


Рисунок 2.5 – Фазові сузір'я QAM-модуляції в системі LTE

У табл. 2.2 представлені значення параметрів для модуляції типу 16QAM, показаний на рис. 2.5-б. Наприклад, якщо $n=0$, то код I/Q дорівнює

00 - 00, тобто $\varphi^0 = \frac{\pi}{4}$ рад, $\mu^0 = \sqrt{(0,25^2 + 0,25^2)} \approx 0,35$.

Якщо ж $n=1$, то I/Q-код є 00-01, $\varphi^1 = \arctag \frac{0,25}{0,75} \approx 0,3$ рад;

$\mu^1 = \sqrt{(0,25^2 + 0,75^2)} \approx 0,79$. При $n=2$ маємо $\mu^2 = 0,35$, $\varphi^2 = \arctag \frac{0,75}{0,25} \approx 1,3$

рад. При $n=3$ отримуємо $\mu^3 = 1,6$ $\varphi^3 = \frac{\pi}{4}$ рад.

Одне «слово» (тобто повний OFDM символ) системи LTE попередньо задається вектором $n(k)$, а потім відображається в суму членів ряду Фур'є (зворотне перетворення Фур'є). Відповідна вектору $n(k)$ комплексна функція $f[n(k), t]$ використовується для I/Q-модуляції когерентного гармонійного сигналу носійної частоти [46]:

$$f[n(k), t] = \text{Re}\{f[n(k), t]\} + i \cdot \text{Im}\{f[n(k), t]\} = I[n(k), t] + i \cdot Q[n(k), t] \quad (2.3)$$

Матеріальна $\text{Re}\{f[n(k), t]\}$ складаюча модулює синфазну компоненту ("In-Phase"), тобто, косинус-компоненту результуючого вихідного сигналу передавача (I-модулятор). Уявна компонента $\text{Im}\{f[n(k), t]\}$ - модулює синус-компоненту (Q-модулятор).

Таблиця 2.2 Параметри маніпуляції амплітудою / фазою при 16QAM

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Код	00-00	00-01	00-10	00-11	01-00	01-01	01-10	01-11	10-00	10-01	10-10	10-11	11-00	11-01	11-10	11-11
μ^n	0.35	0.79	0.79	1.06	0.35	0.79	0.79	1.06	0.35	0.79	0.79	1.06	0.35	0.79	0.79	1.06
φ^n , рад	$\frac{\pi}{4}$	0.3	1.3	$\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{4}$	-0.3	-1.3	$-\frac{\pi}{4}$	$\frac{3 \cdot \pi}{4}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{2}$	$\frac{3 \cdot \pi}{4}$	$-\frac{3 \cdot \pi}{4}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\frac{3 \cdot \pi}{4}$

Відповідно до специфікації LTE [39], мінімальним логічним блоком, який може бути адресований термінальному призначеному для користувача пристрою UE, є ресурсний блок (RB), утворений набором з 12 піднесуть і з 6 або 7 слів, як показано на рис. 2.4. Елементи окремого ресурсного блоку RB надходять від джерел даних шести різних типів: дані користувача; еталонні пілот сигнали CSR (cell specific reference); інформація управління низхідній лінії DCI (downlink control information); сигнали первинної синхронізації PSS (primary synchronization signals); сигнали вторинної синхронізації SSS (secondary synchronization signals); сигнали широковещательного каналу BCH (broadcast channel).

На рис. 2.6 показано розподіл різних елементів фрейм LTE за своїми структурними компонентами (підфреймів, тайм-слотів, окремим «словами») для випадку нормального циклічного префікса CP, при якому кожен тайм-слот містить 7 «слів». Як видно з рис. 2.6, останні два «слова» із загальної кількості 14 «слів» в кожному підфреймі не виділені для розміщення керуючих елементів (при нормальному циклічному префікс CP і 7-ми «слів» в кожному тайм-слоті). Крім того, одне з семи «слів» у другому тайм слоті підфреймів (а саме, сьоме «слово») не є обов'язковим елементом напівфрейма, оскільки в режимі розширеного циклічного префікса CP це «слово» відсутній, і підфреймів містить тільки 6 «слів». Таким чином, можна зробити наступний висновок: шоста «слово» у другому тайм-слоті кожного підфреймів в складі спадного напівфрейма LTE є регулярним вільним функціональним елементом, і тому, може бути використано на каналному рівні в нестандартному режимі (ad hoc), не зачіпаючи при це базові фізичні основи роботи радіоканалу на основі технології LTE.

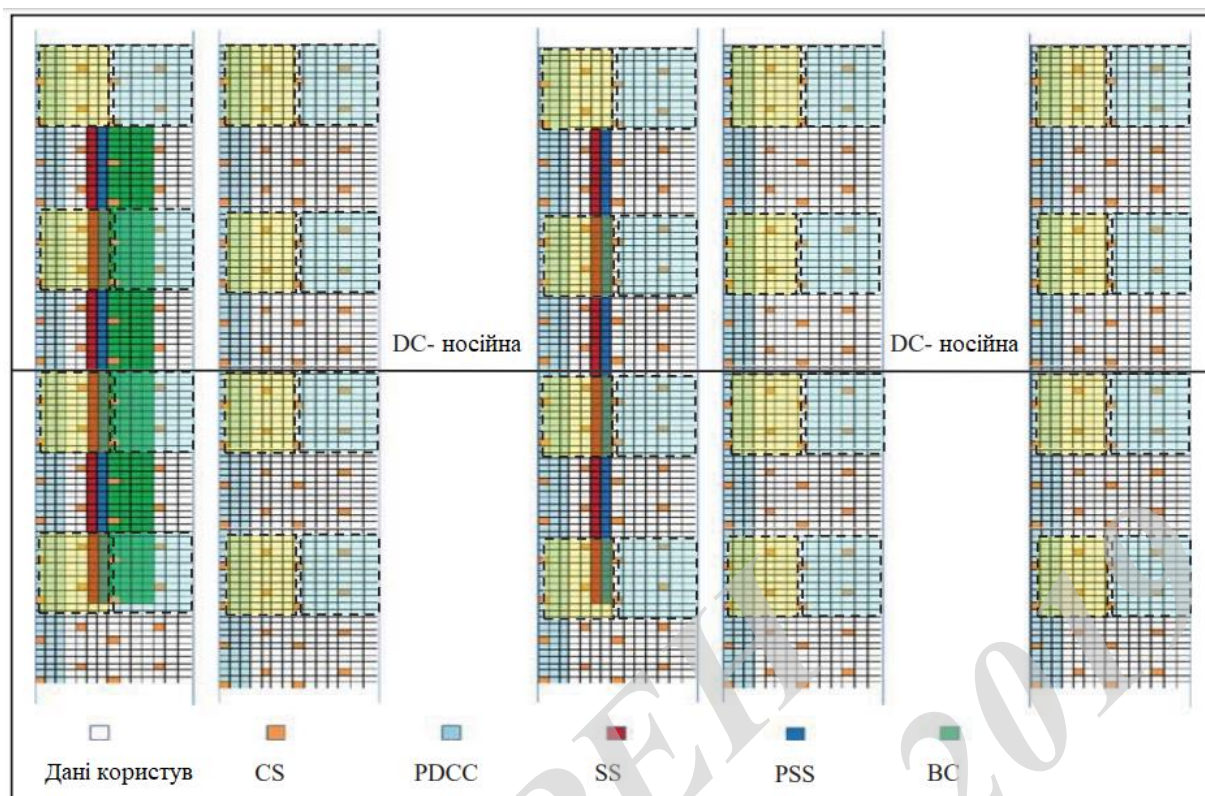


Рисунок 2.6 – Діаграма розподілу елементів спадного напівфрейма LTE

Інформація управління низхідній лінії DCI розміщується в межах перших N «слів» (тобто OFDM- символів) в кожному підфреймі, де N приймає значення 1, 2 або 3. Інформація DCI обслуговує такі управляючі компоненти радіоканалу LTE:

- фізичний канал керування низхідної лінії PDCCN (Physical Downlink Control Channel);
- фізичний канал індикації формату управління PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel);
- фізичний канал PHICH для індикації запиту гібридного ARQ (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel).

Спільно перелічені компоненти управління займають всі ресурсні елементи першого і, можливо, другого і третього слів в кожному підфреймі, за винятком даних CSR, які розміщені в першому слові кожного підфреймі.

Розмір поля DCI в складі кожного підфреймі дорівнює $N_{RB} \times (10 + 12(N - 1))$ де N_{RB} - кількість ресурсних блоків.

Деякі джерела даних доступні у всіх підфреймі фрейма (такі як дані користувача, пілот-сигнал CSR, керуюча інформація низхідній лінії DCI); інші джерела доступні тільки в підфреймах 0 і 5 (сигнали первинної і

вторинної синхронізації PSS і SSS). Деякі джерела доступні тільки в підфреймі 0 (широкомовний канал BCH) [45].

З огляду на, що загальна кількість символів в ресурсній сітці фрейма LTE є фіксованим, сумарна кількість даних користувача в кожному фреймі обчислюється неоднаково для підфреймів:

- 1) підфрейм 0: всі джерела даних доступні;
- 2) підфрейм 5: разом з одними даними також доступними є CSR, DCI, PSS і SSS;
- 3) будь-який інший підфрейм (з номерами 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9): крім даних користувача присутні тільки елементи CSR і DCI.

Логічна похідна 12 підносійних частот і 12 «слів» (OFDM-символів) кожного підфрейма утворюють інформаційний ресурсний блок (IRB), що містить 144 елемента інформаційної ємності; розмір кожного такого елемента залежить від кількості частот підносійних і типу модуляції (рис. 2.7).

В "забарвлених" клітинах на рис. 2.7 розташовані елементи службової інформації; «білі» клітини використовуються для передачі призначених для користувача даних. Нульова (несійна) частота DC розділяє напівфрейм по вертикалі на дві симетричні частини. Сім блоків FRB (номера від 4 до 10 включно) функціонально істотно відрізняється від інших частин службових елементів фрейму.

З урахуванням цього фактора, є можливість адаптації фізичного каналу LTE шляхом введення додаткового нестандартного алгоритму обробки контенту фрейму (режим ad hoc), починаючи з діапазону використовуваних частот від 3 МГц і вище (5, 10, 15 і 20 МГц).

В діапазоні 3 МГц фрейм LTE містить 4 частотних ресурсних блоки FRB з номерами $0 \div 3$ та $11 \div 14$. Щодо «нульової» (тобто носійної) частоти DC, ці блоки на рис. 2.7 мають номери «-7» \div «-4» і «+4» \div «+7».

У даній конфігурації загальна кількість інформаційних ресурсних блоків IRB, які мають регулярну функціональну структуру, становить $4 \times 10 = 40$ у верхній частині фрейму, і 40 блоків IRB в нижній частині фрейму.

Інформаційна ємність в байтах для одного «слова» (OFDM-символу) приведена вище в розділі 1.1 (табл. 1.3).

Структура низхідного напівфрейма LTE
 $\Delta F = 3$ МГц, Розширений CP, 1+1 MIMO
 10 підфреймів \times 15 блоків FRB = 150 блоків RB



Рисунок 2.7 – Особливості структурних елементів фрейму LTE

Для аналітичного розрахунку ємності одного «слова» в роботі отримана наступна емпірична формула:

$$C_S = (3 \text{ байт}) \cdot n_{MIMO} \cdot m_{MOD} \cdot r_S, \quad (2.3)$$

де $n_{MIMO} = (1, 2, 4, 8)$ визначає конфігурацію приймально-передавальних антен базової станції за типами (1, 1), (2, 2), (4, 4) і (8, 8) відповідно;

$m_{MOD} \in (1, 2, 3)$ залежить від типу модуляції QPSK, 16QAM і 64QAM відповідно;

$r_S = (6, 15, 25, 50, 75, 100)$ залежить від діапазону частот каналу LTE: 1.4, 3, 5, 10 і 20 МГц відповідно.

Наприклад, для конфігурації антен MIMO = (4, 4), типу модуляції 16 QAM і діапазону частот 10 МГц отримуємо $C_S = (3 \times 4 \times 2 \times 50) = 1200$ байт.

При MIMO = (8, 8), 64 QAM, 20 МГц отримуємо $C_S = (3 \times 8 \times 3 \times 100) = 7200$ байт.

Зі сказаного вище можна дійти висновку, що на фізичному рівні системи LTE мінімальний блок передачі даних є одне «слово» (один символ OFDM), що складається з N елементарних символів піднесуть гармонік, ємністю 2, 4 або 6 біт. На каналному рівні системи LTE

мінімальний логічний блок передачі даних являє собою один ресурсний блок (RB), що складається з 12 символів піднесуть в складі «слова» (тобто повного OFDM-символу), логічно помножених на 6 або 7 послідовних «слів» .

Загальна інформаційна ємність одного ресурсного блоку RB обчислюється в байтах як $12 \times 6 \times (2,4,6) / 8 = (18,36,54)$ байт для випадку шести агрегованих «Слів» (при розширеному циклічному префікс CP). Для семи агрегованих «Слів» (тобто при нормальному префікс CP) ємність ресурсного блоку RB дорівнює $12 \times 7 \times (2,4,6) / 8 = (21,42,63)$ байт.

Керуюча інформація в напівфреймі низхідної лінії LTE локалізована переважно навколо центральної осі фрейму, а саме, розташована в ресурсних блоках RB з номерами ± 3 .

Цим ресурсним блокам відповідають поднесує гармоніки з номерами $\pm (3 \times 12)$. Дана частина спадного напівфрейма має неоднорідну структуру в різних тайм-слотах і підфреймів; тому їх недоцільно будь-яким чином змінювати в нештатних режимах експлуатації радіоканалу, побудованого на базі стандарту фізичного рівня технології LTE.

Решта ресурсні блоки RB спадного напів-фрейма LTE мають цілком регулярну структуру в межах всіх слотів і підфреймов; при цьому кожен такий блок RB в разі нормального циклічного префікса CP включає 4 елементи управління CSR (по два в шпальтах з номерами 0, 4). Стовпці 12 і 13 будь-якого підфреймів в півфреймі низхідній лінії LTE НЕ зарезервовані жодних даних управління.

2.2. Алгоритм розподілу ресурсів в логічному каналі ad hoc

Для підвищення реактивності радіомережі доступу наступного п'ятого покоління на основі стандартів фізичного рівня технології LTE при обслуговуванні автоматизованих сенсорних пристроїв і систем межмашинного взаємодії, в роботі запропоновано адаптувати радіоканал LTE шляхом введення додаткового логічного каналу в позаштатному режимі (ad hoc) функціонування системи LTE. Суть даного підходу пояснимо на наступному прикладі організації режиму adhoc.

Візьмемо пару суміжних ресурсних блоків (RB) з регулярною структурою (ці блоки виходять за межі області ресурсних блоків RB з номерами ± 3 щодо центральної несучої DC). Об'єднаймо цю пару блоків RB в якості віртуального сегмента фрейму для спеціального

режиму використання (назвемо цей сегмент "AD hoc Segment", або ADS).

Сегмент ADS регулярно з'являється в будь-якому підфреймі LTE (кожну мілісекунду з частотою 1 кГц), тобто в 10 разів швидше, ніж звичайний період циклічного передачі фрейму LTE. Перші три колонки безлічі сегментів ADS (36 елементів сітки фрейма LTE), згідно специфікації стандарту, призначені для передачі керуючих сигналів (серед них три елементи пілот-сигналу CSR). Крім того, ще шість осередків сітки фрейму в кожному сегменті ADS займають елементи CSR. Тоді при розширеному префікс CP залишилася область призначених для користувача даних в ADS складе $(3 + 6) \times 12 - 6 = 102$ елемента всередині шести «слів». При нормальному циклічному префікс CP, область призначених для користувача даних в ADS складе $(3 + 7) \times 12 - 6 = 114$ елементів всередині семи «слів».

На рис. 2.8 зображено спосіб поділу напівфрейма нижньої лінії LTE на усічену регулярну частину, яка використовується в стандартному штатному режимі (Regular UE), з одного боку, і зону нештатного застосування частини ресурсів радіоканалу LTE (Ad Hoc UE), з іншого боку. Виділену зазначеним чином частина ресурсних компонентів напівфрейма нижньої лінії LTE назвемо логічним ad hoc каналом системи LTE.

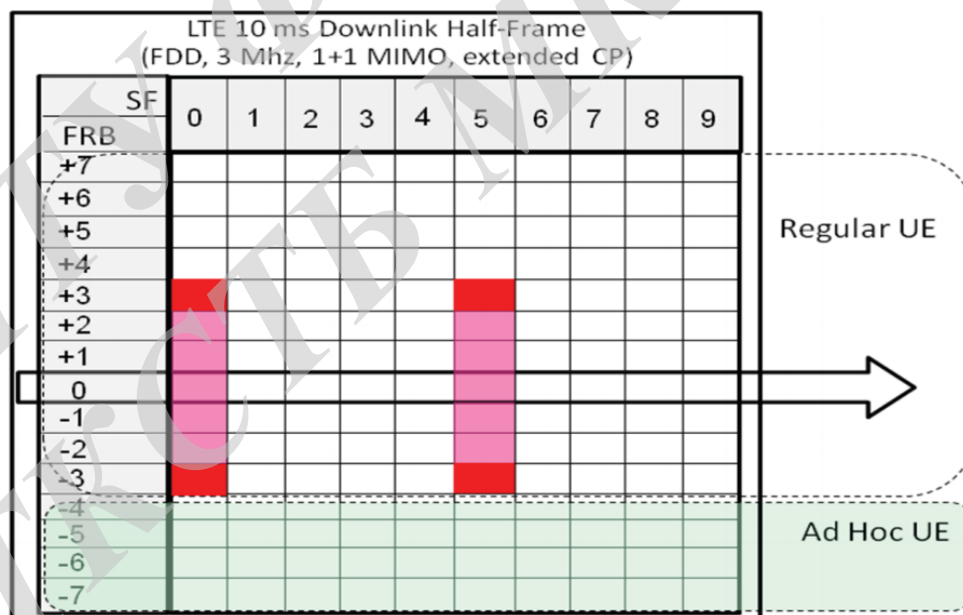


Рисунок 2.8 – Принцип побудови логічного ad hoc каналу LTE

Регулярна частина модифікованого фрейму LTE включає центральну зону ресурсних блоків (з номерами від -3 до +3); ця зона не повинна використовуватися для роботи в режимі ad hoc.

На рис. 2.9 показаний конкретний випадок спільного використання

інформаційних ресурсів радіоканалу LTE звичайними користувачами (частотні ресурсні блоки з номерами від -3 до +7) та користувачами логічного каналу ad hoc із зменшеним в 10 разів часом доставки повідомлень. Логічний канал передбачає можливість виділення деяких інформаційних ресурсних блоків IRB в нижній і / або верхній частині фрейму для використання в режимі ad hoc.

Якщо використовується модуляція 16QAM (4 біта на символ як елемент ресурсної сітки LTE фрейма), то гарантований обсяг даних користувача в сегменті ADS (для 6 «слів» на один ресурсний блок RB) становить 408 біт або 51 байт. Цей блок з 51 байту є зручним транспортним модулем для інкапсуляції в осередку технології АТМ (розмір яких складає 53 байта, в тому числі, 48 байт корисного навантаження).

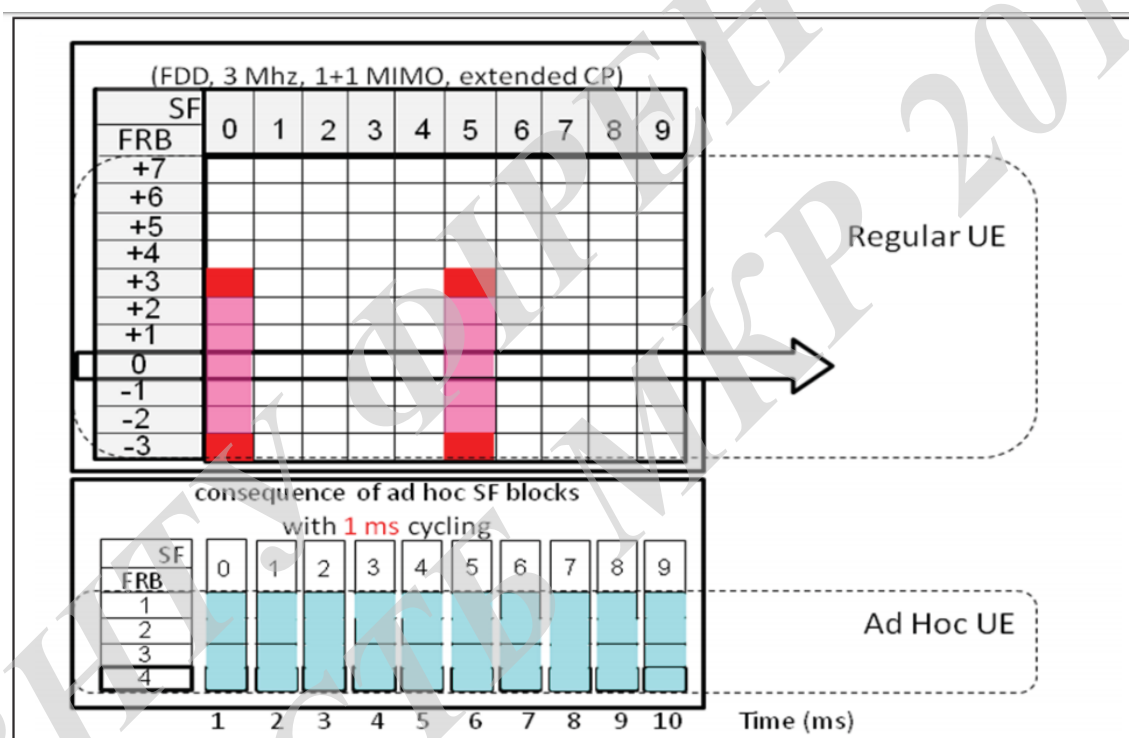


Рисунок 2.9 – Принцип формування логічного каналу ad hoc

Визначимо корисне навантаження об'ємом 51 байт в якості віртуального пакету LTE, переданого в режимі ad hoc (назвемо його "Virtual Ad hoc LTE Packet", або VAP). У режимі модуляції QPSK два сегмента ADS одного підфреймів утворюють один віртуальний пакет VAP.

У режимі модуляції 64QAM один сегмент ADS переносить два віртуальних пакета VAP. Припустимо, що один або кілька віртуальних пакетів VAP, виділені з кожного під-фрейма LTE для формування регулярної послідовності віртуальних пакетів, яка обробляється в режимі ad

нос як показано на рис. 2.9.

Циклічна затримка від моменту передачі повідомлення даних про стан об'єкта до центрального процесора (через базову мобільну станцію) до моменту отримання об'єктом керуючої команди процесора залежить як від затримок в радіоканалі, так і від часу реакції процесора. Інформаційні блоки IRV передаються з періодом 1 мс або 2 мс; при цьому, в порівнянні з періодом LTE фрейму 10 мс, затримка в каналі зменшується в 10 разів або в 5 разів.

Якщо робота процесора синхронізована з базовим режимом роботи каналу LTE, при якому затримка реакції процесора кратна тривалості фрейму LTE, то зменшення циклічної затримки становить $(10 + 10 + 10) \text{ мс} / (2 + 10 + 2) \text{ мс} = 30/14 = 2.1$ рази. При затримці в каналі 1 мс, ця величина складає $30 \text{ мс} / 12 \text{ мс} = 2.5$ рази.

На рис. 2.10 показано діаграму підвищення динамічності логічного ad hoc каналу АСН в порівнянні зі стандартним режимом використання радіоканалу LTE за рахунок скорочення циклічної затримки передачі даних і команд управління.

Виділена послідовність віртуальних пакетів VAP утворює «логічний ad hoc канал» АСН (Ad Hoc Channel) з поліпшеними динамічними властивостями. Цей канал може бути використаний для управління сенсорними мобільними об'єктами мережі.

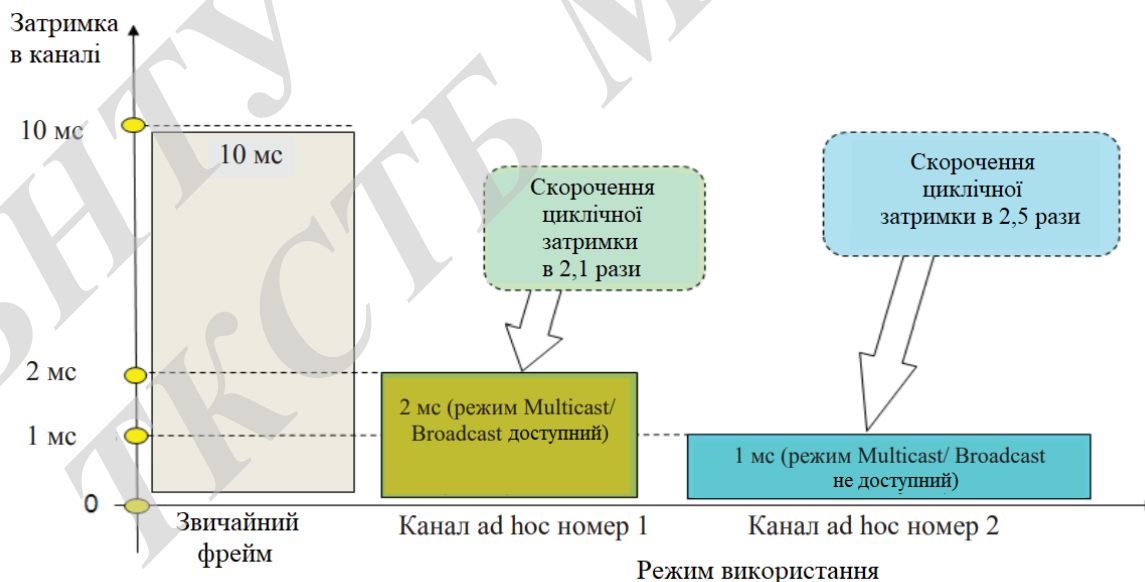


Рисунок 2.10 – Діаграма підвищення динамічності радіоканалу за рахунок зменшення затримки пакетів

У даній роботі запропоновано наступний спосіб структурування віртуального пакету VAP. Перший байт із загальної кількості 51 байт в

складі віртуального пакету VAP використовується в якості ідентифікатора протоколу (при цьому можуть бути задіяні до 255 різних протоколів). Решта 50 байт віртуального пакету VAP інтерпретуються як послідовність з 100 символів по 4 біта в кожному (типу hexadecimal, позначимо такий символ HDS).

Перші десять значень окремого символу HDS (від 0 до 9) будемо розглядати як букви абстрактної формальної граматики AFG (Abstract Formal Grammar). Останні 6 символів (A, B, C, D, E, F) зарезервуємо в якості керуючих символів, чотири символи з яких будемо використовувати як синтаксичні знаки формальної граматики AFG:

"A" - знак пробілу; "B" - знак "/"; "E" і "F" ліва і права дужки ("(", ")"); символи "C" і "D" виберемо в якості префіксів для командного слова (префікс C) і сегмента даних (префікс D).

2.3. Метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі мобільної мережі доступу

Другий науковий результат роботи є комбінований метод синхронно/асинхронного мультиплексування мультимедійних сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу.

Вихідними даними для використання даного методу є наступні технічні вимоги:

- Максимально допустимі циклічні затримки між моментом відправки даних телеметрії про поточний стан мобільного об'єкта контролю і моментом отримання сигналу від центрального процесора; ці параметри визначаються індивідуально для окремих термінальних сенсорних пристроїв мережі;
- Частота циркуляції і розмір сегментів для окремих термінальних сенсорних пристроїв;
- Середня інтенсивність пакетного трафіку, що не чутливий до короткострокових коливань затримки мобільного зв'язку.

Вихідними даними методу є спосіб і алгоритм кодування символів в окремому логічному каналі ad hoc, який формується за принципами, сформульованим у рамках першого наукового результату.

На вході логічного каналу ad hoc діють дві черги: а) детермінована чергу сегментів реального часу; б) випадкова чергу пакетів.

Сегменти реального часу мають фіксований розмір і частоту надходження для кожного мобільного сенсорного об'єкта; ці параметри

динамічно змінюються в процесі функціонування інтегрованої мережі. Частота надходження сегментів в потоках реального часу встановлюється кратній частоті пакетних транспортних модулів (PTM) з коефіцієнтом кратності.

При розробці мереж NGN інженери стикаються з проблемою забезпечення якості обслуговування при передачі потоків різних типів. Відомі моделі якості IntServ і DiffServ на основі протоколів резервування ресурсів RSVP і NSIS показали недостатній рівень масштабованості в практичних застосуваннях [48].

Сучасна концепція програмно-конфігурованих мереж (SDN) демонструє позитивні результати в деяких областях [49], хоча при цьому виглядає поки досить складною для адміністрування, і крім того, недостатньо динамічною через затримки в зворотного зв'язку при взаємодії центрального контролера з віддаленими об'єктами мережі.

Таким чином, інтеграція телекомунікаційних послуг на основі пакетної передачі даних залишається серйозною проблемою. Нами представлений вдосконалений метод управління мультимедійним потоком цифрових даних в бездротовому каналі радіомережі доступу, який базується на використанні принципів формальної граматики першого і другого порядків [50].

Розглянемо потік символів деякої формальної граматики, який має початок (точку початкового скидання), але при цьому не обов'язково має фіксовану кінцеву точку (тобто він може тривати необмежено в часі). Такий потік символів назовемо «частково відкритим потоком». Будемо вважати, що даний потік переноситься дискретними порціями на каналному рівні OSI в мережі за допомогою пакетних транспортних модулів (PTM) в якості носія потоку використовуємо кадри каналного рівня деякої технології пакетної передачі даних.

На рис. 2.11 показаний принцип синхронної передачі послідовного потоку символів між сусідніми вузлами телекомунікаційної мережі за допомогою пакетних транспортних модулів (PTM), які циклічно з фіксованою частотою передають інформацію в обох напрямках дуплексного каналу [58, 62].

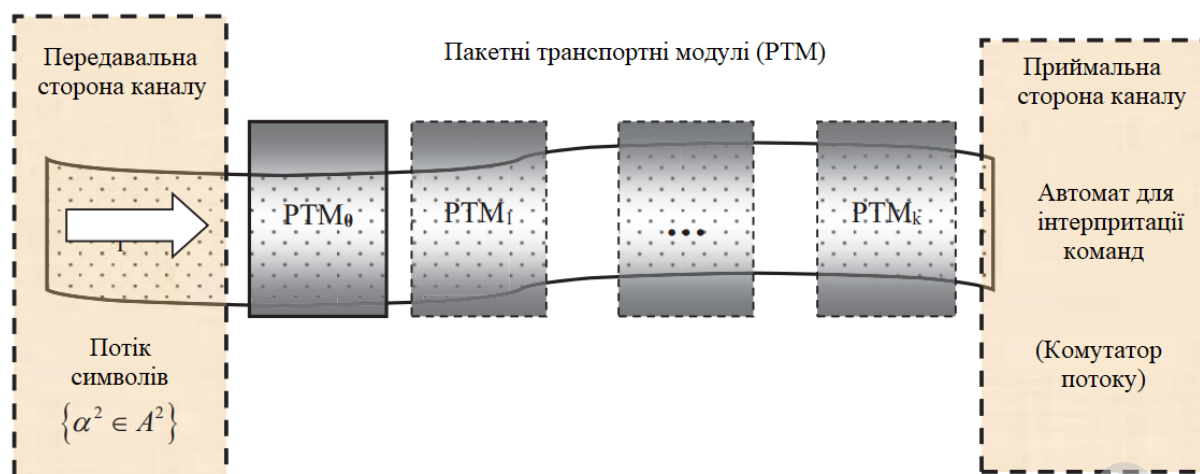


Рисунок 2.11 – Синхронна передача потоку символів в каналі зв'язку

Припустимо також, що модулі РТМ мають фіксовану максимально можливу корисне навантаження в залежності від конкретної технології каналного рівня. Частоту циркуляції транспортних модулів РТМ виберемо максимально можливою для даного типу технології і пропускної здатності каналу. Процес передачі частково відкритого потоку символів здійснюватимемо в такий спосіб.

На передавальній стороні каналу комутатор мережі формує інтегрований послідовний потік символів, в якому об'єднані тим чи іншим чином складові потоки від різних джерел. Перед відправкою в канал, мультиплексор мережевого комутатора розділяє потік на окремі сегменти, які упаковуються в транспортні модулі РТМ. Розмір сегментів залежить від корисного навантаження РТМ, а також від наявності достатньої довжини черги потоку на вході мультиплексора.

У будь-якому випадку, розмір сегмента не може перевищити величину корисного навантаження транспортного модуля РТМ. У свою чергу, приймальна сторона каналу приймає транспортні модулі, витягує з них транспортні сегменти потоку і об'єднує ці сегменти в пов'язану послідовність символів, яка відтворює потік, що подається на вхід мультиплексора передавальній стороні каналу зв'язку.

Формування модулів РТМ здійснюється на принципах формальної граматики. Початковий (нульовий) рівень синтаксису формальної граматики утворений алфавітом із трьох символів, в той час як семантика початкового рівня формує відкритий алфавіт і синтаксис для першого рівня граматики.

Алфавіт граматики першого рівня складається з 16 елементів (символів), з яких 15 є літерами, а один символ - є синтаксичним знаком.

Символи алфавіту шістнадцятирічної системи записи відповідають 3-й колонці на рис. 2.12. Символ «С» є синтаксичним знаком, за допомогою якого утворюються окремі «слова» граматики першого рівня (або умовні «символи» граматики другого рівня).

«Слова» знову діляться на синтаксичні знаки (другого рівня) і «букви» другого рівня; перші виконують роль команд, а другі - інформаційних даних. Команди С1-С8 є короткими командами-мітками потоків. Команди «СА» і «СВ» використовуються для делімітації пакетів, а «С0» - для відділення фрагментів пакетів.

Команда «СF» зарезервована для подальшого розширення списку команд граматики. Послідовність «букв» і «команд» має сенс програмного коду деякого процесора управління. Демультіплексор на приймальній стороні каналу обробляє потік символів так, як ніби він віртуально підключений до порту передавальної сторони. На рис. 2.13 зображено описаний вище спосіб мультиплексування мультимедійних даних з використанням команд, сформованих на основі формальної граматики.

Nr.	CODE	Meaning
0	C 0	Space (word/data/fragment delimiter)
1	C 1	Real time segment simple label number
2	C 2	
3	C 3	
4	C 4	
5	C 5	
6	C 6	
7	C 7	
8	C 8	
9	C 9	Real time segment label extension command
10	C A	Packet start/delimiter
11	C B	Packet end/delimiter
12	C C	Meta command (Substitution CC → C)
13	C D	Datat start/delimiter
14	C E	Data end/delimiter
15	C F	Extension command for 3-rd layer alphabet

Приклад формування пакетних транспортних модулів РТМ

```

C1AC2BBC3CCCCC4DDDDC5EEEECA1111CA22222222C0
C1AC2BBC4DDDDC5EEEEC02222CA333333333333CA444C0

```

- мітка сегменту реального часу
- сегмент реального часу
- роздільник пакету
- тіло пакету
- роздільник фрагменту пакету

Рисунок 2.12 – Команди формальної граматики

На вході мультиплексора передавального комутатора є дві черги: а) недетермінованного пакетна чергу, в якій окремі пакети з'являються випадковим чином, і при цьому мають різну довжину; б) детермінована чергу сегментів реального часу, яка складається з окремих потоків, що передаються через віртуальні з'єднання; сегменти реального часу в кожному окремому становить потоці мають фіксовані розмір і частоту надходження.

Частота проходження сегментів реального часу f_s вибирається кратною частоті передачі пакетних транспортних модулів f_{PTM} за допомогою коефіцієнта зворотній кратності частоти k_f : $f_s = \frac{1}{k_f} f_{PTM}$.

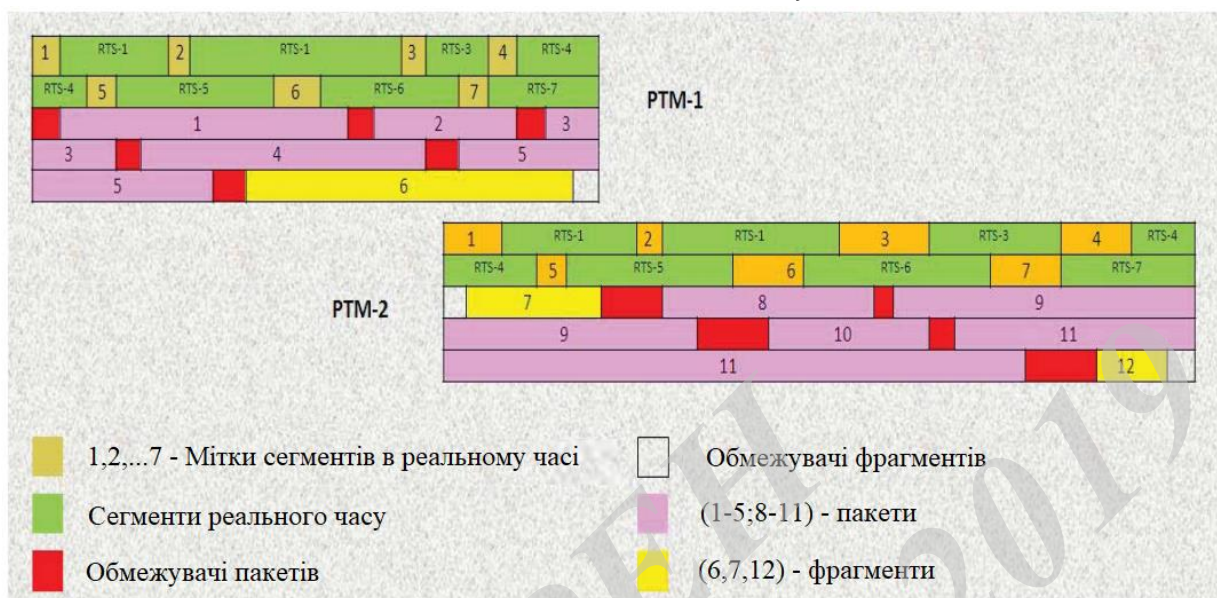


Рисунок 2.13 – Спосіб мультиплексування мультимедійних даних

Ключові слова є зарезервованими словами формальної граматики, які не повинні вживатися в іншому контексті (як звичайні дані). З цією метою виключається вживання одиночного символу «С» в потоці звичайних (змістовних) даних; для цього використовується спеціальна підстановка на передавальній стороні каналу: замість одиночного символу звичайних даних передається комбінація «СС». Відповідно, на приймаючій стороні каналу, кожна пара «СС» перетворюється в один символ «С», який на відміну від синтаксичного знака «С» інтерпретується як елемент даних.

Підмножина команда «С1» - «С8» є короткими позначками потоків. Для розширення списку міток потоків використовується команда «С9». Команди «СА» і «СВ» використовуються для делімітації окремих пакетів, а «С0» - для відділення фрагментів пакетів. Команда «СF» зарезервована для подальшого розвитку граматики третього рівня. Команди «СD» і «СE» призначені для виділення сегментів даних.

З урахуванням результатів, представлених в розділі 2, модифікований радіоканал мережі доступу на основі технології LTE розширюється спеціальним логічним ad hoc каналом АСН, в якому визначені віртуальні пакети VAP. Дані віртуальні пакети будемо використовувати в якості пакетних транспортних модулів РТМ, рис. 2.14.

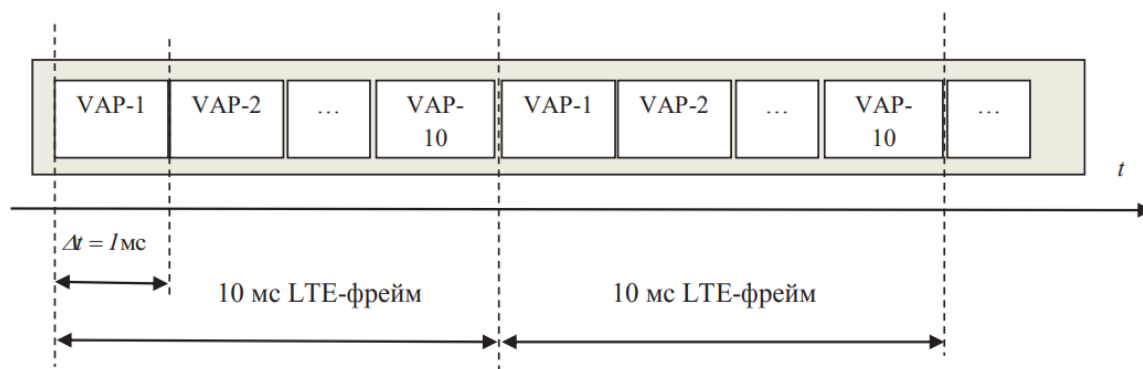


Рисунок 2.14 – Структура віртуального ad hoc каналу системи LTE

Висновки до розділу 2

Одна з тенденцій у розвитку мережевих технологій є створення інтегрованих мереж мобільного доступу, які об'єднують сегменти звичайних телефонних абонентів і спеціальних сенсорних об'єктів контролю, які працюють в режимі реального часу. У зв'язку з цим, представляється доцільним подальша модифікація і розвиток технологічної платформи мобільного зв'язку LTE з урахуванням зростаючих вимог до динамічності взаємодії об'єктів в сенсорних мережах і системах межмашинного взаємодії.

В даному розділі запропоновано удосконалений метод розподілу частотно-часового ресурсу в радіоканалі пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління, який будується на основі базових принципів технології LTE 3DPP R8. Сутність даного методу полягає в створенні окремого логічного каналу в режимі ad hoc для спеціальних додатків реального часу. Це підвищує динамічність взаємодії мобільних об'єктів інтегрованої мережі шляхом скорочення циклічної затримки передачі даних і команд в 2.1 рази.

Розроблено алгоритм розподілу ресурсів в логічному каналі ad hoc, який працює з віртуальними пакетами. Ці пакети регулярно передаються з частотою 1 КГц або 0.5 КГц як синхронних пакетних транспортних модулів.

Запропоновано вдосконалений метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі мобільної мережі доступу, який забезпечує індивідуально задані показники динамічності взаємодії мобільних об'єктів - циклічні затримки передачі даних між об'єктами контролю та керуючим процесором. Даний метод заснований на використанні принципів і методів теорії формальних граматики.

3 АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВОГО КОДУВАННЯ З БАГАТОРІВНЕВИМ ПОДАННЯМ СИМВОЛІВ

Спектральна ефективність телекомунікаційного каналу є одним з найважливіших параметрів продуктивності та якості обслуговування на фізичному рівні. Як правило, спектральну ефективність телекомунікаційного каналу γ визначають за формулою $\gamma = \frac{R}{\Delta F}$, де R - швидкість передачі даних в каналі.

Однак швидкість передачі даних корисного навантаження в реальному часі (позначимо її R_{PLD}), зазвичай менше швидкість з'єднання біт в каналі, з огляду на більшій чи меншій надмірності кодування даних (позначимо цю надмірність D_{OH}).

Як правило, така надмірність використовується для підвищення надійності детектування шляхом спеціального кодування з виявленням і / або виправленням помилок. Наприклад, в даний час широко використовуються так звані LDPC коди з нерівномірним захистом від помилок (UEP) і низькою щільністю перевірок на парність (LDPC) [55].

Потенційна продуктивність аналогового каналу шириною ΔF з безперервним спектром сигналу в смузі ΔF і ставленням сигнал/шум SNR з гаусовим білим шумом оцінюється за формулою Шеннона-Хартлі:

$$C = \Delta F \cdot \log_2(1 + SNR) \times \text{bit} / \text{с}. \quad (3.1)$$

Згідно (3.1), потенційна можлива спектральна ефективність може бути досягнута за умови, що $R_{PLD} \rightarrow C$:

$$\gamma \rightarrow \frac{C}{\Delta F} = \log_2(1 + SNR) \times \text{bit} / \text{с} / \text{Гц}. \quad (3.2)$$

Одиниця «біт/с/Гц» зазвичай використовується для оцінки спектральної ефективності каналу. При цьому дану одиницю можна привести до спрощеної формі з урахуванням того, що 1 секунда = 1/1 Гц:

$$\text{bit} / \text{с} / \text{Гц} = \frac{\text{bit}}{\text{с}} / \text{Гц} = \text{bit} \cdot \text{Гц} / \text{Гц} = \text{bit}. \quad (3.3)$$

Тому, ми будемо в подальшому подавати одиниці виміру спектральної ефективності в одиницях "біт"; формула (3.2) тепер приймає вигляд:

$$\gamma \rightarrow \log_2(1 + SNR) \times \text{бim}. \quad (3.4)$$

Під співвідношенням сигнал/шум (SNR) у формулі Шеннона-Хартлі (3.1) розуміють середньостатистичне відношення $SNR=S/N$, де S - середня потужність сигналу; N - це середня потужність шуму. При цьому, як правило, застосовується поширена модель рівномірної спектральної щільності шуму в смузі каналу зв'язку (квазі-гауссовий білий шум):

$$\sigma_N^2(f) = \text{const}, f \in [f_{\min}, f_{\max}] = [f_{\min}, f_{\min} + \Delta F]. \quad (3.5)$$

Відповідно до цієї моделі, середня потужність шуму дорівнює $N = \sigma_N^2 \cdot \Delta F$. Таким чином, формула (3.4) приймає вигляд:

$$\gamma \rightarrow \log_2\left(1 + \frac{S}{\sigma_N^2 \cdot \Delta F}\right) \times \text{бim}. \quad (3.6)$$

З іншого боку, середня потужність сигналу S залежить від характеру розподілу щільності спектральної потужності сигналу $\rho_s^2(f)$:

$$S = \int_{f_{\min}}^{f_{\min} + \Delta F} \rho_s^2(f) \cdot df. \quad (3.7)$$

Порівнюючи (3.6) і (3.7), отримаємо формулу потенційної спектральної ефективності для телекомунікаційного каналу з аналоговою модуляцією:

$$\gamma \rightarrow \log_2 \left(1 + \frac{\int_{f_{\min}}^{f_{\min} + \Delta F} \rho_s^2(f) \cdot df}{\sigma_N^2 \cdot \Delta F} \right) \times \text{бim}. \quad (3.8)$$

З огляду на очевидний взаємозв'язок $\int_{f_{\min}}^{f_{\min} + \Delta F} df = (f_{\min} + \Delta F) - f_{\min} = \Delta F$, формула (3.8) перетворюється в:

$$\gamma \rightarrow \log_2 \left(1 + \int_{f_{\min}}^{f_{\min} + \Delta F} \frac{\rho_S^2(f)}{\sigma_N^2} \cdot df \right) \times \text{bit}. \quad (3.9)$$

Формула (3.26) показує, що спектральна ефективність істотно залежить від розподілу спектра сигналу $\rho_S^2(f)$. Найгіршим варіантом розподілу спектра сигналу є рівномірний розподіл $\rho_S^2(f) = \rho_S^2 = \text{const}$, $f \in [f_{\min}, f_{\min} + \Delta F]$. У цьому випадку формула (3.9) приймає вигляд:

$$\gamma \rightarrow \log_2 \left(1 + \left(\frac{\rho_S^2(f)}{\sigma_N^2} \right)^2 \right) \times \text{bit}. \quad (3.10)$$

Порозрядне кодування за допомогою шматочно-лінійної фазової модуляції трійкових розрядів символу в ідеальному випадку відображається в спектральній області двома локалізованими в дуже вузькій смузі функцією розподілу потужності спектра; позначимо цю функцію $q_S^2(f)$:

$$q_S^2(f) = \delta \cdot (q_-^2 + q_0^2 + q_+^2), \quad (3.11)$$

де δ - дельта-функція Дірака, q_-^2 і q_+^2 - щільність потужності бічних гармонік, q_0^2 - потужність несійної гармоніки.

У реальності, спектральний склад сигналу з шматочно-лінійної фазової модуляцією відрізняється від ідеалізованої моделі.

Введемо поняття «квазі-дельта-функція» δ_Δ з наступною властивістю:

$$\int_f^{f+\Delta f} \delta_\Delta(f) \cdot df = \delta_\Delta \cdot \Delta f = 1, \quad (3.12)$$

де Δf - досить малий інтервал частоти: $\Delta f \rightarrow 0$. В цьому випадку ми отримуємо наступний результат:

$$\gamma \rightarrow \log_2 \left(1 + \frac{q_-^2 + q_0^2 + q_+^2}{3 \cdot \Delta f \cdot \sigma_N^2} \right) \times \text{bit}. \quad (3.13)$$

Чим менше розмивання спектру (тобто чим краще виконується умова

$\Delta f \rightarrow 0$) тим більшим є співвідношення сигнал/шум:

$$SNR_{\Delta f \rightarrow 0} = \frac{q_-^2 + q_0^2 + q_+^2}{3 \cdot \Delta f \cdot \sigma_N^2} \rightarrow \infty \quad (3.14)$$

З урахуванням (3.4) і (3.14), потенційно досяжна спектральна ефективність γ запропонованого методу модуляції символів повинна зростати за логарифмічною шкалою з підставою логарифма 2, за умови, що $\Delta f \rightarrow 0$.

Оцінка потенційної спектральної ефективності телекомунікаційного каналу за формулою (3.4), яка базується на формулі Шеннона-Хартлі, передбачає, що відповідне співвідношення сигнал/шум може бути відомим. Однак це припущення буває складно перевірити на практиці. У нашому випадку, ми пропонуємо альтернативний підхід до оцінки спектральної ефективності по відношенню до конкретної телекомунікаційної системи, у вигляді:

$$\gamma \rightarrow \frac{f_1 \cdot B}{\Delta F} \cdot \text{bit}, \quad (3.15)$$

де f_1 - частота першої гармоніки (яка задає частоту передачі символів); B - інформаційна ємність одного символу. Формула (3.15) передбачає, що максимально можлива частота для надійного передачі трійчастий розрядів на нульовому рівні кодування поки девіація фази дорівнює f_1 в умовах девіації фази в діапазоні $\pm \pi/2$.

Ця частота f_1 може бути емпірично виміряна за допомогою коефіцієнта помилок символів SER. Дана частота визначає нижню межу швидкості передачі даних при однорівневій кодуванні трійчастий символів. Таким чином, початковим наближенням в оцінці спектральної

ефективності є вираз $\gamma \rightarrow \frac{f_1 \cdot \log_2 3}{\Delta F} = 1.585 \cdot \frac{f_1}{\Delta F} \times \text{bit}$.

Збільшення кількості підносійних гармонік в спектрі сигналу з кусково-лінійною фазовою модуляцією призводить до зростання спектральної ефективності, як показано на рис. 3.1.

Розрахунки показали, що при даних припущеннях, спектральна ефективність асимптотично наближається до значення $\gamma \rightarrow \pi$. На практиці, при $k = 8$ (тобто при семи інформаційних рівнях) величина γ

досить близька до свого асимптотичного значенням. Тому подальше збільшення числа рівнів кодування недоцільно. При сталості модуля похідної від фази, зміна глибини фазової модуляції призводить до зміни періоду формування і детектування символів; це супроводжується відповідною зміною частоти передачі символу і величини спектральної ефективності.

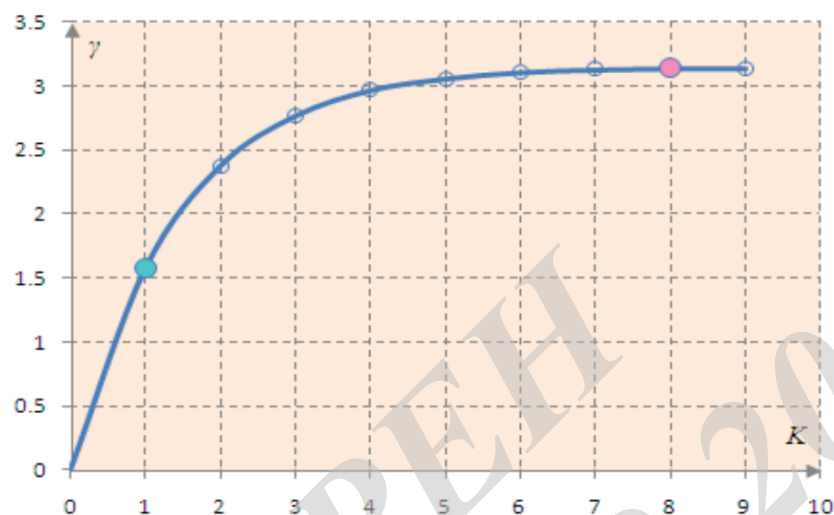


Рисунок 3.1 – Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування символу

На рис. 3.2 показано сімейство кривих спектральної ефективності в залежності від кількості тих, що піднесуть і глибини фазової модуляції $m = |\pm \Delta\varphi|_{\max} / \pi$. Крива $|\pm \Delta\varphi| = \pi$ відповідає кривій на рис. 3.1.

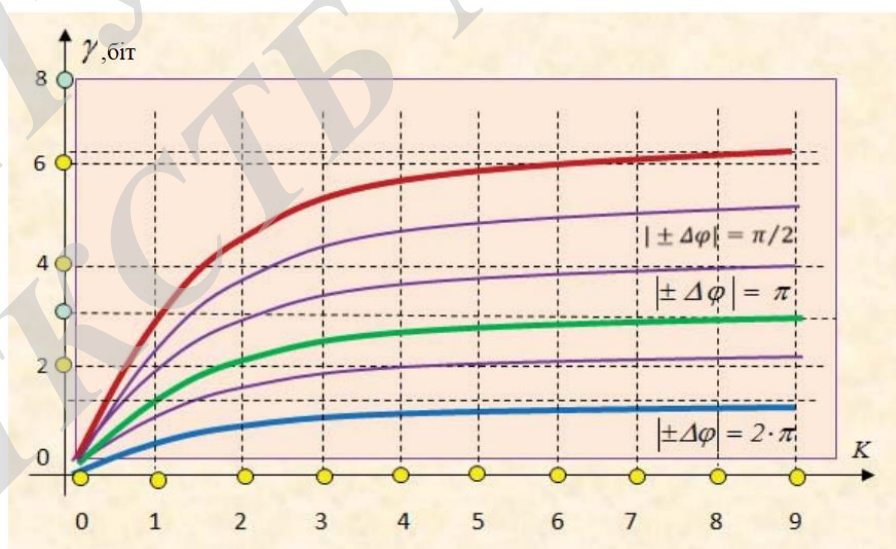


Рисунок 3.2 – Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування і глибини модуляції

На рис. 3.3 показана асимптотична крива спектральної ефективності γ як функція від глибини модуляції m . Функція γ масштабується коефіцієнтом множення π .

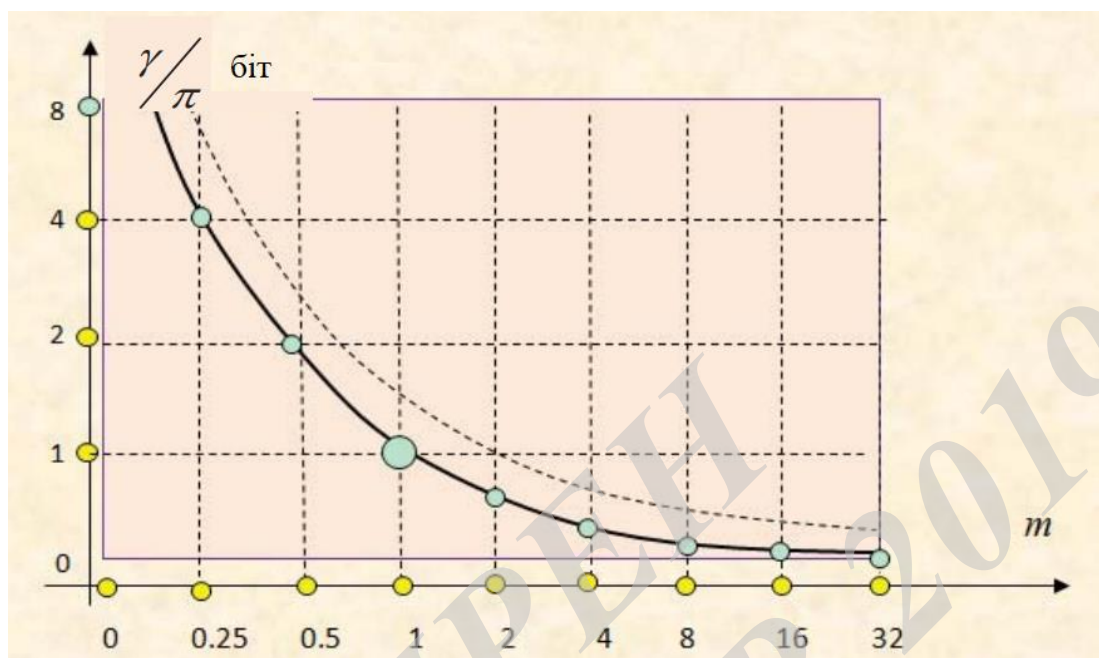


Рисунок 3.3 – Асимптотична крива спектральної ефективності

Для оцінки потенційно можливого виграшу в швидкості передачі даних запропонованим нами методом порозрядного кодування символів, в порівнянні з технологією LTE, введемо нормовану величину швидкості передачі даних $\gamma_{BER} = \beta \cdot R_{BER}$. Тут R_{BER} - це максимально можлива швидкість передачі при допустимому рівні бітових помилок BER. Коефіцієнт β виберемо таким чином, щоб нормована швидкість передачі в каналі LTE $\gamma_{LTE} = \beta \cdot R_{LTE}$, в розрахунку на кожен окрему піднесійну гармоніку (з кроком квантування частоти 15 КГц) при кодуванні типу QPSK і розширеному циклічному префіксу CP, дорівнювала безрозмірній одиниці.

Технологія LTE передбачає три опції кодування символів: QPSK (2 біт/символ), 16QAM (4 біт/символ), 64QAM (6 біт/символ). Для цих трьох типів кодування величина γ_{LTE} приймає значення 1, 2, 3 відповідно. Ці величини визначають швидкість передачі даних однієї піднесе гармонікою на фізичному рівні каналу LTE. Фізична швидкість передачі даних також може змінюватися за рахунок вибору циклічного префікса CP (нормальний або розширений). Крім того, фактична швидкість передачі корисних даних в каналі може змінюватися за сет

введення в канал додаткової інформації, яка використовується для завадостійкого кодування.

Таким чином, реальну швидкодію радіоканалу LTE може приймати ряд дискретних значень в діапазоні $0 < r_{BER} < 3$, яке представимо функцією $f_1(r_{BER})$ на рис. 3.4. При обмеженій кількості типів модуляції символів і варіантів кодування корисних даних, фактична швидкість передачі даних r_{LTE} не завжди збігається з максимально можливою швидкістю r_{BER} при заданому рівні помилок.

Запропонований метод кодування символів дозволяє плавно змінювати швидкість передачі даних (позначимо її R_{PLF}). За сет цього реальна швидкість може динамічно вибиратися на рівні максимально можливої швидкості в даних умовах.

Нормована функція $r_{PLF} = \beta \cdot R_{PLF} = f_2(r_{BER})$ показана пунктирною лінією на рис. 3.4. Виграш за швидкодією каналу з шматково-лінійною фазовою модуляцією по відношенню до радіоканалу LTE оцінимо коефіцієнтом виду:

$$k_{LTE}^{PLF} = \frac{r_{PLF}}{r_{LTE}} = f_3(r_{BER}) \quad (3.16)$$

Функцію виграшу $f_3(r_{BER})$ показана на рис. 3.4 суцільною червоною лінією.

Розрахунки і результати моделювання показали, що виграш по швидкодії змінюється в діапазоні $1.0 \leq k_{LTE}^{PLF} \leq 1.5$ в залежності від значення r_{BER} , і в середньому становить близько 1.25. За межами точки $r_{BER} = 3$ для 64QAM запропонований метод, як і раніше, зберігає здатність до адаптації, на відміну від технології LTE, в якій функція $r_{LTE} = 3 = \text{const}$. Найбільший виграш у швидкодії може бути досягнутий в діапазоні $0 < r_{BER} < 1$.

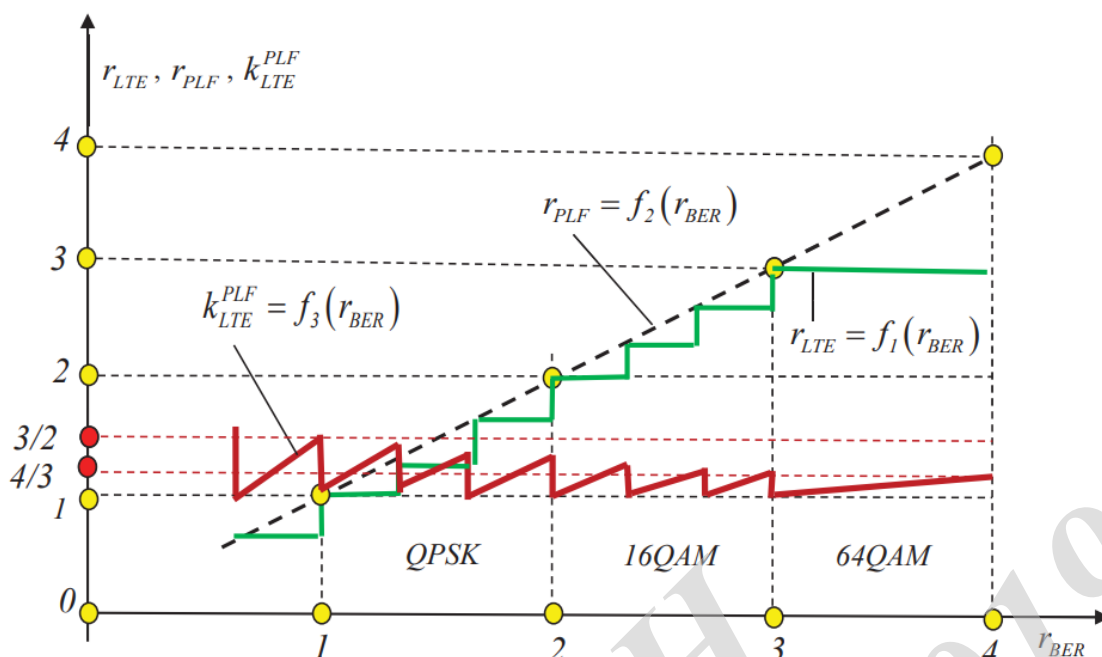


Рисунок 3.4 – Виграш продуктивності радіоканалу методом порозрядного кодування символів

Висновки до розділу 3

В цьому розділі, в якості третьої наукового результату дисертаційної роботи, представлений метод комбінованого частотно-тимчасового поразрядного кодування символів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу. В даному методі для кодування символів використовується шматково-лінійна фазова модуляція трійчастий розрядів символу, яка здійснюється шляхом генерації дискретних піднесуть гармонік в межах частотного діапазону.

На відміну від відомих методів OFDM-модуляції в радіоканалі LTE 3GPP R8 трьома альтернативними способами (QPSK, 16QAM, 64QAM), запропонований підхід забезпечує більш точне значення швидкості передачі даних до максимально можливої швидкості передачі при заданих обмеженнях на рівень помилок і поточний стан каналу.

Отримане рішення підвищує динамічність взаємодії сенсорних мобільних об'єктів з центральним керуючим процесором в складі інтегрованої пакетної мережі доступу за рахунок збільшення швидкості обміну даними в 1.0 - 1.5 разів у порівнянні зі стандартним фізичним каналом LTE при різних станах каналу.

Троичное частотно-часове кодування на фізичному рівні каналу зв'язку дозволяє інтерпретувати послідовність символів на приймальній стороні каналу зв'язку як текст формальної граматики; це розширює

можливості побудови безлічі алгоритмів і протоколів для обробки даних в цифровому телекомунікаційному каналі.

Застосування фазової модуляції (замість квадратурної амплітудно-фазової модуляції QAM) дозволяє наблизити середню потужність передавача сигналу до максимальної допустимої миттєвої потужності сигналу, що, за інших рівних умов, збільшує співвідношення сигнал/шум.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

4 МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ РАДІОКАНАЛУ В ПАКЕТНІЙ МЕРЕЖІ

У цьому розділі роботи представлена методика і результати комп'ютерного моделювання алгоритмів, що відображають запропонований метод розподілу ресурсів, а також метод спільної передачі сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі інтегрованої мережі мобільного доступу, який базується на технології LTE. Зокрема, наведена програмна модель мультиплектора, реалізована на мові Python в середовищі операційної системи Linux Ubuntu.

Методика моделювання включає рішення наступних трьох основних завдань.

1) Побудова деталізованого комп'ютерного алгоритму для реалізації запропонованих в магістрській кваліфікаційній роботі вдосконалених методів управління ресурсами радіоканалу інтегрованої мережі мобільного доступу.

2) Розробка програмного симулятора у вигляді набору програмно функціональних модулів, що моделюють роботу алгоритму управління ресурсами радіоканалу інтегрованої мережі мобільного доступу.

3) Проведення досліджень запропонованих в МКР методів управління ресурсами радіоканалу інтегрованої мережі мобільного доступу, за допомогою розробленого програмного симулятора з метою верифікації логічної коректності отриманих результатів і підтвердження практичної реалізованості розроблених методів.

У розділі стисло описані програмного коду основних функціональних модулів і методика налагодження програмного симулятора, що дозволяє здійснювати подальший розвиток і вдосконалення інструментарію моделювання.

4.1 Алгоритм інтеграції мультимедійних даних в цифровому радіоканалі

Як зазначено в попередніх розділах МКР, запропонований в роботі метод мультиплексування мультимедійних даних (сегментів реального часу і пакетних даних) заснований на тому, що в радіоканалі мобільної мережі доступу, який побудований на основі фундаментальних фізичних принципів технології LTE 3GPP R8, виділяється спеціальний логічний канал в режимі ad hoc. Даний канал призначений для організації взаємодії між мобільними сенсорними об'єктами контролю

та центральним керуючим процесором інтегрованої мережі доступу.

В силу різноманітності технічних вимог до об'єктів контролю, частина з них вимагає передачі даних телеметрії і команд управління процесора в режимі реального часу, з гарантованим обмеженням циклічної затримки. Відповідні потоки інформації передаються за допомогою логічних одиниць даних, які позначені в роботі як «сегменти реального часу».

Об'єкти реального часу, як правило, досить швидко змінюють свій поточний стан (наприклад, швидко рухомі транспортні безпілотні пристрої в системі контролю безпеки руху). Інші об'єкти мережі менш критичні до затримок передачі інформації (наприклад, пілотовані транспортні засоби, які знаходяться досить далеко від активної зони контролю безпеки руху). Трафік таких об'єктів може передаватися в пакетному режимі з можливими флуктуаціями часу доставки повідомлень.

Запропоновані в роботі методи управління ресурсами радіоканалу передбачають циркуляцію в логічному каналі ad hoc так званих пакетних транспортних модулів РТМ (Packet Transporting Modules), розміри і частота циркуляції яких є змінними параметрами, залежними від основного режиму роботи радіоканалу LTE.

Алгоритм моделювання мультиплексора включає блок введення початкових даних і два основних функціональних блоку. Перший функціональний блок забезпечує формування детермінованої черзі, яка складається із сегментів даних реального часу; параметри цих сегментів задаються блоком початкових даних. Другий функціональний блок реалізує випадкову чергу пакетів.

На рис. 4.1 зображена блок-схема алгоритму для комп'ютерного моделювання процесів інтеграції двох черг вхідних даних - детермінованого потоку сегментів реального часу і послідовності пакетів з випадковими розмірами і часом надходження на вхід мультиплексора. Черга сегментів реального часу генерується динамічно в кожному циклі ітерації. Результатом роботи одного циклу ітерації є сформований пакетний транспортний модуль РТМ. Пакетний транспортний модуль РТМ містить дві основні частини, розміри яких можуть варіюватися від одного РТМ до іншого.

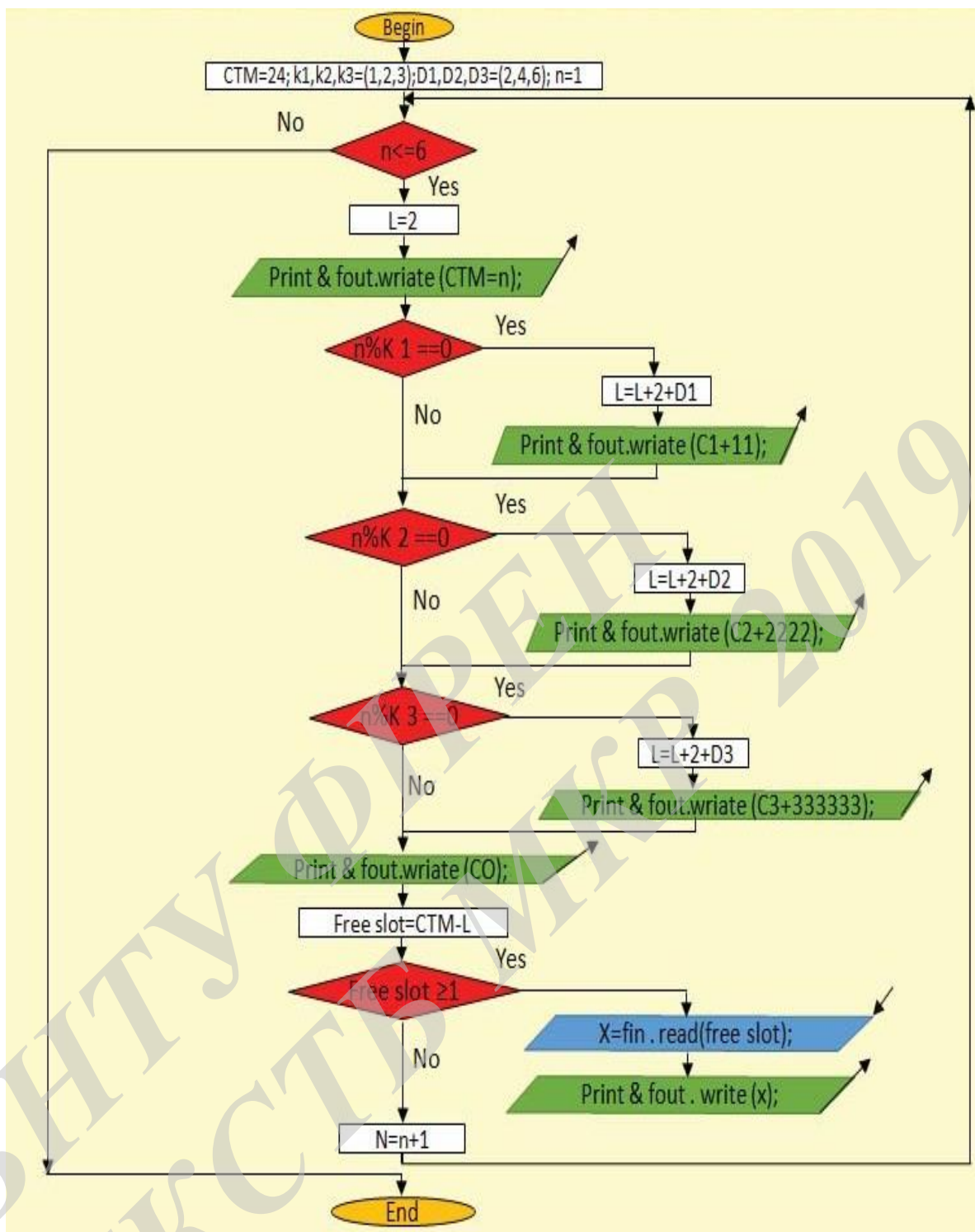


Рисунок 4.1 – Алгоритм мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних

У першій частині модуля РТМ розміщуються один або кілька сегментів реального часу (за умови, що до моменту формування поточного модуля РТМ вхідні чергу реального часу не є порожньою). Сегменти реального часу завжди поміщаються в модуль РТМ цілком (тобто не фрагментуються). Конкретний набір сегментів, які

потрапляють з черги реального часу в даний модуль РТМ, залежить від заданих параметрів складових часткових потоків в складі загального потоку реального часу (а саме, від кратності надходження і розміру сегментів для кожної складової загального потоку).

Частота потрапляння сегментів з окремих часткових потоків в модулі РТМ визначається коефіцієнтом кратності, по відношенню до ітераційної змінної циклу. Якщо коефіцієнт кратності деякого часткового потоку сегментів дорівнює 1, то сегмент даного часткового потоку присутні в кожному модулі РТМ.

При коефіцієнті кратності 2, відповідні сегменти часткового потоку потрапляють в модулі РТМ через раз (тобто в кожен другий модуль РТМ), і так далі. Друга частина пакетного транспортного модуля РТМ містить окремі пакети (або фрагменти пакетів), які в даній моделі зчитуються з заздалегідь заданого текстового файлу. Налаштування вхідних черг, а також основні параметри моделювання встановлюються безпосередньо в файлі програмного коду; при необхідності, Ви можете змінити налаштування перед кожним виконанням програми.

Розмір модуля РТМ задається оператором присвоєння, наприклад, "РТМ = 24", який оператор встановлює довжину модуля РТМ в 24 символу в форматі американського стандартного коду для обміну інформацією (ASCII), включаючи знаки пробілу між інформаційними знаками.

Кількість, розмір і частота появи сегментів реального часу в якості вхідних даних попередньо встановлюють в тілі коду програми моделювання. Наприклад, пара команд:

$$\begin{cases} K1, K2, K3 = (1, 2, 3) \\ D1, D2, D3 = (2, 4, 6) \end{cases} \quad (4.1)$$

встановлює, що в імітаційної моделі будуть генеруватися три потоки даних реального часу. Частота кожного потоку реального часу вимірюється щодо періоду циклічного передачі РТМ-модуля.

Таким чином, вираз "K1=1" означає, що сегменти потоку номер один будуть когерентними з появою РТМ, тобто кожен РТМ повинен містити один сегмент даних реального часу. Вираз "K2=2" означає, що сегменти потоку номер два повинні бути розподілені в РТМ не рідше одного разу в два послідовних модулі РТМ; вираз "K3=3" встановлює, що будь-який третій модуль РТМ повинен містити, у тому числі, один сегмент потоку даних реального часу.

У підсумку, у відповідності зі специфікацією (4.1) послідовність сегментів потоку реального часу буде виглядати наступним чином:

$$PTM : 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \\ [(fs1, \dots), (fs1, fs3, \dots), (fs1, fs2, \dots), (fs1, \dots), (fs1, fs3, \dots), (fs1, fs2, \dots)] \quad (4.2)$$

Послідовність (4.2) показує, що існує період повторення в процесі виконання процедури з розподілу сегментів реального часу у вигляді модулів РТМ. Цей період визначається безліччю коефіцієнтів K_n , які оголошені в (4.1). Зокрема, кількість періодів розраховується як найменше спільне кратне всіх коефіцієнтів K_n , наприклад, $1 \times 2 \times 3 = 6$. Розміри сегментів реального часу визначаються константами $D1 \dots D3$ в команді (4.1). Таким чином, ці розміри, виміряні в кількості символів в форматі ASCII:

$$D1 = 2, D2 = 4, D3 = 6. \quad (4.3)$$

Порівнюючи між собою співвідношення (4.1) - (4.3), ми отримаємо результуючий блок реального часу в будь-якому модулі РТМ (з урахуванням того, що кожен сегмент реального часу включає в себе 2 додаткові позиції для мітки потоку):

$$PTM : 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \\ [(2+2, \dots), (2+2+6, \dots), (2+2+8, \dots), (2+2+6, \dots), (2+2, \dots), (2+2+2+12, \dots)]. \quad (4.4)$$

У разі, якщо загальний розмір модуля РТМ становить 24 символу в форматі ASCII, тоді модулі РТМ будуть сформовані для спільної передачі сегментів реального часу і пакетних даних в такий спосіб:

$$PTM : 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \\ [(4+20), (10+14), (12+12), (10+14), (4+20), (18+6)]. \quad (4.5)$$

Послідовність (4.5) показує, що залишкова ємність модуля РТМ, після розміщення в ньому сегментів реального часу, залежить від параметрів потоків даних реального часу.

В крайньому випадку, всі заплановані сегменти реального часу можуть з'явитися в модулі РТМ; отже, розмір РТМ має бути завжди більше, ніж сума оголошених розмірів сегментів реального часу, наприклад, $24 > 2 + 4 + 6 = 12$.

Ітераційна змінна імітаційної моделі визначається як n ; початкове

значення n встановлюється рівним 1. В кінці циклу програми значення ітераційної змінної n збільшується на одиницю кожного разу, коли сформований поточний модуль РТМ. Кількість ітерацій визначається як постійний параметр, наприклад $n \leq 6$.

За правилами граматики даної моделі, сегменти реального часу і сегменти пакетів (або їх фрагменти) інтегровані в циклічно повторюються транспортні модулі РТМ як формалізований текст, який включає в себе частину корисного навантаження (набір слів) і службову інформацію ОН (Over Head) у вигляді синтаксичних знаків.

Таким чином, має виконуватися співвідношення:

$$FreeSlot = N_{CTM} - (N_{RTD} + N_{OH}) = N_{CTM} - L \geq 0, \quad (4.6)$$

де N_{CTM} - розмір модуля РТМ; N_{RTD} - загальний обсяг даних реального часу в конкретному модулі РТМ; N_{OH} - загальний розмір службової інформації; $L = N_{RTD} + N_{OH}$ - загальний розмір пулу, виділеного в даному модулі РТМ для розміщення потоків реального часу разом зі службовою інформацією; $FreeSlot$ - залишковий вільний ресурс пам'яті в складі модуля РТМ, який може бути використаний для розміщення пакетів або їх сегментів: $FreeSlot = PTM - L \geq 1$.

Величина змінної L попередньо встановлена рівної 2; це викликано тим, що в будь-якому модулі РТМ для делімітації пакетів і сегментів реального часу повинні бути обов'язково введені два службових символу, які представляють собою команду початку пакета. Крім того, в алгоритмі змінна L збільшується щоразу, коли черговий сегмент реального часу вставляється в модуль РТМ.

Відповідно до визначення трьох типів потоків реального часу в даному варіанті програмного коду, тіло алгоритму містить три умовні оператора IF. Логічна функція оператора IF має вигляд:

$$n \% K = rest \left(\frac{n}{K} \right), \quad (4.7)$$

де n - поточний номер ітерації (тобто номер модуля РТМ); K - коефіцієнт частоти появи кожного з визначених потоків реального часу.

Якщо залишок від ділення $n \% K = 0$, то поточний номер ітерації n є кратним коефіцієнту K ; це означає, що відповідний сегмент реального часу потрібно включити в даний модуль РТМ; крім того, значення акумулятора L

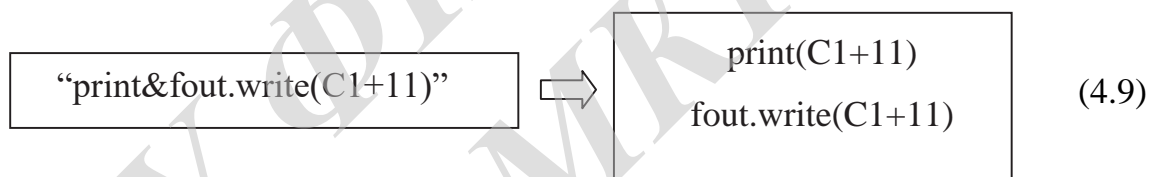
$L = N_{RTD} + N_{OH}$ слід збільшити на $2 + D$, де 2 - це довжина команди (мітки потоку), D - розмір відповідного сегмента реального часу.

Наприклад, умова $n \% K1 = n \% 1 = 0$ виконується для будь-якого цілого значення n ; умова $n \% K2 = n \% 2 = 0$ виконується тільки для $n=2, 4, 6, \dots$; умова $n \% K3 = n \% 3 = 0$ виконується тільки для $n=3, 6, 9, \dots$

Розподіл даних реального часу в поточний модуль РТМ виконується кожен раз, коли виконується логічне умова (посилання "Так" на блок-схемі рис. 4.1) за допомогою функції «fout.write ()», де "fout" це скорочена назва результуючого файлу для розподілу даних. У будь-якому випадку на блок-схемі, наведеній на рис. 4.1, вказуються такі три пункти:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{"print \& fout.write(C1+ 11)"}, \\ \text{"print \& fout.write(C2+ 2222)"}, \\ \text{"print \& fout.write(C3 + 333333)"}. \end{array} \right. \quad (4.8)$$

Конструкція "print & fout.write (C1+11)" у формулі (4.8) символізує об'єднання двох самостійних операторів в одному блоці діаграми:



Перший оператор "print (C1 + 11)" виводить сегмент "11" реального часу з заголовком "C1" на екран монітора для візуального контролю. Другий оператор "fout.write (C1 + 11)" записує сегмент "11" реального часу з заголовком "C1" в результуючий файл з ім'ям "fout". Останні два блоки на рис. 4.1 здійснюють зчитування пакетних даних з вхідного файлу з ім'ям "fin", а також запис цих даних в результуючий файл з короткою назвою "fout". Зчитування вхідних даних пакета виконується узгоджено з вільним для розподілу слотом одержуваного модуля РТМ, що визначається значенням змінної FreeSlot. Фрагмент черзі пакетів зчитується в змінну x ; після цього, значення змінної передається в файл, який має коротку назву "fout".

Окремим завданням, яка вирішується в рамках запропонованого алгоритму мультиплексування даних, є розміщення пакетних даних в умовах заздалегідь невідомого і не визначеного розміру вільного слота в складі модуля РТМ. Дане завдання ускладнюється невідомими і

алгоритму. Відповідно до заданими параметрами потоків, сегменти потоку реального часу номер один мають коефіцієнт кратності $K1 = 1$.

Це означає, що будь-який модуль РТМ повинен надати відповідний слот пам'яті для розподілу двох символів тіла сегмента (тобто "11") і двох позицій для команди мітки потоку (тобто "С1").

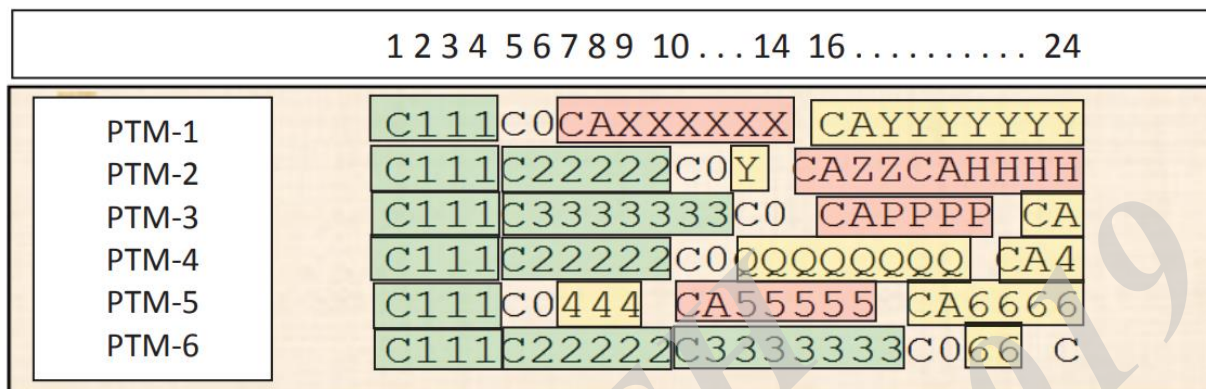


Рисунок 4.3 – Інтеграція мультимедійних даних в пакетних транспортних модулях

Команда "C0" з'являється один раз в кожному модулі РТМ для делімітації сегментів реального часу (показано зеленим кольором) і сегментів даних пакетів або їх фрагментів. Будь-який сегмент пакета починається з команди "CA". У модулі РТМ-1 (перший рядок на рис. 4.3), один пакет поміщається повністю ("XXXXXX"); ще один пакет розташовується частково (сім символів "YYYYYYYY" з восьми символів "Y" цілого сегмента). Таким чином, останній символ "Y" переноситься на наступний модуль (РТМ-2) після роздільник "C0". Сегменти реального часу на рис. 4.3 позначені зеленим кольором. Повністю розподілені пакети виділені червоним кольором; частково розподілені фрагменти пакетів позначені жовтим кольором.

Серед шести модулів РТМ, модуль РТМ-6 в основному завантажений даними реального часу; менш завантаженим є РТМ-1 і РТМ-5. Середнє навантаження відповідає балансу приблизно «50% до 50%» між даними пакетів і даними реального часу. На приймальній стороні каналу, демультимплексор відновлює дані, видаляючи службові символи "C0" і прогалини.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі роботи представлена методика і результати комп'ютерного моделювання для алгоритмів розподілу ресурсів радіоканалу в інтегрованій системі мобільного доступу, яка будується на основі удосконалення технології мобільного зв'язку LTE 3GPP R8.

Описано програмну модель мультиплектора, реалізована на мові Python в середовищі операційної системи Linux Ubuntu, а також методика моделювання, яка містить детальний комп'ютерний алгоритм для реалізації методів управління ресурсами радіоканалу і програмний симулятор у вигляді набору програмно-функціональних модулів, що моделюють роботу алгоритму управління ресурсами радіоканалу інтегрованої мережі мобільного доступу.

Дослідження запропонованих методів управління ресурсами радіоканалу інтегрованої мережі мобільного доступу, проведені за допомогою розробленого програмного симулятора, підтвердили логічну коректність отриманих результатів і практичну реалізованість розроблених методів.

У плані подальших досліджень по даній темі представляє інтерес доопрацювання програмного симулятора, в т.ч. створення функціональних моделей для вирішення задачі демультимплексування інтегрованого потоку даних, а також і вдосконалення способів генерації мультимедійного трафіку.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі.

5.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі будемо здійснювати за 12-ю критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі заносимо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. - Результати оцінювання комерційного успіху підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Критерії	Експерти		
	д.т.н., професор Семенов А.О.	д.т.н., професор Осадчук О.В.	к.т.н., доцент Гаврілов Д.В.
	Бали, виставлені експертами		
1	2	2	2
2	3	1	3
3	2	2	3
4	3	1	2
5	3	2	3
6	2	2	2
7	3	2	3
8	2	2	2
9	3	2	1
10	3	3	3
11	2	2	3
12	3	3	2
Сума балів	31	24	29
Середньоарифметична сума балів, СБ	28		

За даними таблиці 5.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі – середній.

5.1.2 Визначення рівня якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Оцінювання рівня якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанта інженерного рішення.

Рівень якості – це кількісна характеристика міри придатності певного виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї при порівнянні з відповідними базовими показниками за фіксованих умов споживання.

Абсолютний рівень якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі знаходимо обчисленням вибраних для її вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати розробка, вимоги замовника до неї, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо).

Далі визначаємо величину параметрів якості в балах та встановлюємо граничні його значення (кращі, гірші, середні). Всі ці дані для кожного параметра заносимо в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	Краще +5...+4	Середнє +3	Гірше +1...+2	
Точність вимірювання			2	0,1
Кількість вимірювальних каналів			2	0,1
Діапазон вимірювання		3		0,7
Відносна похибка		3		0,1

Із врахуванням коефіцієнтів вагомості відповідних параметрів можна визначити абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{\text{я.а.}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ні}} \cdot a_i, \quad (5.1)$$

де $P_{\text{ні}}$ – числове значення i -го параметра інноваційного рішення, n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання, a_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра (сума коефіцієнтів вагомості всіх параметрів повинна дорівнювати 1).

Отже, абсолютний рівень якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі становитиме – 2,8 бали.

Одночасно визначаємо відносний рівень якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, що виробляється (проектується), порівнюючи її показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів (товарів-конкурентів) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі та товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Точність вимірювання	2	1	0,5	0,1
Кількість вимірювальних каналів	2	1	0,5	0,1
Діапазон вимірювання	10	20	2	0,7
Відносна похибка	3	2	1,5	0,1

Відносний рівень якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (5.2)$$

За розрахунками відносний рівень якості підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі становитиме – 1,7. Це означає, що наша розробка краща за якістю на 70% від товару-аналога.

5.1.3 Визначення конкурентоспроможності підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

У найширшому розумінні конкурентоспроможність товару – це можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок часу. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Для того, щоб високоякісний товар був одночасно і конкурентоспроможним, він має відповідати критеріям оцінювання споживачів конкретного ринку в конкретний час.

Дані для розрахунку загального показника конкурентоспроможності розробки необхідно занести до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі і товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Точність вимірювання	2	1	0,5	0,1
Кількість вимірювальних каналів	2	1	0,5	0,1
Діапазон вимірювання	10	20	2	0,7
Відносна похибка	3	2	1,5	0,1
Ціна за продукт, тис. грн.	1000	850	1,06	-

Загальний показник конкурентоспроможності розробки (К) з урахуванням вищезазначених груп показників визначаємо за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}} = \frac{1,7}{0,85} = 1,94, \quad (5.3)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

$$I_{е.п.} = \frac{P_{Неі}}{P_{Беі}} = \frac{850}{1000} = 0,85, \quad (5.4)$$

де $P_{Неі}$, $P_{Беі}$ – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Згідно розрахунків загальний показник конкурентоспроможності – 1,94.

Це означає, що наша підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі більш конкурентна на 94% від товару-аналога.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

5.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.5)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2019 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (5000...10000) грн. за місяць; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника). Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Заробітна плата розробників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	10000	455	5	2275
Інженер-програміст	7500	341	5	1705
Консультанти	5000	227	5	1135
Всього:				5115

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (5.6)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин; n – число робіт по видах та розрядах; C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_r \cdot T_{zm}}, \quad (5.7)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.; в 2019 році мінімальна заробітна плата становить – 4173 грн., K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду, T_r – число робочих днів в місяці; приблизно $T_r = 21 \dots 23$ дні; T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин.

Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці:

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
K_i	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64

Таблиця 5.7 – Заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Тариф. коеф.	Величина, грн.
Пайка підложки до корпусу	0,26	4	30,1	1,27	7,8
Пайка кристалу на підложку	0,36	4	30,1	1,27	10,8
Приварка виводів	0,4	4	30,1	1,27	12
Герметизація	1,0	2	25,8	1,09	25,8
Контроль	0,32	4	30,1	1,27	9,6
Вимірювання параметрів	1,1	2	25,8	1,09	28,4
Маркування	0,16	2	25,8	1,09	4,1
Всього					98,5

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot (Z_p + Z_o) = 0,1 \cdot (5115 + 98,5) = 521,4 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Нарахування на заробітну плату Нзп розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

де Z_0 – основна заробітна плата розробників, грн.; Z_p – основна заробітна плата робітників, грн.; Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

$$\begin{aligned} \text{Нзп} &= 0,22 \cdot (Z_p + Z_0 + Z_d) = 0,22 \cdot (5115 + 98,5 + 521,4) = \\ &= 1262 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Амортизація обладнання, комп’ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{C \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12}$$

де C – загальна балансова вартість всього обладнання, комп’ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $N_a = (10...25)\%$; T – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 5.8 - Амортизаційні відрахування

Найменування	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, м.	Сума амортизації
Комп’ютер	7900	20	1	132
Лабораторний стенд	22000	20	1	367
Генератор сигналів	5500	20	1	92
Цифровий осцилограф	4900	20	1	82
Набір інструментів (відкрутка, пасатижі ...)	100	10	1	0,8
Паяльник	80	10	1	0,7
Всього				674,5

Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість матеріалу i -го виду, шт.; C_i – ціна матеріалу i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 5.9 - Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Припой, кг	52,3	0,08	4,2
Герметик, кг	41,2	0,09	3,8
Спирт метиловий, кг	50,5	0,08	4
Фарба Ф-1, кг	65,2	0,09	5,9
Проволока, кг	38,9	0,06	2,3
Ізолятор, кг	47,1	0,05	2,4
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат		24,8	

Витрати на комплектуючі K , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 5.10 - Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Полікорова гібридна плата	18,3	1	18,3
Пермикач двопозиційний	14,8	1	14,8
НВЧ діод	15,4	1	15,4
Котушка індуктивності з феритовим осердям	4,65	1	4,65
Резистор	0,75	2	1,5
Конденсатор – 3,3 нФ	2,05	1	2,05
Конденсатор – 47 нФ	2,2	1	2,2
Роз'єми	8,1	2	16,2
Коаксіальний кабель з вхідним опором 50 Ом	8,4	1	8,4
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат		315	

Витрати на силову електроенергію Ve , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$Ve = V \cdot P \cdot \Phi \cdot Kp, \text{ грн}$$

V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 8,45$ грн./кВт; P – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин, Kp – коефіцієнт використання потужності; $Kp < 1$.

Потужність обладнання складає – 0,5 кВт.

Кількість годин роботи складає – 700 годин.

Коефіцієнт викор. потужності -0,9.

$Ve=2662$ грн.

Інші витрати $V_{ін}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як $(100...300)\%$ від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$I_v = 1 \cdot (Z_o + Z_p) = 1 \cdot (5115 + 98,5) = 521,4 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V .

$$V = 11195 \text{ грн.}$$

5.2.2 Розрахунок загальних витрат на підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за $V_{заг}$ формулою:

$$V_{заг} = \frac{I_v}{\alpha} = \frac{521,4}{0,6} = 869 \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

5.2.3 Прогнозування витрат на виконання та впровадження підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Прогнозування загальних витрат ZV на виконання та впровадження підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі здійснюється за формулою:

$$ZV = \frac{V_{заг}}{\beta} = \frac{869}{0,5} = 1738 \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 5.11 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Рік реалізації розробки	1	2	3
Кількість од. реалізації, шт.	200	500	700

Величина зростання ціни реалізації підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, грн. – 150 грн.

Кількість продукції, що випускалась до впровадження підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі – 350 шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n (\Delta \Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N) \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (5.13)$$

де $\Delta \Pi_0$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки; N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки; ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки; Π_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки; n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість.

У 2018 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт – 0,8333. З 2014 року ставка податку на додану вартість

встановлена на рівні 17%, а коефіцієнт – 0,8547; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати – 0,2...0,3; ν – ставка податку на прибуток. У 2018 році – 21%, у 2013 році – 19%, а з 2014 року – 16%.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1=17296 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_2= 82030 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3=111560 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

5.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Для цього користуються формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (5.14)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (5.15)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.; t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований

рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1; t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = 167334 \text{ грн.},$$

$$E_{abc} = 167334 - 1738 = 165596 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі.

5.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Для цього користуються формулою:

$$E_B = \sqrt[t]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 \quad (5.16)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.; T – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = 3,6$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f, \quad (5.17)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,14...0,2)$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 3,6 \geq \tau = 0,2 + 0,1 = 0,3.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{\text{мін}}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

5.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій Ток можна розрахувати за формулою:

$$\text{Ток} = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{3,6} = 0,3 \text{ роки.} \quad (5.18)$$

Оскільки Ток < 3...5-ти років, то фінансування підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі є доцільним.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Захист працюючих під час трудового процесу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що справляють негативний вплив на здоров'я, життя та працездатність людини, гарантування належних умов праці є важливими аспектами безпеки життєдіяльності у виробничому середовищі.

В цьому розділі проводиться розгляд шкідливих, небезпечних [69] і уражаючих для людини і навколишнього довкілля факторів, що утворюються при проведенні дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі. Тут розглядаються, в тому числі, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженість магнітного поля на робочому місці знаходиться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

6.1 Гігієна праці та виробнича санітарія

6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Визначаємо для приміщення для проведення дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Відповідно до [70] допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні для теплого та холодного періодів року приведені в таблиці Х.1 додатку Х.

Для опромінення менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м^2 .

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК) в повітрі робочої зони і підлягає систематичному контролю для запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці Х.2 додатку Х.

При використанні ЕОМ джерелом забруднення повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться у повітрі. Рівні позитивних та негативних іонів мають відповідати [71] і наведені в таблиці Х.3 додатку Х.

Для встановлення необхідних за нормативами показників мікроклімату і складу повітря робочої зони запропоновано такі заходи:

1) у приміщенні повинна бути встановлена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року;

2) застосування вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

6.1.2 Виробниче освітлення

З метою забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях великі вимоги пред'являються до кількісних та якісних показників освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, де проводиться робота з дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, відповідно до [72] визначаємо, що вони відповідають IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – середній та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *v*.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці X.4 додатку X.

Так як приміщення знаходиться в місті Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом 90°, то за таких обставин КЕО визначатиметься за формулою [73]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.6} = 1,5 \cdot 0,85 = 1,28 (\%);$$

$$e_{N.c} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,77 (\%).$$

Для встановлення нормованих значень параметрів освітлення запропоновано:

- 1) при недостатньому природному освітлені в світлу пору доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;
- 2) використання штучного освітлення в темну пору доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування використовується обладнання, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, в якому відбувається робота з дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі може містити робочі місця із шумом та вібрацією, що спричиняється вентиляторами блоку живлення ЕОМ і кулерами мікропроцесора, відеокарти.

Для попередження травмування працівників від дії шуму він підпадає під нормування. Головним документом з питань виробничого шуму, діючим в Україні, є [74], згідно з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не повинні бути більшими ніж значення, які приведені в таблиці Х.5 додатку Х. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці Х.6 додатку Х для локальної вібрації.

Для встановлення допустимих параметрів шуму та вібрації в приміщенні запропоновано:

- 1) оздоблення стін спеціальними перфорованими плитами, панелями з метою шумопоглинання;
- 2) передбачено використовувати в приміщенні штори із щільної тканини.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Гранично допустимі значення електромагнітних полів на робочих місцях згідно [75]

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот					
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-50 МГц	50-300 МГц
$E_{Гд}$, В/м	1000	700	500	300	80	
$E_{H_{Гд}}$, $(В/м)^2 \cdot год$	120000	40000	20000	7000	800	
$H_{Гд}$, А/м	75	57	50	–	3,0	–
$E_{H_{H_{Гд}}}$, $(А/м)^2 \cdot год$	675	390	200	–	0,72	–

З метою забезпечення захисту та досягнення нормованих рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Визначимо допустиму силу струму в провіднику (антені) довжиною $L = 5,3$ м, при якій напруженість магнітного поля на робочому місці, віддаленому на $r = 0,25$ м, знаходиться в межах норми.

Біля джерела ЕМВ виділяють ближню зону (зону індукції), що знаходиться на відстані $r \leq \lambda / 2\pi$, і далеку зону (зону випромінювання), для якої $r > \lambda / 2\pi$, де λ – довжина хвилі, м.

Допустиму силу струму в провіднику (антені) від джерела магнітного поля для ближньої зони можна визначити з формули

$$H_{\text{бл}} = \frac{IL}{4\pi r^2} \text{ [А/м]}, \quad (6.2)$$

Звідки:

$$I = \frac{4\pi r^2 H_{\text{бл}}}{L} \text{ [А]}, \quad (6.3)$$

де $H_{\text{бл}}$ – напруженість магнітного поля ближньої зони, А/м;

r – віддаленість робочого місця, м;

L – довжина провідника (антени), м.

Для діапазону частот 30...50 МГц $H_{Гд} = 3$ А/м.

Підставляючи відомі значення у формулу (5.3), одержимо:

$$I = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 3}{5,3} = 0,444 \text{ (A)}.$$

6.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження

Сучасний етап розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень характеризується широким використанням на робочому місці ЕОМ. Наявність великої кількості прикладних програм сприяє тому, що ЕОМ є основним робочим інструментом інженера в галузі радіотехніки.

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Оснащені відеодисплейним терміналом робочі місця зобов'язані розташовуватись на відстані не менше як 1,5 м від стіни з віконними прорізами, від інших стін – на віддалі 1 м, між собою на відстані не менше ніж 1,5 м. У випадку розміщення робочих місць потрібно виключити можливість прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, бажано з лівого [75].

Поверхня екрана повинна розташовуватись на відстані 0,4-0,7 м від очей користувача. Висота робочої поверхні столу при виконанні роботи сидячи має регулюватися у межах 0,68-0,8 м. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 0,6 м, шириною не менше як 0,5 м, глибиною на рівні колін не менше 0,45 м та на рівні витягнутої ноги не менше як 0,65 м [76].

6.2.2 Електробезпека

В середині приміщення, в якому здійснюється робота з дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, особливу увагу слід надати запобіганню загрози ураження електричним струмом. Згідно [77] це приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (більше 75 %) вологості. Через це безпека використання електрообладнання має гарантуватись комплексом заходів, що включають використання ізоляції струмоведучих елементів, захисного заземлення, захисних блокувань тощо [78].

6.2.3 Пожежна безпека

Згідно [79] приміщення, в якому проводиться робота з дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Це приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці Х.7. В таблиці Х.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Встановлюємо, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [80].

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В залежності від виду випромінювання, дози радіації, природи опромінюваної речовини і умов оточуючого довкілля великою мірою залежить дія іонізуючих випромінювань на деталі та матеріали обладнання. Оскільки такі перетворення можуть приводити до відмов електронних підсистем, вагомим зусиллям в останні роки скеровуються на розробку методів, які допомагають обминути погіршення параметрів радіоелектронної апаратури (РЕА) під час опромінення.

Електромагнітний імпульс (ЕМІ) пошкоджує напівпровідникові прилади, конденсатори, резистори та ін. Це становить значну небезпеку для РЕА, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Тому слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень ушкоджень не захищає від дії ЕМІ. РЕА може втратити працездатність, знаходячись в надійних захисних спорудах.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи приймаємо максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі пакетної телекомунікаційної мережі можуть виникнути зміни, але пристрій ще буде працювати з потрібною якістю. Дані аналіз елементної бази пакетної телекомунікаційної мережі заносимо до табл. 6.1.

Визначаємо елемент, який найбільшою мірою піддається впливу іонізуючого випромінювання, тобто елемент із найменшим значенням $D_{зв.min} = 10^4 \text{ Р}$.

Визначаємо граничне значення дози:

$$D_{гр} = k \cdot D_{зв} \cdot k_{посл} [\text{Р}]; \quad (6.4)$$

$$D_{гр} = 0,94 \cdot 10^4 \cdot 2 = 18800 (\text{Р}),$$

де k – коефіцієнт надійності (приймається $k = 0,94$);

$D_{зв}$ – доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах;

$k_{посл}$ – коефіцієнт послаблення радіації (приймається $k_{посл} = 2$).

Таблиця 6.2 – Максимально допустимі дози опромінення елементів РЕА

№	Елементи пакетної телекомунікаційної мережі	$D_{зв.i}, \text{Р}$	$D_{зв.min}, \text{Р}$
1	Мікросхеми ТРІС6В595	10^5	10^4
2	Конденсатори К50-6	10^6	
3	Резистори СМД	10^6	
4	Транзистори серії КП	10^4	
5	Діоди КС168	10^5	

Таким чином, безпечне функціонування пакетної телекомунікаційної мережі в умовах впливу іонізуючих випромінювань можливе при $D_{гр} < 18800 \text{ Р}$, що є достатньо великим значенням.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: напруга живлення $U_{жс} = 12 \pm 5\%$ В; максимальна довжина горизонтальної струмопровідної частини електричної принципової схеми $l_B = 0,17$ м. Як критерій безпеки роботи РЕА до дії електромагнітного імпульсу приймаємо коефіцієнт безпеки:

$$K_e = 20 \lg \frac{U_\delta}{U_{e(z)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (6.5)$$

де U_δ – допустимі коливання напруги живлення, В;

$U_{e(z)}$ – напруга наведення за рахунок електромагнітного імпульсу в вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Розраховуємо спочатку допустиме коливання напруги живлення:

$$U_\delta = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} N \text{ [В]}, \quad (6.6)$$

де $U_{жс}$ – робоча напруга живлення, В;

N – допустимі коливання напруги, %.

Розраховуємо максимально очікувану напругу в горизонтальних лініях:

$$U_e = \frac{U_\delta}{10^{K/20}} \text{ [В]}. \quad (6.7)$$

де K – коефіцієнт безпеки ($K = 40$ дБ).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля за формулою:

$$E_z = \frac{U_e}{l_e} \text{ [В/м]}. \quad (6.8)$$

Розраховуємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля за формулою

$$E_e = 10^3 E_z \text{ [В/м]}, \quad (6.9)$$

Після підстановки відомих значень у формули (6.9, ..., 6.12) одержимо

$$U_{\partial} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)};$$

$$U_{\epsilon} = \frac{12,6}{10} = 0,126 \text{ (В)};$$

$$E_2 = \frac{0,126}{0,17} = 0,74118 \text{ (В/м)};$$

$$E_{\epsilon} = 10^3 \cdot 0,74118 = 741,18 \text{ (В/м)}.$$

Відповідно до виконаних розрахунків безпека роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу можлива для значення напруженості вертикальної складової електричного поля $E_{\epsilon} < 741,18 \text{ В/м}$.

6.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах НС

Для зниження негативної дії на РЕА пакетної телекомунікаційної мережі потрібно застосувати такі заходи.

Захист від впливу іонізуючого випромінювання може бути виконано новітнім вітчизняним методом, який полягає в захисному покритті РЕА, що розташовуються на поверхнях цих елементів, які зазнають впливу іонізуючого випромінювання, при цьому захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, що включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в будову армованої атомно-молекулярної металевої матриці, чи складає її захисний прошарок.

З метою захисту від впливу електромагнітного імпульсу потрібно використати захищене металічним екраном приміщення, в якому розміщена РЕА. Встановлено, що безпечне функціонування пакетної телекомунікаційної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань забезпечується для $D_{ep} < 18800 \text{ Р}$, а в умовах впливу електромагнітного імпульсу при напруженості вертикальної складової електричного поля $E_{\epsilon} < 741,18 \text{ В/м}$. Розроблено дієві заходи з підвищення безпеки роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах НС.

6.4 Висновки до розділу 6

Під час виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженість магнітного поля на робочому місці знаходиться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження динамічної взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Таким чином в даному розділі нами було розглянуто такі питання охорони праці, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки.

Також, у даному підрозділі нами було досліджено безпеку роботи пакетної телекомунікаційної мережі в умовах впливу загрозливих факторів надзвичайних

ВИСНОВКИ

У магістрській кваліфікаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача подальшого підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованих пакетних мережах мобільного доступу п'ятого покоління шляхом скорочення затримок і збільшення швидкості передачі даних в додатках реального часу. Вирішення цього завдання є важливою науково-технічною складовою при побудові інтегрованих пакетних мереж бездротового зв'язку 5G, а також систем межмашинного взаємодії з підвищеними вимогами до динамічних властивостей каналів обміну. В результаті виконання поставлених завдань, в магістрській кваліфікаційній роботі отримані наступні результати.

1. Удосконалено метод розподілу ресурсів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління на основі технології LTE 3GPP R8. Дане рішення підвищує динамічність взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованій пакетній мережі за рахунок скорочення затримок передачі даних реального часу в середньому в 2.1 рази в порівнянні з циклічною затримкою для типового режиму використання радіоканалу LTE.

2. Одержав подальший розвиток метод мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу, який забезпечує індивідуально задані показники динамічності взаємодії окремих мобільних об'єктів контролю - циклічні затримки передачі між об'єктами контролю та керуючим процесором.

3. Вперше запропоновано метод комбінованого частотно-часового порозрядного кодування символів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу. Даний метод підвищує динамічність взаємодії об'єктів інтегрованої мережі за рахунок збільшення швидкості обміну даних в діапазоні від 1.0 до 1.5 раз, або в середньому 1.25 рази, в залежності від стану каналу і допустимих рівнів помилок для окремих об'єктів контролю в мережі.

4. Практичне значення МКР полягає в тому, що вона створює науково-технічне основу для подальшого розвитку і вдосконалення технологій бездротового і мобільного зв'язку п'ятого покоління, зокрема розширює можливості використання пакетних мережевих технологій для управління мобільними об'єктами контролю і спостереження. Практично значущими результатами роботи є алгоритм динамічного розподілу ресурсів в радіоканалі шляхом виділення логічного каналу ad hoc, який будується на основі технології LTE; протокол інтеграції мультимедійних даних в пакетні транспортні модулі логічного каналу ad hoc; програмний комплекс

імітаційного моделювання для алгоритму розподілу ресурсів в радіоканалі пакетної мережі, який дозволяє перевіряти логіку і працездатність даного алгоритму; алгоритм комбінованого частотно часового поразрядного кодування символів в радіоканалі за допомогою кусочно- лінійних функцій фазової модуляції.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International Telecommunication Union – Radio communication Sector ITU-R FAQ on International Mobile Telecommunications (IMT) – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.itu.int/en/ITU-R/Documents/ITU-R-FAQ-IMT.pdf>.
2. First in the world with 4G. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.teliasonerahistory.com/pioneering-the-future/pioneering-the-future/first-in-the-world-with-4g/>.
3. Understanding 4G Technology Standards. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://www.whatsag.com/G/Understanding_4G.php.
4. Telecommunications (Consumer Protection and Service Standards) (Characteristics for Standard Telephone Service) Regulation 2012». – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.comlaw.gov.au/Details/F2012L01222>.
5. Kikuchi K. Coherent Optical Communications: Historical Perspectives and Future Directions / K. Kikuchi. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-10419-0_2#page-1.
6. Kleinberg J. Algorithm Design. Chapter 6 – Dynamic Programming / J. Kleinberg, E. Tardos. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.cs.princeton.edu/~wayne/kleinberg-tardos/06BellmanFord.pdf>.
7. Лемешко А.В. Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 1(6) . – С. 12–29.
8. SDN Basics – What You Need to Know about Software-Defined Networking. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.slideshare.net/SDNCentral/sdnu-101-final>.
9. Taher A. Testing and analysis SDN technology/ A.Taher// Scientific Journal «Science Rise», №3/2(3), 2014. – p. 57-62.
10. Taher A. Testing of floodlight controller with Mininet in SDN topology/ A.Taher// Scientific Journal «Science Rise», №5/2(4), 2014 – p. 68-73.
11. The Verizon Wireless 4G LTE Network: Transforming Business with Next-Generation Technology. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://business.verizonwireless.com/content/dam/b2b/resources/LTE_FutureMobileTech_WP.pdf.
12. The Mobile broadband standard. LTE ; The 3rd Generation Partnership Project. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу:

<http://www.3gpp.org/article/lte>.

13. J. Best. The race to 5G: Inside the fight for the future of mobile as we know it. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.techrepublic.com/article/does-the-world-really-need-5g/>.

14. T. Crosby. How Machine-to-Machine Communication Works. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://computer.howstuffworks.com/m2m-communication.htm>.

15. E. BROWN. Who Needs the Internet of Things? – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.linux.com/news/who-needs-internet-things>.

16. The Next Big Thing for Tech: The Internet of Everything. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://time.com/539/the-next-big-thing-for-tech-the-internet-of-everything/>.

17. Masmano M. Dynamic storage allocation for real-time embedded systems / M. Masmano, I. Ripoll, A. Crespo ; Universidad Polit.ecnica de Valencia, Spain. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.cs.virginia.edu/~zaher/rtss-wip/24.pdf>.

18. The Python Tutorial . – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://docs.python.org/tutorial/>.

19. Сведения по трехзначной логике. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://trilog.narod.ru/4.htm>.

20. ALTERA Cyclone II Device Handbook. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: http://www.altera.com/literature/hb/cyc2/cyc2_cii5v1.pdf.

21. T. Jiang, M. Li. Formal Grammars and Languages. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.cs.ucr.edu/~jiang/cs215/tao-new.pdf>.

22. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье FFT. Принцип построения. – [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/fft/fft.html>.

23. Vorobiyenko P. The LTE Technology Perspectives in Multimedia Applications/ P.Vorobiyenko, V.Tikhonov, A.Taher// «Цифрові технології», №17, 2015. – с.7-15.

24. Tikhonov V. Conveyor module resource scheduling in packet based communication channel/ V.Tikhonov, O.Tykhonova, A.Taher// «Інформатика та моделювання», НТУ «ХПІ», 2016. с. 152-161.

25. Tikhonov V. Simulation the algorithm of multimedia data integration in packet based digital channel/ V.Tikhonov, O.Tykhonova, A.Taher// ВОТТІ, №2 2016.– с.151-155.

26. Taher A. Analyzing relationships between controller and switch in SDN technology/ A.Taher// First International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications: Science and Technology”. 2014. – p.74-76.

27. Taher A. Analysis of SDN technology/ A.Taher// IV міжнародна науково-практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», ч.1, 2014. – с. 108-111.

28. Tikhonov V. The scheme of time-frequency scheduling for OFDM radio channel with I/Q-phase modulation/ V.Tikhonov, A.Taher// XV міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Одеса, 2015. – с. 82.

29. Tikhonov V. The functional model of real time data transfer in LTE technology / V.Tikhonov, A.Taher// 15-а міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатики та моделювання», Харків-Одеса, 2015. – с. 93.

30. Taher A. An enhancement of the LTE-based mobile communication platform / A.Taher// V міжнародна науково-практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», Одеса, 2015. ч. 2. – с. 96.

31. Tikhonov V. An adaptive phase modulation for OFDM based radio channel / V.Tikhonov, A.Taher// II Міжнародна науково - практична конференція: «Інформаційні технології та взаємодії», Київ, 2015. – с. 171-172.

32. Tikhonov V. Orthogonal Quasi Harmonic Piecewise Linear Functions Based on I/Q Modulation Technique / V.Tikhonov, A.Taher// XIII International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET-2016), Lviv-Slavsko, Ukraine, 2016. – p.47-51.

33. Tikhonov V. Enhanced method of wireless object interaction in packet network / V.Tikhonov, A.Taher// XVI міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Одеса, 2016. – с.163.

34. Tikhonov V. The formal grammar approach to multiproduct flow presentation/ V.Tikhonov, S.Radkewitch, O.Tykhonova, A.Taher// XVI Международная научно-техническая конференция «Проблемы информатики и моделирования» (ПИМ- 2016), Харків-Одеса. – с.10.

35. Тіхонов В.І. Кодування цифрового потоку мережевого рівня за принципами формальної граматики/ В.І.Тіхонов, А.Тахер, О.В.Тихонова// X міжнародна науково-практична конференція «Інтернет – Освіта – Наука – 2016», Вінниця, 2016. – с. 64-66.

36. Taher A. Mobile Communication platform for M2M Architecture Network / A.Taher// 70-а науково-технічна конференція професорсько-

викладацького складу, науковців, молодих вчених, аспірантів та студентів ОНАЗ, 2015. – с. 86.

37. Tikhonov V. Multilevel grammar approach to personal data protection / V.Tikhonov, A.Taher, O.Tykhonova// II Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрями захисту інформації», Одеса, 2016. – с.77-80.

38. Taher A. Improving dynamics of objects interaction in LTE based wireless network/ A.Taher// «Наукові праці ОНАЗ», №1, 2016. – с. 163-170.

39. Taher A. Enhancement of the LTE-based wireless object interaction/ A.Taher// ВОРТТІ №1 2016.– с.139-143.

40. ITU-T Recommendation Y.2121 (01/08). Requirements for the support of flow-state- aware transport technology in NGN. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2121-200801-I/en>.

41. 3GPP LTE Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Sub Layer [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.eventhelix.com/lte/presentations/3GPP-LTE-PDCP.pdf>.

42. 1G to 4G Overview. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.itu-apt.org/ngnrm/rajeevbansal2.pdf>.

43. 3GPP specification TS 25: UMTS Radio aspects (TS 25.05U, TS 25.10U, TS 25.15U, TS 25.20U). – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу:<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25-series.htm>.

44. LTE Quality of Experience Modulation and MIMO – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.jdsu.com/ProductLiterature/lteqoemodmimo-wp-nsd-tm-ae.pdf>.

45. SC-FDMA Single Carrier FDMA in LTE. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу:<http://www.ixiacom.com/sites/default/files/resources/whitepaper/SC-FDMA-INDD.pdf>

46. Architecture of the LTE Air Interface. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://www.cs.nccu.edu.tw/~jang/teaching/NextMobCom_files/Architecture%20of%20the%20LTE%20Air%20Interface%20-%20annotated.pdf.

47. Вопросы качественной передачи голоса по IP-сетям: джиттер, задержка и эхо. Часть 2. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу:<http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/8627/doc/40356/>.

48. Ayan Mukerji. New Business Options Spring up for Telecom, Media and Technology in the Digital Age / Ayan Mukerji, Kevin Werbach // University of Pennsylvania. – 2012. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://knowledge.wharton.upenn.edu/papers/sponsor_collaborations/.

49. Benefits of SDN implementation for mobile networks.–

[Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.rcrwireless.com/20151106/software-defined-networking-sdn/benefits-of-sdn-implementation-for-mobile-networks-tag2>.

50. LTE – Business Perspectives and the Technology. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.widermind.com/index.php?id=38>.

51. OFDM and Nyquist Multiplexing: Tbit/s Capacities and Spectral Efficiencies up to 18 bit/s/Hz / J. Leuthold, W. Freude, C. Koos, R. Schmogrow, D. Hillerkuss // Proc. Advanced Photonics Congress, Signal Processing in Photonic Communications. – Colorado Springs, 2012.

52. Балашов В. А. Системи передачі ортогональними гармонічними сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробиєнко, Л.М. Ляховецький. – М.: Еко-Трендз, 2012. – 232 с.

53. Tikhonov V.I. Integrated telecommunication technology for the next generation networks / V.I. Tikhonov, P. P. Vorobiyenko // Proceedings of the ITU Kaleidoscope Academic Conference “Building Sustainable Communities”. – Japan, April 22-24, 2013. – P. 187-193.

54. Тіхонов В.І. Метод динамічного управління цифровими потоками в інтегрованій технології телекомунікацій UA-ІТТ / В.І. Тіхонов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. – 2013 р. – № 1. – С. 64-72.

55. Тіхонов В.І. Метод управління якістю послуг в інтегрованій технології телекомунікацій / В.І.Тіхонов // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2013. – №2/9. – С. 28–33.

56. Семиноженко В.П. Концепция сетевой интеграции по технологии ИТТ/ В.П. Семиноженко, В.М. Горицкий, П.П. Воробиенко, В.И. Тихонов // Электросвязь. – 2012. – № 7. – С.27–31.

57. Гуляев К.Д. Принципи організації адаптивної взаємодії відкритих систем / К.Д. Гуляев, В.А. Каптур, В.І. Тіхонов // Наукові вісті НТУУ-КПІ. – 2012. – №2(82). – С.7–15.

58. Tikhonov V.I. Digital Flow Control Method for the Coherent Optical Communication / V.I. Tikhonov // Proc. of the 23-rd International Crimea Conference “Microwave and Telecommunication Technologies”. – Sevastopol, September 8-13, 2013. – P. 521–522.

59. SDN architecture. Issue 1, June, 2014, ONF TR-502. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdnresources/technicalreports/TR_SDN_ARCH_1.0_06062014.pdf.

60. S.B. Weinstein. The history of orthogonal frequency-division multiplexing. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу:

<http://cttcservices.com/HistoryofOFDM11.09.pdf>.

61. R.P. Jover. LTE PHY Fundamentals. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://www.ee.columbia.edu/~roger/LTE_PHY_fundamentals.pdf.

62. S. Cheshire. Latency and the Quest for Interactivity. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.stuartcheshire.org/papers/latencyquest.pdf>.

63. LTE resource grid. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://niviuk.free.fr/lte_resource_grid.html.

64. Lecture 9 Analog and Digital I/Q Modulation. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://web.mit.edu/6.02/www/f2006/handouts/Lec9.pdf>.

65. H. Tschofenig. Next Steps in Signalling (NSIS) QoS Applications. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://www.itu.int/ITU-T/worksem/ngn/200505/presentations/s3-tschofenig.pdf>.

66. T. Mehmood, S. Manoharan. NSIS Extensions: An End-to-End QoS Aware Signaling Protocol for NGN. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.ijcte.org/papers/710-A10173.pdf>.

67. SDN Approach to Large Scale Global Data Centers Rakesh Saha, IBM. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://opennetsummit.org/archives/apr12/agarwal-saha-mon-datacenters.pdf>.

68. Y. Zhang , X. Li, H. Yang. Unequal Error Protection in Image Transmission Based on LDPC Codes. – [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://www.sersc.org/journals/IJSIP/vol9_no3/1.pdf.

69. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

70. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

71. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

72. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.

73. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

74. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

75. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

76. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 104 с.

77. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнагляд охорони праці, 1998. – 382 с.

78. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

79. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

80. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

81. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

82. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ДОДАТКИ

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Б
(обов'язковий)

Архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого
покоління

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток В
(обов'язковий)

Діаграма підвищення динамічності радіоканалу за рахунок зменшення затримки пакетів

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Г
(обов'язковий)

Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування
символу

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Д
(обов'язковий)

Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування і глибини модуляції

ВНТУ ФІРБЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Е
(обов'язковий)

Алгоритм мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,
канд. техн. наук, професор
Г.Г.Бортник
“ _ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ
В ПАКЕТНІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ
08-34.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Васильківський М.В.

Виконавець: ст. гр. ТТК-18м
Матвеев В.О.

Вінниця-2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі доступу п'ятого покоління шляхом скорочення затримок і збільшення швидкості передачі даних.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- визначення особливостей відомих методів інтеграції мультимедійних даних і обґрунтування передумов для подальшого підвищення динамічності взаємодії об'єктів бездротових пакетних мереж 5G за показниками затримок пакетів і швидкості при передачі даних реального часу;
- удосконалення методів розподілу ресурсів в радіоканалі мережі 5G, що будується на основі фундаментальних фізичних принципів технології LTE 3GPP R8, для підвищення динамічності взаємодії об'єктів інтегрування пакетних мереж шляхом скорочення затримок передачі даних реального часу;
- розробка методу кодування символів в радіоканалі, який підвищує динамічність взаємодії об'єктів інтегрованої пакетної мережі 5G шляхом збільшення швидкості передачі даних;

- комп'ютерне моделювання запропонованих методів розподілу ресурсів і кодування в радіоканалі для верифікації функціональної коректності алгоритмів їх реалізації.

Об'єкт дослідження є процеси передачі даних і розподілу ресурсів радіоканалу в пакетних мережах мобільного доступу.

Предмет дослідження є методи підвищення динамічності при взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованих пакетних мережах 5G.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- визначення особливостей відомих методів інтеграції мультимедійних даних і обґрунтування передумов для подальшого підвищення динамічності взаємодії об'єктів бездротових пакетних мереж 5G за показниками затримок пакетів і швидкості при передачі даних реального часу;

- удосконалення методів розподілу ресурсів в радіоканалі мережі 5G, що будується на основі фундаментальних фізичних принципів технології LTE 3GPP R8, для підвищення динамічності взаємодії об'єктів інтегрування пакетних мереж шляхом скорочення затримок передачі даних реального часу;

- розробка методу кодування символів в радіоканалі, який підвищує динамічність взаємодії об'єктів інтегрованої пакетної мережі 5G шляхом збільшення швидкості передачі даних;

- комп'ютерне моделювання запропонованих методів розподілу ресурсів і кодування в радіоканалі для верифікації функціональної коректності алгоритмів їх реалізації.

- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;

- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Магістерська кваліфікаційна робота створює науково-технічну основу для подальшого розвитку і вдосконалення технології бездротового і мобільного зв'язку п'ятого покоління в напрямку підвищення динамічності

взаємодії об'єктів в інтегрованих пакетних мережах мобільного доступу шляхом скорочення затримок та підвищення швидкості передачі даних реального часу.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах звіту з переддипломної практики “Підвищення динамічності взаємодії мобільних пристроїв в пакетній телекомунікаційній мережі”, який виконувався у ВНТУ 2019/2020 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цього звіту.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 Tikhonov V. Simulation the algorithm of multimedia data integration in packet based digital channel/ V.Tikhonov, O.Tykhonova, A.Taher// ВООТП, №2 2016.– с.151-155.

3.3 Taher A. Analyzing relationships between controller and switch in SDN technology/ A.Taher// First International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications: Science and Technology”. 2014. – p.74-76.

3.4 Taher A. Analysis of SDN technology/ A.Taher// IV міжнародна науково-практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», ч.1, 2014. – с. 108-111.

3.5 Tikhonov V. The scheme of time-frequency schedulling for OFDM radio channel with I/Q-phase modulation/ V.Tikhonov, A.Taher// XV міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Одеса, 2015. – с. 82.

3.6 Tikhonov V. The functional model of real time data transfer in LTE technology / V.Tikhonov, A.Taher// 15-а міжнародна науково-технічна

конференція «Проблеми інформатики та моделювання», Харків-Одеса, 2015.
– с. 93.

3.7 OFDM and Nyquist Multiplexing: Tbit/s Capacities and Spectral Efficiencies up to 18 bit/s/Hz / J. Leuthold, W. Freude, C. Koos, R. Schmogrow, D. Hillerkuss // Proc. Advanced Photonics Congress, Signal Processing in Photonic Communications. – Colorado Springs, 2012.

3.8 Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробиенко, Л.М. Ляховецкий. – М.: Эко-Трендз, 2012. – 232 с.

3.9 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.10 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.11 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.12 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.13 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.14 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця : ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТТК-18м Матвеев В.О.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методу підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в радіоканалі інтегрованої пакетної мережі доступу п'ятого покоління шляхом скорочення затримок і збільшення швидкості передачі даних.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- вид технології з організації радіоканалу - LTE 3GPP R8;
- кількість рівнів кодування символу – 8;
- формат модуляції - 64QAM; смуга робочих частот каналу передачі даних – 15 МГц;
- ширина смуги сигналу передавача - 18 МГц;
- тип мультиплексування – OFDM;
- пропускна здатність радіоканалу LTE – 120 Мбіт/с;
- спектральна ефективність використання радіоканалу – 6;
- циклічна затримка передачі даних – 24 мс;
- тип кодування – LDPC;
- скорочення затримок передачі даних реального часу – 2,1 рази;
- підвищення динамічності взаємодії об'єктів інтегрованої мережі за рахунок збільшення швидкості обміну даних – 1,25 рази;
- метод просторового кодування сигналу – MIMO (8x8).

При розробці радіоканалу LTE слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Аналіз особливостей передачі мультимедійного трафіку по пакетних мережах	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.
3.	Підвищення динамічності взаємодії мобільних об'єктів в інтегрованій пакетній мережі	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Досліджено метод покращення параметрів та характеристики	Розділ 2
4.	Аналіз спектральної ефективності цифрового кодування з багаторівневим поданням символів	07.10.2019р.	25.10.2019р.	Частотні та енергетичні характеристики	Розділ 3
5.	Моделювання алгоритмів управління ресурсами радіоканалу в пакетній мережі	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Модифікований алгоритм розподілення частотних ресурсів радіоканалу	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відзиви	Відзив. рецензія
10.	Захист МКР ЕК		09.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління;
- алгоритм мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого алгоритму мультиплексування інформаційних потоків.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження високопродуктивного комутатора інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління;
- ПрАТ “Датагруп” шляхом впровадження нових методик контролю часових та частотних характеристик інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується зменшення затримки передачі мультимедійного трафіку по пакетних мережах.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

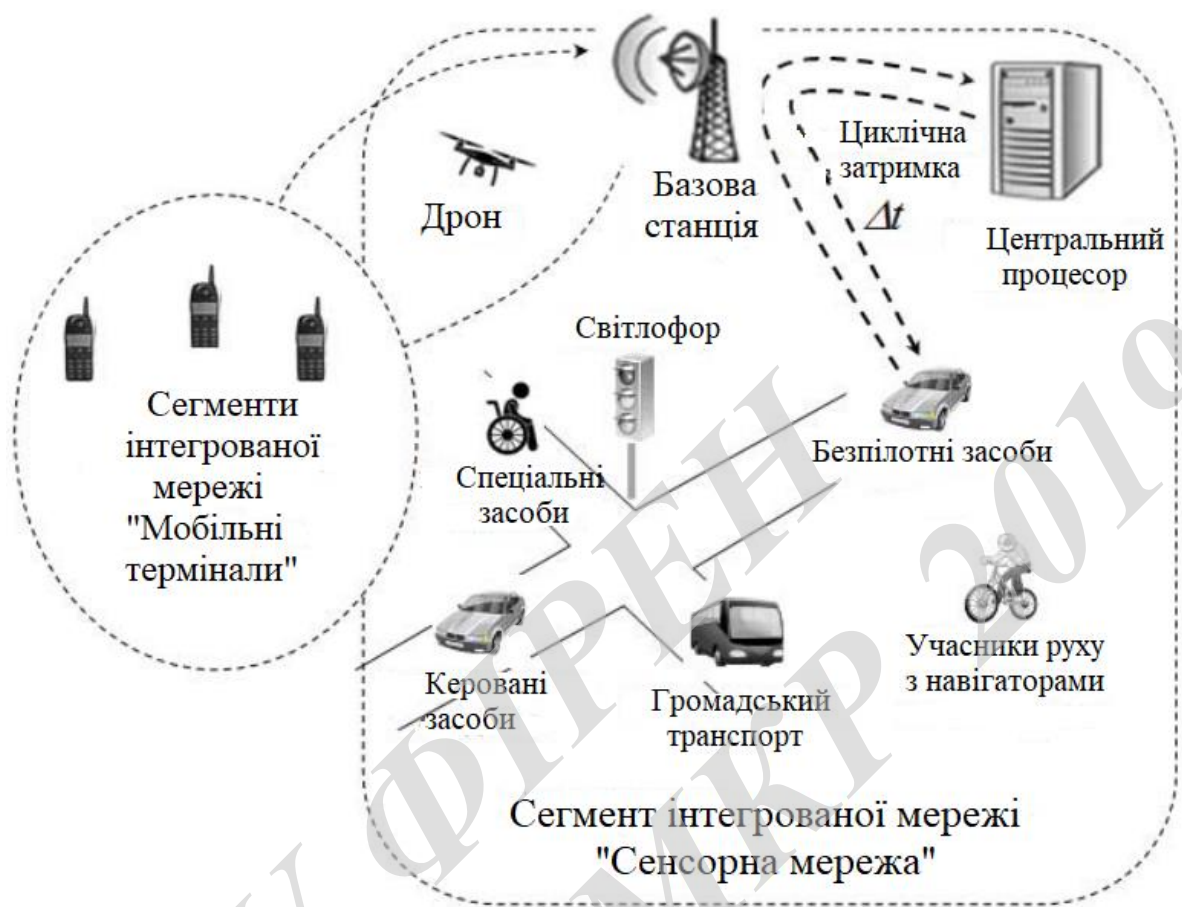
10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- архітектуру інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління;
- алгоритм мультиплексування сегментів реального часу і пакетних даних;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання результатів дослідження.

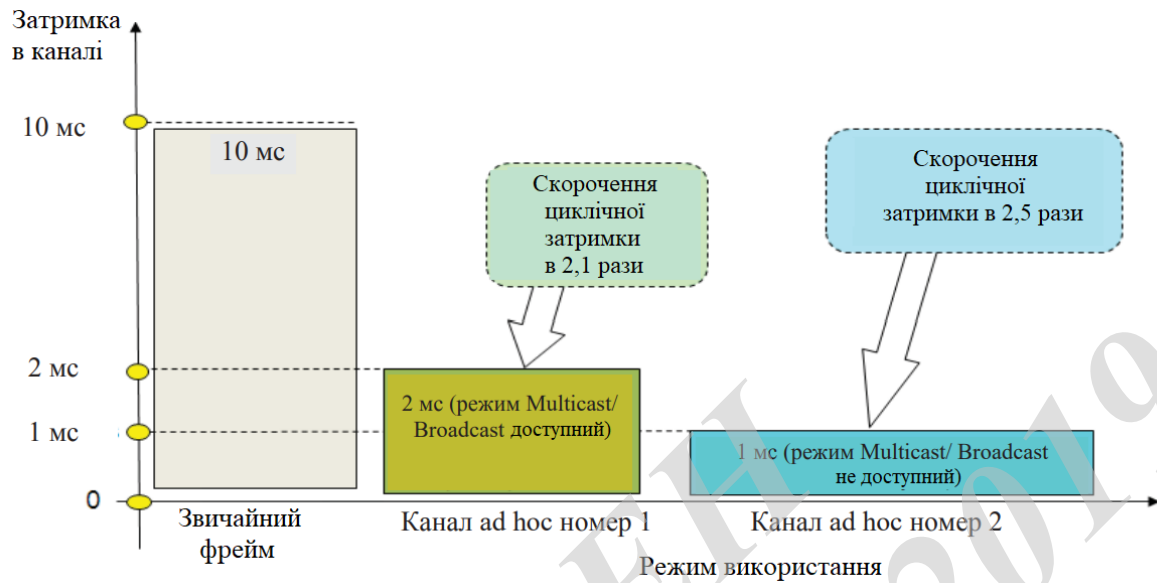
11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

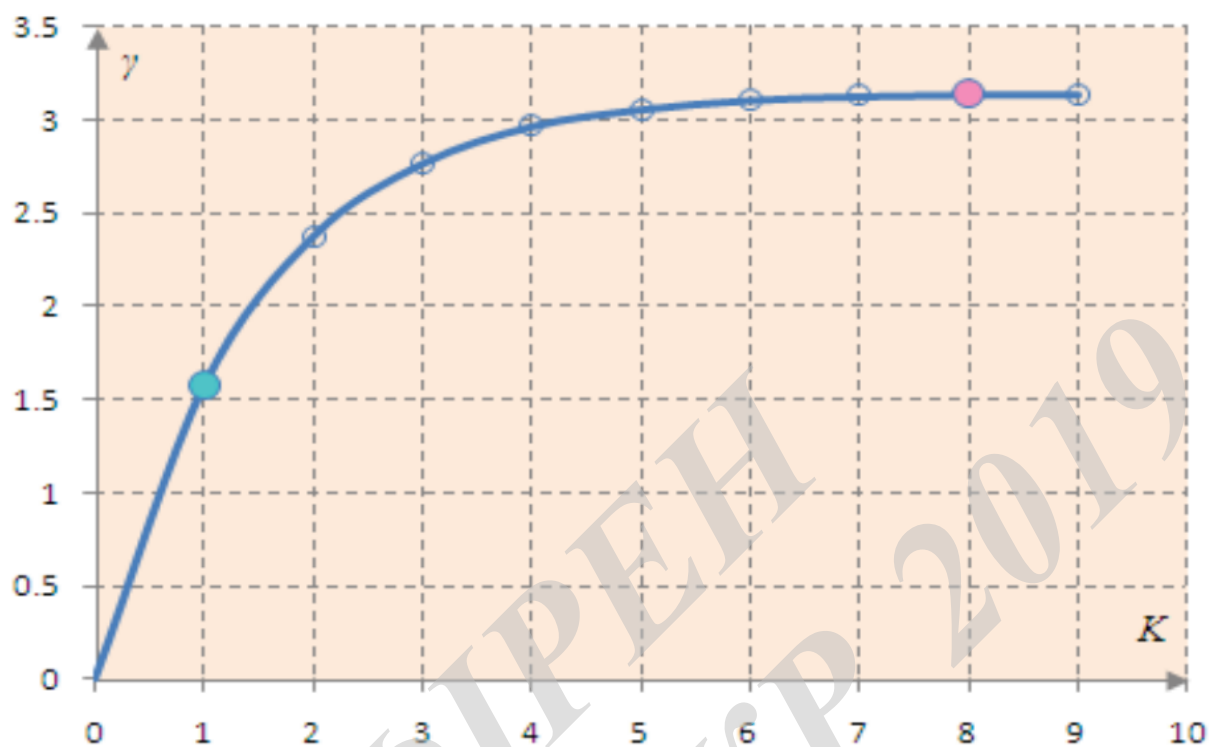


08-34. МКР.007.00.000 Е8

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
					Архітектура інтегрованої пакетної мережі мобільного доступу п'ятого покоління					
Розроб.		Матвєєв В.О.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Войцеховська В.О.							1	1
Реценз.		Коваль Л.Г.						ВНТУ, гр. ТТК-18м		
Н. Контр.		Войцеховська В.О.								
Затверд.		Бортник Г.Г.								

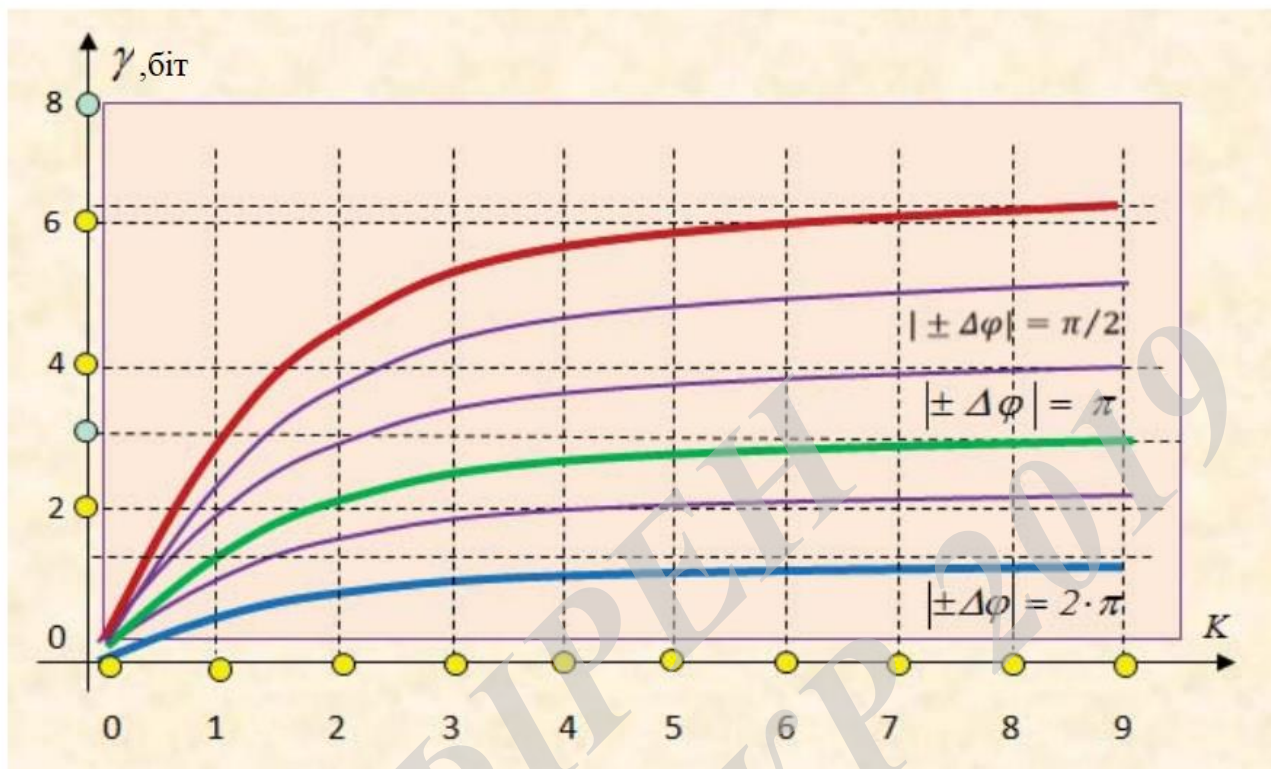


					08-34. МКР.007.00.000 Е8		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Матвеев В.О.				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Войцеховська В.О.					1	1
Реценз.	Коваль Л.Г.				ВНТУ, гр. ТТК-18м		
Н. Контр.	Войцеховська В.О.						
Затверд.	Бортник Г.Г.						
					Діаграма підвищення динамічності радіоканалу за рахунок зменшення затримки пакетів		

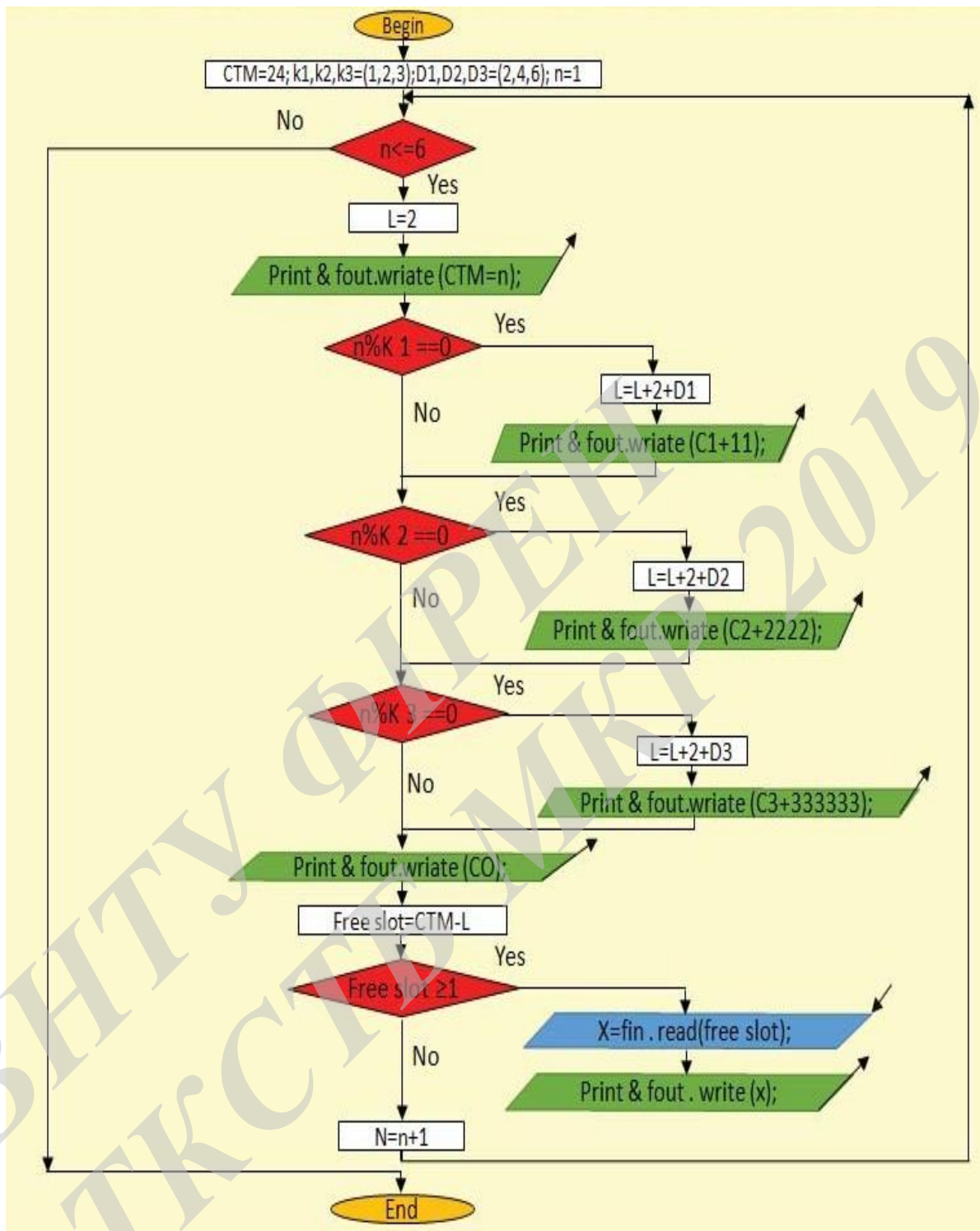


ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

					08-34. МКР.007.00.000 Е8				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування символу	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Матвєєв В.О.							
Перевір.		Войцеховська В.О.					1	1	
Реценз.		Коваль Л.Г.							
Н. Контр.		Войцеховська В.О.							
Затверд.		Бортник Г.Г.				ВНТУ, гр. ТТК-18м			



					08-34. МКР.007.00.000 Е8					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Залежність спектральної ефективності від кількості рівнів кодування і глибини модуляції					
Розроб.	Матвєєв В.О.							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Войцеховська В.О.								1	1
Реценз.	Коваль Л.Г.							ВНТУ, гр. ТТК-18м		
Н. Контр.	Войцеховська В.О.									
Затверд.	Бортник Г.Г.									



					08-34. МКР.007.00.000 Е8			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Матвєєв В.О.				Алгоритм мультимплексування сегментів реального часу і пакетних даних	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Войцеховська В.О.						1	1
Реценз.	Коваль Л.Г.					ВНТУ, гр. ТТК-18м		
Н. Контр.	Войцеховська В.О.							
Затверд.	Бортник Г.Г.							