

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Грибачова Олега Анатолійовича

академічної групи 172-17зск-1

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Вдосконалення алгоритму виявлення передавача бездротової

системи зв'язку 4G LTE

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
розділів:				
спеціальний	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту Грибачову Олегу Анатолійовичу академічної групи 172-17зск-1
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

на тему Вдосконалення алгоритму виявлення передавача бездротової системи зв'язку 4G LTE

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз бездротових систем зв'язку з часовим/частотним мультиплексуванням та існуючих алгоритмів виявлення бездротової системи зв'язку з часовим/частотним мультиплексуванням	29.03.2020
Розділ 2	Удосконалення алгоритму виявлення бездротової системи зв'язку з часовим/частотним мультиплексуванням	24.05.2020
Розділ 3	Розрахунок витрат, пов'язаний зі створенням програмного забезпечення для впровадження запропонованого алгоритму	14.06.2020

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі: 08.01.2020р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 15.06.2020р.

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: ___ с., ___ рис., ___ таблиць, ___ додатків, ___ джерел.

Об'єкт досліджень – бездротова система зв'язку стандарту LTE.

Мета дипломної роботи – підвищення пропускної здатності бездротової системи зв'язку з часовим (TDD) / частотним розподілом (FDD) шляхом вдосконалення алгоритму виявлення передавача.

У розділі «Стан питання. Постановка задачі» було детально розглянуто систему бездротового зв'язку LTE та описано режими роботи системи FDD і TDD.

У спеціальній частині описано удосконалений алгоритм виявлення передавача бездротової системи зв'язку стандарту LTE шляхом додавання першого інформаційного біту в преамбулу кадру, який вказує у якому дуплексному режимі працює мережа. А також оцінено ефективність використання запропонованого алгоритму.

У економічному розділі виконаний розрахунок витрат, пов'язаний зі створенням програмного забезпечення для впровадження запропонованого алгоритму.

Наукова новизна результатів полягає в підвищенні завадостійкості каналу зв'язку та пропускної здатності лінії передачі.

Практична цінність результатів полягає у можливому застосуванні запропонованого алгоритму для проектування бездротової системи зв'язку.

БЕЗДРотова СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ, СТАНДАРТ LTE, ЧАСОВЕ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ, ЧАСТОТНЕ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: __ с., __ рис., __ таблиц, __ приложений __ источников.

Объект исследований - беспроводная система связи стандарта LTE.

Цель дипломной работы - повышение пропускной способности беспроводной системы связи с временным (TDD) / частотным распределением (FDD) путем совершенствования алгоритма обнаружения передатчика.

В разделе «Состояние вопроса. Постановка задачи» было подробно рассмотрена система беспроводной связи LTE и описаны режимы работы системы FDD и TDD.

В специальной части описан усовершенствованный алгоритм обнаружения передатчика беспроводной системы связи стандарта LTE путем добавления первого информационного бита в преамбулу кадра, который указывает в каком дуплексном режиме работает система. А также оценена эффективность использования предложенного алгоритма.

В экономическом разделе выполнен расчет затрат, связанный с созданием программного обеспечения для внедрения предложенного алгоритма.

Научная новизна заключается в повышении помехоустойчивости канала связи и пропускной способности линии передачи.

Практическая ценность исследования заключается в возможном применении предложенного алгоритма для проектирования беспроводной системы связи.

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ, СТАНДАРТ LTE, ВРЕМЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ, ЧАСТОТНОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ.

ABSTRACT

Explanatory note: __ p., __ fig., __ tabl., __ applications, __ sources.

Object of research: wireless communication system of LTE standard.

Purpose of research: increasing of the capacity of wireless communication system with the time (TDD) / frequency (FDD) division by improving the detection algorithm of transmitter.

At the section «The status of the issue. Statement of the problem» there were analyzed the LTE system of wireless connection and described the working regimes of FDD and TDD systems.

Special part includes description of the improved algorithm of transmitter's detection of wireless communication system of LTE standard by adding the first information bit in a frame's preamble which indicates the duplex mode of the network. There was also assessed the effectiveness of proposed algorithm.

At the economical section there were calculated the costs for creation of software for implementation of proposed algorithm.

Scientific novelty of results is to improve the noise immunity of communication channel and bandwidth of transmission line.

The practical value of results is the possibility of using the proposed algorithm for designing of wireless communication system.

WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM, LTE STANDARD, TIME-DIVISION MULTIPLEXING, FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING, BANDWIDTH OF TRANSMISSION LINE.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- AP – (Access Point) точка доступу;
- B – вузол;
- CP – (Control Plane) – управління;
- CDMA – множинний доступ з кодовим розподілом;
- D – (downlink) – передача вниз;
- eNB – базова станція;
- E - UTRAN – (Evolved Universal Mobile Telecommunications System) – область мережі радіодоступу;
- EPC – (Evolved Packet Core) – базова мережа;
- FDD – (Frequency Division Duplex) – частотний дуплекс;
- 3G – третє покоління;
- 3GPP – (3rd Generation Partnership Project) – технологія мобільної передачі даних;
- GSM – (Global System for Mobile Communications) – глобальний стандарт цифрового мобільного зв'язку;
- ID – (Infrastructure Domain) – область мережевої інфраструктури;
- LTE – (Long Term Evolution) – довготривалий розвиток;
- MIMO – (Multiple Input Multiple Output) – багато потокова передача даних;
- PWS – (Public Warning System) – система тривожного сповіщення;
- QAM – (Quadrature Amplitude Modulation) – квадратурна амплітудна модуляція;
- QoS – (Quality of Service) – якість обслуговування;
- RNL – (Radio Network Layer) – рівень радіомережі;
- RAN – (Radio Access Network) – радіопідсистема мережі;
- TDM – (Time Division Multiplexing) – передача каналу з часовим поділом;
- TNL – (Transport Network Layer) – рівень транспортної мережі;
- TDD – (Time Division Duplex) – часовий дуплекс;
- U – (uplink) – передача вгору;

UP – (User Plane) – користувальницька площина;

UMTS – (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) – технологія стільникового зв'язку;

WAP – (Wireless Application Protocol) – бездротовий протокол передачі даних;

БС – базова станція;

БУМ – блок управління мобільністю;

ІТС – інформаційно-телекомунікаційні системи;

КТ – користувальницький термінал;

КПО – коефіцієнт природньої освітленості;

КСВ – соти посилення сигналу;

ОШ – обслуговуючий шлюз;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;

ОП – операційний підсилювач;

ПШ – пакетний шлюз;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЗП – постійний запом'ятовуючий пристрій;

ТБ – телебачення;

ЦПП – центральний процесорний пристрій;

ЦСП – цифровий сигнальний процесор.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	14
1.1 Система LTE.....	14
1.1.1 Вступ до LTE.....	14
1.1.2 LTE Advanced.....	17
1.1.3 Архітектура LTE.....	18
1.1.4 Структура мережі LTE.....	23
1.1.5 Фізичний рівень мережі LTE.....	24
1.1.6 Послуги в мережах LTE.....	28
1.1.7 Передача Інтернет-файлів.....	29
1.1.8 Якість обслуговування у мережах LTE.....	32
1.1.9 Вимоги безпеки для технології LTE.....	35
1.1.10 Основні переваги технології LTE.....	36
1.1.11 Можливості, що забезпечуються LTE.....	39
1.2 TDD і FDD.....	38
1.2.1 Огляд TDD і FDD.....	38
1.2.2 Режим FDD.....	39
1.2.3 Режим TDD.....	41
1.2.4 Сумісність LTE TDD і FDD.....	42
1.2.5 Діапазони частот в мережі LTE.....	43
1.3 Висновки та постановка задачі.....	48
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	49
2.1 Удосконалений алгоритм виявлення бездротової системи зв'язку з часовим/частотним мультиплексуванням.....	49
2.1.1 Зразкова система бездротового зв'язку.....	52
2.1.2 Формат кадру передачі, який використовується в системі LTE.....	53
2.2 Оцінка ефективності запропонованого алгоритму.....	60
2.3 Висновки.....	67

	9
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	69
3.1 Вступ.....	69
3.2 Визначення трудомісткості розробки продукту	69
3.3 Розрахунок витрат на створення програмного продукту.....	72
3.4 Розрахунок капітальних витрат	74
3.5 Висновок	75
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77
ДОДАТОК А.....	79
ДОДАТОК Б	80
ДОДАТОК В	81
ДОДАТОК Г	82
ДОДАТОК Д.....	83

ВСТУП

Розвиток інформаційно-телекомунікаційних систем в сучасному світі набуває все більшої значності. Інформаційні технології використовуються в процесах державного управління, управління бізнесом, виробничих процесах, для задоволення потреб громадян мати вільний доступ до інформації, що сприяє розвитку інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС). Поширення інфраструктури ІТС дозволяє скоротити відстані між суб'єктами, зменшити час на обмін інформацією і, як наслідок, дозволяє прискорити процес прийняття управлінських рішень в органах державного управління, місцевого самоврядування та у сфері бізнесу.

Величезна кількість операцій, які спрощують нам життя, надають сучасні телекомунікації. Важко собі уявити численний сервіс інтернет-банкінгу, різні інтернет-магазини, значну кількість бізнес-операцій, які здійснюються за допомогою локальних і глобальних мереж передачі даних.

Можна сказати, еволюція бездротового зв'язку ділиться на декілька поколінь: 1G, 2G, 3G і т.д.

За часів 1G ніхто не думав про послуги передачі даних - це були чисто аналогові системи, задумані та розроблені виключно для здійснення голосових викликів і деяких інших скромних можливостей. Модеми існували, однак через те, що бездротовий зв'язок більш схильний до шумів ніж звичайний дротовий, швидкість передачі даних була неймовірно низькою. До того ж, вартість хвилини розмови в 80-х роках була такою високою, що мобільний телефон міг вважатися розкішшю.

Друге покоління стільникового зв'язку 2G було запущено в комерційну експлуатацію за стандартом GSM у Фінляндії компанією Radiolinja в 1991. Трьома основними перевагами мереж 2G в порівнянні з попередниками було те, що телефонні розмови були зашифровані за допомогою цифрового шифрування; система 2G була значно ефективнішою; представила послуги передачі даних, починаючи з текстових повідомлень СМС. Технологія 2G

дозволила різним мобільних мереж надавати послуги, такі, як текстові повідомлення, із зображеннями і ММС (мультимедійні повідомлення). Технологія 2G досить безпечна як для відправника, так і для одержувача. Всі текстові повідомлення зашифровані в цифровий вигляд. Це цифрове шифрування передає дані таким чином, що тільки той приймач, якому вони призначені, може отримати їх і прочитати.

Поява сервісу «General Packet Radio Service» (GPRS) в 1997 році стала переломним моментом в історії стільникового зв'язку, тому що він запропонував для існуючих GSM мереж технологію безперервної передачі даних. З використанням нової технології, ви можете використовувати передачу даних тільки тоді, коли це необхідно. До того ж, GPRS може працювати з більшою, швидкістю - теоретично до 100 Кбіт/с, а оператори отримали можливість тарифікувати трафік, а не час на лінії. Це нововведення не дозволило додати одиницю до покоління мобільного зв'язку.

У той час, як технологія GPRS вже була на ринку, Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) склав новий стандарт – IMT-2000 – затверджує специфікації «справжнього» 3G. Ключовим моментом було забезпечення швидкості передачі даних 2 Мбіт/с для стаціонарних терміналів і 384 Кбіт/с для мобільних, що було не під силу GPRS.

Покоління 3G забезпечує користувачам смартфонів з технологією 3G високошвидкісну передачу даних, сучасні мультимедійні можливості, а також глобальний роумінг. Стандартами 3G є UMTS, CDMA2000 IS-95. В основі UMTS лежить технологія CDMA і швидкість передачі в низхідному напрямку може досягати в окремих випадках 2 Мб/с, але при нормальних умовах вона дорівнює 384 кб/с.

Технологія 3G використовується для підключення до інтернету або іншим IP-мережам і надають можливість голосового або відеозв'язку, повсюдний доступ в інтернет, можливість викачувати файли.

Більш вдосконалене покоління 3G мобільного зв'язку має підвищені вимоги. До нього прийнято відносити перспективні технології, що дозволяють

здійснювати передачу даних зі швидкістю, що перевищує 100Мбіт/с – мобільним пристроям і 1 Гбіт/с - стаціонарним абонентам. Однією з вище згаданих перспективних технологій, які відносяться вдосконаленого 3G покоління, є технологія LTE.

Технологія LTE - технологія широкосмугового доступу, що підтримує гнучку несучу смугу частот, від 1,4 МГц до 20 МГц, працює, використовуючи як частотний – FDD (Frequency Division Duplex) так і часовий – TDD (Time Division Duplex) дуплекси.

LTE є логічним продовженням і вдосконаленням мереж 3G. Технологія здатна забезпечувати стрибкоподібне підвищення передачі даних в сучасних мобільних мережах.

Завдяки впровадженню в своїй практиці інноваційної технології LTE, оператори отримують можливість істотно знизити операційні і капітальні витрати, скоротити сукупну вартість володіння мережею, розширити спектр надаваних послуг, які відносяться до передачі даних за допомогою високошвидкісних каналів. Важливо таке поліпшення і для самих абонентів - адже завдяки значному підвищенню швидкості передачі інформації вдається значно поліпшити загальну якість запропонованих послуг.

Актуальність роботи: Для задоволення потреб користувачів телекомунікаційних послуг впроваджується система LTE, яка характеризується зниженням затримки проходження сигналу, підвищенням швидкості передачі даних, а також поліпшенням пропускну здатності і дальності дії.

Мета роботи: Підвищення пропускну здатності бездротової системи зв'язку з часовим (TDD) / частотним розподілом (FDD) шляхом вдосконалення алгоритму виявлення передавача.

Об'єкт дослідження: Бездротова система зв'язку стандарту LTE.

Предмет дослідження: Алгоритм виявлення передавача у бездротовій системі зв'язку стандарту LTE.

Постановка задачі:

- дослідити існуючі алгоритми виявлення передавача частотного/часового мультиплексування у бездротовій системі зв'язку стандарту LTE.

- удосконалити алгоритм виявлення передавача бездротової системи зв'язку стандарту LTE з часовим/частотним мультиплексуванням.

- оцінити ефективність запропонованого алгоритму.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Система LTE

1.1.1 Вступ до LTE

На початку 21 століття, мобільний зв'язок став одним з найбільших ринків в галузі телекомунікацій. Спочатку такі мережі використовувались переважно для передачі голосового трафіку. Тим не менш, на даний момент згідно з даними аналітичної компанії ABI Research, в мобільних мережах 3 покоління обсяг трафіку даних значно перевищує обсяг голосового трафіку. В результаті виникає проблема підвищення швидкості передачі інформації в бездротових мережах зв'язку. Зростання обсягу трафіків в мережах мобільного зв'язку представлений на рисунку 1.1.

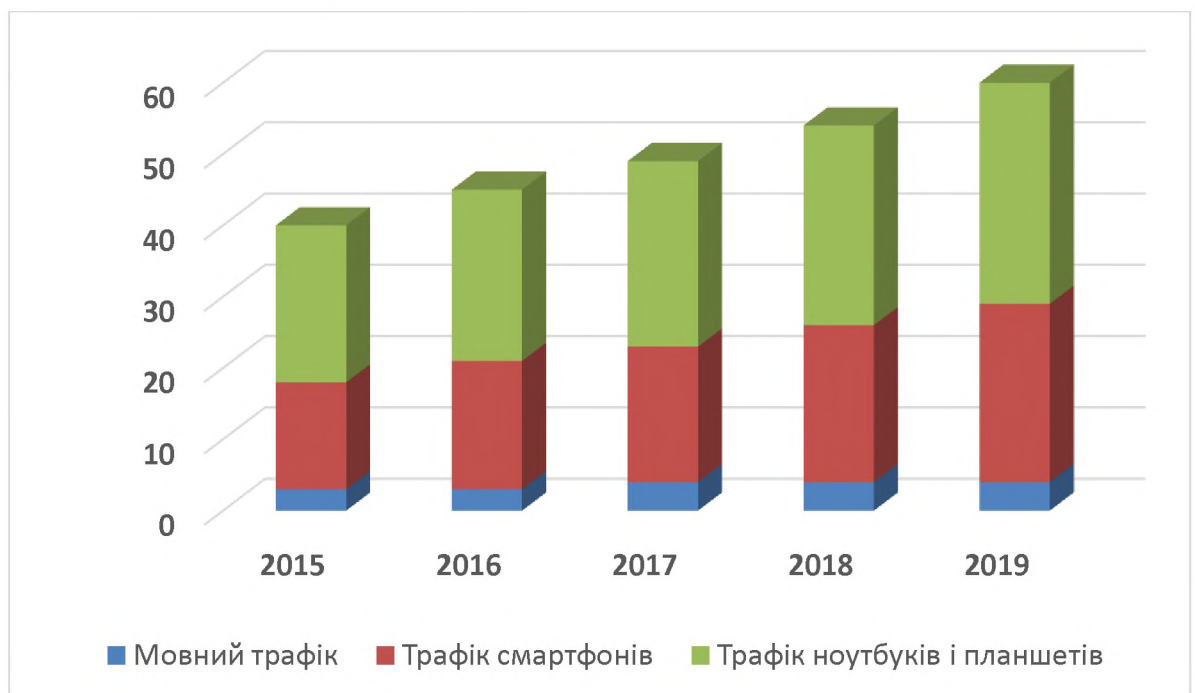


Рисунок 1.1 - Зростання обсягу трафіків в мережах мобільного зв'язку (Ебайт)

Новітнім розвитком світових телекомунікаційних технологій в галузі мобільного зв'язку є розробка та впровадження стандартів вдосконаленого покоління (3G), що забезпечують ще більші швидкості передачі даних і, як наслідок, підвищення якості пропонованих користувальницьких послуг, при загальному зниженні витрат в експлуатації телекомунікаційного обладнання.

Однією з технологій, покликаних для вирішення нагальних завдань сучасних телекомунікацій, є технологія Long Term Evolution, або, скорочено, LTE-технологія.

Технологія LTE – технологія широкопasmового доступу, що підтримує гнучку несучу смугу частот, від 1,4 МГц до 20 МГц, працює, використовуючи як частотний - FDD (Frequency Division Duplex) так і часовий - TDD (Time Division Duplex) дуплекси. Метою є створення мобільної мережі з надійним радіопокриттям, якісно новими послугами, низькими затримками і високою пропускною здатністю на базі існуючих мереж стандарту GSM.

Перехід до LTE обіцяє кілька важливих переваг для абонентів і операторів:

Продуктивність і ємкість. Одна з вимог, що пред'являються стандартом до систем LTE - підтримувати пікові швидкості завантаження даних з мережі аж до 100 Мбіт / с. Сама по собі технологія дозволяє реалізувати в її рамках ще більш високі швидкості, наприклад, до 300 Мбіт / с, і компанія Ericsson, наприклад, вже демонструвала роботу системи LTE з піковою швидкістю приблизно 150 Мбіт / с. Більше того, час відгуку на посилку короткого пакету даних в радіопідсистемі RAN (Radio Access Network) мережі LTE має бути не більше 10 мс. Це означає, що LTE, більш, ніж будь-яка інша технологія, відповідає ключовим вимогам, що пред'являються до систем 3G.

Простота. Перш за все, LTE здатна працювати в смузі частот різної ширини, починаючи від значень помітно нижче 5 МГц (1.5 МГц) і аж до смуги 20 МГц. LTE також може бути реалізована на основі різних принципів поділу сигналів, частотного і часового - FDD і TDD. До теперішнього часу, 3GPP передбачила для роботи систем LTE десять парних і чотири непарних частотні діапазони. Планується виділення і інших діапазонів. Це означає, що оператор може спочатку запускати LTE в "нових" діапазонах, де зазвичай простіше отримати смуги в 10 МГц або навіть 20 МГц, а потім поступово впроваджувати LTE у всіх доступних діапазонах. Крім того, продукти радіопідсистеми LTE будуть володіти набором властивостей, які спростять будівництво та

управління мереж наступного покоління. Наприклад, такі функції, як "включив і працюй", автоконфігурації і автооптимізації спростять і знизять витрати на запуск і керування мережами. По третє, мережі LTE будуть будуватися в паралель зі спрощеними, заснованими на IP-протоколі опорними і транспортними мережами, що дозволить спростити будівництво, експлуатацію систем LTE і введення нових послуг.

Широкий вибір терміналів. Крім мобільних телефонів, в мережах LTE буде працювати багато комп'ютерів і пристроїв споживчої електроніки, таких, як ноутбуки, нетбуки, ігрові пристрої і камери, оснащені вбудованим модулем роботи з LTE-мережею. Оскільки LTE забезпечує підтримку хендоверів та роумінгу з існуючими мобільними мережами, всі ці пристрої з першого ж дня запуску зможуть користуватися перевагами вже існуючого покриття мереж 2G / 3G [1].

Розробка технології LTE як стандарту офіційно почалася наприкінці 2004 року. У травні 2006 року в 3GPP була створена перша специфікація на радіо інтерфейс Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA). перші, попередні специфікації LTE створювалися в рамках так званого 3GPP Release 7. У грудні 2008 року затверджена версія стандартів 3GPP (Release 8), яка фіксує архітектурні та функціональні вимоги до системам LTE.

У кінці 2009 р. шведсько-фінський оператор телекомунікаційних послуг Telia Sonera спільно з виробником телекомунікаційного устаткування Ericsson оголосили про запуск в містах Стокгольм і Осло першої в світі комерційної LTE-мережі із заявленою швидкістю передачі даних до 80 Мбіт / с.

Основні етапи розвитку системи LTE представлені на рисунку 1.2 [2].



Рисунок 1.2 - Етапи розвитку системи LTE

Світове покриття LTE-мереж розширюється: вже зараз кількість країн, що підтримують цю технологію, перевищило 100, що призводить до підвищення попиту на 3G-смартфони. Останні стануть доступними для широких верств населення вже в цьому році. Принаймні, так заявляє тайванський чипмейкер MediaTek. Його представник Фінбарра Мойніхан (Finbarr Мойніхан), що працює в компанії на позиції глави з міжнародних продажів і маркетингу, в інтерв'ю Economic Times повідомив про те, що до кінця 2014 року апаратні платформи MediaTek можна буде зустріти як у відносно дорогих мобільних телефонах (від \$ 400) з підтримкою LTE-зв'язку, так і бюджетних трубках, орієнтованих на ринки, що розвиваються на зразок Індії. До кінця 2015 року компанія обіцяє вихід LTE-гаджетів за ціною 80\$ [3].

1.1.2 LTE Advanced

LTE Advanced – стандарт мобільного зв'язку. LTE Advanced стандартизований 3GPP як головне поліпшення стандарту Long Term Evolution (LTE).

Технологія LTE-Advanced визнана бездротовим стандартом зв'язку вдосконаленого покоління 3G. Офіційно представлена в кінці 2009 року сектору стандартизації електрозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку в якості кандидата на систему 3G. LTE Advanced був затверджений ITU і завершений 3GPP в березні 2011 року.

Технологія LTE, згідно стандартам, повинна забезпечувати пікову швидкість 1 Гбіт / сек в точці доступу в Інтернет і 100 Мбіт / сек на мобільному пристрої. На даний момент бездротові технології доступу в мережу досягають швидкості в 2-3 Мбіт / сек. Також технологія LTE-Advanced повинна дозволити перемикання між мережами різних поколінь і стандартів. Так, аналітик Strategy Analytics Кен Хайерс коментує це таким чином: «Теоретично і LTE може забезпечувати 100 Мбіт / сек. Але в LTE-Advanced користувач може переходити з вдосконаленої 3G-мережі в 3G-мережу або Wi-Fi, не перериваючи відеодзвінка. Буде змінюватися лише якість сигналу»[4].

1.1.3 Архітектура LTE

Архітектура мережі LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з "гладкою" ("безшовною") мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування. Мобільність як функція мережі забезпечується двома її видами: дискретною мобільністю (роумінгом) і безперервною мобільністю (хендовером). Оскільки мережі LTE повинні підтримувати процедури роумінгу та хендоверу з усіма існуючими мережами, для LTE-абонентів (терміналів) повинно забезпечуватися повсюдне покриття послуг бездротового широкосмугового доступу.

Пакетна передача дозволяє забезпечити всі послуги, включаючи передачу користувальницького голосового трафіку. На відміну від більшості мереж попередніх поколінь, в яких спостерігається достатньо висока різнотипність і ієрархічність мережевих вузлів (так звана розподілена мережева відповідальність), архітектуру мереж LTE можна назвати "плоскою", оскільки практично вся мережева взаємодія відбувається між двома вузлами: базовою станцією (БС), яка в технічних специфікаціях називається В-вузлом (Node-B, ENB) і блоком управління мобільністю БУМ (MME, Mobility Management Entity), яка, включає і мережевий шлюз Ш (GW, шлюз).

Варто зауважити, що контролер радіомережі, який грав вельми важливу роль в мережах попередніх поколінь, усунутий від управління потоком даних (фактично він навіть відсутній у структурних схемах), а його традиційні функції - управління радіоресурсами, стиск заголовків, шифрування, надійна доставка пакетів та ін. передані безпосередньо БС.

БУМ працює тільки зі службовою інформацією - так званою мережевою сигналізацією, так що IP-пакети, що містять користувальницьку інформацію, через нього не проходять. Перевага наявності такого окремого блоку сигналізації в тому, що пропускну здатність мережі можна незалежно нарощувати як для користувальницького трафіку, так і для службової інформації. Головною функцією БУМ є управління користувальницькими

терміналами (КТ), що знаходяться в режимі очікування, включаючи перенаправлення і виконання викликів, авторизацію і аутентифікацію, роумінг та хендовер, встановлення службових і користувальницьких каналів та ін.

Серед всіх мережевих шлюзів окремо виділені два: обслуговуючий шлюз ОШ (S-GW, Serving Gateway) і шлюз пакетної мережі (P-GW, Packet Data Network Gateway), або, коротше, пакетний шлюз (ПШ). ОШ функціонує як блок управління локальною мобільністю, приймаючи і пересилаючи пакети даних, що відносяться до БС і обслуговуючих КТ. ПШ є інтерфейсом між набором БС і різними зовнішніми мережами, а також виконує деякі функції IP-мереж, такі, як розподіл адрес, забезпечення користувальницьких політик, маршрутизація, фільтрація пакетів та ін.

Як і в більшості мереж третього покоління, в основу принципів побудови мережі LTE покладено поділ двох аспектів: фізичної реалізації окремих мережевих блоків і формування функціональних зв'язків між ними. При цьому завдання фізичної реалізації вирішуються, виходячи з концепції області (domain), а функціональні зв'язки розглядаються в рамках шару (stratum).

Первинним поділом на фізичному рівні є поділ архітектури мережі на область користувачького обладнання (UED, User Equipment Domain) і область мережевої інфраструктури (ID, Infrastructure Domain). Остання, в свою чергу, поділяється на (під) мережу радіодоступу (E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) і базову (пакетну) (під) мережу (EPC, Evolved Packet Core).

Користувальницьке обладнання – це сукупність КТ з різними рівнями функціональних можливостей, використовуваних мережевими абонентами для доступу до LTE-послуг. При цьому в якості користувальницького термінала може фігурувати як реальний ("живий") абонент, який користується, наприклад, послугами голосового трафіку, так і знеособлений пристрій, призначений для передачі / прийому певних мережевих або користувальницьких додатків.

На рисунку 1.3 показана узагальнена структура мережі LTE, з якої видно наявність двох шарів функціональних зв'язків: шару радіодоступу (AS, Access Stratum) і зовнішнього шару радіодоступу (NAS, NonAccess Stratum). Показані на рис. 1.3 овали зі стрілками позначають точки доступу до послуг.

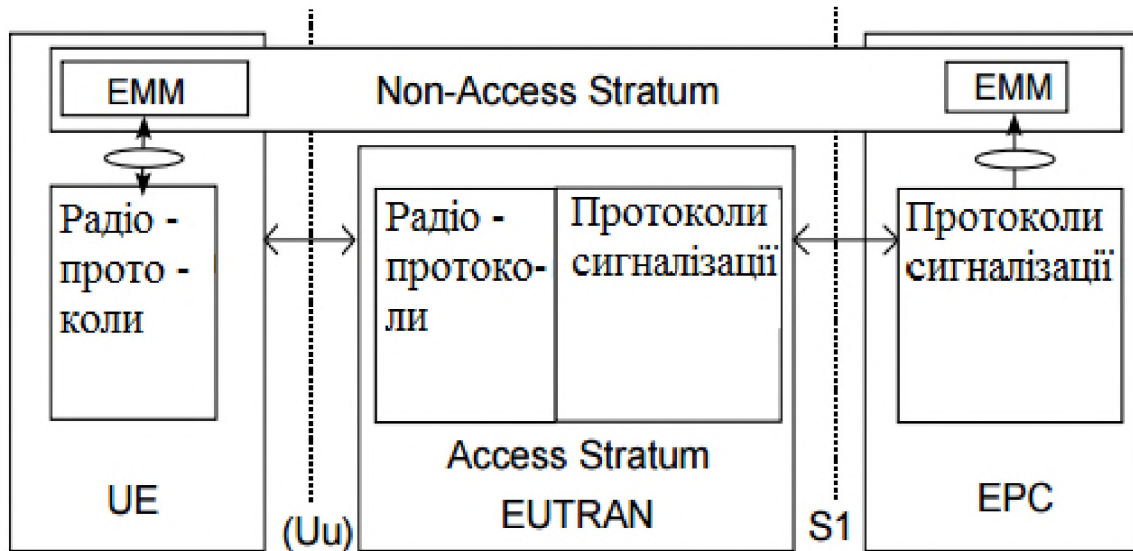


Рисунок 1.3 – Узагальнена структура мережі LTE

Стик між областю UE користувацького обладнання і областю мережі радіодоступу UTRAN називається Uu-інтерфейсом; стик між областю мережі радіодоступу і областю базової мережі EPC - S1-інтерфейсом. Склад і функціонування різних протоколів, що відносяться до інтерфейсів Uu і S1, розділені на дві так звані площини: користувальницьку площину (UP, User Plane) і площину управління (CP, Control Plane).

Поza шару доступу діють механізми управління мобільністю в базовій мережі (EMM, EPC Mobility Management).

У користувальницької площині реалізовані протоколи, що забезпечують передачу даних користувача по радіоканалу. До площини управління відносяться ті протоколи, які в різних аспектах забезпечують з'єднання між КТ і мережею. Також до цієї площини ставляться протоколи, призначені для транспарентної (прозорої) передачі повідомлень, що відносяться до надання різних послуг.

Область мережі радіодоступу логічно розділена на два рівні: рівень радіомережі (RNL, Radio Network Layer) і рівень транспортної мережі (TNL, Transport Network Layer). Взаємодія вхідних до області мережі радіодоступу БС здійснюється на основі X2-інтерфейсу (рисунок 1.4). Крім того, має місце транзитне сполучення між базовими станціями і базовою мережею через блок управління мобільністю (S1-MM-інтерфейс) або обслуговуючий вузол (S1-U-інтерфейс) - на рисунку 1.4 не показані. Таким чином, можна стверджувати, що S1-інтерфейс підтримує множинні відносини між набором БС і блоками БУМ / ОП.

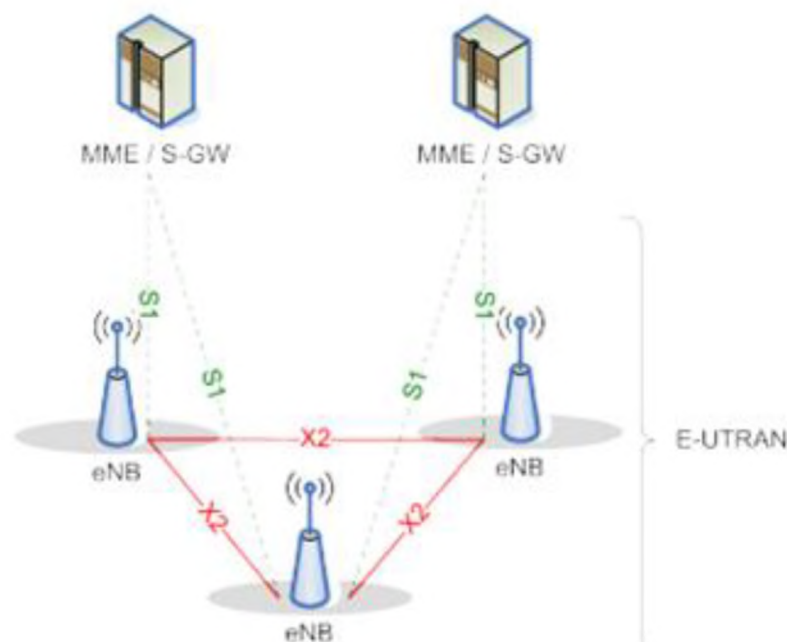


Рисунок 1.4 - З'єднання функціональних вузлів в мережі радіодоступу

Розглянемо призначення функціональних блоків мережі радіодоступу.

На БС в мережах LTE покладено виконання таких функцій[5]:

- Управління радіоресурсами: розподіл радіоканалів, динамічний розподіл ресурсів у висхідних і низхідних напрямках - так звана диспетчеризація ресурсів (scheduling) та ін.

- Стиснення заголовків IP-пакетів, шифрування потоку даних користувача.

- Вибір блоку управління мобільністю при включенні в мережу користувачького терміналу при відсутності у того інформації про минулого підключення.

- Маршрутизація в користувальницькій площині пакетів даних у напрямку до обслуговуючого шлюзу.

- Диспетчеризація і передача викличної і мовної інформації, отриманої від БУМ.

- Диспетчеризація і передача повідомлень PWS (Public Warning System, система тривожного сповіщення), отриманих від БУМ.

- Вимірювання та складання відповідних звітів для управління мобільністю та диспетчеризації.

Блок управління мобільністю забезпечує виконання таких функцій:

- Передача захищеної інформації про точки доступу до послуг і захищене управління точками доступу.

- Передача інформації в базову мережу для управління мобільністю між різними мережами радіодоступу.

- Управління списком зон відстеження КТ.

- Управління БС, які перебувають у стані очікування, включаючи перенаправлення викликів

- Вибір обслуговуючого шлюзу і шлюзу пакетної мережі для мереж радіодоступу різних стандартів.

- Вибір нового блоку управління мобільністю при виконанні хендовера.

- Роумінг.

- Аутентифікація.

- Управління радіоканалом, включаючи установку виділеного каналу.

- Підтримка передачі повідомлень PWS.

Обслуговуючий вузол відповідає за виконання таких функцій:

- Вибір точки прив'язки ("якоря") локального місця розташування (Local Mobility Anchor) при хендовері.

- Буферизація пакетів даних в низхідному напрямку, призначених для КТ, що знаходяться в режимі очікування, і ініціалізація процедури запиту послуги.

- Санкціоноване перехоплення інформації користувача.
- Маршрутизація і перенаправлення пакетів даних.
- Маркування пакетів транспортного рівня.
- Формування облікових записів користувачів і ідентифікатора класу якості обслуговування для тарифікації.

- Тарифікація абонентів.

Шлюз пакетної мережі забезпечує виконання таких функцій:

- Фільтрація користувальницьких пакетів.
- Санкціоноване перехоплення інформації користувача.
- Розподіл IP-адрес для КТ
- Маркування пакетів транспортного рівня в низхідному напрямку.
- Тарифікація послуг, їх селекція.

1.1.4 Структура мережі LTE

Структура мережі системи LTE зображена на рисунку 1.5

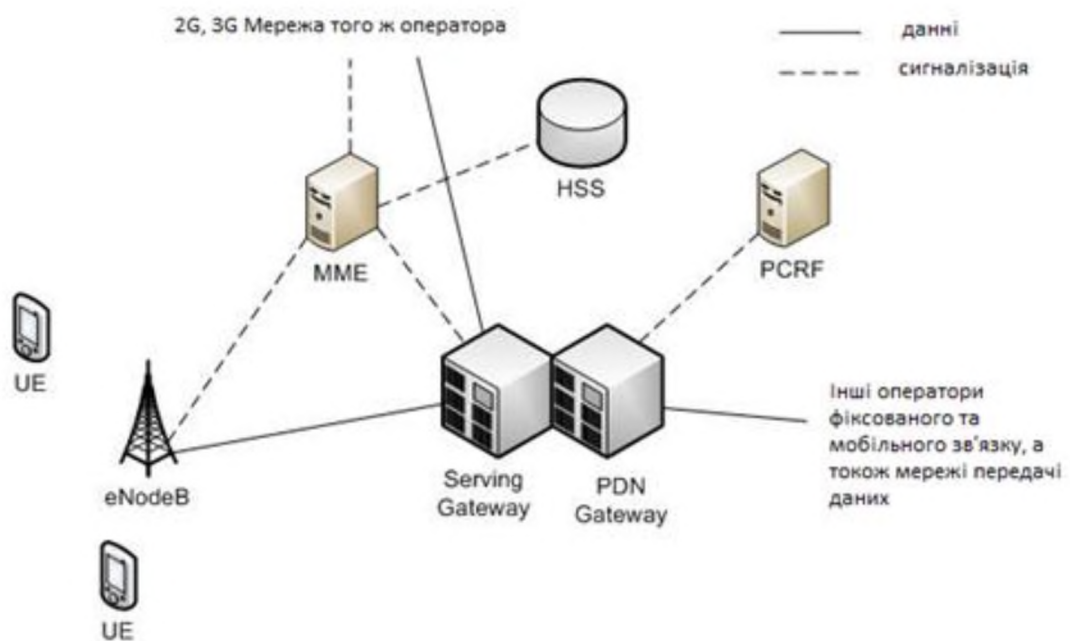


Рисунок 1.5 - Структура мережі системи LTE

Зі схеми мережі LTE, представленої вище, вже видно, що структура мережі сильно відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотні зміни зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Була змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також піддалися зміні і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Вся інформація (голос, дані) передається у вигляді пакетів. Таким чином, вже немає поділу на частини обробні або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані.

Можна виділити наступні основні елементи мережі стандарту LTE:

- Serving SAE Gateway або просто Serving Gateway (SGW) - обслуговуючий шлюз мережі LTE. Призначений для обробки та маршрутизації пакетних даних, які надходять з / в підсистему базових станцій. По суті, замінює MSC, MGW і SGSN мережі UMTS. SGW має пряме з'єднання з мережами другого і третього покоління того ж оператора, що спрощує передачу з'єднання в / з них з причин погіршення зони покриття, перевантажень і т.п.

- Public Data Network (PDN) SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) - шлюз до / від мереж інших операторів. Якщо інформація (голос, дані) передаються з / в мережі цього оператора, то вони маршрутизуються саме через PGW.

- Mobility Management Entity (MME) - вузол керування мобільністю. Призначений для управління мобільністю абонентів мережі LTE.

- Home Subscriber Server (HSS) - сервер абонентських даних.

- Policy and Charging Rules Function (PCRF) - вузол виставлення рахунків абонентам за надані послуги зв'язку.

- eNodeB - базова станція. Цей елемент виконує функції і базової станції, і контролера базових станцій мережі LTE. За рахунок цього спрощується розширення мережі, тому не вимагається розширення ємності контролерів або додавання нових [6].

1.1.5 Фізичний рівень мережі LTE

Функціонування мережі LTE може здійснюватися в частотних діапазонах з різною шириною. Частотний план системи приведений в (табл.1 FDD TDD) Сигнали спадного або висхідного напрямку можуть займати смуги від 1,4 до 20 МГц в залежності від кількості активних ресурсних блоків, поняття якого буде дано нижче. Межі частотного діапазону, зайнятого сигналом, завжди визначаються симетрично щодо несучої частоти f_c :

$$f_{\min} = f_c + B \cdot W_{ch} / 2 \quad (1.1)$$

$$f_{\min} = f_c - B \cdot W_{ch} / 2 \quad (1.2)$$

Для будь-якого частотного діапазону вводиться частотна сітка з кроком 100 кГц, який називається каналним растром; це означає, що центральні (несучі) частоти каналів повинні бути кратні 100 кГц.

Всі часові значення виражаються в одиницях елементарного часового інтервалу, рівного

$$T_s = 1 / (15000 \times 2048), \text{ секунд} \quad (1.3)$$

Передача інформації у висхідному і низхідному напрямках організована в кадрах (radio frames) тривалістю

$$T_f = 307200 \times T_s = 10, \text{ мс} \quad (1.4)$$

які, в свою чергу, поділяються на більш дрібні часові структури - слоти.

Підтримуються дві структури кадрів. Одна для випадку частотного дуплексу (Frequency Division Duplex, FDD), інша - для часового дуплексу (Time Division Duplex, TDD).

Першим розглянемо кадр для випадку FDD. Кожен кадр складається з 20 слотів довжиною:

$$T_{\text{slot}} = 15360 \times T_s = 0.5 \text{ мс} \quad (1.5)$$

Слоти пронумеровані від 0 до 19. Окрім цього, виділяється поняття підкадру (subframe), який складається з двох сусідніх слотів, тобто підкадрів з номером i і включає в себе слоти з номерами $2i$ і $2i + 1$.

У випадку FDD, спадний (downlink) і висхідний (uplink) канали передаються на різних частотах, тому в кожному 10 мс інтервалі часу є 10 підкадрів для передачі "вниз" і 10 підкадрів для передачі "вгору".

На рисунку 1.6 зображена структура кадру для випадку FDD.

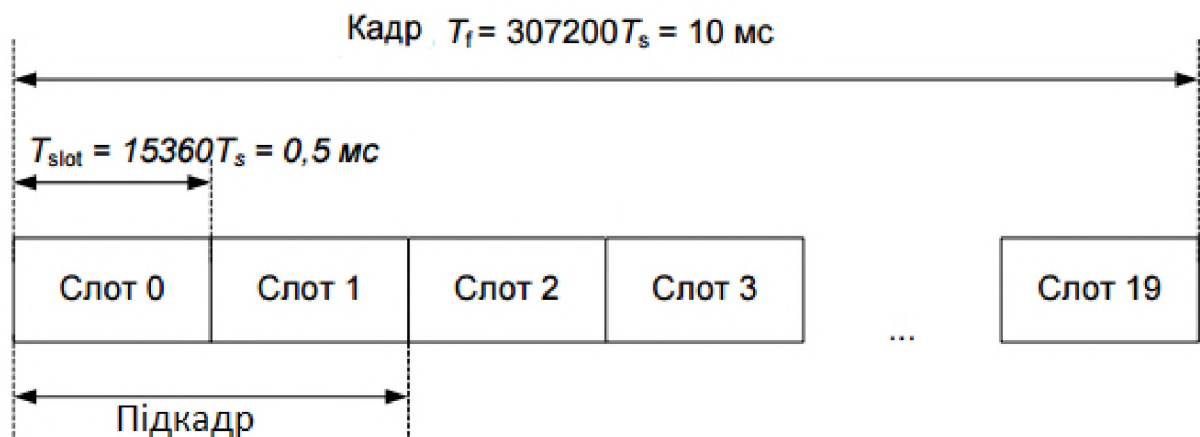


Рисунок 1.6 – Структура кадру типу 1

Розглянемо структуру кадру для випадку TDD. В режимах з частотним рознесенням, часовий ресурс в межах кадру розділений навпіл для передачі в протилежних напрямках: 10 підкадрів доступні для передачі у висхідному напрямку і 10 – у спадному.

На відміну від FDD, в випадку TDD в деяких підкадрах йде передача "вниз", а в деяких "вгору". Крім цього, існують спеціальні підкадри, які складаються з трьох частин: DwPTS - поля передачі "вниз", GP - захисного інтервалу і UpPTS - поля передачі "вгору". При цьому кожен кадр (рис. 1.6) розділений на два напівкадри, кожен з яких має тривалість (h_f - halfframe).

$$T_{hf} = 153600 T_s = 5, \text{ мс} \quad (1.6)$$

а кожен напівкадр складається з п'яти послідовних підкадрів тривалістю (sf - sub-frame)

$$T_{sf} = 30720 T_s = 1, \text{ мс} \quad (1.7)$$

Підтримуються дві можливі конфігурації періодичності переключення з періодом перемикавання 5 мс і 10 мс. У разі перемикавання з періодом 10 мс спеціальний підкадр присутній тільки в першій половині кадру. У випадку ж з 5 мс переключенням, спеціальний підкадр існує в обох половинах кадру. Саме цей випадок і представлений на рисунку 1.7.

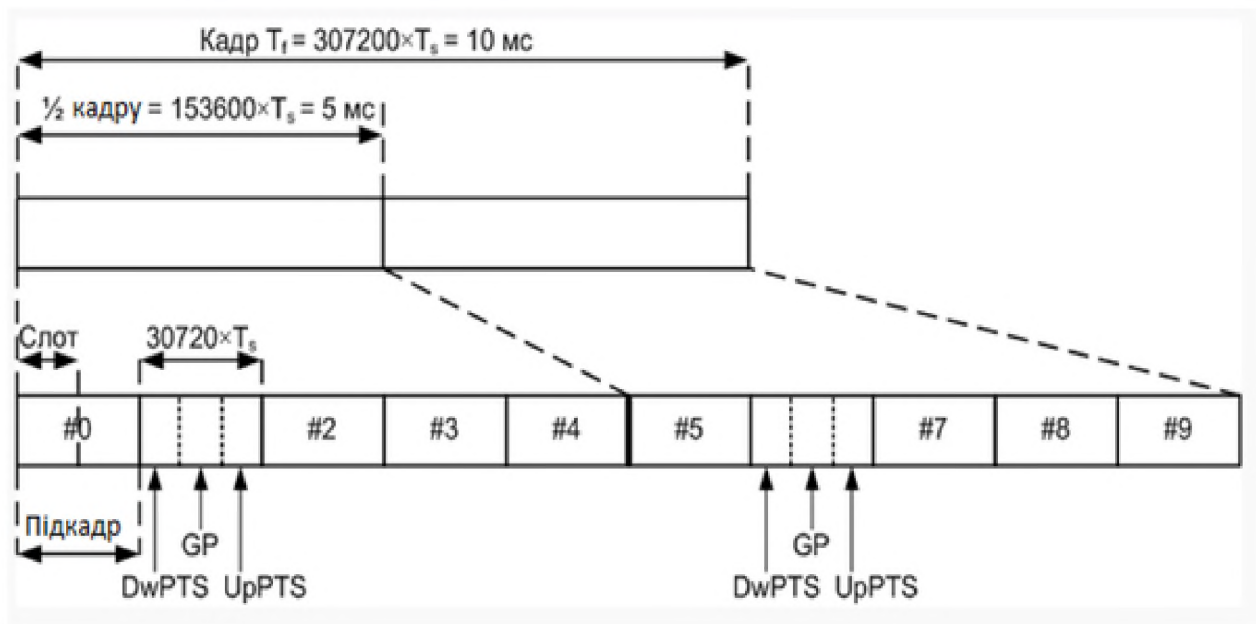


Рисунок 1.7 - Структура кадру типу 2

У таблиці 1.1 наведені можливі варіанти конфігурацій "висхідний - спадний", формовані для кожного підкадру в межах одного кадру. У таблиці літерою "D" позначені підкадри, в яких здійснюється передача "вниз", "U" - підкадри, в яких здійснюється передача "вгору", а "S" - спеціальні підкадри.

Необхідність переходу від одного напрямку до іншого означає наявність в кадрах спеціальних підкадрів, що містять пілотне поле, зване точкою перемикання.

Таблиця 1.1 - Варіанти конфігурацій висхідний-спадний

Номер конфігурації	Період переключення	Номер підкадру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 мс	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 мс	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 мс	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 мс	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 мс	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Як видно з таблиці, в підкадрах 0 і 5 завжди здійснюється передача "вниз", а в підкадрі, наступному за спеціальним, завжди здійснюється переду "вгору".

Загальна тривалість перемикання ($DwPTS$, GP , $UpPTS$) в будь-якій конфігурації становить $30720T_s=1\text{мс}$.

1.1.6 Послуги в мережах LTE

Розвиток нових мережевих технологій, що забезпечують надання все більшого числа різноманітних послуг, змушують світове телекомунікаційне співтовариство поглянути на питання якості послуг зв'язку та систему їх управління як на один з найважливіших чинників ефективного розвитку конкуруючого ринку надання послуг зв'язку.

Поняття якості послуг зв'язку (QoS , Quality of Service) розуміється як сумарний ефект від параметрів обслуговування, що визначає ступінь задоволення користувача послугами зв'язку.

Система управління якістю - це сукупність параметрів і механізмів, які забезпечують відповідність якості послуг установленим вимогам. Метою

введення такої системи є максимізація задоволення користувача наданої послуги для підвищення попиту на неї.

Поряд з пакетною передачею мови основними послугами в мережах LTE є наступні:

- передача інтернет файлів (web-browsing);
- доставка електронної пошти;
- мультимедійні повідомлення (MMS, Multimedia Messaging Service), в тому числі, мультимедійне мовлення;
- потокове відео (streaming);
- інтерактивні ігри в реальному часі.

Розглянемо деякі аспекти організації передачі інтернет-файлів в мережах мобільного зв'язку. При цьому, з метою подальшого аналізу характеристик якості обслуговування, важливо вказати прив'язку різних складових процедури надання послуги до мережевих елементів.

1.1.7 Передача Інтернет-файлів

Передача Інтернет-файлів є домінуючим трафіком в фіксованих IP-мережах, де для пошуку і доставки інформації використовується гіпертекстовий протокол HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol).

Очікується, що в найближчому майбутньому ця послуга таке ж місце займе і в мобільних мережах.

З формальної точки зору передача Інтернет-файлів являє собою один або кілька послідовних доступів до різних Інтернет-сторінок, що містить, в загальному випадку, інформацію про структуру сторінки, текст, адреса (URL, Universe Resource Location) самої сторінки і вхідних в неї об'єктів: малюнків, таблиць і т. п. Середній обсяг однієї Інтернет-сторінки за даними досліджень складає близько 150 Кбайт.

На рисунку 1.7 показана послідовність дій, скоєних в мережі фіксованого зв'язку при здійсненні типової процедури передачі Інтернет-сторінки, з якої можна виділити наступні етапи:

PDP-контекст (PDP, Packet Data Protocol), являє собою набір параметрів, що описують поточний стан користувача або терміналу по відношенню до можливих послуг і способам їх надання.

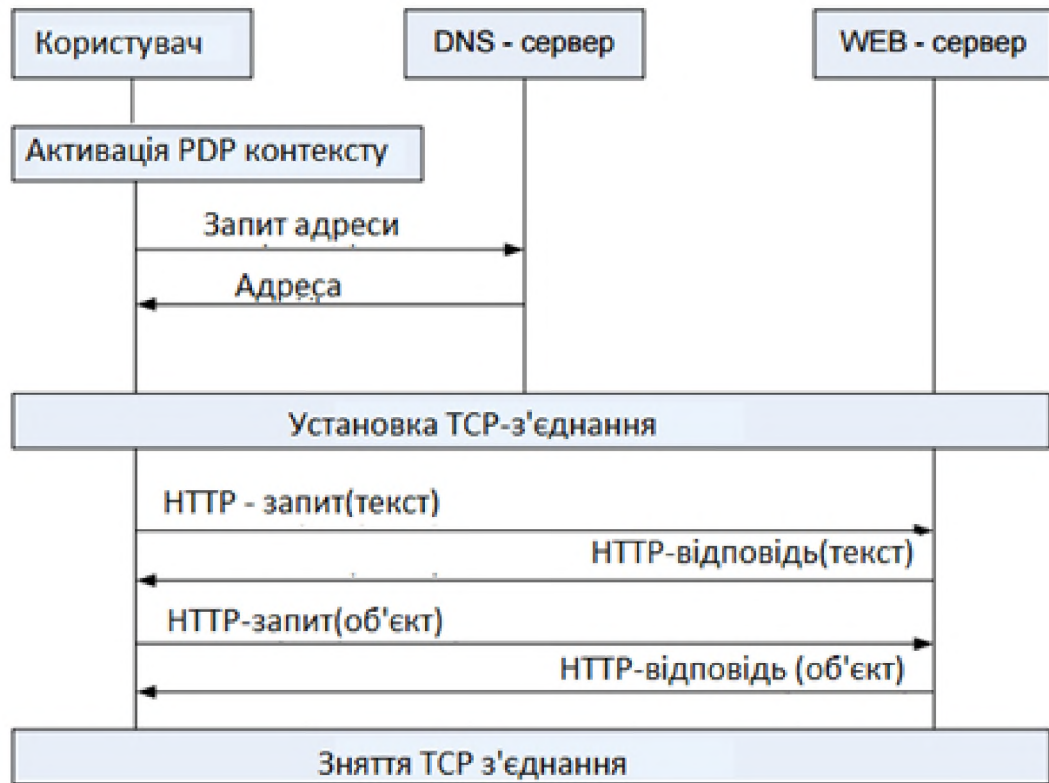


Рисунок 1.8 – Структура передачі інтернет-сторінки

- Активізація PDP-контексту, необхідна на початку кожного нового сеансу зв'язку і забезпечує параметри зв'язку між КТ і мережею.
- Запит адреси послуги через сервер доменних імен (DNS-сервер, Domain Name Server), що переводить числовий IP-адресу в строковий адресу.
- Установка TCP-з'єднання (Transmission Control Protocol) на транспортному рівні. При цьому, залежно від використовуваної версії.
- HTTP-протоколу та реалізації інтернет-браузера, може надати необхідним установка декількох TCP-з'єднань.
- Запит на сервер першого об'єкту (тексту) інтернет-сторінки.
- Отримання першого об'єкта (тексту) інтернет-сторінки.

- Запит на сервер подальших об'єктів інтернет-сторінки.
- Отримання наступних об'єктів (тексту) інтернет-сторінки.
- Зняття TCP-з'єднання.

Описана процедура, як уже було сказано, відображає передачу файлів в мережі фіксованого зв'язку; мобільний інтернет має певну специфіку, пов'язану з обмеженими внутрішніми (пам'ять, енергоємність батарей) і зовнішніми (екран, клавіатура) ресурсами мобільних пристроїв.

На даний час, найбільш поширеною технологією передачі файлів між мобільними користувачами є технологія, що базується на WAP-протоколі (Wireless Application Protocol).

Народженням WAP-технології прийнято вважати 1998р., коли провідні на той момент фірми - виробники телекомунікаційного устаткування Ericsson, Motorola і Nokia створили некомерційну організацію Форум WAP, в завдання якого входило розробка технологій, які об'єднують інтернет і мобільний зв'язок. Перша редакція WAP v.1.0 була опублікована у вже в травні 1998 р, однак, незважаючи на стрункість загальної концепції, помилок було досить багато, які швидко були усунені у другій версії WAP v.1.1.

Технологія WAP описана у вигляді специфікацій, що відносяться до таких розподілів:

- загальний огляд технологій WAP;
- стек WAP-протоколів і програмне забезпечення WAP-шлюзів;
- мови WAP-програмування;
- технологія WAP PUSH передачі інформації мобільним користувачам в режимі відкладеного часу, яка в даний час найбільш активно розробляється.

Мікробраузер - це браузер, який використовується в звичайних інтернет-додатках, але враховує обмежені конструктивні та програмно-апаратні ресурси мобільних КТ: результати відображаються на екранах малих розмірів, а для написання програм використовуються спеціальні мови.

Отже, у версії WAP 2.0 використовується мова XHTML MP (eXtensible Hyper Text Markup Language Mobile Profile) гіпертекстової розмітки, що замінив

мови WML (Wireless Markup Language) і XML (eXtensible Markup Language) попередніх версій WAP 1.x.

WAP-шлюз - це проміжний вузол, що забезпечує перетворення протоколів передачі інформації між фіксованими та мобільними мережами.

Специфікою мобільного інтернету є спосіб збереження і передачі WTA-додатків у вигляді так званої колоди карт (deck of cards) на WAP-мові, яка потім мікробраузером відображаються на екрані КТ. Колоди карт спочатку зберігаються на спеціальних WAP-серверах або загальних інтернет - серверах, і по запиті користувача за допомогою IP-протоколу вони передаються в WAP-шлюз, де відбувається перетворення IP-протоколу в WAP-протокол. Далі, в WAP-шлюзі забезпечується вже безпосередній діалог з користувачем за допомогою відпрацювання його запитів.

При стандартній WAP-взаємодії мобільний КТ з'єднаний з WAP-шлюзом, а той - із зовнішнім інтернет - сервером, хоча можуть бути і інші конфігурації.

1.1.8 Якість обслуговування у мережах LTE

При розробці та впровадженні системи якості обслуговування до атрибутів системи LTE пред'являються такі загальні вимоги.

- Кількість і значення атрибутів повинні бути такі, щоб забезпечити можливість багаторівневої градації користувачів.

- Використання механізму QoS не повинно заважати політиці ефективного використання радіоресурсів, незалежного розвитку базової мережі та мережі радіодоступу.

- Усі атрибути та їх комбінації повинні мати однозначно певні значення.

Виходячи з перерахованих загальних вимог до якості обслуговування, в специфікаціях сформульовані конкретні технічні вимоги, що стосуються набору параметрів QoS.

- Механізми QoS функціонують в рамках однорангової моделі організації зв'язку в межах "користувальницький термінал - мережевий шлюз",

забезпечуючи взаємно-однозначне відображення між мережевими послугами та зовнішніми додатками.

- Управління якістю обслуговування здійснюється на основі кінцевого, по можливості, мінімального набору параметрів QoS, підтримуючих ефективне використання радіоресурсів, а також асиметричне функціонування наскрізних каналів

- Методи управління QoS реалізуються на основі послідовних сесій, стосовно до пакетної передачі даних, у тому числі, до мультипоточної передачі, коли кілька різних потоків мають одну і ту ж адресу.

- Мережеві погіршення й ускладнення, викликані впровадженням системи якості обслуговування, повинні бути по можливості мінімізовані, також, як і кількість додаткової інформації, що зберігається та передається в мережі.

- Користувальницькі додатки повинні мати можливість індикації значень QoS при передачі даних в різних мережевих вузлах.

Перерахуємо і коротко опишемо основні функції мережі LTE, що відносяться до управління якістю обслуговування. У користувальницької площині такі функції спрямовані на підтримку користувальницького трафіку і сигналізації з певними обмеженнями, встановленими параметрами QoS.

- Функція відображення (MF, Mapping Function) забезпечує наділення кожного призначеного для передачі пакета даних відповідними параметрами QoS.

- Функція класифікації (CF, Classification Function) призначена для виставлення пакетів даних параметрів QoS, призначених для певного КТ, в тому випадку, якщо для цього КТ в мережі встановлено кілька каналів передачі послуг.

- Функція управління ресурсами (RMF, Resource Manager Function) розподіляє доступні ресурси між послугами відповідно до параметрами QoS.

- Функція узгодження (очищення) трафіку (TCF, Traffic Conditioner Function) забезпечує узгодження між потоком користувача даних і

встановленим рівнем якості обслуговування. Ті пакети даних, які не відповідають виставленим параметрам QoS, будуть відкинуті або позначені як невідповідні для подальшого відкидання після накопичення.

Взаємодія функцій управління якістю обслуговування в користувальницькій площині показана на рисунку 1.9.

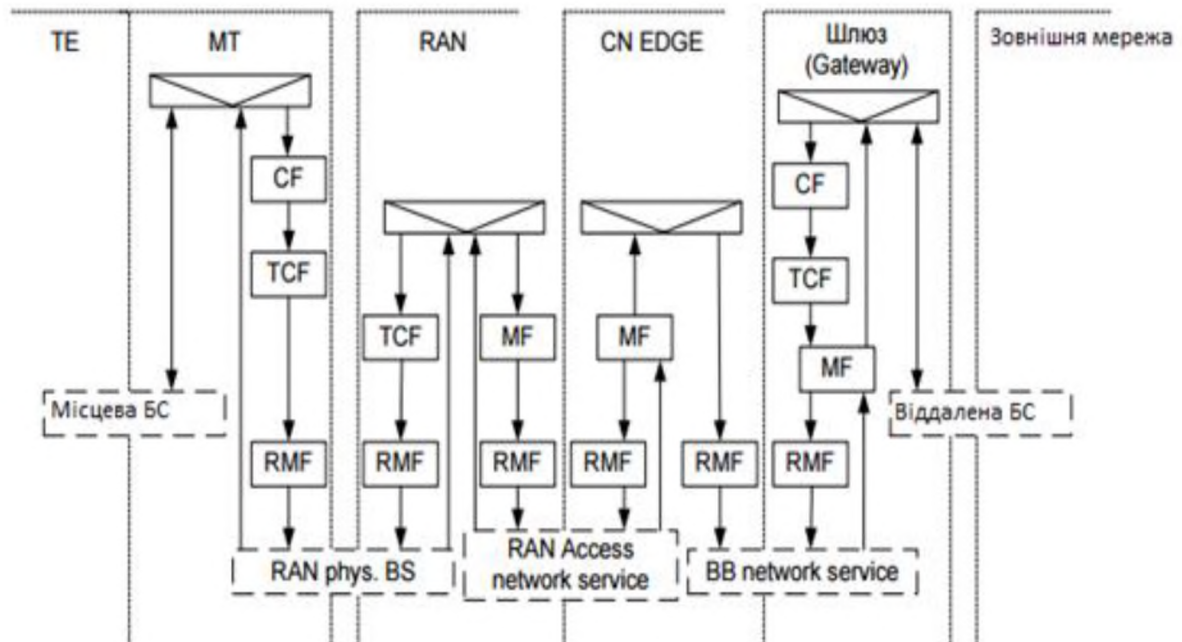


Рисунок 1.9 - Взаємодія функцій управління якістю обслуговування в користувальницькій площині

Функція класифікації, реалізована в КТ та СШ, призначає пакети даних, отриманих з зовнішнього (або локального) каналу в послугу мережі LTE з відповідними параметрами QoS.

Функція узгодження трафіку, при необхідності, забезпечує узгодження користувальницького потоку у висхідному (в КТ) і спадному (в СШ) напрямках з встановленими параметрами QoS.

Функція відображення постачає кожен пакет даних спеціальним QoS-індикатором, відправляючи того в дорогу по мережі, що вимагає виділення відповідних ресурсів - за це відповідальна функція управління ресурсами.

Функція управління ресурсами реалізована в кожному мережевому вузлі. У площині управління зосереджені функції, необхідні для реалізації механізмів управління і контролю.

Функція управління послугами (SMF, функція Service Manager) є координуючою функцією при установці, модифікації та управлінні послугами, а також керуючою для функцій управління якістю обслуговування в користувальницькій площині.

1.1.9 Вимоги безпеки для технології LTE

На даний момент, широко використовуються різні механізми безпеки для мереж 3G, що дозволяють забезпечити конфіденційність даних користувача, аутентифікацію абонентів, конфіденційність даних при їх передачі по протоколах U-Plane (користувальницькі дані) і C-Plane (керуючі дані), а також комплексний захист протоколу C -Plane при його спільному використанні з іншими міжнародними стандартами обміну. Існують чотири основні вимоги до механізмів безпеки технології LTE:

- Забезпечити як мінімум такий же рівень безпеки, як і в мережах типу 3G, не доставляючи незручності користувачам;
- Забезпечити захист від Інтернет-атак;
- Механізми безпеки для мереж LTE не повинні створювати перешкод для переходу зі стандарту 3G на стандарт LTE;
- Забезпечити можливість подальшого використання програмно-апаратного модуля USIM (Universal Subscriber Identity Module, універсальна сім-карта).

Останні два пункти забезпечуються використанням механізму 3GPP АКА (Authentication and Key Agreement). Вимоги ж безпеки до компоненту Evolved Packet Core, тобто до ядра мережі LTE, можуть бути виконані з використанням технології безпечної доменної зони (NDS - Network Domain Security) на мережевому рівні, так само, як і для мереж 3G.

Проте, оскільки в технології LTE деякий функціонал контролерів радіомережі (RNC) інтегрований в eNB, то рішення, застосовні в рамках 3G-

мереж, не можуть бути прямо перекладені на мережі LTE. Наприклад, базові станції eNB здійснюють зберігання ключа шифрування тільки на період сеансу зв'язку з мобільним терміналом. Тобто, на відміну від мереж 3G, ключ шифрування для закриття керуючих повідомлень не зберігається в пам'яті, якщо зв'язок з мобільним терміналом не встановлений.

Передбачено захист на рівні доступу до мережі, на рівнях мережевого і користувальницького доменів, на рівні додатків і рівні відображення і конфігурацій.

Кожен з цих рівнів припускає автентифікацію і авторизацію всіх пристроїв, чого немає в Інтернеті. Хоча кожен пристрій в IP-мережі має свою адресу, а часто ще й унікальний ідентифікатор MAC, його досить легко змінити і підробити.

Однак технологія LTE передбачає використання не тільки IP-адреси, а й системи розповсюдження ключів шифрування для всіх пристроїв, підключених до мережі. В результаті для всіх взаємодій в мобільній мережі є можливість безпечного обміну ключовою інформацією та встановлення шифрованого каналу зв'язку між ними.

В LTE зберігаються і методи автентифікації користувачів по прив'язці до карти USIM, як у традиційному мобільному зв'язку: користувач може заблокувати доступ до телефону по PIN-коду[7].

1.1.10 Основні переваги технології LTE

При розробці нової технології LTE її творці ставили наступні цілі:

- зниження вартості передачі даних;
- збільшення швидкості передачі даних;
- можливість надання більшого спектру послуг з більш низькою ціною;
- підвищення гнучкості використання вже існуючих систем.

При цьому основною метою було нарощування швидкості передачі даних, оскільки все інше, в значній мірі, є наслідком вирішення цього завдання. Впровадження LTE забезпечить можливість створення високошвидкісних систем мобільного зв'язку, оптимізованих для пакетної передачі даних зі

швидкістю до 300 Мбіт / с в низхідному каналі (Від базової станції до користувача) і до 75 Мбіт / с у висхідному каналі. Пікові швидкості передачі даних в ранніх реалізаціях, як вже було зазначено, повинні складати більше 100 Мбіт / с в низхідному каналі і більше 50 Мбіт / с у напрямку від користувача. Реалізація LTE можлива в різних частотних діапазонах - від 1,4 МГц до 20 МГц, а також по різних технологіям поділу каналів-FDD (частотне) і TDD (часове).

Для реалізації швидкостей до 326,4 Мбіт / с планується використовувати технологію MIMO (Multiple Input Multiple Output - "множинний вхід, множинний вихід") в конфігурації антен 4x4. У конфігурації 2x2 граничні швидкості спадному каналі можуть досягати 172,8 Мбіт / с (в кожній частотній смузі 20 МГц). Пікова швидкість в напрямі висхідного каналу може досягати 86,4 Мбіт / с на кожному смузі в 20 МГц. Радіус дії базової станції LTE може бути різним. Зона покриття радіусом дії базової станції близько 5 км є оптимальною, але при необхідності радіус дії може становити до 30 км (при достатньому піднятті антени).

Порівняно з 3G мережами, LTE забезпечує значно більшою швидкістю передачі даних. У 3G межах - 42 Мбіт / с, це пікова швидкість завантаження даних в найсучаснішій модифікації стандарту 3G - HSPA +. Реальна ж поки становить

2-3 Мбіт / с. Тоді як користувачі європейської LTE-мережі «Мегафон» вже зараз скачують дані на швидкості більше 20 Мбіт / с.

LTE ефективно використовує частотний спектр, відрізняється від подібних технологій підвищеною ємністю і меншими значеннями затримки, яка для невеликих пакетів може знижуватися до 5 мс. Збільшення швидкості передачі даних сприяє підвищенню якості надаваних послуг. Ще одна перевага описуваної технології полягає у тому, що технологія LTE здатна працювати з різними смугами частот – від 1,4 МГц до 20 МГц.

Впровадження технології LTE дозволяє операторам зменшити капітальні та операційні витрати, знизити сукупну вартість володіння мережею,

розширити свої можливості в області конвергенції послуг і технологій, підвищити доходи від надання послуг передачі даних. Мережа підтримує MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network), що дозволяє впроваджувати такі послуги, як мобільне ТБ (телебачення).

1.1.11 Можливості, що забезпечуються LTE

До можливостей, забезпечуваних технологією LTE, відносять:

- висока пропускна здатність мережі;
- велика чутливість;
- підтримка ігрових додатків за рахунок низького часу відгуку;
- висока інтерактивність;
- більш висока швидкість завантаження даних;
- можливість передачі голосу по IP / IMS;
- більш висока якість обслуговування;
- більше каналів мобільного ТБ;
- краща якість зображення мобільного ТБ;
- OFDMA на лінії від базової станції з модуляцією 64QAM;
- ширина каналу до 20 МГц;
- TDD, і FDD профілі;
- гнучка мережа доступу;
- поліпшена техніка антен.

Нові бездротові мережі, побудовані за стандартом LTE, будуть підтримувати найсучасніші програми, які сьогодні доступні для індивідуальних абонентів та корпоративних користувачів тільки через високошвидкісні провідні мережі. Крім швидкого Інтернет - доступу, прискореної роботи електронної пошти та більш якісних відеопослуг, бездротові користувачі отримають мобільний доступ до додатків, які раніше були доступні тільки для дротових домашніх і офісних мереж. Вони отримають послуги роумінгу LTE в глобальному масштабі і зможуть працювати з потрібними даними і додатками в будь-якій точці нашої планети. Крім того, LTE допоможе протягнути зв'язок в віддалені сільські райони, де досі відсутній широкопasmовий доступ. І нарешті,

глобальна бездротова мережа LTE зможе підключити один до одного безліч споживчих електронних пристроїв і реалізувати давню мрію про повсюдно доступних бездротових з'єднаннях[8].

1.2 TDD і FDD.

1.2.1 Огляд TDD і FDD

Для багатьох систем стільникового зв'язку характерний обмін інформації в обох напрямках, що потребує дуплексного каналу зв'язку. Дуплексна передача, коли весь виділений системі частотний спектр ділиться між двома протилежними напрямками, називається дуплексна передача з частотним розподілом (Frequency Division Duplex, FDD). В тому випадку, коли весь частотний діапазон використовується для передачі інформації в обох напрямках, а передача в різних напрямках розділена за часом, виконується дуплексна передача з часовим розподілом (Time Division Duplex, TDD) [9].

Завдяки тому, що дуплексний поділ каналів може бути як частотним (FDD), так і часовим (TDD), оператори можуть дуже гнучко використовувати частотний ресурс. Таке рішення відкриває шлях на ринок тим компаніями, які не володіють спареними частотами. З іншого боку, підтримка FDD дуже зручна для традиційних стільникових операторів, оскільки у них спарені частоти є "за визначенням" - так організовані практично всі існуючі системи стільникового зв'язку. Сама ж по собі система FDD істотно більш ефективна в плані використання частотного ресурсу, ніж TDD, - в ній менше накладних витрат (службових полів, інтервалів і т.д.) [10].

Згідно зі звітом GSA станом на 2014 рік в світі налічується 331 LTE мережа (включаючи FDD і TDD), запущена в комерційну експлуатацію в 112 країнах. 291 оператор запустив тільки FDD мережі, 27 операторів запустили тільки TDD мережі, і 13 операторів мають і FDD, і TDD мережі. Найбільш популярним діапазоном є Band 3 (1800 МГц), таких мереж налічується 150, що становить 45% від загальної кількості запущених мереж. Саме цей діапазон розглядається основним для організації роумінгу між операторами.

1.2.2 Режим FDD

Режим LTE FDD – це двосторонній зв'язок, що має частотне розділення сигналу. В даному випадку сигнал розділяється на дві різні частоти. Одна частота прийому даних (download), інша – для передачі (upload). Це дозволяє поліпшити якість зв'язку та зменшити затримки при передачі даних. Варто відзначити, що в даному режимі кількість каналів в обох напрямках (висхідні та низхідні канали зв'язку), як правило, однакове.

Загальне розбиття запущених FDD LTE мереж по частотним діапазонам, станом на 10.2014р, зображене на рисунку 1.10:

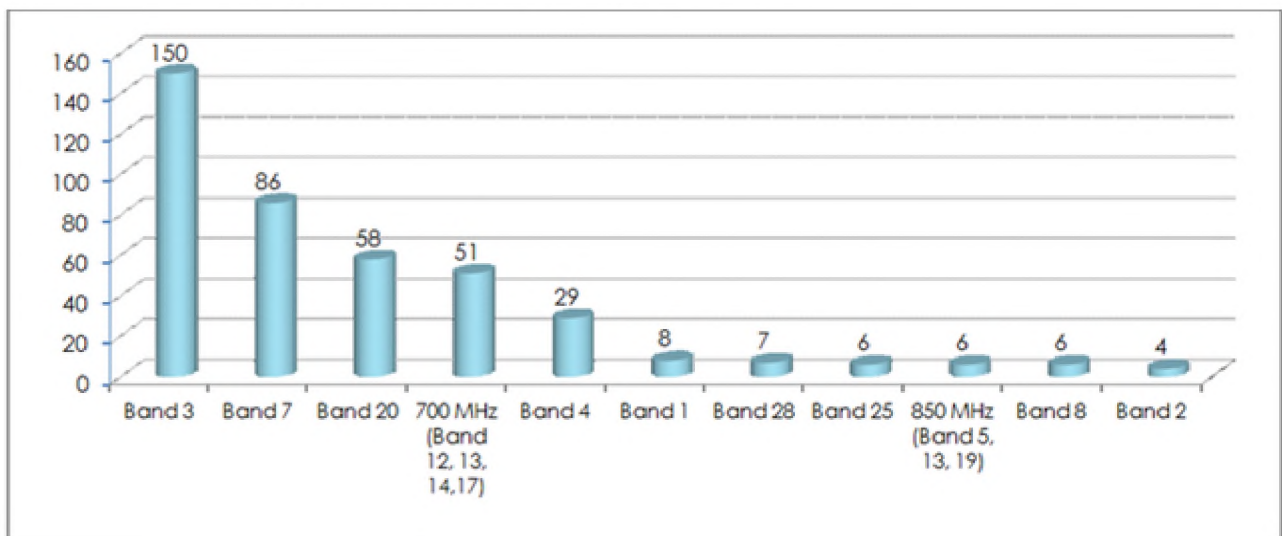


Рисунок 1.10 – Загальне розбиття запущених FDD LTE мереж по частотним діапазонам

Всі мобільні системи зв'язку сьогодні використовують FDD, і більше 90% частот, що використовуються системами мобільного зв'язку в усьому світі - це парні набори смуг частот. У разі FDD, трафік вниз і вгору забезпечується одночасно в різних частотних діапазонах. У системах TDD, передача в каналі вгору і вниз не ведеться безперервно, що дозволяє використовувати для організації каналу один і той же частотний діапазон. Наприклад, якщо розділити час між передачею вгору і вниз в співвідношенні 1: 1, то напрямок вгору буде використовуватися лише половину часу. Середня потужність, для кожного сеансу зв'язку, також виявляється дорівнює половині пікової потужності. Оскільки пікова потужність обмежена регулятором, то в результаті виходить, що для тієї ж пікової потужності, TDD забезпечує менше покриття,

ніж FDD. Забезпечення передачі за допомогою FDD та TDD зображено на рисунку 1.11

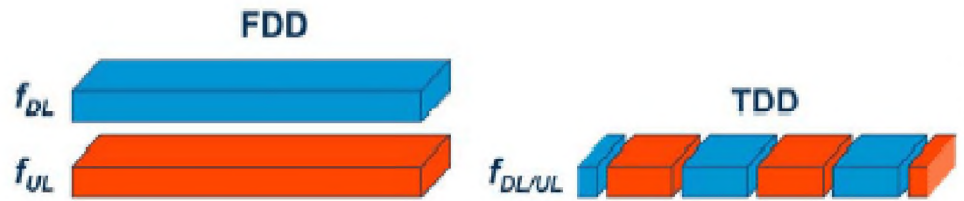


Рисунок 1.11 - Забезпечення передачі за допомогою FDD та TDD

1.2.3 Режим TDD

Режим LTE TDD - це двосторонній зв'язок з часовим поділом сигналу. Зв'язок здійснюється завдяки часовому ущільненню каналів передачі і прийому даних на одній частоті. Завдяки такому режиму досягається найбільш оптимальний перерозподіл ресурсів ліній радіозв'язку. При цьому виділяється різна кількість тимчасових інтервалів в низхідних (download) і висхідних (upload) каналах зв'язку.

Незважаючи на те, що більшість пристроїв з підтримкою LTE призначені для частотних діапазонів FDD LTE, що відображає співвідношення числа мереж FDD LTE і TDD LTE в світі, доступність і вибір абонентських терміналів з підтримкою TDD LTE також швидко росте. Число пристроїв з підтримкою TDD LTE 530 різних терміналів TDD-LTE в світі на 2014.07.31, що відповідає 28% / GSA > 100 різних абонентських пристроїв TD-LTE в світі.

Приведена нижче діаграма, рисунок 1.12, показує відсоток використання режиму TDD в системі LTE.



Рисунок 1.12 - Пристрої підтримкою TDD в системі LTE по форм-фактору

Число смартфонів з підтримкою TDD-LTE виросло на 184% з березня 2018 року.

Найбільший вибір терміналів є для діапазонів band 40 (2,3 ГГц) і band 38 (2,5-2,6 ГГц). Останнім часом істотно зросла кількість терміналів, які підтримують band 41.

Частка терміналів TD-LTE з підтримкою:

- B40 - 66,3%
- B38 - 65,5%
- B41 - 40,5%
- B39 - 38,8%
- B42 / 43 - 4%

Картина із запущеними TDD LTE мережами станом на 10.2014р зображена на рисунку 1.13

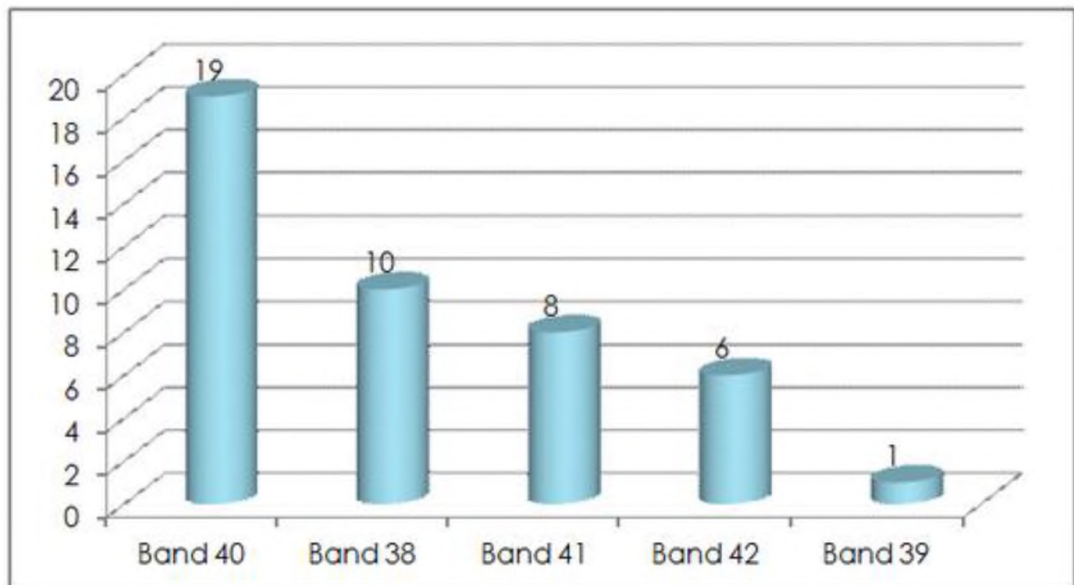


Рисунок 1.13 - Запущені TDD LTE мережі

1.2.4 Сумісність LTE TDD і FDD

Завдяки тому, що технологія LTE здатна комбінувати ці два режими зв'язку, вона є більш гнучкою і досягається можливість зміни пропускну здатності, а також способів організації зв'язку. Режим FDD є найбільш

ефективним в умовах великих розмірів сот і при високій швидкості пересування користувача.

Режим TDD ,в свою чергу , більше підходить для роботи в пікосотах і мікростільниках. Іншими словами в умовах повільного пересування абонента або при повній нерухомості користувача.

Потреба в сумісності режимів TDD і FDD передбачає здійснення простих і не дорогих дворежимних терміналів FDD / TDD. У наш час це не становить складності і цілком доступно завдяки застосуванню одних і тих же мікросхем в однорежимних і дворежимних телефонах. При цьому варто відзначити, що дворежимний мобільний пристрій незначно складніший звичайного FDD терміналу.

Також варто відзначити, що протоколи верхнього рівня в обох цих режимах (FDD / TDD) обробляються абсолютно ідентично. Більш того, процедури здійснення мультиплексування та розширення кодів у висхідних і низхідних каналах обох режимів застосовують абсолютно ідентичні керуючі дані.

Такі подібності цих режимів дозволяють говорити про подібність головних властивостей UTRA TDD і WCDMA FDD – набір протоколів верхніх рівнів, послуги для прикладних служб і так далі.

Використання однієї частоти для висхідних і низхідних потоків інформації істотно спрощує конструкцію адаптивних антен, а також загального обладнання базової станції.

Системи, які працюють на основі WCDMA FDD і UTRA TDD надають унікальну можливість відразу декільком операторам одночасно використовувати одну і ту ж смугу частот. При цьому без будь-яких перешкод і зниження якості зв'язку. У даному випадку немає необхідності в частотній координації між операторами. Завдяки цьому досягається головна перевага такої архітектури мережі – створення різних конфігурацій – макро-, мікро -, а також пікосоти. Це в свою чергу дозволяє суттєво економити радіо ресурс [11].

1.2.5 Діапазони частот в мережі LTE

Стандарт LTE був розроблений і затверджений консорціумом 3GPP та Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів ETSI. На відміну від інших стандартів мобільного зв'язку LTE не прив'язаний до якогось конкретного діапазону частот. Перша інфраструктура мережі LTE і термінали будуть з першого ж дня підтримувати роботу з безліччю частотних діапазонів. LTE, таким чином, досить швидко зможе забезпечити можливість економії на масштабах і глобального покриття.

На даний момент розробниками 3GPP виділено близько 40 діапазонів, для яких виробники випускають стандартне радіоустаткування LTE. З них 17 діапазонів робочих частот для режиму роботи з частотним поділом каналів (FDD) і 8 діапазонів частот для режиму з часовим поділом каналів (TDD) (таблиця 1.2). Сюди потрапили як частоти, використовувані зараз під інші стандарти (наприклад, 900, 1800 (GSM), 2100 (UMTS), 2500 (WiMAX), так і «нові», наприклад 700-800 МГц. Далеко не всі з можливих діапазонів знайдуть широке поширення, тим більше, що велика кількість діапазонів дуже важко реалізувати в дному абонентському пристрої, а це вже проблема для забезпечення глобального роумінгу. Зона покриття однієї БС в LTE залежить від використовуваного діапазону частот, і чим він нижчий, тим на більшу відстань можна передати сигнал. Розгортання мереж в низькочастотній області спектра більш привабливо з точки зору витрат і оптимально підходить для покриття районів з низькою щільністю населення (передмістя і сільські райони). В умовах міської забудови радіус стільники може бути від кількох сотень метрів до кількох кілометрів. У густонаселених районах використання високих частот для LTE потребують додаткових заходів для поліпшення покриття всередині приміщень[12].

Слід зазначити, що частотні діапазони з 1-го по 14-ий збігаються з частотними діапазонами, які використовуються мережами UMTS (Universal телефонна система Mobile). А також те, що в частотних діапазонах 13, 14, 20 і 24 висхідний канал передається на більш високих частотах, ніж спадний.

Частотні діапазони з номерами 15 і 16 визначені для використання іншими технологіями. Частотний діапазон 29 може використовуватися тільки у випадку з об'єднанням несучих (Carrier Aggregation).

Більшість частотних каналів режиму FDD по лінії «Вгору» (прийому базових станцій (БС) і передачі абонентських станцій (АС), як правило, використовують більш низькі частоти, ніж по лінії «вниз», за винятком діапазонів 13 і 14.

Таблиця 1.2 - Діапазони частот в мережі LTE

№	Uplink, МГц (Приймач БС / Передавач МС)	Downlink, МГц (Передавач БС / ПриймачМС)	Ширина каналу	Режим роботи
band_1	1920 - 1980	2110 - 2170	2x60	FDD
band_2	1850–1910	1930–1990	2x60	FDD
band_3	1710–1785	1805–1880	2x75	FDD
band_4	1710 - 1755	2110 - 2155	2x45	FDD
band_5	824 - 849	869 - 894	2x25	FDD
band_6	830 - 840	875 - 885	2x10	FDD
band_7	2500 - 2570	2620 - 2690	2x70	FDD
band_8	880 - 915	925 - 960	2x35	FDD
band_9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	2x35	FDD
band_10	1710 - 1770	2110 - 2170	2x60	FDD
band_11	1427.9 - 1447.9	1475.9 - 1495.9	2x20	FDD
band_12	699 - 716	729 - 746	2x18	FDD
band_13	777 - 787	746 - 756	2x10	FDD
band_14	788 - 798	758 - 768	2x10	FDD
band_17	704 - 716	734 - 746	2x12	FDD
band_18	815 - 830	860 - 875	2x15	FDD
band_19	830 - 845	875 - 890	2x15	FDD

band_20	832 - 862	791 - 821	2x30	FDD
band_21	1447.9 - 1462.9	1495.9 - 1510.9	2x15	FDD
band_22	3410 - 3490	3510 - 3590	2x80	FDD
band_23	2000 - 2020	2180 - 2200	2x20	FDD
band_24	1626.5 - 1660.5	1525 - 1559	2x34	FDD
band_25	1850 - 1915	1930 - 1995	2x65	FDD

Продовження таблиці 1.2

band_26	814 - 849	859 - 894	2x35	FDD
band_27	807 - 824	852 - 869	2x17	FDD
band_28	703 - 748	758 - 803	2x45	FDD
band_29	N/A	717 - 728	11	FDD
band_30	2305 - 2315	2350 - 2360	2x10	FDD
band_31	452.5 - 457.5	462.5 - 467.5	2x5	FDD
band_33	1900 - 1920		20	TDD
band_34	2010 - 2025		15	TDD
band_35	1850-1910		60	TDD
band_36	1930-1990		60	TDD
band_37	1910-1930		20	TDD
band_38	2570-2620		50	TDD
band_39	1880-1920		40	TDD
band_40	2300-2400		100	TDD

Як видно з таблиці, діапазони, призначені для розвитку мереж LTE, вже освоєні або освоюються в Європі для роботи мереж мобільного зв'язку та бездротового доступу різних технологій:

- 790-862 МГц (повітряна радіонавігація РСДН, перші стільникові мережі DAMPS-800 і CDMA-800);
- 880-915 МГц / 925-960 МГц (GSM-900);
- 1710-1785 МГц / 1805-1880 МГц (GSM-1800);
- 1900-1980 МГц / 2010-2025 МГц / 2110-2170 МГц (3 G / UMTS);
- 2300-2400 МГц (WiMAX)
- 2500-2690 МГц (WiMAX).

Проаналізуємо використовувані діапазони частот в Європі на предмет збігу зі стандартними діапазонами LTE на підставі таблиці 1.2:

- 470 ... 790 МГц використовується на мережах теле і радіомовлення - входить до частотного діапазону LTE № 1, 2, 3;
- 790 ... 862 МГц використовується на мережах CDMA-800, DAMPS-800, повітряної радіонавігації - входить до частотних діапазонів LTE № 4,5,6,7;
- 880 ... 915/925 ... 960 МГц використовується на мережах GSM-900 - входить до частотного діапазону LTE № 8,9;
- 1710 ... 1785/1805 ... 1880 МГц використовується на мережах GSM-1800 - входить до частотних діапазонів LTE № 11, 12, 13, 14, 18;
- 1900 ... 1980/2010 ... 2025/2110 ... 2170МГц використовується на мережах UMTS - входить до частотних діапазонів LTE № 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23;
- 2300 ... 2400 МГц використовується на мережах WiMAX - входить до частотних діапазонів LTE № 24;
- 2500 ... 2690 МГц використовується в мережах WiMAX, MMDS - входить до частотних діапазонів LTE № 17, 25.

Можна зробити висновок, що діапазони, які призначені для розгортання мереж LTE, вже або застосовуються, або освоюються для функціонування мереж мобільного зв'язку різних технологій. Отже, для розвитку мереж LTE в Україні необхідно провести реформування використання радіочастотного спектру. У сформованих умовах, можна проаналізувати доступні ресурси частотних діапазонів, необхідних для організації мереж LTE в Україні:

- Діапазон 800 МГц (доступний радіо ресурс 70 МГц) використовується національними операторами стільникового зв'язку для надання послуг з стандарту CDMA-800 зі смугами частот менше 5 МГц, а також для повітряної радіонавігації, теле і радіомовлення. можливе застосування каналів LTE з шириною смуги 1,4 - 5 МГц.
- Діапазон 900 МГц (доступний радіо ресурс 35 МГц) використовується національними операторами стільникового зв'язку мереж GSM, зі смугами

частот менше 10 МГц. Можливе застосування каналів LTE з шириною смуги 1,4 - 5 МГц

- Діапазон 1800 МГц (доступний радіо ресурс 75 МГц) використовується національними операторами стільникового зв'язку мереж GSM, зі смугами частот більше 10 МГц. Можливе застосування каналів LTE з шириною смуги 5 - 10 МГц.

- Діапазон 2100 МГц (доступний радіо ресурс 60 МГц) використовується національними операторами стільникового зв'язку мереж UMTS, зі смугами частот більше 10 МГц. Можливе застосування каналів LTE з шириною смуги 5 - 10 МГц.

- Діапазон 2600 МГц представлений як діапазон WASPECS і має на увазі під собою використання різних технологій зв'язку. Можливе застосування каналів LTE з шириною смуги 5, 10, 15, 20 МГц.

1.3 Висновки та постановка задачі

- Застосування діапазонів частот для мереж LTE в Україні буде підкорятися принципам мультидіапазонності, прив'язаних до видів надаваних послуг і географією розповсюдження цих послуг.

- Лідируючим діапазоном першого етапу розвитку LTE в Україні повинен стати діапазон 2500 ... 2690 МГц. Однак, даний діапазон може широко застосовуватися тільки в умовах щільної міської забудови, для забезпечення високої ємності мережі і вимагає високої щільності базових станцій. Для збільшення області покриття і якості проникнення мережі необхідно використовувати діапазон 800 МГц, за умови, що на обраній території будуть дотримані умови по сумісності частот мовлення. Використання ж діапазонів частот мереж GSM-900/1800, розглядається як додаткове, і зберігається пріоритетом мереж GSM.

- Головним критерієм вибору частотного діапазону при плануванні використання мереж LTE в майбутньому буде служити ефективність використання мережі LTE в порівнянні з останніми модифікаціями діючих мереж попередніх поколінь [13].

Постановка задачі:

- Дослідити існуючі алгоритми виявлення передавача частотного/часового мультиплексування у бездротовій системі зв'язку стандарту LTE.
- Удосконалити алгоритм виявлення передавача бездротової системи зв'язку стандарту LTE з часовим/частотним мультиплексуванням.
- Оцінити ефективність запропонованого алгоритму.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Удосконалений алгоритм виявлення бездротової системи зв'язку з часовим/частотним мультиплексуванням

Розглядаючи даний алгоритм, можна сказати, що це розкриття відноситься до способів і пристрою включення інформації про режим в кадр для виявлення системи, а більш точно до включення інформації про режим в преамбулу кадру відносно того, чи перебуває передача в режимі TDD або FDD.

Технічний результат полягає в підвищенні ефективності виявлення системи. Зокрема, перший інформаційний біт наданий у преамбулі (передовій частини пакету) кадру передачі, де біт налаштований для вказівки, що система бездротового зв'язку є працюючою відповідно до режиму дуплексу з часовим розділенням (TDD) або режиму дуплексу з частотним розділенням (FDD). Додавання єдиного біта мінімально впливає на ресурси преамбули. Додатково, ще один бітовий ресурс, вже присутній в преамбулі для нормального сполучення, незалежно від того, чи є передачі FDD повнодуплексними або напівдуплексними передачами, може додатково виділятися для вказівки інформації про розбиття. Це відбувається відносно передач в режимі TDD, коли перший біт вказує режим TDD, таким чином, надаючи додаткову інформацію, яка надається в кадрі, без збільшення ресурсів преамбули.

У конкретних системах, зв'язки які підтримують режими зв'язку як дуплексу з частотним розділенням (FDD), так і дуплексу з часовим розділенням (TDD), отримання інформації про синхронізацію під час виявлення системи на користувальницькому обладнанні (UE) є залежним від конкретного режиму зв'язку. Відповідно, користувальницький пристрій, працездатний в таких системах, повинний визначати, який режим передачі FDD або TDD є поточним режимом до захоплення синхронізації.

Різні відомі системи зв'язку не повідомляють конкретний режим роботи активним чином, цим самим приводячи до утруднення і неефективності отримання інформації про синхронізацію під час виявлення системи. Крім того, у конкретних типах цих систем, таких як LTE (Long-Term Evolution –

довготривалий розвиток) , відомо, що слід застосовувати вставлену інформацію входження в синхронізм у преамбулі кадру передачі (наприклад, суперкадру) для сприяння у виявленні системи. Ця інформація в даний час не повідомляє, чи відбувається поточна передача на користувальницький пристрій згідно режимам TDD або FDD, приводячи до утруднення в захопленні синхронізації. Проте зазначено, що інформація входження в синхронізм, згідно LTE, застосовує перший інформаційний біт, який повідомляє, чи є передачі під час режиму FDD повним дуплексом або напівдуплексом в залежності від двійкового стану біта.

В режимах TDD відомо багато розподілів розділених за часом ресурсів що відрізняються між собою. Ресурси є різноманітними, наприклад: для передач прямої лінії зв'язку (наприклад, передачі з базової станції або точки доступу (AP) на кероване обладнання (UE), термінал доступу (AT) або мобільний пристрій) і передач зворотної лінії зв'язку (наприклад, передачі з UE, AT або мобільного пристрою на базову станцію або AP). Якщо конкретне відношення розподілу кадрів низхідної лінії зв'язку до кадрів висхідної лінії зв'язку не відомо пристроям в системі, що є типовим у відомих системах, захоплення синхронізації може додатково затримуватися.

Було розкрито спосіб для використання в системі бездротового зв'язку. Алгоритм включає в себе надання щонайменше одного першого інформаційного біта, який є налагодженим для вказівки, що система зв'язку працює відповідно до одного з режиму дуплекса з часовим розділенням (TDD) і режиму дуплекса з частотним розділенням (FDD). Крім того, спосіб включає в себе надання щонайменше одного першого інформаційного біта в преамбулі кадру передачі.

Розкрито пристрій, працюючий в системі бездротового зв'язку. Пристрій включає в себе щонайменше один процесор, сконфігурований для надання хоча б одного першого інформаційного біта, налагоджений для вказівки, що система зв'язку працює відповідно до одного з режиму дуплекса з часовим розділенням (TDD) і режиму дуплекса з частотним поділом (FDD). Щонайменше, один

процесор також налаштований для надання хоча б одного першого інформаційного біта в преамбулі кадру передачі. Пам'ять, приєднана до щонайменше одного процесору, також включена в пристрій.

Також був розкритий комп'ютерний програмний продукт, текст якого розміщено у додатку Б, що містить машинозчитуючий носій. Машинозчитуючий носій включає в себе машинну програму для спонукання комп'ютера надавати, щонайменше, один перший інформаційний біт, сконфігурований для вказівки, що система бездротового зв'язку працює відповідно до одного з режиму дуплекса з часовим розділенням (TDD) і режиму дуплекса з частотним поділом (FDD).

Носій також включає в себе машинну програму для спонукання комп'ютера надавати хоча б перший інформаційний біт в преамбулі кадру передачі, який повинен передаватися в системі бездротового зв'язку.

Згідно ще одному додатковому аспекту розкрито пристрій, працюючий в системі бездротового зв'язку. Пристрій включає в себе засіб надання, мінімум одного першого інформаційного біта, налагоджений для вказівки, що система зв'язку працює відповідно до одного з режиму дуплекса з часовим розділенням (TDD) і режиму дуплекса з частотним поділом (FDD). Також включено до складу засіб надання мінімум одного першого інформаційного біта в преамбулі кадру передачі.

Справжнє розкриття характеризує ознаки алгоритмів і пристрої, які постачають інформацію в кадрі передачі, щоб повідомляти режим передачі; а саме, є передача передачею FDD або TDD. Інформація може містити єдиний двійковий біт в межах преамбули кадру передачі (тобто суперкадру), який повідомляє про режим передачі FDD або TDD на пристрій, що приймає кадр передачі. Додатково, у ще одному аспекті, дане розкриття також включає в себе алгоритми і пристрій, що повторно використовують існуючий в даний час ресурс, такий як біт `HalfDuplexEnable`, в системі LTE, в якості прикладу, щоб не тільки повідомляти про режим дуплексу або напівдуплексу при передачі згідно FDD, але також з додатковою ознакою інформації про розподіл зв'язку

при передачі згідно TDD.

2.1.1 Зразкова система бездротового зв'язку

Приведений нижче рисунок 2.1 ілюструє зразкову систему бездротового зв'язку, в якій можуть застосовуватися розкриті зараз способи і пристрій. Точка 100 доступу (AP) включає в себе численні групи антен, одну, що включає в себе 104 і 106, іншу, що включає в себе 108 і 110, і додаткову, що включає в себе 112 і 114. Тільки дві антени показані для кожної групи антен на рис.2.1. Проте, більша кількість або менша кількість антен може використовуватися для кожної групи антен. Термінал 116 доступу (AT) знаходиться на зв'язку з антенами 112 і 114, де антени 112 і 114 передають інформацію на термінал 116 доступу по прямій лінії 120 зв'язку і приймають інформацію з терміналу 116 доступу по зворотній лінії 118 зв'язку. Термінал 122 доступу знаходиться на зв'язку з антенами 106 і 108, де антени 106 і 108 передають інформацію на термінал 122 доступу по прямій лінії 126 зв'язку і приймають інформацію з терміналу 122 доступу по зворотній лінії 124 зв'язку.

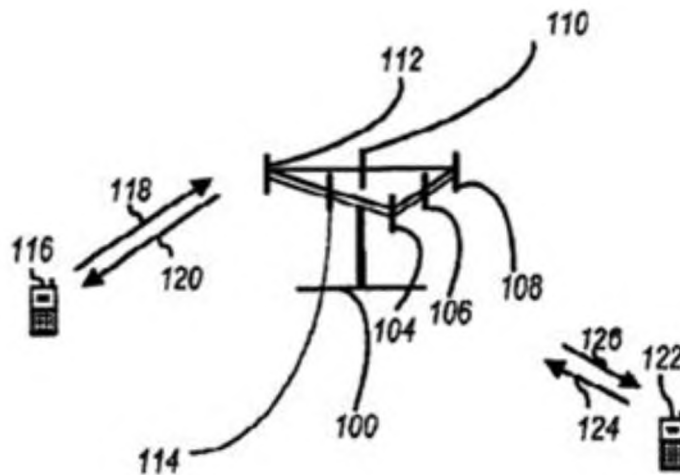


Рисунок 2.1 – Система бездротового зв'язку, в якій застосовується даний винахід

Система на рисунку 2.1 може підтримувати обидва режими, FDD і TDD. У режимі FDD лінії 118, 120, 124 і 126 зв'язку можуть використовувати різні частоти для зв'язку. Наприклад, пряма лінія 120 зв'язку може використовувати іншу частоту, ніж використовується зворотною лінією 118 зв'язку. Додатково

зазначено, що точка (наприклад, 100) доступу може бути стаціонарною станцією, використовуваною для підтримки зв'язку з терміналами, і також може вказуватися посиленням як точка доступу (AP), вузол, базова станція або деякої іншої термінологією. Термінал доступу також може називатися користувальницьким обладнанням (UE), пристроєм бездротового зв'язку, терміналом, користувальницьким пристроєм або деякою іншої термінологією.

2.1.2 Формат кадру передачі, який використовується в системі LTE

Приведений нижче рисунок 2.2 показує формат кадру передачі, який може використовуватися в системі по рис. 2.1. Як проілюстровано, кадр 200 передачі, який може бути суперкадром, включає в себе преамбулу 202, яка містить в собі різні символи службових сигналів або даних, у тому числі символи для виявлення системи і захоплення синхронізації. Кадр 200 передачі також включає в себе корисні дані 204, які містять в собі дані, які повинні передаватися кадром 200. Зокрема, кадр 200 може включати в себе три мультиплексованих з часовим поділом (TDM) контрольних каналів; а саме контрольний канал 1 TDM (206), контрольний канал 2 TDM (208) і контрольний канал 3 TDM (210). Контрольний канал 1 TDM, 206, використовується приємопередатчиком, серед іншого, для захоплення грубої синхронізації. TDM 1, 206, супроводжується у часі контрольним каналом 2 TDM, 208. TDM 2, 208, може включати в себе послідовність або код псевдовипадкових чисел (PN), які використовуються приємопередатчиком для захоплення або повторного захоплення точної синхронізації.

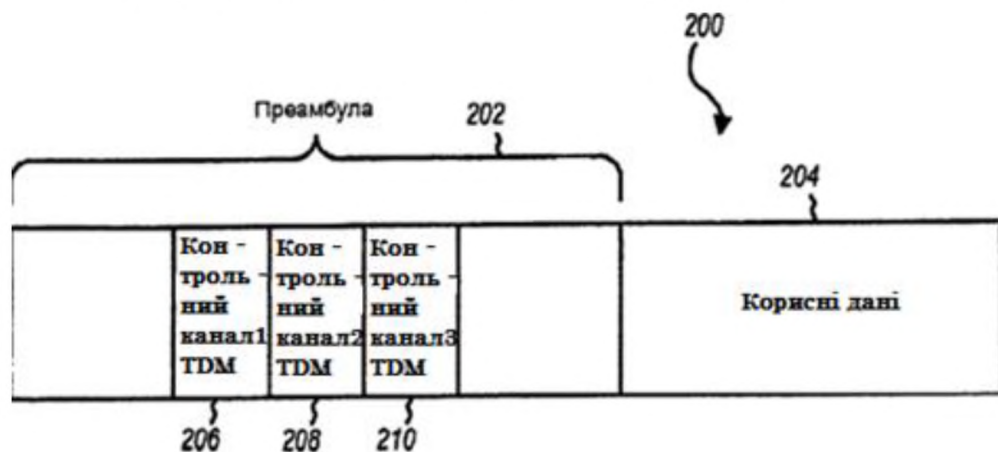


Рисунок 2.2 – Формат кадру передачі, який використовується в системі
LTE

Контрольний канал 3 TDM 210 може використовуватися для передачі додаткової системної інформації на приймальні пристрої. Згідно аспекту відзначено, що, в системах LTE, інформація, яка включена в контрольний канал 3 TDM не включає в себе інформацію щодо того, чи є справжня передача на приймальний пристрій передачею FDD або TDD. Відповідно, справжні алгоритми надають щонайменше один додатковий біт інформації в преамбулі, такий як в контрольний канал TDM 3, який повідомляє, чи є передача передачею FDD або TDD. Як приклад, стан нуля (0) біта міг би вказувати режим FDD, а стан одиниці (1) міг би вказувати режим TDD. До того ж в системах LTE, зокрема, контрольний канал TDM 3 включає в себе блок інформації (не показаний) входження в синхронізм, який передається в преамбулі для виявлення системи. Відповідно, в аспекті передбачається, що додатковий біт, обговорений вище, може бути включений в блок синхронізму, але не обмежений таким розміщенням і може бути включений в будь-яку частину преамбули суперкадру. Незалежно від того доданий біт в блок синхронізму або в преамбулу, додавання цього одиночного біта додає мінімальну службову інформацію в суперкадр. Відзначено, що додаткові біти, крім одного біта, можуть використовуватися в преамбулі для повідомлення додаткової інформації або повідомлення режимів, якщо більш ніж два режими підтримуються системою зв'язку, в якості ще одного прикладу.

Відомо, що при передачах TDD конкретні дуплексні передачі прямої лінії зв'язку і зворотної лінії зв'язку чергуються або розподіляються в часі в конкретних запропонованих відносинах. В якості ілюстрації приведений нижче рисунок 2.3, який показує передачу TDD, що має відношення розподілу 1: 1, де передачі 302 прямої лінії зв'язку чергуються у часі з передачами 304 зворотної лінії зв'язку.

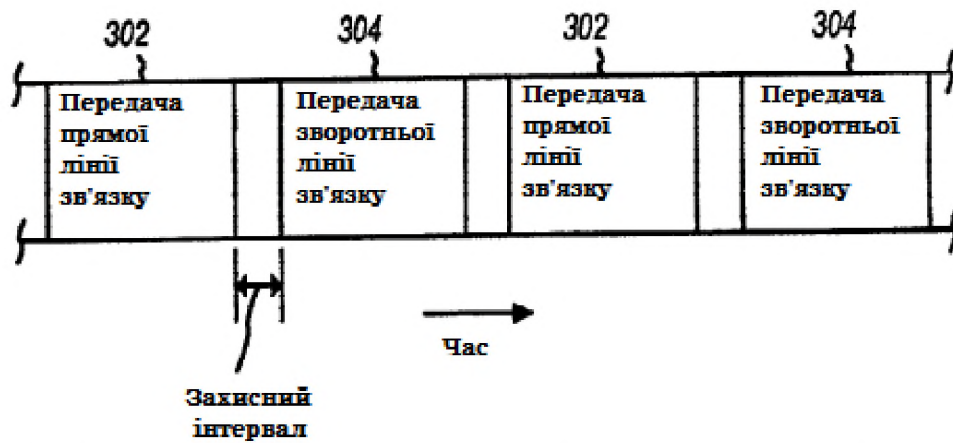


Рисунок 2.3 – Передача TDD, що має відношення розподілу 1: 1

В якості ще однієї ілюстрації іншого розбиття TDD приведений нижче рисунок 2.4, який показує відношення розподілу 2: 1. Тут, кожні дві передачі 402, 404 прямої лінії зв'язку, передані один за одним у часі, супроводжуються одиночній передачею 406 зворотної лінії зв'язку.



Рисунок 2.4 – Передача TDD, що має відношення розподілу 2: 1

У деяких системах зв'язку відомо, що слід використовувати біт в преамбулі для вказівки, під час режиму FDD, чи є передача FDD повнодуплексною або напівдуплексною.

Що стосується систем, в якості окремого прикладу, цей існуючий біт названий бітом «HalfDuplexEnable». Ніякої вказівки на даний час не дається в таких системах, що працюють в режимі TDD, щодо конкретного розбиття для передачі TDD, такого як розбиття, проілюстроване на рисунках 2.3 і 2.4. Згідно з додатковим аспектом передбачається, що існуючий біт в преамбулі (наприклад, біт HalfDuplexEnable) може використовуватися (або повторно

використовуватися) як індикатор розбиття TDD, в той час як сьогодні біт використовується тільки в режимі FDD. Таким чином, коли перший біт, обговорений вище, вказує FDD, другий біт вказує, який з повнодуплексного або напівдуплексного режиму FDD є використовуваним. Додатково, коли перший біт вказує режим TDD, такий же другий біт HalfDuplexEnable може використовуватися для вказівки, яке з двох відносин розподілу використовується у випадку двох режимів. Наприклад, якщо другий біт встановлений в стан нуля (0), то мається на увазі розподіл TDD 2: 1, як проілюстровано на рисунку 2.4. Інакше, стан одиниці (1) вказує інше розбиття, таке як розбиття 1: 1, як проілюстровано рисунок 2.3. Відзначено, що це є лише прикладом довільно вибраних відносин, і що різні інші відносини могли б використовуватися в системі і, таким чином, неявно виражатися вибором біта. Більш того, додаткові біти могли б бути додані в цю інформацію, якби більш ніж два різних розбиття TDD використовувалися в системі.

Приведений нижче рисунок 2.5 ілюструє алгоритм 500 для забезпечення повідомлення інформації про режим FDD і TDD, яка може застосовуватися в системі бездротового зв'язку, такий як система по рисунок 2.1. Алгоритм 500 включає в себе перший етап 502, на якому видають щонайменше один перший інформаційний біт, який налаштований для вказівки, що система зв'язку є працюючою відповідно до режиму TDD або режиму FDD. Як обговорено раніше, цей перший інформаційний біт може бути одиночним двійковим бітом, як приклад, чий стан означає поточний режим передачі FDD або режим TDD. На етапі 504 цей перший інформаційний біт надається, розміщується або встановлюється в преамбулу кадру передачі, який повинен передаватися в системі бездротового зв'язку. Відзначено, що, як обговорено раніше, перший інформаційний біт може вставлятися в контрольний канал 3 TDM суперкадру, а в іншому аспекті - в блок контрольного каналу 3 TDM в прикладі систем LTE.

Рисунок 2.5, крім того, ілюструє додатковий етап 506, на якому забезпечують додаткову, але альтернативну послідовність операцій, яка вказана пунктирними лініями. Зокрема, на етапі 506 виділяють щонайменше один

другий інформаційний біт в преамбулі для вказівки інформації про розподіл TDD, коли перший інформаційний біт вказує режим TDD, і вказівки напівдуплексного режиму FDD і повнодуплексного режиму FDD, коли перший інформаційний біт вказує режим FDD. Відзначено, що відповідно до одного з аспектів другий інформаційний біт є бітом HalfDuplexEnable, уже присутнім в преамбулах суперкадрів систем, що працюють згідно LTE. Таким чином, послідовність операцій на етапі 506 дає повторне використання цього інформаційного біта для повідомлення додаткової інформації про розбиття щодо передач TDD, яка усуває необхідність у додаткових ресурсах поряд з додаванням кількості інформації, яка може передаватися в преамбулі.

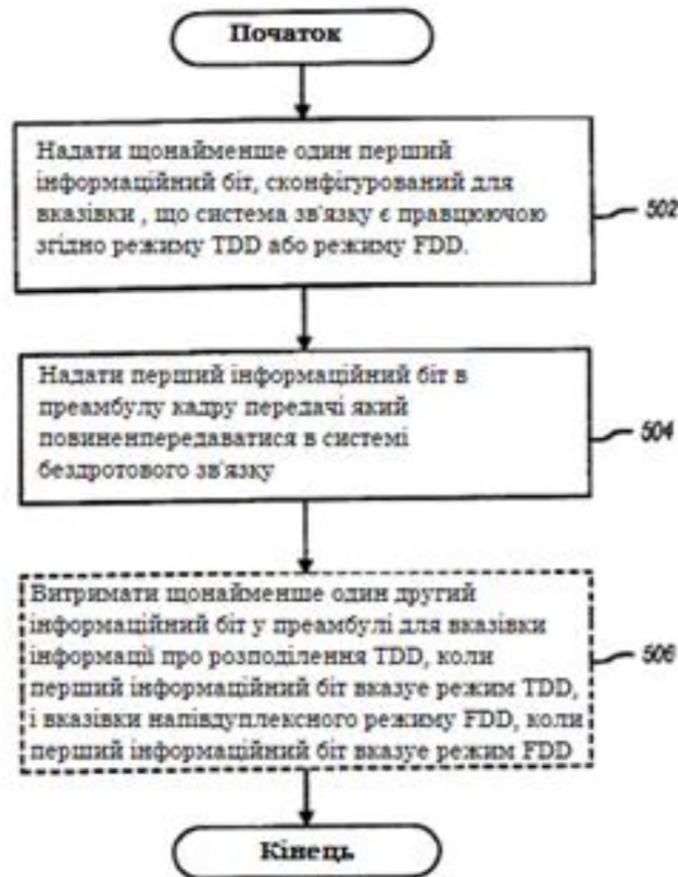


Рисунок 2.5 – Спосіб забезпечення передачі інформації про режим FDD і TDD при бездротовій передачі

Одна або більше з послідовностей операцій за даним способом можуть повторюватися для кожного суперкадру, що збирається і передається в системі зв'язку. В якості альтернативи одна або більше послідовностей операцій за допомогою алгоритму 500 можуть виконуватися періодично, де тільки

періодичні суперкадри будуть забезпечуватися додатковою бітовою інформацією.

Приведений нижче рисунок 2.6 ілюструє пристрій для надання інформації щодо повідомлення про конкретний режим передачі в системі зв'язку, що підтримує TDD і FDD. Пристрій 600 може включати в себе різні компоненти, які можуть використовуватися в бездротовому пристрої, такому як пристрій 100 базової станції або точки доступу, як проілюстровано на рисунку 2.1, або в інших пристроях в системі зв'язку, таких як обладнання користувача 116, 122, в якості тільки двох прикладів.

Пристрій 600 може включати в себе кілька різних компонентів, з можливістю зв'язку з'єднаних шиною 602 зв'язку, яка може включати в себе шину живлення, шину керуючих сигналів, шину сигналів стану, шину даних, будь-яку їхню комбінацію або будь-яку іншу придатну лінію зв'язку. До того ж, в пристрій 600 включений щонайменше один процесор 604, який керує роботою пристрою 600. Процесор 604 також може вказуватися посиланням як центральний процесорний пристрій (ЦПП).

Пристрій 600 також включає в себе пам'ять 606, яка може включати в себе як постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП, ROM), так і оперативний пристрій (ОЗП, RAM), який видає команди і данні в процесор 604. Частина пам'яті 606, в якості прикладу, також може включати в себе енергонезалежний оперативний пристрій (NVRAM).

Процесор 604 налаштований для виконання логічних і арифметичних операцій на підставі команд керуючої програми, що зберігаються в пам'яті 606.

Не менш важливо, що пристрій 600 також може включати в себе схему 608 передавача / приймача для забезпечення передачі і прийому бездротових сигналів, наприклад між бездротовим пристроєм, що застосовує пристрій 600, і іншим бездротовим пристроєм. Одна або більше антен 610 можуть бути з можливістю зв'язку приєднані до схеми 608 передавача / приймача, як проілюстровано на рисунку 2.6.

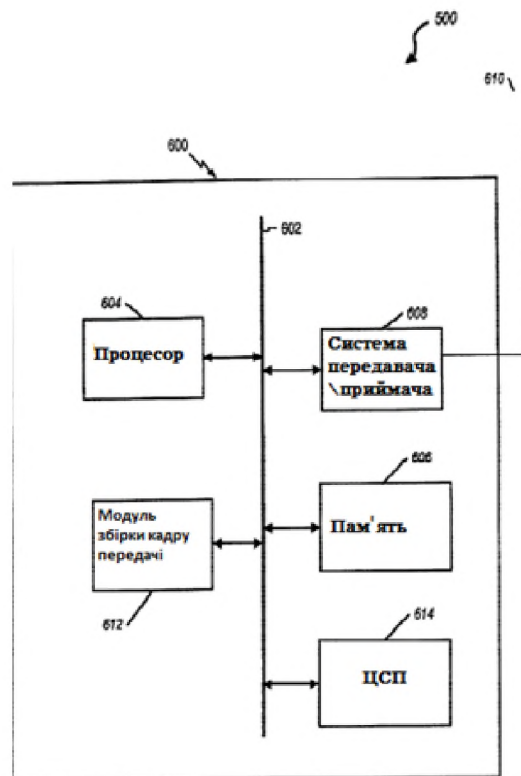


Рисунок 2.6 – Ілюструє пристрій для надання інформації щодо повідомлення про конкретний режим передачі в системі зв'язку

Відзначено, що бездротовий пристрій, що застосовує пристрій 600, може включати в себе численні передавачі, численні приймачі та / або численні антени.

Також зазначимо, що пристрій 600 може включати в себе модуль 612 збірки кадру передачі, сконфігурований в якості засобу для здійснення функцій і способів, описаних у матеріалах даної заявки, таких як різні послідовності операцій і функції, описані вище у зв'язку з рисунком 2-5. Крім того, пристрій 600 може включати в себе цифровий сигнальний процесор 614 (ЦСП, DSP) для використання при обробці прийнятих сигналів. Дуже важливим є те, що процесор 604 і / або ЦСП 614 можуть підміняти деякі або всі з функцій, які виконуються модулем 612 збірки кадру передачі, в якості альтернативних реалізацій.

Треба зазначити, що вищеописана певна черговість або ієрархія етапів в розкритих послідовностях операцій є ілюстрацією зразкових підходів. Також, інформація і сигнали можуть бути представлені з використанням будь-якої з різноманіття різних технологій і методик. Наприклад, дані, команди,

директиви, інформація, сигнали, які можуть згадуватися на всьому протязі вищенаведеного опису, можуть бути представлені напруженнями, струмами, електромагнітними хвилями, тощо.

Різні ілюстративні блоки, модулі і схеми, описані в зв'язку з варіантами здійснення, розкритими в даних матеріалах, можуть бути реалізовані або виконані за допомогою процесора загального застосування, цифрового сигнального процесора (ЦСП, DSP), спеціалізованої інтегральної схеми (ASIC), програмованої вентиляльної матриці (FPGA) або іншого програмованого логічного пристрою, дискретної вентиляльної або транзисторної логіки, дискретних компонентів апаратних засобів або будь-якої їх комбінації, призначеної для виконання функцій, описаних у матеріалах даної заявки. Процесором загального застосування може бути мікропроцесор, але в альтернативному варіанті процесор може бути будь-яким традиційним процесором, контролером, мікроконтролером або кінцевим автоматом. Процесор також може бути реалізований у вигляді комбінації обчислювальних пристроїв, наприклад поєднання ЦСП і мікропроцесора, одного або більше мікропроцесорів в поєднанні з ЦСП-ядром, або будь-який інший такий конфігурації.

Етапи алгоритму, описані в зв'язку з варіантами здійснення можуть бути втілені безпосередньо в апаратних засобах, в програмному модулі, що виконується процесором або в комбінації цих двох. Модуль програмного забезпечення може знаходитися в пам'яті ОЗП, флеш-пам'яті, пам'яті ПЗП, регістрах, на жорсткому диску, CD-ROM (ПЗУ на компакт диску) або на будь-якому іншому різновиді запам'ятовуючого носія, який є відомим в даній галузі техніки. Приблизний запам'ятовуючий носій приєднаний до процесора, такий процесор може зчитувати інформацію з і записувати інформацію на запам'ятовуючий носій.

2.2 Оцінка ефективності запропонованого алгоритму

Оцінка ефективності використання запропонованого алгоритму виявлення передавача бездротової системи зв'язку з LTE проводилось за допомогою стандартних та розроблених програм у середовищі Matlab.

Структура імітаційної моделі системи Long-Term Evolution, а саме - спільно використовуваного каналу по низхідній лінії зв'язку за допомогою частотного\часового мультиплексування представлена на рисунку 2.7

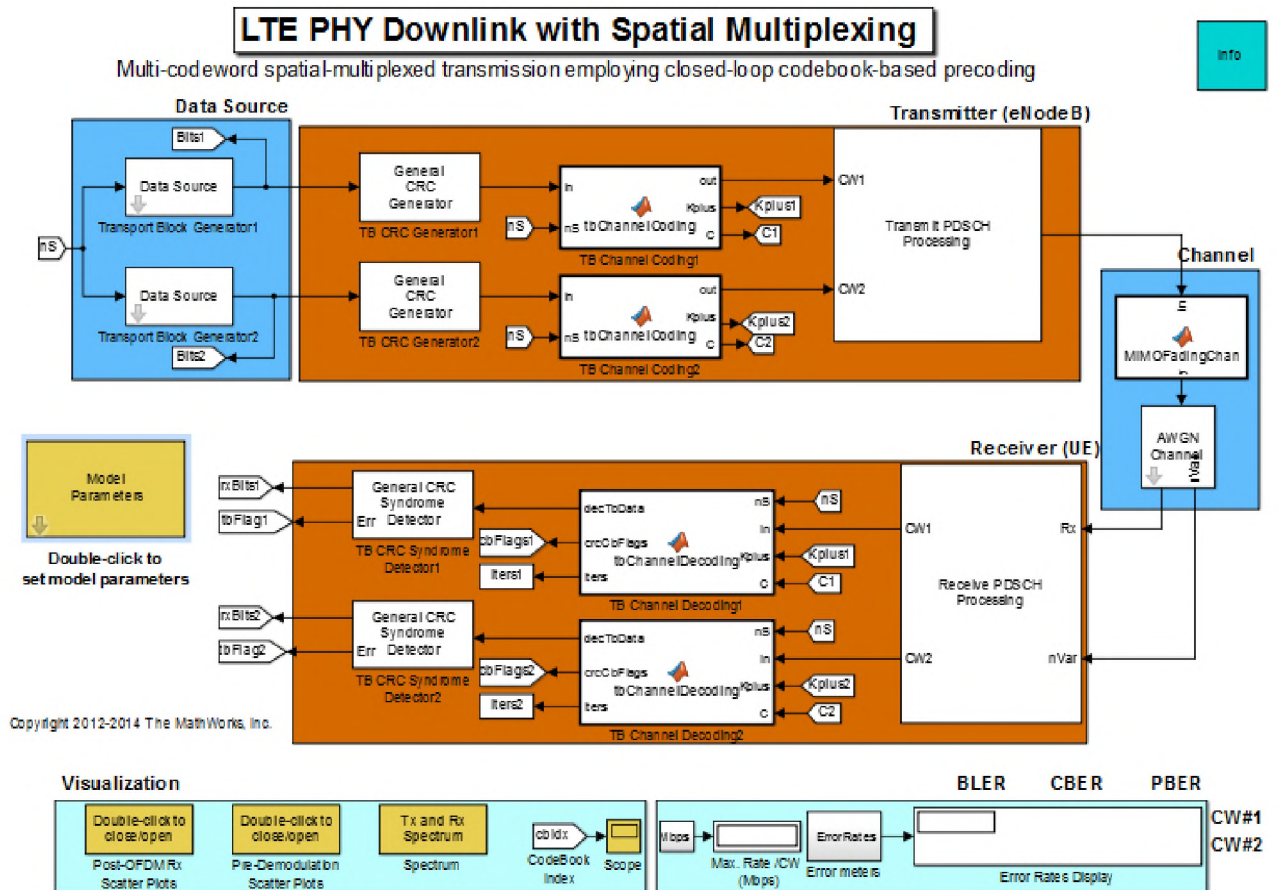


Рисунок 2.7 – Структура імітаційної моделі системи LTE

Модель складається з таких блоків:

$nS=C1=C2=Kplus1*=Kplus2*$ – блок From – отримує сигнали із блоку Goto зі спеціальною міткою. Якщо мітка визначається як контекстна, у блоці Goto, тоді мітка видимості у блоці Goto повинна бути використана для визначення видимості мітки. Після «відновлення схеми» значок блоку відображає обране ім'я мітки. Локальні мітки укладені у квадратні дужки [], контекстні мітки і назви укладені в фігурні дужки {}.

Data Source – джерело даних. Цей блок генерує випадкові біти за один напівкадр з варіаціями довжини на виході.

Bits1 = Bits2= Kplus1= Kplus2 – блок Goto

Goto блок відсилає сигнал в блоки , які мають вказану мітку. Якщо видимість мітки контекстна, то блок Goto повинен бути використаний для визначення видимості мітки. Значок блоку відображає виділене ім'я мітки. Локальні мітки укладені у квадратні дужки [], контекстні мітки і назви укладені в фігурні дужки {}.

General CRC Generator1 = General CRC Generator2 -даний блок генерує CRC біти згідно програмно породжуючого поліному і додає їх в рамки вхідних даних. Задає породжуючий поліном як двійковий вектор або низхідний певний многочлен для вказівки точок комутації. Цей блок приймає двійковий вхідний сигнал вектор – стовпчик.

TB Channel Coding1= TB Channel Coding2 використовує турбо кодування в якості кодеру каналу.

Transmit RDSCH Processing_складається з іншої схеми, яка виконує функцію фізичного каналу. Фізичний канал це набір частотно-часових ресурсів, що використовуються для передачі конкретного транспортного каналу. Кожен транспортний канал відображається у відповідному фізичному каналі. Фізичний спільно використовуваний канал спадної лінії зв'язку (PDSCH) є основною фізичного каналу який використовується для одноадресної передачі даних. Цей приклад використовує просторове мультиплексування кодової книги на основі передачі, і, як результат, обробка спадного фізичного каналу включає в себе:

Scrambling Транспортний канал кодує біти скремблювання послідовністю бітового рівня скремблювання. Послідовність скремблювання залежить від ідентичності фізичного рівня клітин, щоб забезпечити рандомізацію клітин між сотами. Для одного користувача передачі однієї низхідної лінії, схема припускає ідентифікатор соти, але відрізняє послідовність за переданою кодовою комбінацією.

Data Modulation Модуляції даних низхідних ліній зв'язку перетворюють скремльовані біти в складні модульовані символи. Набір схем модуляції QPSK

підтримується 16QAM і 64QAM, відповідно двох, чотирьох, шести біт на символ модуляції відповідно. Схема модуляції обрана параметром типу модуляції PDSCH на моделі Parametersblock.

Layer Mapping. Комплексно-модульовані символи з обох кодових слів перетворюються в шари (антенних портів). Так передбачається повна передача, кількість шарів дорівнює числу передавальних антен (останній визначається з конфігурації антени параметра на параметри моделі блоку).

Codebook-based Precoding Модульовані символи в шарі заздалегідь закодовані з використанням кодових книг. Для двох антен (шарів), використовується ДПФ на основі кодової книги, що дозволяє протягом тільки двох записів, в той час в матриці Хаусхолдера для чотирьох антен (шарів) використовуються 16 записів.

Resource Element Mapping

Попередньо кодовані символи відображаються для передачі по кожній антені в елементи блоків ресурсів, доступних для передачі. Кількість доступних блоків ресурсів є функцією смуги пропускання каналу параметра на параметри моделі блоку, відповідно до наведеної нижче таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Функції смуги пропускання каналу параметра на параметри моделі блоку

Channel bandwidth BW_{Channel} [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration N_{RB}	6	15	25	50	75	100

Для обраної конфігурації, кожен блок ресурсів відповідає 12 поднесучим, які при 15 кГц інтервалу піднесучої становлять 180 кГц спектру. Отже, при 20 МГц смуги пропускання каналу, 100 доступних блоків ресурсів займають 18 МГц смуг пропускання каналу.

Фактична кількість символів даних відображається на ресурсних елементах в підкадрі, від яких залежать:

- контроль сигналізації області (КУПД);

елементи ресурсів, зайняті первинним (ПСС) і вторинним (ССС) сигналами синхронізації;

- елементи ресурсів займають передачі ширококомовного каналу (РВСН).

Оскільки деякі з цих сигналів не передаються кожним підкадром, розмір корисного навантаження даних змінюється протягом підкадру в кадрі радіозв'язку.

Cell-Specific Reference Signals є самим основним з опорних сигналів LTE, соти посилення сигналу (КСВ) задаються для одного, двох або чотирьох антен в клітинці і використовуються для оцінки каналу в приймачі.

Цей приклад моделі структури сигналів КСВ, в ресурсному блоці, використовується для двох і чотирьох антен, як показано нижче на рисунку 2.8

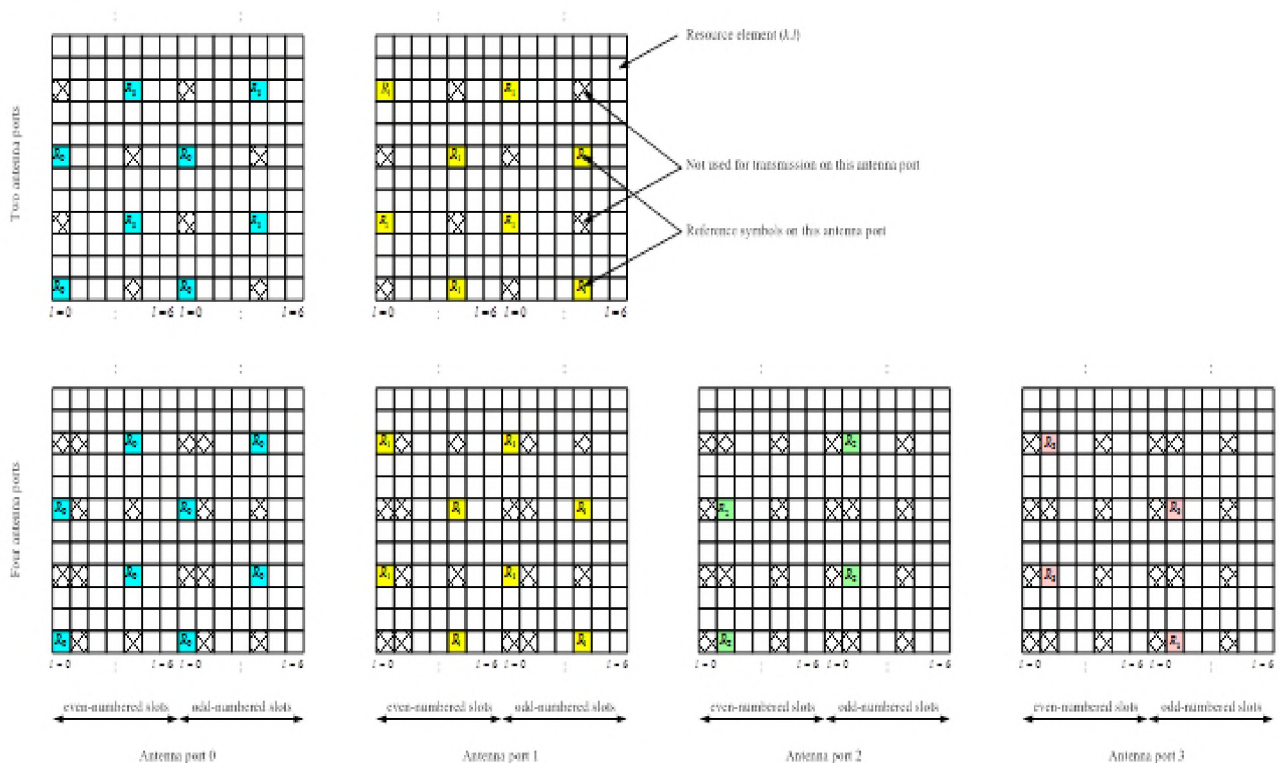


Рисунок 2.8 – Приклад моделі структури сигналів КСВ

Зауважимо, що для елемента, що несе ресурси опорного сигналу для антени, відповідні елементи ресурсів в інших антен мають нульові передачі. Це дозволяє передавати сигнали КСВ без перешкод від інших передач антен.

Щільність опорного символу опорних сигналів для третьої і четвертої антен нижче, в порівнянні з щільністю в першій і другій антен. Це має ефект

зниження накладних витрат для більшої кількості антен, а також обмежує можливості відслідковувати швидкі зміни каналу.

OFDM Transmission_Комплексна тимчасова область OFDM-сигналу генерується на антену з повністю заповненою сіткою ресурсів, використовуючи блок OFDM модулятора. Кількість точок залежить від пропускної здатності каналу.

General CRC Syndrome Detector1= General CRC Syndrome Detector2

Виявлення помилок в кадрах вхідних даних згідно параметру полінома генератора. Вказує поліном у вигляді двійкового вектору.

Цей блок приймає векторний вхідний сигнал двійкового стовпця

TB Channel Decoding1= TB Channel Decoding2 Даний блок декодує отримані блоки даних.

Receive PDSCH Processing Основні елементи обробки приймача змодельовані в даній схемі включають:

OFDM receiver скасування нерівної довжини циклічного префіксу на символ OFDM в слот і перетворює назад в структурі часу і в частотній області сітки, за допомогою блоку OFDM демодулятор.

MIMO receiver_включає в себе:

Channel Estimation Цей метод виконує оцінку за методом найменших квадратів за допомогою усереднення по субкадру для зниження рівня шуму для опорних сигналів.

MIMO receiver – запобігає створенню шумів.

Soft-decision demodulation – блок використовується для полегшення декодування.

Two-stage early termination channel decoding – декодує отриманні блоки даних.

Model parametrs – визначає параметри моделі для симуляції. За допомогою даного блоку, можна змінювати модель перебираючи деякі параметри, а саме тип модуляції, кількість антен і модель каналу. Цей блок зображено на рисунку 2.9.

На рисунку 2.10 наведено графіки спектру переданого і отриманого сигналу із використанням удосконаленого та існуючого алгоритму.

Обидва графіки спектру (рисунок 2.10) підкреслюють вибіркковість за частотою із завмиранням в часі. Встановлено, що при використанні удосконаленого алгоритму спектр сигналу більш компактний (вузький). Більш вузький спектр сигналів дозволяє на одній і тій же лінії (з однієї і тієї ж смугою пропускання) домагатися більш високої швидкості передачі даних.

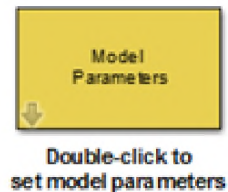
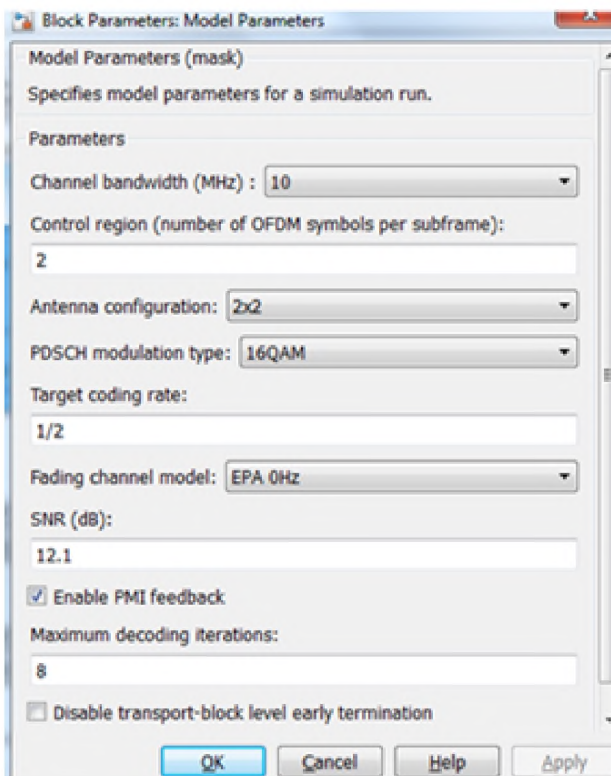


Рисунок 2.9 – Блок Model parameters

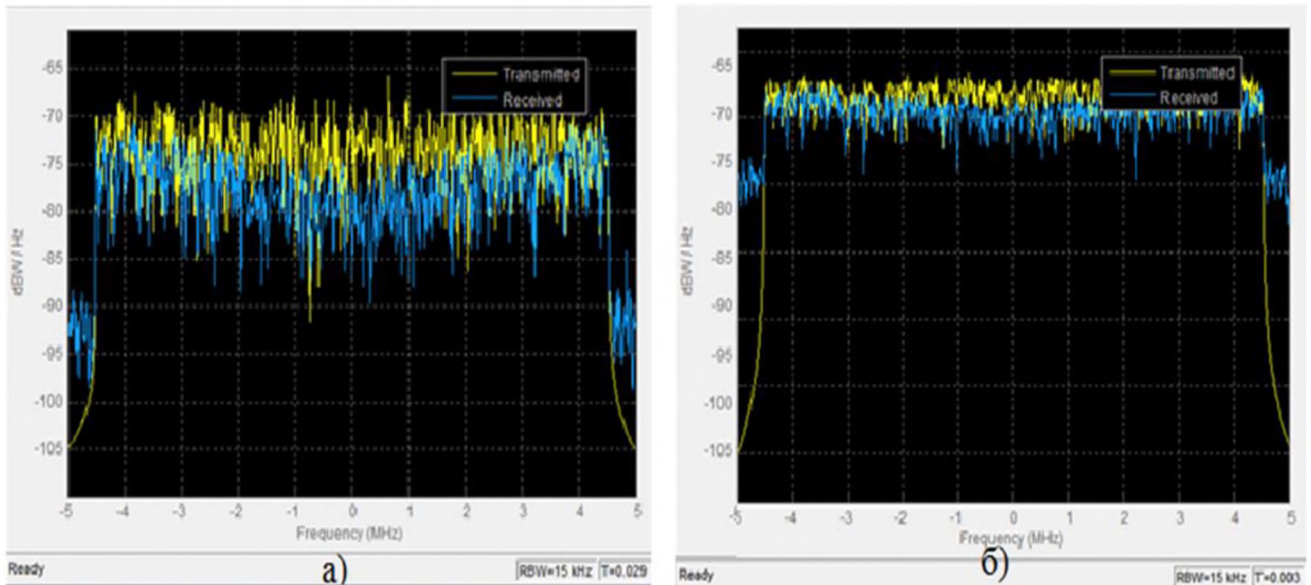


Рисунок 2.10 – Спектр переданого і отриманого сигналу із використанням існуючого (а) та удосконаленого (б) алгоритму

Взагалі, щоб зробити спектр більш компактним, необхідно забезпечити гладкість сигналу (тобто його безперервність і, можливо, деякої кількості його похідних), а це, в свою чергу, означає гладкість моделюючої функції.

Встановлено, що використання удосконаленого алгоритму призводить до більш вузького спектру сигналу, а це – до більш високої пропускну здатності лінії передачі.

На рисунку 2.11 наведено графік залежності ймовірності бітової пакетної похибки (BER – Bit Error Rate) від відношення сигнал/шум (SNR – Signal to Noise Ratio) систем зв'язку з LTE з використанням удосконаленого та існуючого алгоритму. Встановлено, що використання удосконаленого алгоритму підвищує завадостійкість каналу зв'язку, знижує BER на 5%.

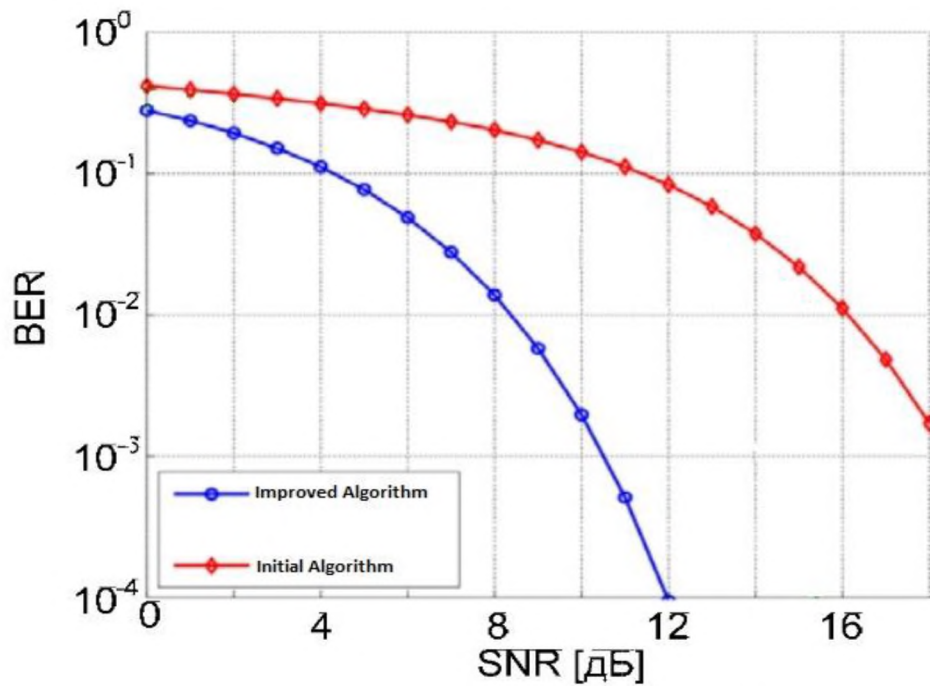


Рисунок 2.11 – Залежність BER від SNR для систем з використанням існуючого та удосконаленого алгоритму

2.3 Висновки

- Розкрито алгоритм для використання в системі бездротового зв'язку. Алгоритм включає в себе надання щонайменше одного першого інформаційного біта, який є налагодженим для вказівки, що система зв'язку працює відповідно до одного з режиму дуплекса з часовим розділенням (TDD) і режиму дуплекса з частотним розділенням (FDD). Крім того, спосіб включає в себе надання щонайменше одного першого інформаційного біта в преамбулі кадру передачі.

- За допомогою імітаційної моделі, у програмі MatLab, було отримано спектр сигналу удосконаленого алгоритму виявлення частотного/часового мультиплексування. Встановлено, що при використанні удосконаленого алгоритму спектр сигналу більш компактний (вузький), що призводить до більш високої пропускної здатності лінії передачі .

- Отримано залежність ймовірності бітової пакетної похибки (BER - Bit Error Rate) від відношення сигнал/шум (SNR – Signal to Noise Ratio) систем зв'язку з LTE з використанням удосконаленого та існуючого алгоритму.

Встановлено, що використання удосконаленого алгоритму підвищує завадостійкість каналу зв'язку, знижує BER на 5%.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вступ

Для забезпечення максимальної економічної ефективності передачі даних за допомогою системи LTE був розроблений алгоритм виявлення передатчика частотним або часовим мультиплексуванням. У економічному розділі розраховуються одноразові капітальні витрати на програмування алгоритму.

3.2 Визначення трудомісткості розробки продукту

Трудомісткість розробки і опрацювання алгоритму була розрахована на основі системи моделей з певною точністю оцінки. [15]

Трудомісткість програмування алгоритму визначається тривалістю кожної робочої операції, починаючи з складання технічного завдання і закінчуючи оформленням документації (за умови роботи одного програміста):

$$t = t_{m3} + t_B + t_a + t_{np} + t_{opr} + t_d \text{ годин,} \quad (3.1)$$

де:

t_{m3} = 24год. – тривалість складання технічного завдання на розробку алгоритму;

t_B = 1.36год. – тривалість вивчення технічного завдання (ТЗ) та літературних джерел за темою;

t_a = 3.6 год. – тривалість розробки блок-схеми алгоритму;

t_{np} = 3.3 год. – тривалість програмування за готовою блок-схемою;

t_{opr} = 26 год. – тривалість опрацювання програми на ПК;

t_d = 8.02 год. – тривалість підготовки технічної документації для алгоритму

Розрахуємо трудомісткість за формулою (3.1)

$$t = 24 + 1.36 + 3.6 + 3.3 + 27.04 + 8.02 = 67.32 \text{ год.}$$

Складові трудомісткості визначимо на підставі умовної кількості операторів у програмному продукті Q (з урахуванням можливих уточнень у процесі роботи над алгоритмом і програмою).

Умовна кількість операторів у програмі:

$$Q = q \cdot c (1 + p), \text{ штук}, \quad (3.2)$$

де:

$q = 40$ – очікувана кількість операторів;

$c = 2$ – коефіцієнт складності програми;

$p = 0.1$ – коефіцієнт корекції програми в процесі її опрацювання

Опираючись на данні, можна визначити умовну кількість операторів в програмі

$$Q = q \cdot c (1 + p) = 40 \cdot 2 (1 + 0.1) = 88 \text{ штук}$$

Тривалість вивчення технічного завдання, опрацювання довідкової літератури з урахуванням уточнення ТЗ і кваліфікації програміста оцінимо за формулою:

$$t_6 = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ годин}, \quad (3.3)$$

де:

$B = 1.3$ – коефіцієнт збільшення тривалості етапу внаслідок недостатнього опису завдання

$k = 1.11$ – коефіцієнт, що враховує кваліфікацію програміста і визначається стажем роботи за фахом (у даному випадку стаж 4 роки).

Розрахуємо тривалість вивчення технічного завдання за формулою (3.3)

$$t_6 = \frac{88 \cdot 1.3}{76 \cdot 1.11} = 1.36, \text{ годин.}$$

Тривалість розробки блок-схеми алгоритму

$$t_7 = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ годин.} \quad (3.4)$$

Розрахуємо тривалість розробки блок-схеми алгоритму за формулою (3.4)

$$t_a = \frac{88}{22 \cdot 1.11} = 3.6, \text{ годин.}$$

Тривалість складання програми за готовою блок-схемою:

$$t_{\text{сп}} = \frac{Q}{10 \cdot k} = \frac{88}{10 \cdot 4.5} = 1.96, \text{ годин.} \quad (3.5)$$

Розрахуємо тривалість складання програми за готовою блок-схемою за формулою (3.5)

$$t_{\text{сп}} = \frac{88}{24 \cdot 1.11} = 3.3, \text{ годин.}$$

Тривалість опрацювання програми на ПК:

$$t_{\text{оп}} = \frac{1.5 \cdot Q}{4.4 \cdot k} = \frac{1.5 \cdot 88}{4.4 \cdot 1.11} = 27.04, \text{ годин.} \quad (3.6)$$

Розрахуємо тривалість опрацювання програми на ПК за формулою (3.6)

$$t_{\text{оп}} = \frac{1.5 \cdot 88}{4.4 \cdot 1.11} = 27.04, \text{ годин.}$$

Тривалість підготовки технічної документації на ПЗ:

$$t_{\text{д}} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k} + \frac{Q}{(15 \dots 20)} \cdot 0.75 \quad (3.7)$$

Розрахуємо тривалість підготовки технічної документації на ПЗ за формулою (3.7)

$$t_{\text{д}} = \frac{88}{18 \cdot 1.11} + \frac{88}{18} \cdot 0.75 = 8.07, \text{ годин}$$

3.3 Розрахунок витрат на створення програмного продукту

Витрати на створення програмного продукту Кпз складаються з витрат на заробітну плату працівника Ззп і витрат машинного часу, що необхідний для опрацювання програми на ПК Змч:

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мч} . \quad (3.8)$$

$$K_{пз} = 4039.2 + 439.5 = 4478.5, \text{ грн.}$$

Заробітна плата виконавця враховує основну і додаткову заробітну плату, а також відрахування на соціальні потреби та визначається за формулою:

$$Z_{зп} = t \cdot Z_{пр} , \text{ грн.}, \quad (3.9)$$

де:

$t = 67.32$ год. – загальна тривалість програмування алгоритму, годин

$Z_{пр} = 67$ грн\год – середньогодинна заробітна плата програміста з урахуванням відрахувань на соціальні заходи, грн/год

Розрахуємо заробітну плату виконавця за формулою (3.9):

$$Z_{зп} = 67.32 \cdot 67 = 4510.44, \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу для налагодження програми на ПК визначається за формулою:

$$Z_{мч} = t_{опр} \cdot C_{мч} , \text{ грн} \quad (3.10)$$

Розрахуємо вартість машинного часу за формулою (3.10)

$$Z_{мч} = 27.04 \cdot 16.6 = 448.864, \text{ грн.}$$

$C_{мч}$ – вартість 1 години машинного часу ПК, грн./година.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{мч} = P * t * C_e + \frac{\Phi_{зал} * H_a}{F_p} + \frac{K_{лпз} * H_{анз}}{F_p}, \text{ грн/год,} \quad (3.11)$$

Енерговитрати визначаються за формулою (3.11):

$$C_{мч} = 99.02 \text{ грн./год.},$$

де:

$P = 0.4$ кВт – встановлена потужність ПК;

$C_e = 1.652$ грн/кВт*год. – тариф на електричну енергію;

$\Phi_{зал} = 5000$ грн. – первісна вартість ПК на початок року;

$H_a = 0.5$ частки одиниці, - річна норма амортизації на ПК;

$H_{анз} = 0.5$ частки одиниці – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення;

$K_{лпз} = 6739$ грн. – вартість ліцензійного програмного забезпечення;

$F_p = 1920$ год. – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня $F_p = 1920$ год).

Річна норма амортизації визначається за формулою

$$H_a = \frac{1}{T} * 100\% \quad (3.12)$$

Де T - строк корисного використання ПК згідно з таблицею 3.1, яка розміщена у додатку В, дорівнює 2 роки

Розрахуємо річну норму амортизації за формулою (3.12)

$$H_a = (1/2) * 100\% = 50\% = 0,5 \text{ частки одиниці}$$

Річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення визначається за формулою (3.12)

Строк корисного використання ліцензійного програмування, згідно таблиці 1, дорівнює 2 роки.

Ліцензійне програмне забезпечення, яке використовується в даному випадку Microsoft Windows 7 Professional. Його вартість 6739 грн.

3.4 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати на удосконалення алгоритму виявлення передавача бездротової системи зв'язку стандарту LTE шляхом додавання першого інформаційного біту в преамбулу кадру, який вказує у якому дуплексному режимі працює мережа, складаються:

$$K = K_{пз} + K_{зпз} + K_{аз} + K_{навч} \quad (3.13)$$

У таблиці 3.1 наведено основні затрати на програмний продукт.

Таблиця 3.1 – Основні затрати на програмний продукт

Пояснення	Умовне скорочення	Вартість, грн.
Витрати на створення програмного продукту	Кпз	4478.5
Вартість закупівлі ліцензійного програмного забезпечення (ПЗ)	Кзпз	6739
Вартість закупівлі апаратного забезпечення та допоміжних матеріалів	Каз	8000
Витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу	Кнавч	4500

Отже, капітальні витрати становлять

$$K=4478.5+6739+8000+4500=23714.5 \text{ грн.}$$

3.5 Висновок

Розрахувавши економічну частину, можна зазначити що позитивним фактором з економічної точки зору є відсутність експлуатаційних витрат. Витрати на створення програмного продукту складають 4478.5 гривень. Трудомісткість створення програмного забезпечення – 67.32 години.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було проаналізовані існуючі алгоритми виявлення передавача бездротової системи зв'язку LTE з частотним/часовим мультиплексуванням.

Було запропоновано удосконалений алгоритм. Тобто перший інформаційний біт наданий у преамбулі кадру передачі, де біт налаштований для вказівки, що система бездротового зв'язку є працюючої згідно з режимом дуплекса з часовим поділом (TDD) або режиму дуплексу з частотним поділ (FDD).

За допомогою імітаційної моделі, у програмі MatLab, було отримано спектр сигналу удосконаленого алгоритму виявлення частотного/часового мультиплексування. Встановлено, що при використанні удосконаленого алгоритму спектр сигналу більш компактний (вузький), що призводить до більш високої пропускної здатності лінії передачі .

Отримано залежність ймовірності бітової пакетної похибки (BER - Bit Error Rate) від відношення сигнал/шум (SNR - Signal to Noise Ratio) систем зв'язку з LTE з використанням удосконаленого та існуючого алгоритму. Встановлено, що використання удосконаленого алгоритму підвищує завадостійкість каналу зв'язку, знижує BER на 5%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Введення в LTE. Спосіб доступу: <http://x-uni.com/referat/191199> - Загол. з екрану.
2. Технологія бездротового зв'язку LTE Семенов Евгений Сергеевич, Тюхтяев Дмитрий Александрович, Арепьева Елена Евгеньевна ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет»
3. У 2015 році LTE-смартфони будуть коштувати від 80\$ Спосіб доступу: <http://www.3dnews.ru/812991/> - Загол. з екрану
4. LTE-Advanced офіційно стала бездротовим стандартом 4G Спосіб доступу: <http://www.broadband.org.ua/tekhnologii-bystrogo-interneta/1895-lte-advanced-ofitsialno-stala-besprovodnym-standartom-4g> - Загол. з екрану
5. Технологія LTE мобільної передачі даних: учбов. посібник / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.
6. LTE - Long Term Evolution. Спосіб доступу: <http://celnet.ru/4G.php> - Загол. з екрану
7. Стаття По матеріалам NTT DOCOMO Technical Journal Vol. 11 No. 3 Підготували системні аналітики: Петр Хенкин, Ольга Трофимова ЗАО «Перспективный Мониторинг»
8. Латышев К.В. «Обзор системы LTE» - Изд-во «Вымпелком», 2012.
9. Стільникові системи мобільного радіозв'язку, книга посібник \ В.Ю. Бабков, И.А. Цикін – 2-ге видання. ПХВ Петербург 3013
10. Стаття журнал «електроніка (НТБ)» Випуск #1/2009 В.Вишневицкий, А.Красилов, И.Шахнович. Технология сотовой связи LTE – почти 4G
11. Зв'язок без перешкод. Спосіб доступу: <http://www.kitgsm.com.ua/stati/rezhimi-peredachi-dannix-fdd-lte-ta-tdd-lte.html> - Загол. з екрану

12. Інформатика та комп'ютерні технології/Збірка праць VII міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. – Донецьк, ДонНТУ – 2011, Том 1, с. 396-400.

13. Гельгор А.Л., Е.А. Попов «Технология LTE мобильной передачи данных». Учебное пособие. – Санкт-Петербург

14. Патент RU(11) 2 460 245(13) С2

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	2	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	4	
5	A4	1 Розділ	35	
6	A4	2 Розділ	20	
7	A4	3 Розділ	7	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	2	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	
14	A4	Додаток Д	4	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Титульна сторінка.doc
 - 2 Завдання.doc
 - 3 Реферат.doc
 - 4 Список умовних скорочень.doc
 - 5 Зміст.doc
 - 6 Вступ.doc
 - 7 Розділ 1.doc
 - 8 Розділ 2.doc
 - 9 Розділ 3.doc
 - 10 Висновки.doc
 - 11 Перелік посилань.doc
 - 12 Додаток А.doc
 - 13 Додаток Б.doc
 - 14 Додаток В.doc
 - 15 Додаток Г.doc
 - 16 Додаток Д.doc
- Презентація.pptx

ДОДАТОК В. Відгуки керівників розділів

Відгук керівника економічного розділу:

Керівник розділу

(підпис)

(ініціали, прізвище)

ДОДАТОК Г. ВІДГУК

на дипломну роботу бакалавра на тему:

Вдосконалення алгоритму виявлення передавача бездротової системи зв'язку
4G LTE

студента групи 172-17зск-1

Грибачова Олега Анатолійовича

Пояснювальна записка складається з титульного аркуша, завдання, реферату, списку умовних скорочень, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків, розташованих на __ сторінках та містить __ рисунків, __ таблиць, __ джерел та __ додатка.

Об'єкт досліджень – бездротова система зв'язку стандарту LTE.

Мета дипломної роботи – підвищення пропускну здатності бездротової системи зв'язку з часовим (TDD) / частотним розподілом (FDD) шляхом вдосконалення алгоритму виявлення передавача.

У розділі «Стан питання. Постановка задачі» було детально розглянуто систему бездротового зв'язку LTE та описано режими роботи системи FDD і TDD.

У спеціальній частині описано удосконалений алгоритм виявлення передавача бездротової системи зв'язку стандарту LTE шляхом додавання першого інформаційного біту в преамбулу кадру, який вказує у якому дуплексному режимі працює мережа. А також оцінено ефективність використання запропонованого алгоритму.

Зміст та структура дипломної роботи дозволяють розкрити поставлену тему повністю.

Студент показав достатній рівень володіння теоретичними положеннями з обраної теми, показав здатність формувати власну точку зору (теоретичну позицію).

Робота оформлена та написана грамотною мовою. Містить необхідний ілюстрований матеріал. Автор добре знає проблему, уміє формулювати наукові та практичні завдання і знаходить адекватні засоби для їх вирішення.

В цілому дипломна робота задовольняє усім вимогам і може бути допущена до захисту, а його автор заслуговує на оцінку «_____».

Керівник

ДОДАТОК Д. Програма пропонованого алгоритму

```

NFrames = 1;   % Кількість кадрів
SNRIn = 14.3;  % SNR діапазон
rng('default'); % генератор випадкових чисел
>> % конфігурація eNodeB
enb = struct;          % Створення структури конфігурації eNodeB
enb.TotSubframes = 1; % підкадри для генерації
enb.RC = 'R.11';      % кількість RMC
ncw = 2;              % кількість PDSCH кодових слів
% PDSCH configuration
enb.PDSCH.TxScheme = 'SpatialMux'; % Схема передачі
enb.PDSCH.RNTI = 1;    % 16-bit висхідний канал
enb.PDSCH.Rho = -3;   % PDSCH коефіцієнт потужності
enb.PDSCH.CSI = 'On'; % CSI масштабування легких бітів
enb.PDSCH.PMIMode = 'Wideband'; % Режим широкопasmового PMI
enb.PDSCH.CodebookSubset = '110000'; % обмеження підкадру
>> pmiDelay = 8;
>> cfg.Seed = 10;      % Випадковий канал
cfg.NRxAnts = 2;      % 2 приймальні антени
cfg.DelayProfile = 'ETU'; % затримка
cfg.DopplerFreq = 70; % частота
cfg.MIMOCorrelation = 'Low'; % Кореляція з безліччю антен
cfg.NTerms = 16;      % Осцилятори, використані в моделі
cfg.NormalizeTxAnts = 'On'; % Нормалізація передачі антен
cfg.ModelType = 'GMEDS'; % Затухання
cfg.InitPhase = 'Random'; % випадкові початкові фази
cfg.NormalizePathGains = 'On'; % Нормалізація затримки потужності
>> % Channel estimator behavior
perfectChanEstimator = false;

```

```

>> % Configure channel estimator
cec.PilotAverage = 'UserDefined';
cec.FreqWindow = 1; % розмір частотного вікна
cec.TimeWindow = 31; % Розмір часового вікна
cec.InterpType = 'Cubic'; % 2D тип інтерполяції
cec.InterpWindow = 'Centered';
cec.InterpWinSize = 1; % розмір інтерполяції
>> % Створення структури R.11
rmc = lteRMCDL(enb, ncw);
rvSequence = rmc.PDSCH.RVSeq;
trBlkSizes = rmc.PDSCH.TrBlkSizes;
>> harqTable = hHARQTable();
>> ofdmInfo = lteOFDMInfo(rmc);
cfg.SamplingRate = ofdmInfo.SamplingRate;
>> % Кількість передаючих антен
Dims = lteDLResourceGridSize(rmc);
P = Dims(3);
% Ініціалізація змінних,які моделюванні дорівнюють = 1; % Ініціалізація
SNR .
offsets = 0; % Зміщення кадру
% Результати для кожної точки SNR і кожного кадру
nDataTBS = sum(trBlkSizes(:)~=0)*NFrames;
totalBLKCRC = zeros(numel(SNRIn), nDataTBS);
bitThroughput = zeros(numel(SNRIn), nDataTBS);
for SNRdB = SNRIn
% Нормалізація потужності шуму
N0 = 1/(sqrt(2.0*rmc.CellRefP*double(ofdmInfo.Nfft))*SNR)
%Створення білого шуму
noise = N0*complex(randn(size(rxWaveform)), ...
randn(size(rxWaveform)));

```

```

% Add AWGN to the received time domain waveform
rxWaveform = rxWaveform + noise;
%Після кожного кадру на нульовому падкадру, обчислює нову синхронізацію
% зсув
if (mod(subframeNo,10) == 0)
offset = lteDLFrameOffset(rmc, rxWaveform);
if (offset > 25)
offset = offsets(end);
end
offsets = [offsets offset]; %#ok
end
% Отримання сигналу
rxWaveform = rxWaveform(1+offset:end, :);
rxSubframe = lteOFDMDemodulate(rmc, rxWaveform);
% Оцінка роботи
rxEncodedBits = ltePDSCHDecode(rmc, rmc.PDSCH,...
rxSubframe*(10^(-rmc.PDSCH.Rho/20)), ...
estChannelGrid, noiseEst);
% Extract the current subframe transport block size(s)
TBSs = trBlkSizes(:, mod(subframeNo, 10)+1).';
    % Decode the DL-SCH
harqProcesses(harqIdx).decState] = lteDLSCHDecode( ...
rmc, rmc.PDSCH, TBSs, rxEncodedBits, ...
harqProcesses(harqIdx).decState);
% блок CRC і результати пропускну́ї здатності системи
if(any(TBSs ~= 0))
    blkCRC(dataSubframeIndex,:) = harqProcesses(harqIdx).blkerr;
    bitTput(dataSubframeIndex,:) = ...
        TBSs.*(1-harqProcesses(harqIdx).blkerr);
    dataSubframeIndex = dataSubframeIndex + 1;

```

