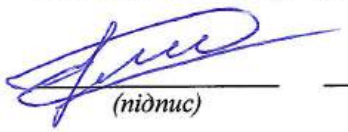
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи підвищення якості надання послуг для абонентів мереж 4G на основі моделі сервісної архітектури LTE»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Володимир НИНИК
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Володимир НИНИК

Керівник: Лариса ДАКОВА

Рецензент: О. Бородолшєва

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Нинику Володимиру Борисовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи підвищення якості надання послуг для абонентів мереж 4G на основі моделі сервісної архітектури LTE»,
керівник кваліфікаційної роботи Лариса ДАКОВА, к.т.н., доцент,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
    1. Підвищення пропускної здатності.
    2. Особливості та параметри технології LTE-MIMO.
    3. Основні функції мережі LTE.
    4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
    1. Аналіз методів забезпечення якості обслуговування в LTE мережах
    2. Підвищення пропускної здатності та якості обслуговування в мобільних мережах.
    3. Методи підвищення пропускної здатності та якості сприйняття послуг у системі LTE
5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Аналіз методів забезпечення якості обслуговування в LTE мережах	31.10.23	Викон.
3.	Підвищення пропускної здатності та якості обслуговування в мобільних мережах	15.11.23	Викон.
4.	Методи підвищення пропускної здатності та якості сприйняття послуг у системі LTE	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти Володимир НИНИК

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи Лариса ДАКОВА

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 73 стор., 24 рис., 11 табл., 29 дж.

Мета роботи – підвищення якості сприйняття послуг користувачами мережі LTE на основі адаптивного формування пропускної здатності каналу передавання, удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

Об'єкт дослідження – процес формування пропускної здатності радіоканалів у мережі LTE із забезпеченням якості сприйняття послуг користувачами.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми забезпечення якості сприйняття послуг у мережі LTE на основі моделі її сервісної архітектури.

Короткий зміст роботи: у роботі представленно аналіз основних завдань та методів забезпечення якості надання та сприйняття послуг у мережах зв'язку четвертого покоління на основі сервісної архітектури LTE.

Описані моделі підвищення пропускної здатності каналу LTE для покращення параметрів якості надання та сприйняття послуг на основі методів компенсації інтерференції, формування діаграми спрямованості антени базової станції, прогнозування індикатора якості каналу.

Проаналізовано методи розподілу ресурсів радіоканалу LTE між користувачами на основі показника справедливості розподілу та поділу користувачів на групи в залежності від значення сигнал/шум на вході приймача UE.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БАЗОВА МЕРЕЖА; РАДІОПОСЛУГИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ТРАФІК, МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ, СИГНАЛ/ШУМ, БЕЗРОВІДНИЙ ШИРОКОСМУГОВИЙ ДОСТУП

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 73 pages, 24 pictures, 11 table, 29 sources.

The purpose of the work - improving the quality of service perception by users of the LTE network based on the adaptive formation of the bandwidth of the transmission channel, improving the inter-level interaction of the LTE service architecture.

Object of research – the process of forming the bandwidth of radio channels in the LTE network with ensuring the quality of service perception by users.

Subject of research – models and algorithms for ensuring the quality of service perception in the LTE network based on the model of its service architecture.

Summary of the work: the work presents an analysis of the main tasks and methods of ensuring the quality of provision and reception of services in fourth-generation communication networks based on the LTE service architecture.

Models for increasing the bandwidth of the LTE channel are described for improving the parameters of the quality of service provision and reception based on interference compensation methods, the formation of the antenna directional diagram of the base station, and the forecasting of the channel quality indicator.

The methods of distributing LTE radio channel resources between users based on the indicator of fairness of distribution and dividing users into groups depending on the signal/noise value at the input of the UE receiver are analyzed.

KEYWORDS: BASIC NETWORK; RADIO DATA TRANSMISSION SERVICES, TRAFFIC, MULTIPLEXING, SIGNAL/NOISE, WIRELESS BROADBAND ACCESS

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Ниник В.Б. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи підвищення якості надання послуг для абонентів мереж 4G на основі моделі сервісної архітектури LTE

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Ниник Володимир Борисович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Никика Володимира Борисовича на оцінку «добре» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Лариса ДАКОВА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Ниник В.Б.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Нинка Володимира Борисовича
на тему: «Методи підвищення якості надання послуг для абонентів мереж 4G на основі моделі сервісної архітектури LTE»

Актуальність:

Четверте покоління (4G) безпровідних широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e, проект партнерства третього покоління (3GPP) і LTE, було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів. LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку.

До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с.

Забезпечення високих значень пропускної здатності у системі LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогонального частотного поділу OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна (сервісна) архітектура мережі (System Architecture Evolution).

Позитивні сторони:

1. Проведений аналіз по підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу.
2. Розглянута пропускна здатності з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на продуктивність мережі.

Недоліки:

1. В роботі не розглянуті конфігурації приймально-передавального тракту.
2. В роботі не представлено порівняння пропускної здатності каналу LTE з використанням модуляцій: QPSK, 64 QAM .

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре», а здобувач НИНИК Володимира Борисовича заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н. доц. каф. ТСН _____ (Бардоломеєва О.Г.)
(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ВСТУП 10
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В LTE МЕРЕЖАХ 12
1.1 Основні завдання із забезпечення QoS у безпровідних мережах широкосмугового доступу 12
1.2 Класифікація та характеристики якості обслуговування в LTE 15
1.3 Керування параметрами радіоінтерфейсу 17
1.4 Аналіз методів забезпечення параметрів QoS в сервісно-орієнтованій архітектурі LTE 20
1.5 Особливості надання послуг у мережах LTE 24
1.6 Зв'язок між поняттям QoS та QoE 28
1.7. Управління параметрами QoE та QoS 30
Висновки до першого розділу 33
2. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 34
2.1 Підвищення пропускної здатності з використанням CQI 34
2.2. Модель каналу за умови невисокої швидкості переміщення абонента (ITU Pedestrian) 35
2.3. Дослідження впливу підстроювання параметрів каналу LTE на відносну частоту бітової помилки 41
2.4. Дослідження впливу пропускної здатності мережі LTE на показники QoE та QoS 43
2.5. E-модель для оцінки якості сприйняття послуги 46
Висновки до другого розділу 46
3. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ У СИСТЕМІ LTE 48
3.1. Особливості та параметри технології LTE-MIMO 48
3.2. Алгоритми формування пропускної здатності LTE на фізичному рівні 49

3.3 Застосування засобів підвищення пропускної здатності та якості обслуговування на фізичному рівні LTE 54
3.4 Дослідження параметрів QoE та QoS у комірці LTE у процесі передавання мультимедійного трафіку 60
Висновки до третього розділу 67
ВИСНОВКИ 68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 70
ДЕМОНСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ 73

ВСТУП

Роботу присвячено підвищенню якості надання послуг в безпровідних телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE (Long Term Evolution). В роботі це досягається за рахунок адаптації пропускної здатності радіоканалу до умов завад, покращення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE та підвищення показника справедливості розподілу ресурсних блоків між абонентами мережі.

Актуальність теми. Четверте покоління (4G) безпровідних широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e, проект партнерства третього покоління (3GPP) і LTE, було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів.

LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с.

Методи оцінки та збільшення пропускної здатності сучасних безпровідних систем зв'язку з дотриманням високої якості обслуговування користувачів (малої ймовірності бітової помилки) в складних умовах багатопроменевого просторового каналу з глибокими завмираннями сигналів, вирішення полягає у використанні антенних систем як на приймальному, так і на передавальному кінцях каналу зв'язку (так звані MIMO (Multiple Input-Multiple Output) - системи) разом із технологією OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing). Крім пропускної здатності, важливою характеристикою системи є імовірність бітової помилки. Тому необхідно постійно підтримувати баланс між цими двома важливими для користувача характеристиками. Цього можна досягти за рахунок методів та моделей розподілу ресурсів в комірці LTE.

Забезпечення високих значень пропускної здатності у системі LTE базується

на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогонального частотного поділу OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна (сервісна) архітектура мережі (System Architecture Evolution).

Отже, підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу ресурсів та міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE є актуальною.

Мета роботи – підвищення якості сприйняття послуг користувачами мережі LTE на основі адаптивного формування пропускної здатності каналу передавання, удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

Об'єкт дослідження – процес формування пропускної здатності радіоканалів у мережі LTE із забезпеченням якості сприйняття послуг користувачами.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми забезпечення якості сприйняття послуг у мережі LTE на основі моделі її сервісної архітектури.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В LTE МЕРЕЖАХ

1.1 Основні завдання із забезпечення QoS у безпровідних мережах широкосмугового доступу

Четверте покоління (4G) безпровідних мереж широкосмугового доступу, розроблене на основі вимог QoS для надання різного роду веб-послуг.

Основні вимоги до систем безпровідного широкосмугового доступу (БШСД) такі [2]:

- до фізичного рівня (PHY) - методів множинного доступу, адаптації, організації дуплексу, модуляції і т.д.;

- до MAC-рівня (управління доступом до середовища) - до сервісів між MAC-рівнем і підрівнем конвергенції, форматів фрейму, сервісів та механізмів полінгу (варіант опитування готовності пристроїв), що забезпечує підтримку якості обслуговування (QoS);

- до підрівня конвергенції (CS), призначеного для організації взаємодії між MAC-рівнем та більш високими рівнями мережі;

- до рівня безпеки – для управління алгоритмами шифрування на ділянці між базовою та мобільною станціями.

MAC-рівень IEEE 802.16 включає три підрівні зображені на рис. 1.1:

- Підрівень перетворення потоків послуг (CS - Convergence Sublayer);

- Основний підрівень (CPS - Common Part Sublayer);

- Підрівень безпеки (PS - Privacy Sublayer).

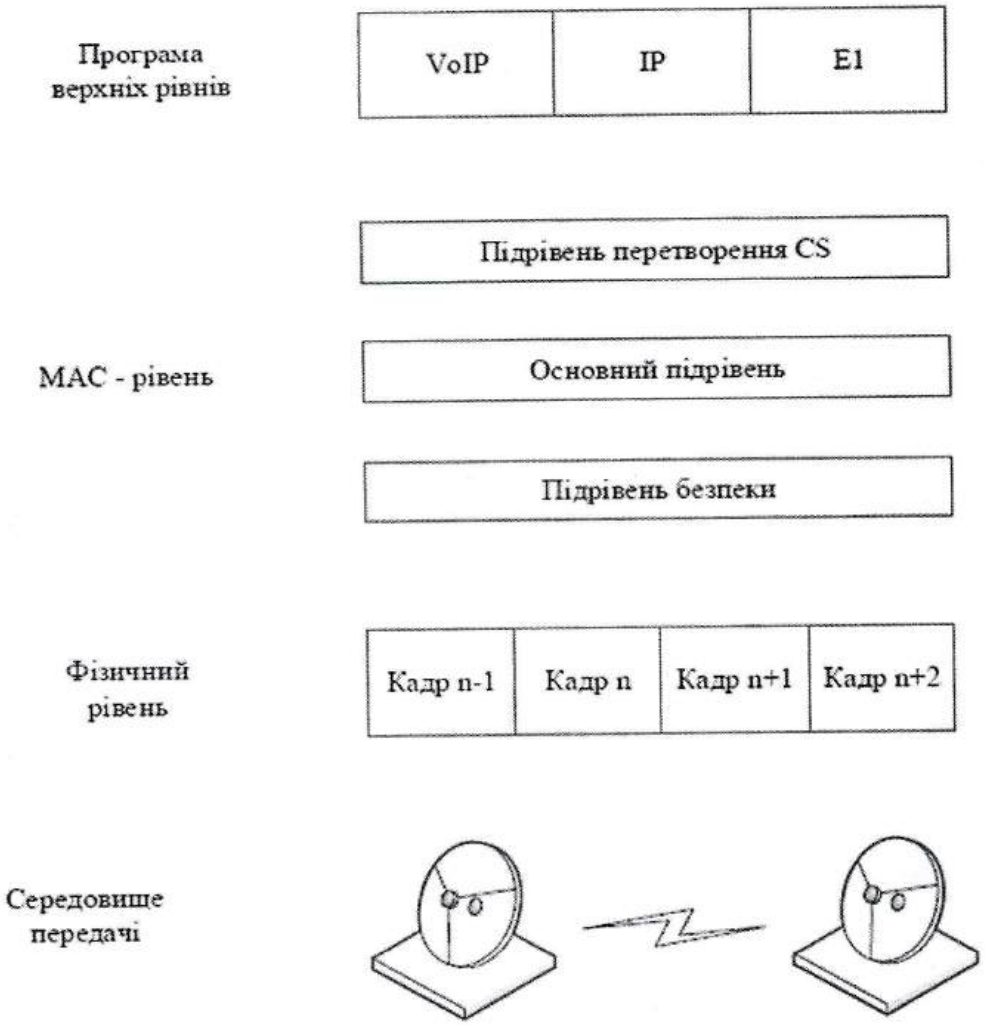


Рисунок 1.1 Структура MAC-рівня стандарту IEEE 802.16e

На рис. 1.2 представлено стек протоколів LTE-EPC [2], який використовується для наскрізного з'єднання. Основним спрощенням запропонованого підходу є об'єднання SGW/PGW, яке усуває необхідність у використанні інтерфейсів S5 та S8. Проте, всі специфіковані протоколи збережено.

Фізичний рівень відповідає за передавання інформації MAC рівня через радіоінтерфейс. Він реалізує функції адаптації (AMC), управління потужністю, пошуку комірок та вимірювання параметрів сигналу для задач рівня управління радіоканалом.

Рівень доступу до середовища здійснює відображення логічних каналів у

транспортні, мультиплексування блоків даних від одного або декількох логічних каналів у транспортні блоки для доставки їх засобами фізичного рівня, демультиплексування блоків даних, інформування про процес оброблення блоків даних, виправлення помилок засобами HARQ, призначення пріоритетів МС для динамічного керування ресурсами, призначення пріоритетів логічним каналам у межах однієї МС.

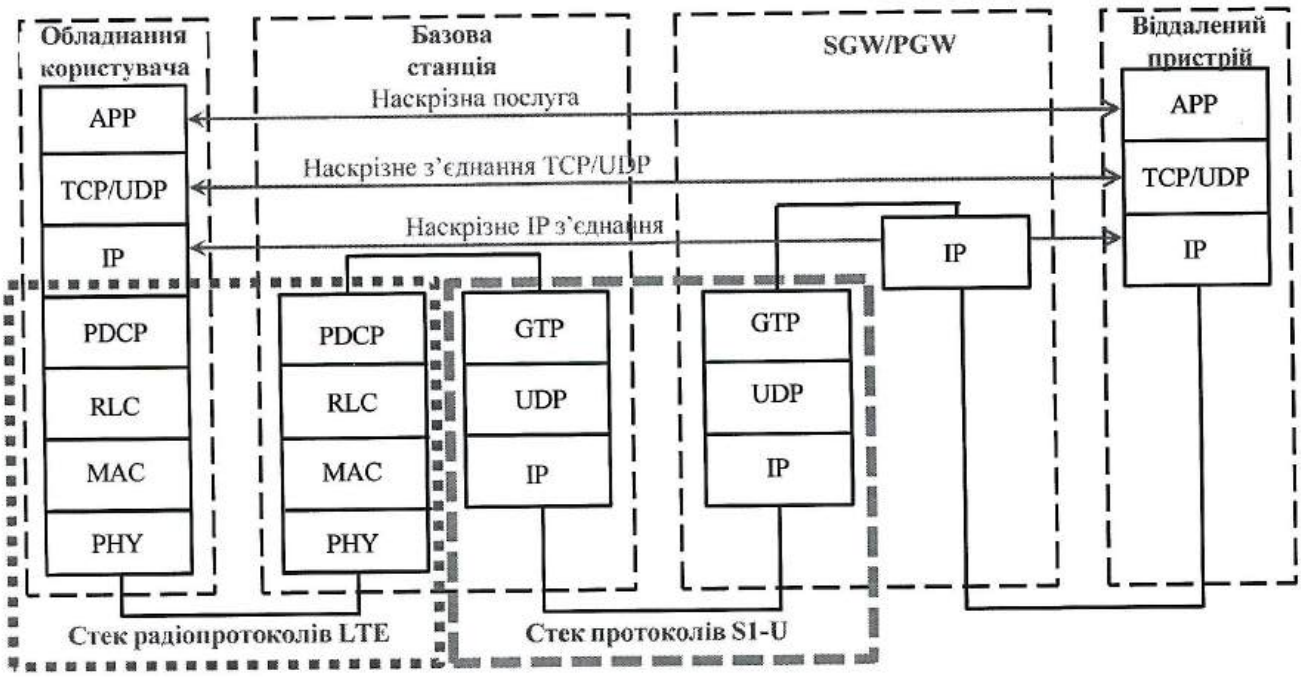


Рисунок 1.2. Стек протоколів LTE-EPC

Рівень управління радіоканалом працює у одному з трьох режимів: прозорий, без підтвердження, із підтвердженням. Він забезпечує пересилання пакетів даних вищих рівнів, виправлення помилок засобами ARQ, їх об'єднання, сегментування і відновлення у вигляді блоків даних рівня управління радіоканалом. Також цей рівень виконує повну множину операцій із власними пакетами даних у залежності від режиму пересилання.

Рівень управління радіоресурсами забезпечує поширення службової інформації, яка стосується площин доступу та транспорту, управління з'єднаннями, підтримку функцій безпеки, до чого належить контроль політик

обміну ключами між абонентським терміналом і мережею радіодоступу. Однією з важливих функцій у контексті дисретаційної роботи є управління послугами передавання по радіоефіру.

Рівень управління конвергенцією пакетних даних здійснює компресію заголовків даних IP, пересилання даних в площині користувача чи керування, управління послідовністю номерів пакетів даних. Він відповідає за правильність послідовності доставки пакетів, усунення їх можливих дублікатів, відображення послуг передавання по радіоефіру у режим передавання з підтвердження рівня управління радіоканалом. Також цей рівень здійснює шифрування і дешифрування даних площини користувача, контролює тривалість їх доставки з метою видалення неактуальної інформації, що циркулює у мережі.

Рівень протоколів, що не реалізують функції доступу, відповідає за комунікацію вищого рівня між МС та вузлом управління мобільністю. Цей рівень забезпечує підтримку мобільності абонентів і управління сесіями передавання даних IP між МС та крайовим шлюзом пакетної мережі PDN GW.

Формування усіх вимог по забезпеченню якості обслуговування відбувається на MAC – рівні.

1.2 Класифікація та характеристики якості обслуговування в LTE

Різноманітні послуги мають відповідну класифікацію і для кожного класу специфіковані якісні показники QoS (Quality of Service). Характеристики QoS визначають [26, 27]:

- Пріоритетність трафіку;
- Допустимі затримки;
- Надійність передачі;
- Необхідні швидкості передачі: максимально підтримувана швидкість трафіку і мінімальну зарезервовану швидкість;
- Допустимий часовий джитер (нерівномірність в періодичності доставки пакетів).

Під час реалізації транспортного з'єднання будь-якому потоку даних (service flow) присвоюють SFID (Service Flow Identifier) ідентифікатор (32 біти). При призначенні SFID індивідуально по висхідному і низхідному потоці (в напрямках «вгору» і «вниз») вказують значення параметрів QoS, які можуть бути абсолютно різними, наприклад, при односпрямованій передачі відеотрафіку.

Функцію по виділенню канального ресурсу з урахуванням забезпечення QoS реалізує планувальник (scheduler). Це ПЗ в базовій станції, що надається виробником апаратури. При здійсненні передачі по низхідному потоці (БС (базова станція) → МС (мобільна станція)) планувальник завжди знає повну інформацію про всі обслуговувані потоки даних і може забезпечити оптимальний розподіл канального ресурсу. При організації передачі по висхідному потоці (МС → БС) існує 5 типів трафіку в залежності від їх пріоритету та вимог до затримок. У трьох з них передбачене опитування (polling) МС для того, щоб оперативно змінювати канальний ресурс, що виділяється для конкретної МС:

- UGS - Unsolicited Grant Service: передача в реальному часі сигналів і телефонних потоків (E1) та VoIP; допустима затримка меншамс в одному напрямку при *BER* $10^6...10^4$;

- ertPS - extended real time Polling Service, необхідна для передачі по висхідному потоці телефонії з використанням детектора мовної активності абонента;

- rtPS - real time Polling Service: передача потоків реального часу з пакетами змінної довжини (наприклад, відео);

- nrtPS - non-real-time Polling Service: підтримка потоків змінної довжини при передачі файлів в широкосмуговому режимі;

- BE - Best Effort: інший трафік.

З метою оптимізації потоків, які передаються передбачений спеціальний механізм видалення повторюваних фрагментів заголовків PHS (Payload Header Suppression) IP-датаграм і ATM комірок, які відновлюються на приймальній стороні.

Інформаційне повідомлення приходить на БС у вигляді потоку пакетів SDU (Service Data Unit). На верхньому підрівні SDU перетворюють в MAC PDU (Protocol Data Unit), при цьому кілька SDU, переданих одному абоненту, можуть бути упаковані в одному PDU. Потім пакети даних MAC PDU транслюють на фізичний рівень і передають по каналу зв'язку. Кожному активному з'єднанню привласнюють ідентифікатор CID (Connection Identifier) довжиною 16 біт. Кожному SFID відповідає власний CID.

1.3 Керування параметрами радіоінтерфейсу

Будова SF-потоків забезпечує деталізацію QoS та ізоляцію між SF у радіоінтерфейсі. Керування радіоінтерфейсом несе відповідальність за забезпечення QoS шляхом присвоєння ресурсних блоків фізичного рівня (PHY) в SF середовищах для висхідного і низхідного потоку. Цей механізм називають розподілом смуги пропускання. Рішення щодо планування базується на основі відповідних змінних стану QoS для SF таких як довжина буфера, затримка вхідного пакету, вимоги QoS, такі як MRTR та максимальна затримка, а також положення робочої частоти мобільної станції відносно загального спектру. В загальному [8]:

- Потоки з меншою максимальною затримкою або потоки з більшим MRTR володіють вищим пріоритетом при прийнятті рішення;
- SF потоки з «повільними» пакетами чи великими довжинами буферів також отримують вищий пріоритет;
- Мобільні станції, які знаходяться в кращих частотних умовах володіють вищим пріоритетом задля забезпечення високої пропускної здатності сектора в цілому.

Керування радіоінтерфейсом може змінюватись за рівнями пріоритету пакетів всередині SF в залежності від потоку трафіку, використовуючи такі параметри, як, наприклад, величина DSCP (intra-SF). Разом з тим, параметр

пріоритету трафіку може використовуватись в подальшому для диференціації трафіку, асоційованого з потоками одного типу (inter-SF).

На рис. 1.3 зображено гістограму розподілу трафіку залежно від частоти появи його значень.

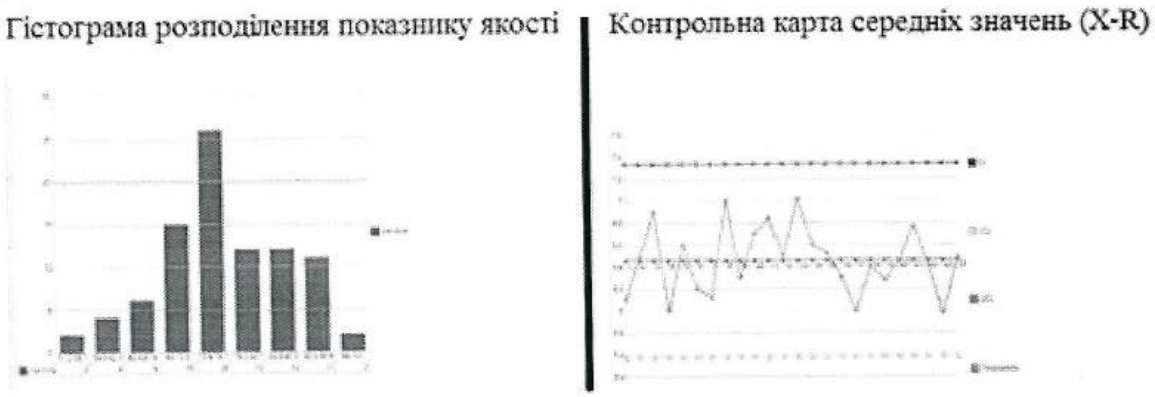


Рисунок 1.3 Гістограма розподілу трафіку

Аналогічно мережам стандарту UMTS, в мережах LTE доставка здійснюється за допомогою наскрізних каналів (bearer) з відповідною якістю обслуговування (Quality of Service, QoS).

В рамках вимог до QoS всі типи послуг поділяються на 9 класів, кожному з яких відповідає ідентифікатор QCI (QoS Class Identifier). Крім цього, організовувані для передачі трафіку наскрізні канали розділяються на 2 групи відповідно до типу виділеного ресурсу:

- З гарантованою швидкістю передачі GBR (Guaranteed Bit Rate);
- З негарантованою швидкістю передачі Non-GBR.

Якісні показники передачі для трафіку 9 різних класів наведені в табл.1.1 При реалізації передачі даних із гарантованою швидкістю eNB повинен управляти ресурсами в динамічному режимі. Послуги класів QCI 1,2, 3 і 7 - це сервіси, що надаються абоненту в реальному часі по протоколу UDP / IP.

Основним обмежуючим фактором для їх реалізації є допустима затримка в доставці пакетів.

Значення PERL (Packet Error Loss Rate) показує надійність передачі пакетів, яке оцінюється за відносною величиною неприйнятих пакетів. Величина PERL $\leq 10^{-6}$ досягається при доставці пакетів за допомогою протоколу TCP / IP. Найбільший пріоритет має сигнальний трафік.

Таблиця 1.1

Відповідність значень QCI характеристик трафіку

QCI	Тип ресурсу	Пріоритет	Затримка (мс)	Packet error loss rate	Приклади послуг
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Телефонія в режимі реального часу
2		4	150 ms	10^{-3}	Відеотелефонія, відео в режимі реального часу
3		3	50 ms	10^{-3}	Ігри в режимі реального часу
4		5	300 ms	10^{-6}	Відео з буферизацією
5	Non-GBR	1	100 ms	10^{-3}	Сигналізація (IMS)
6		6	300 ms	10^{-6}	Відео з буферизацією, TCP/IP послуги для пріоритетних користувачів
7		7	100 ms	10^{-6}	Аудіо, відео в режимі реального часу, інтерактивні ігри
8		8	300 ms	10^{-3}	Відео з буферизацією, TCP/IP послуги
9		9		10^{-6}	

Клас 9 застосовується за замовчуванням при доставці TCP / IP трафіку (читання файлів з Інтернету, E-mail, відео) непривілейованим користувачам.

Передачу сервісного потоку даних конкретної послуги здійснюють за допомогою наскрізного каналу (bearer) відповідного класу QCI. Основними параметрами, котрі характеризують наскрізний канал, є:

- для GBR класів передачі гарантована і максимальна швидкість передачі, яка не може бути перевищена;

- встановлений і зберігаючий пріоритет.

Для наскрізних каналів з негарантованою швидкістю передачі встановлюють сумарну швидкість передачі потоків по всіх каналах. Наскрізні канали GBR класів - це виділені канали.

Динамічне виділення канального ресурсу здійснює планувальник (scheduler) в eNB. Робота планувальника проводиться відповідно до:

- стану радіоканалів з відповідними абонентськими терміналами;
- атрибутів наскрізних каналів;
- характеристик передачі по наскрізному каналі, в тому числі станом буферів абонентської станції при передачі по висхідному потоці;
- завад в сусідніх комірках і можливості міжкоміркових хендоверів для покращення умов роботи абонентських терміналів, розташованих поблизу комірок.

Принцип функціонування планувальника також пов'язаний з програмами управління доступом до мережі та управління ситуаціями перевантаження на радіоінтерфейсі.

1.4 Аналіз методів забезпечення параметрів QoS в сервісно-орієнтованій архітектурі LTE

Концепція системи QoS для мереж UMTS мобільного зв'язку 3-го покоління визначена в специфікації TS 23.107, і використовується також для мереж LTE 4-го покоління [34, 35, 36].

На рис. 1.4 розглянуто архітектуру системи якості обслуговування і передавання послуг у рамках такої системи, для випадку, коли зв'язок здійснюється між кінцевим обладнанням (КО), підключеним до призначеного для користувача терміналу мобільної мережі, і термінальним обладнанням, розташованим в зовнішній пакетній мережі.

Аналогічно поняттю наскрізного каналу вводиться поняття *наскрізної послуги* (end — to — end service) як послідовність дій між двома кінцевими

користувачами і, відповідно, частин послуг — по їх відношенню до визначених мережевим складовим: в локальному каналі "КО — призначений для користувача термінал" (Terminal Equipment / Mobile Terminal local Bearer Service), в каналі мережі LTE (LTE Bearer Service), в зовнішньому каналі (External Bearer Service). Таким чином, виникає багаторівнева взаємодія при передачі послуги в різних мережевих вузлах і на різних рівнях.

Передача послуги з мережі LTE розглядається, відповідно до мережевої архітектури, окремо в мережі радіодоступу (Radio Access Bearer Service), де забезпечується конфіденційне передавання призначених для користувача даних або із заздалегідь вибраним або встановленим за замовчуванням рівнем якості обслуговування, і у базовій пакетній мережі (Core Network Bearer Service), що також може підтримувати різну якість обслуговування.



Рисунок 1.4. Архітектура системи якості обслуговування

Послугу в мережі радіодоступу реалізують двома частинами: в радіоканалі (Radio Bearer Service) і в механізмі радіодоступу (Access Bearer Service). Реалізація послуги в радіоканалі містить усі аспекти, що стосуються передавання даних по радіоінтерфейсу, включаючи сегментацію і повторне збирання призначених для користувача пакетів. Крім того, на фізичному рівні (Physical Radio Bearer Service) здійснюється управління підпотоком призначених для користувача даних. Механізм радіодоступу забезпечує на фізичному рівні (Physical Bearer Service) передавання даних між мережею радіодоступу і базовою мережею.

Нарешті, проходження послуги в "магістральному" каналі (Backbone Network Bearer Service) розглядається у функціональній сукупності рівнів 1 і 2 і призначених вимог якості обслуговування.

Основні функції мережі LTE, що належать до керування якістю обслуговування в площині користувача

Функція відображення (MF, Mapping Function) забезпечує маркування кожного призначеного для передавання пакету даних відповідними параметрами QoS.

Функція класифікації (CF, Classification Function) призначена для виставляння пакетам параметрів QoS, призначених для певного АТ, у тому випадку, якщо для цього АТ в мережі встановлено декілька каналів передавання послуг.

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

Функція узгодження (*очищення*) *трафіку* (TCF, Traffic Conditioner Function) забезпечує узгодження між потоком призначених для користувача даних і встановленим рівнем якості обслуговування. Ті пакети даних, які не відповідають виставленим параметрам QoS, будуть відкинуті або помічені як невідповідні для наступного відкидання після накопичення.

На рис. 1.5 показана взаємодія функцій керування якістю обслуговування в призначеній для користувача площині [5].

Функція класифікації, реалізована в абонентському терміналі АТ і сигнальному шлюзі СШ, призначає пакети даних, отримані із зовнішнього (чи локального) каналу в послугу мережі LTE з відповідними параметрами QoS. Функція узгодження трафіку, при необхідності, забезпечує узгодження призначеного для користувача потоку у висхідному (у АТ) і низхідному (у СШ) напрямах зі встановленими параметрами QoS. Далі функція відображення забезпечує кожен пакет даних спеціальним QoS-індикатором, відправляючи того в мережу, що вимагає виділення відповідних ресурсів — за це відповідальна функція управління ресурсами, реалізована в кожному мережевому вузлі.

У площині управління зосереджені функції, необхідні для реалізації механізмів управління і контролю.

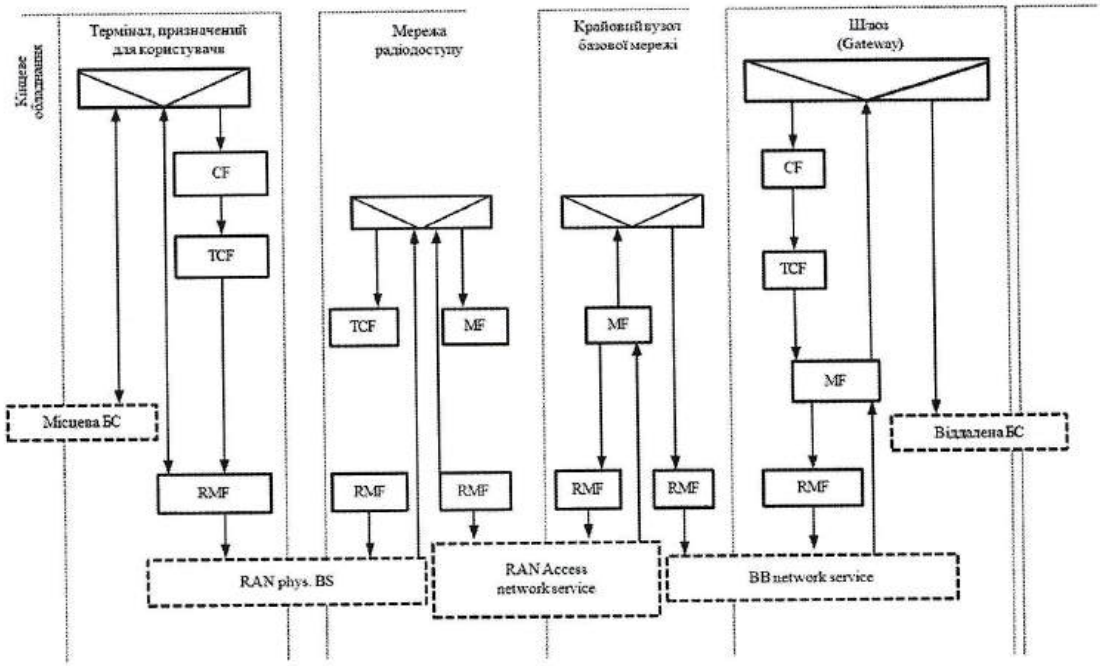


Рисунок 1.5. Функції керування якістю обслуговування в призначеній для користувача площині

Основні функції мережі LTE, що належать до керування якістю обслуговування в площині керування

Функція управління послугами (SMF, Service Manager Function) є координуючою функцією при установці, модифікуванні і керуванні послугами, а

також що координує функції керування якістю обслуговування в призначеній для користувача площині.

Функція (TF, Translation Function) *трансляції* перетворює внутрішні примітиви послуг мережі LTE в модулі різних протоколів взаємодіючих зовнішніх мереж, включаючи перетворення атрибутів послуг мережі LTE в параметри QoS протоколів зовнішніх мереж.

Функція управління можливостями (A/CCF, Admission / Capability Control Function) забезпечує інформацією про усі можливі ресурси мережевих вузлів, визначаючи при кожному запиті (чи модифікуванні) послуги, чи можуть мережеві вузли забезпечити необхідні ресурси. Ця функція також контролює можливість надання самої послуги, тобто чи реалізована в мережі запитана послуга.

Функція керування підпискою (SCF, Subscription Control Function) забезпечує контроль доступності абонентам певних послуг з необхідними параметрами QoS.

1.5 Особливості надання послуг у мережах LTE

Концепція надання послуг передбачає наявність чотирьох *класів якості обслуговування* або *класів трафіку* [2, 4]:

- голосовий (розмовний);
- потоковий;
- інтерактивний;
- фоновий.

Головною відмінністю між названими класами є чутливість до затримок: найбільш чутливим є голосовий трафік, найменш чутливим — фоновий трафік. Голосовий і потоковий класи призначені для використання в реальному масштабі часу. Інтерактивний і фоновий класи використовуються для традиційних інтернет-застосувань: інтернет-навігація, електронна пошта, віддалений зв'язок та ін. При цьому трафік інтерактивного класу має вищий пріоритет, ніж трафік фонового класу. Коротко розглянемо особливості послуг різних класів.

Найбільш часто використовуваним видом послуг голосового класу є телефонна розмова, причому, якщо в стандартах першого і другого поколінь, наприклад, традиційних мережах GSM, передача мови здійснювалася за допомогою канальної комутації, то в сучасних системах стільникового зв'язку мова передається пакетним способом (VoIP, Voice over IP). При цьому трафік є симетричним (чи майже симетричним). Особливості людського слуху і зору при здійсненні сеансу зв'язку в реальному часі пред'являють досить жорсткі вимоги до якості мовного потоку. Фундаментальними характеристиками QoS в даному випадку є фіксована, по можливості, мінімальна часова затримка між окремими мовними пакетами в загальному мовному потоці, а також фіксована структура мовних пакетів. Суб'єктивні оцінки сприйняття мови показують, що наскрізна затримка мови не повинна перевищувати 400 мс — інакше розмова стає практично неможливою.

Отже, існують мережеві послуги різних класів, яким необхідно призначити додаткові атрибути в системі якості обслуговування. Перерахуємо список параметрів QoS, по яких здійснюється відносна градація користувачів:

1. Трафіковий клас (голосовий, потоковий, інтерактивний, фоновий);

2. Максимальна швидкість передавання даних (у Кбіт/с). Цей параметр визначає максимальне число біт, що доставляються мережею LTE (чи в мережу LTE) за певні інтервали часу;

3. Гарантована швидкість передавання даних (у Кбіт/с) визначає гарантоване число біт, що доставляються мережею за певні інтервали часу;

4. Порядок доставки (Так/ні). Параметр, що показує, чи забезпечує наскрізний канал послідовну доставку пакетів даних або ні. Фактично цей параметр показує відмінність протоколу передавання даних від призначеного для користувача PDP-протоколу;

5. Максимальний розмір (у байтах) пакетів даних, що переносять вміст послуги (SDU, Service Data Unit). Цей параметр слід відрізняти від параметра MTU (Maximum Transfer Unit), використаного в IP-протоколі;

6. Інформація (у бітах) про формат пакетів даних, що переносять вміст послуги, необхідна в мережі радіодоступу в цілях забезпечення функціонування RLC-протоколу в прозорому режимі;

7. Відносний рівень помилково переданих пакетів даних, що переносять вміст послуги. Параметр використовується для вибору належної схеми модуляції / кодування передавання даних по мережі радіодоступу;

8. Залишковий коефіцієнт помилок, що відображає число помилково переданих бітів в доставлених пакетах даних, які переносять вміст послуги. Також використовується для вибору належної схеми модуляції / кодування передавання даних по мережі радіодоступу;

9. Можливість доставки спотворених пакетів даних, що переносять вміст послуги (так/ні). Параметр використовується при ухваленні рішень про пересилку спотворених пакетів даних;

10. Затримка передавання (у мс) визначає допустиме відхилення значення затримки в мережі радіодоступу від загального часу затримки в наскрізному каналі серед 95% значень затримок доставлених пакетів даних впродовж часу існування усієї послуги;

11. Пріоритет в управлінні трафіком відображає відносну важливість даного потоку даних в порівнянні з іншими потоками. Параметр застосовується до послуг інтерактивного класу, забезпечуючи диспетчеризацію трафіку;

12. Призначення / відміна пріоритету. Використовується для виявлення пріоритетних відмінностей між каналами передавання послуг, коли виконуються операції за призначенням і зняттям каналів в умовах обмеження ресурсів;

13. Статистичний дескриптор джерела (мовний / невідомий). Розмовна мова має добре відомі статистичні параметри. Тому, в цілях інформування про те, що пакети даних мають мовну природу, цей факт може бути експериментально (на основі підрахунку) виявлений в різних точках;

14. Індикатор службової інформації (так/ні), визначений тільки для послуг інтерактивного класу, показує природу інформації (службова або призначена для

користувача) в прийнятих пакетах. Якщо індикатор встановлений в значення «Так», то АТ повинен встановити в «1» пріоритет керування трафіком. Цей параметр є додатковим в системі якості обслуговування.

15. Виділене призначення / відміна пріоритету — «посилений» параметр призначення /відміна пріоритету, що містить збільшений діапазон рівнів пріоритету, а також додаткову інформацію про можливість додаткового зайняття каналу і додаткової міри захищеності.

У табл. 1.2 вказані діапазони значень деяких параметрів QoS для різних класів послуг.

Відзначимо, що деякі параметри QoS взаємно суперечливі, наприклад, затримка і рівень помилок в прийнятих пакетах, тобто, власне, надійність. Так, при передаванні голосового трафіку наскрізна затримка не повинна перевищувати 150 мс при допустимій втраті інформаційних пакетів не більше 3%.

Якщо розглядати потоковий трафік, то в цьому випадку допустимі втрати інформаційних пакетів не перевищують 1%, а для інтерактивного трафіку втрати інформаційних пакетів взагалі недопустимі — його послуги (як і послуги фонового трафіку) передаються в режимі з підтвердженням, і необхідність повторної передачі прийнятих з помилками пакетів не дає змогу виміряти величину затримки.

Таблиця 1.2.

Діапазони значень параметрів QoS [54]

Параметр QoS	Голосовий клас	Потоковий клас	Інтерактивний клас	Фоновий клас
Максимальна швидкість передавання (Кбіт/с)	256 000	256 000	256 00	256 000
Гарантована швидкість передавання (Кбіт/с)	256 000	256 000	-	-
Порядок доставки	Так ні	Так ні	Так ні	Так ні
Максимальний розмір (у байтах) пакетів даних	1 500 чи 1 502	1 500 чи 1 502	1 500 чи 1 502	1 500 чи 1 502

Параметр QoS	Голосовий клас	Потоковий клас	Інтерактивний клас	Фоновий клас
Можливість доставки спотворених пакетів даних	Так ні	Так ні	Так ні	Так ні
Залишковий коефіцієнт помилок	$5\cdot10^{-2}$, 10^{-2}, $5\cdot10^{-3}$, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}	$5\cdot10^{-2}$, 10^{-2}, $5\cdot10^{-3}$, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}	$4\cdot10^{-3}$, 10^{-5}, $6\cdot10^{-8}$	$4\cdot10^{-3}$, 10^{-5}, $6\cdot10^{-8}$
Затримка передавання (мс)	100 — макс. значення	300 — макс. значення	-	-
Пріоритет в управлінні трафіком	-	-	1, 2, 3	-
Призначення / зняття пріоритету	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
Статистичний дескриптор джерела	Мовний / невідомий	Мовний / невідомий	Мовний / невідомий	Мовний / невідомий
Індикатор службової інформації	-	-	Так ні	-

1.6 Зв'язок між поняттям QoS та QoE

Безпровідні мережі оцінюються критеріями KPI (key performance indicator – ключові параметри якості), які визначають ступінь задоволеності клієнтів та продуктивність оператора. Одним із важливих параметрів є якість сприйняття послуг (QoE), який використовують для опису сприйняття наданих послуг кінцевим користувачам. QoS (якість обслуговування) описує здатність мережі надавати послуги з гарантованою якістю обслуговування. Для того, щоб ефективним чином забезпечити найкращі показники QoE користувачів, мережеві та сервісні провайдери повинні належним чином керувати якістю обслуговування і наданими послугами. QoS та QoE є взаємозалежними, тому їхнє дослідження та управління повинно здійснюватися за єдиним принципом, від планування мережі до її технічної реалізації. Іншими словами, цілі мережі та послуг повинні досягати максимальних показників QoE, в той час як якість обслуговування (QoS) є основним будівельним блоком для досягнення цих показників. Проте, QoE не є обмеженим лише технічною продуктивністю мережі, є також не технічні аспекти, які впливають на загальне сприйняття сервісів користувачами.

На рис. 1.6 наведено модель відображення параметрів QoS та QoE [54, 55].

QoS визначається як здатність мережі надавати послуги на гарантованому рівні обслуговування. QoS охоплює всі функції, механізми і процедури в мережі та терміналах, що забезпечують надання узгодженої якості послуг між користувальницьким устаткуванням (UE) і базовою мережею (CN) QoE відображає практичність використання сервісів користувачами – те на скільки вони задоволені отриманими послугами, наприклад зручність у використанні, доступність, надійність та цілісність обслуговування. До цілісності обслуговуванні відносять затримку, зміну затримки (джиттер) і втрату даних під час передачі даних до користувача; доступність сервісних послуг по відношенню до недоступності, безпеку (аутентифікація, авторизація та облік), активацію, доступ, зону дії, блокування, і час встановлення з'єднання з відповідною службою односпрямованого каналу, службу утримування цілісності, що загалом характеризують втрати з'єднання.

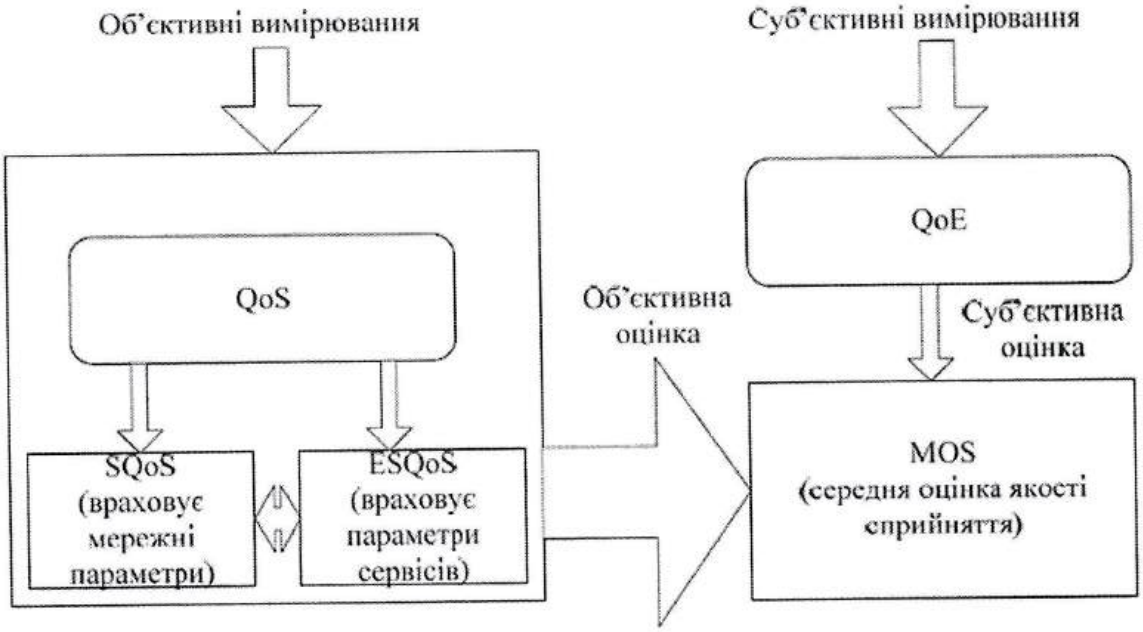


Рисунок 1.6. Модель відображення параметрів QoS та QoE

Однак, у багатьох випадках кращі QoS не означають кращі QoE, і, водночас, задоволення всіх вимог QoS по трафіку не означає задоволення потреб користувачів. Відмінна пропускна здатність в одній частині мережі не завжди

допоможе, якщо на невеликій відстані вже зникає покриття. Наскільки відомо, статистика по QoS дає оператору дуже мало відомостей стосовно задоволення кінцевих користувачів. Таким чином, висновок про те, що QoE покращене за допомогою механізмів QoS, які використовуються для зменшення джитера чи середньої затримки надходження пакетів не завжди є вірним. Важливим є хороший рівень QoE і метою QoS повинне бути покращення QoE.

Надання сервісу з високим QoE ґрунтується на примноженні відомостей про фактори, які головним чином впливають на користувацьке сприйняття і використанні цих відомостей для визначення операційних вимог. Підхід зверху-вниз знижує витрати на розробку і ризики відторгнення користувача та скарги шляхом забезпечення того, що пристрої або система задовільнять потреби користувачів.

1.7. Управління параметрами QoE та QoS

Керування параметрами QoE і QoS може бути розділене на чотири основні категорії: планування мережі, забезпечення QoS, QoE і QoS – моніторинг та оптимізація [14].

Планування мережі. Процес планування включає вимірювання параметрів мережі та детальне планування мережі. Вимірювання мережних параметрів (чи первинне планування) надає оцінку кількості необхідних радіо-, передавальних та центральних мережних елементів та обсяг відповідних їм інтерфейсів.

У свою чергу, їх обчислення ґрунтуються на вимогах оператора по ємності, покриттю та QoS. На етапі детального мережного планування, для кожної частини мережі та інтерфейсу між взаємодіючими елементами, виконується аналіз ємності мережі та покриття. Це вимагає врахування реальних типів трафіку, мережних топологій, а також реальних характеристик та функціоналу мережного обладнання і сигналів, які вони використовують.

Резервування QoS. Резервування (забезпечення) QoS є процесом

впровадження QoS в мережах та мобільних терміналах. Цей процес транслює результати планування до вигляду механізмів та параметрів, придатних до використання мережними елементами та мобільними терміналами і в подальшому він налаштовує їх на обладнанні та пристроях. Забезпечення QoS розділяється на 3 категорії:

- Забезпечення QoS на рівні безпровідного доступу, рівні ядра та транспортному рівні, тобто налаштування QoS відбувається всередині мережі;

- Забезпечення QoS на сервісному рівні, де кожному сервісу ставиться у відповідність певний QoS профіль (набір атрибутів сервіс- провайдера);

- Забезпечення термінального QoS, яке надає терміналам службову інформацію додатків;

Моніторинг QoE та QoS з ростом мобільних сервісів точне вимірювання QoS та QoE та їх максимально ефективне вдосконалення стало дуже актуальним для операторів, оскільки це означає збереження користувацької аудиторії та забезпечення конкурентоспроможності. Низький QoE веде до зростання кількості незадоволених користувачів, що, у свою чергу, негативно позначається на розвитку оператора вцілому.

Хоча QoE має дуже суб'єктивний характер, максимальна реалістичність стратегії його вимірювання є вкрай важливою. Спроможність вимірювати QoE дасть оператору можливість зрозуміти, наскільки вагомим є внесок, який робить мережна швидкодія на фоні загального задоволення користувачів у площинах надійності, доступності, масштабованості, швидкості, точності та ефективності. Ці елементи визначають QoE та конкурентоспроможність в просторі сучасних пакетних мереж. Враження від користування краще виражаються людськими словами, ніж чисельними величинами. Вони можуть бути відмінними, дуже добрими, добрими, задовільними та незадовільними. Існують 2 практичні підходи до вимірювання QoE:

• Підхід сервісного рівня, що використовує статистичні дані зібрані з сукупності терміналів;

• Підхід системи мережного керування (Network management system, NMS), яка використовує параметри QoS;

Перший спирається на середньостатистичну вибірку мережних користувачів для вимірювання QoE для решти користувачів. Цей процес включає:

- Визначення зважених коефіцієнтів ключових додатків;
- Ідентифікацію та зважування KPI для QoE;
- Розробку належної статистичної вибірки (географічні області, набори трафіку, час доби і т.д.) і вибір відповідного виміру KPI;
- Використання мобільних агентів в мобільних пристроях для уточнення результатів;
- Отримання загального QoE з KPI для кожного окремого сервісу та їх сукупності.

Друга методика полягає у встановленні відповідності метрикам продуктивності QoS певних метрик QoE, відчутних користувачеві. Ці виміри QoS отримані, використовуючи NMS, шляхом збору KPI з мережних елементів та їх порівняння з орієнтовними рівнями QoE. Цей процес включає:

- Ідентифікацію залежностей між KPI QoS та їх впливом на QoE;
- Вимірювання KPI QoS в мережі;
- Розрізнення користувацького QoE через виміряні KPI, використовуючи певні правила встановлення відповідностей;

Оптимізація коміркової мережі може розглядатись як процес, спрямований на покращення загальної якості мережі, яка сприймається мобільними користувачами, і на забезпечення ефективного використання мережних ресурсів. Цей процес включає вимірювання продуктивності, аналіз результатів вимірювань і покращення мережної конфігурації згідно цих результатів. Процес оптимізації може бути задіяний з декількох причин, типовими з яких є:

- Наявність нових технологій, елементів чи функціоналу для конкретно взятої мережі;
- Зміна ситуації в інших сегментах, з якими взаємодіє мережа, що

розглядається;

- Виявлення зниження QoS в певній області мережі.

Висновки до першого розділу

Показники якості роботи мережі характеризують її здатність забезпечувати ефективне обслуговування трафіку, яке, у свою чергу, залежить від низки суто технічних показників. Нормативне значення цих технічних показників, які характеризують можливість відмови технічних засобів, а також здатність наявного обладнання мережі обслуговувати трафік певної інтенсивності, задається на стадіях планування та проектування мережі. Як показав проведений аналіз, у процесі визначення цих нормативних показників враховуються можливі втрати оператора та споживача, пов'язані з відмовою технічних засобів, а також – з недостатньою забезпеченістю мережі ресурсами та можливостями, які зіставляються з додатковими витратами на підвищення надійності та пропускної здатності мережі.

З проведеного аналізу випливає, що існує ряд методів та засобів забезпечення якості обслуговування в мережі LTE, однак їх функціональні можливості обмежуються або радіомережею eUTRAN, або ж базовою мережею SAE. Тому актуальним завданням є покращення якості сприйняття послуг LTE на основі уніфікованих методів, які функціонують для одного потоку даних одночасно у радіомережі та базовій мережі.

2. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Є багато способів збільшення пропускної здатності, які пов'язані з експериментальними вимірюваннями. Підвищення якості сприйняття послуг (QoE), якості обслуговування (QoS), мінімізація індикатора якості каналу (CQI), використання перехідного рівня між фізичним і канальним рівнями для оптимізації планування мережі, збільшення продуктивності діаграмоутворення, використання належних способів стабілізації параметрів каналу, використання високого рівня модуляції і ефективного розподілу ресурсів. Все це сприяє підвищенню пропускної здатності.

2.1 Підвищення пропускної здатності з використанням CQI

Дослідимо вплив параметру CQI на функціонування мережі з використанням різних видів модуляцій. Мінімізація CQI, яка досягнута шляхом вирішення оптимізаційної задачі, призводить до збільшення пропускної здатності каналу.

Базова станція LTE – Evolved NodeB (eNodeB), є основною компонентою архітектури мережі радіодоступу (RAN) LTE. Мобільний термінал зазвичай називають обладнанням користувача (UE). Функції eNodeB та UE розподілені у різних рівнях протоколів взаємодії. На рис. 2.1 зображено спрощену схему, яка показує різні рівні і потік даних по низхідному каналу [9, 7, 8].

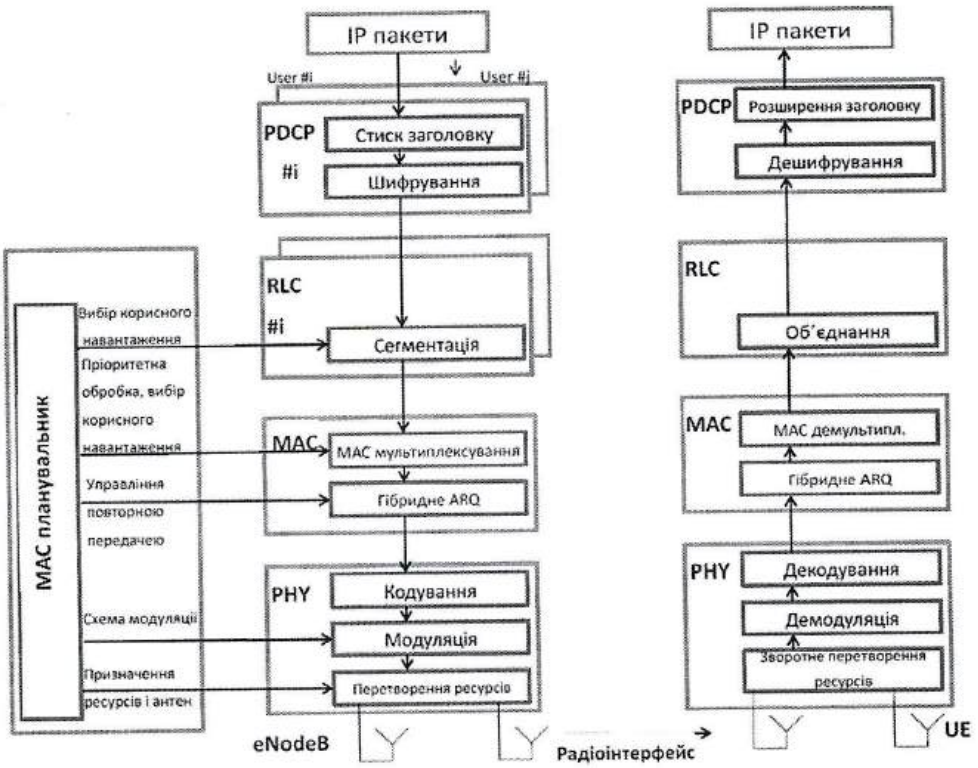


Рисунок 2.1 Модель міжрівневої взаємодії в LTE

IP пакети входять в стек протоколів на рівні конвергенції протоколів пакетних даних (Packet Data Convergence Protocol(PDCP)) і потоків через стек протоколів, аж до фізичного рівня перед виходом в радіоінтерфейс. В системах коміркового зв'язку якість прийнятого сигналу UE залежить від якості каналу, який обслуговує систему зв'язку, рівня завад від інших систем, а також рівня шуму.

Для оптимізації продуктивності системи та адаптації потужності передавання передавач повинен забезпечити швидкість передачі даних до кожного користувача. Цей процес називають адаптацією каналу, яка базується на адаптивних сигнально-кодових конструкціях (Adaptive Modulation and Coding (AMC)).

2.2. Модель каналу за умови невисокої швидкості переміщення абонента (ITU Pedestrian)

Використано модель каналу для двох абонентів А та В. В кожному з цих

випадків, швидкість приймається рівною 3 км/год. Кількість інтервалів для випадку пішохода А дорівнює 4, в той час як для пішохода В – 6. Середні потужності та відповідні їм затримки для інтервалів стаціонарності каналу з багатопроменевим поширенням, визначені згідно рекомендацій ITU, наведено у табл. 2.2.

В низхідному каналі LTE, якість каналу вимірюється в UE і надсилається до eNodeB у вигляді CQI (Channel Quality Indicator). Якість виміряного сигналу залежить не тільки від каналу, шуму і рівня завад, але і від якості методів приймання. Вимірювання якості сигналу виконане з використанням опорних символів.

Таблиця 2.2.

Модель каналу "Пішохід" ITU

Інтервал	Канал А		Канал В	
	Відносна затримка (нс)	Середня потужність (дБ)	Відносна затримка (нс)	Середня потужність (дБ)
1	0	0	0	0
2	110	-9,7	200	-0,9
3	190	-19,2	800	-4,9
4	410	-22,8	1200	-8,0
5	—	—	2300	-7,8
6	—	—	3700	-23,9

На рис. 2.3 представлена генерація сигналу на фізичному рівні LTE з турбокодуванням і модуляцією сигналів; можна побачити, які частини каналу адаптуються до системи. На фізичному рівні в LTE ресурси управляються так званим RM модулем (Resource Management), який присвоює вхідні блоки даних ресурсним блокам. Один ресурсний блок складається з 12 піднесучих і одного часового інтервалу. Управління ресурсами зображено на рис. 2.6, а значення CQI

використовується для оптимального вибору ресурсного блоку, тобто оптимальної піднесучої та оптимального часового інтервалу .

Є два види звітності про CQI: періодичні та неперіодичні, де PUCCH (PhysicalUplinkControlChannel) використовується тільки для періодичної звітності CQI і PUSCH (PhysicalUplinkSharedChannel) – для неперіодичної звітності CQI [4].

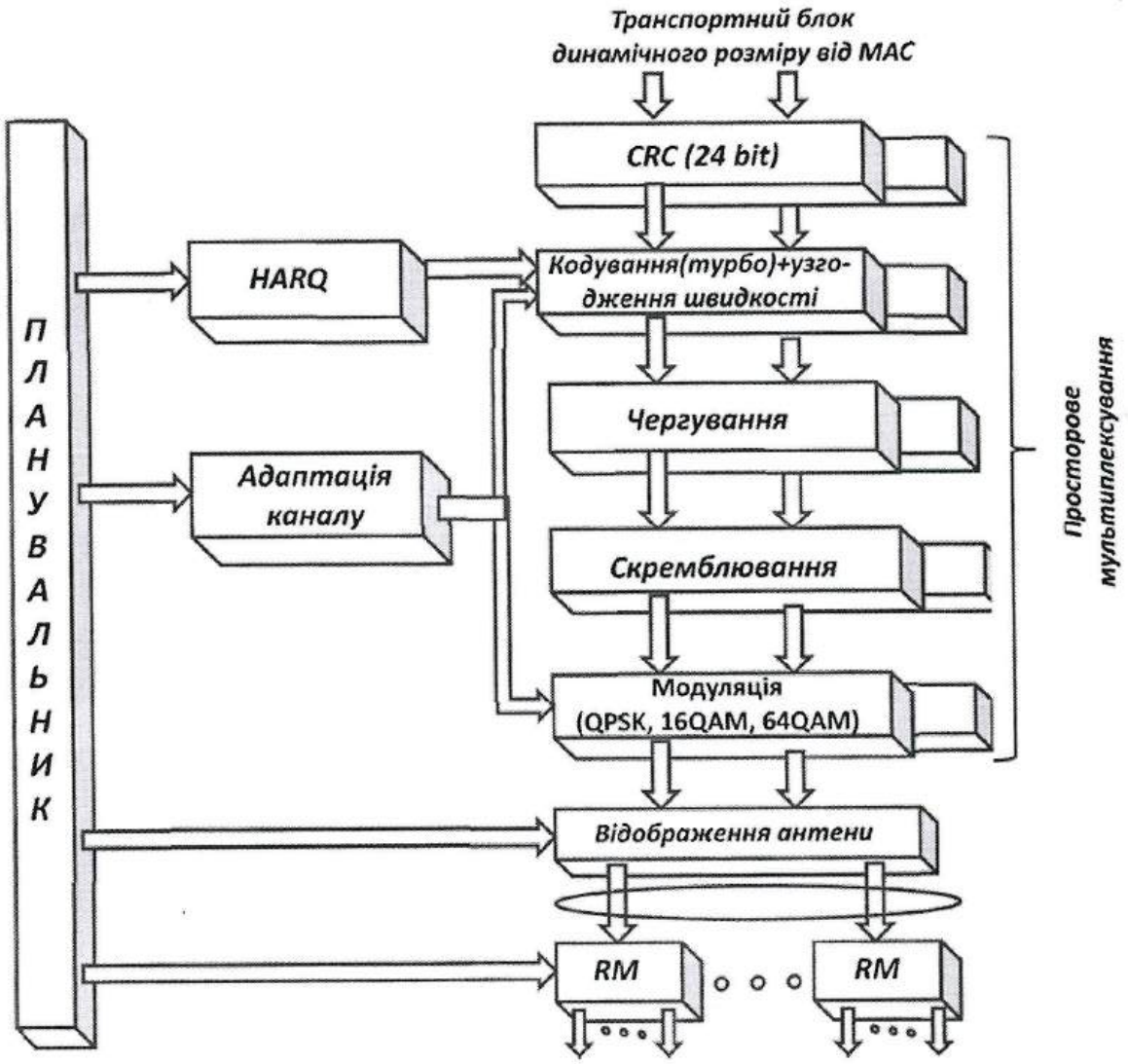


Рисунок 2.3 Генерація сигналу LTE

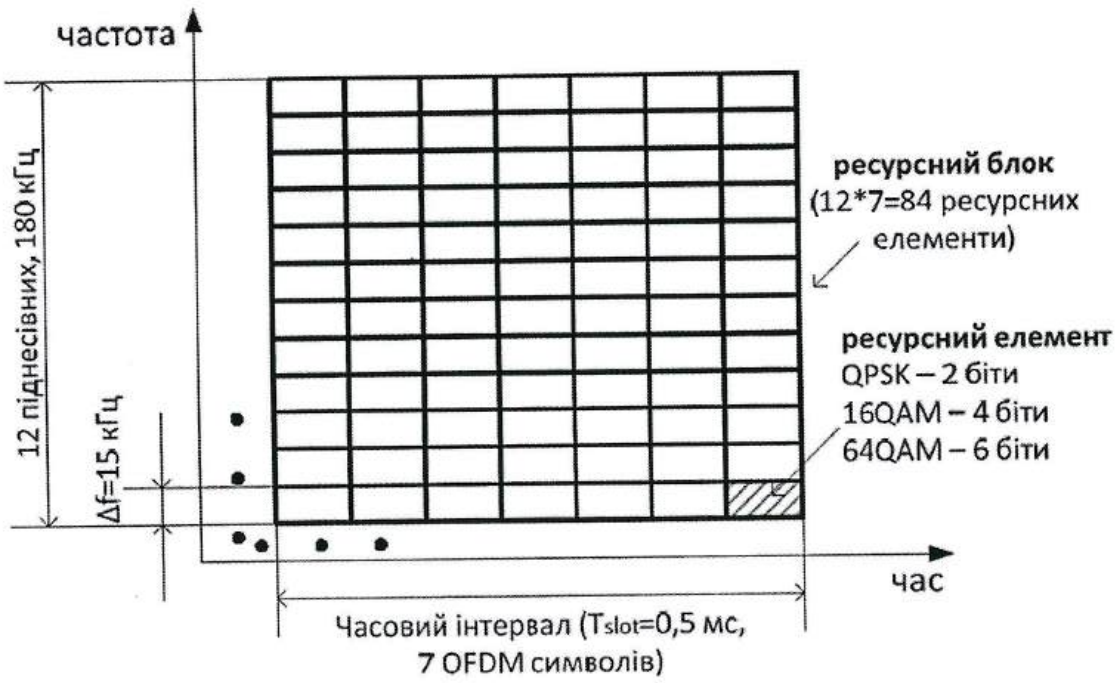


Рисунок 2.4 Двовимірне управління ресурсами в LTE

UE повідомляє періодичні CQI в наперед відомі часові інтервали. Якщо eNodeB бажає отримати інформацію якості каналу в певний час, тоді спрацьовує неперіодичний CQI. Для того, щоб визначити деталізацію частоти оновлення CQI, смуга пропускання системи розділена на N піддіапазонів, кожен з яких складається з k суміжних блоків фізичних ресурсів (Physical Resource Blocks PRB). Кількість піддіапазонів $N = N^{DL}/K$ і визначає деталізацію частоти звітності CQI, де N^{DL} є кількість ресурсних блоків (RB) в смузі пропускання низхідного каналу системи.

а) Періодична звітність CQI

Періодична звітність CQI відбувається по каналу PUCCH. Періодичний CQI може бути або широкосмуговим, або в обраному UE піддіапазоном зворотного зв'язку для всіх режимів передачі у низхідному каналі. Тип CQI вирішується eNodeB. В широкосмуговому режимі одне значення CQI вимірюється в смузі частот системи в цілому і надсилається до eNodeB. В UE обрано піддіапазон зворотного зв'язку, а загальне число піддіапазонів N в смузі пропускання системи розділено на j частин. В кожній частині смуги пропускання обрано конкретний

піддіапазон, і вимірюється якість каналу в даному піддіапазоні; з цим станом смуги пропускання частина надсилається до eNodeB. У табл. 2.3 представлено розмір піддіапазону (k) і частини смуги пропускання (J) у порівнянні смуги пропускання системи у низхідному каналі DLRBN. Зазвичай використовуються періодичні CQI, але eNodeB також потребує неперіодичну передачу CQI зі сторони UE. Втрати при синхронізації чи хендовері – це також випадки, в яких використовуються неперіодичні CQI. Неперіодична звітність CQI проводиться по PUSCH: на прохання eNodeB встановлюється біт запиту CQI на фізичному низхідному каналі управління (Physical Downlink Control Channel (PDCCH)).

eNodeB встановлює тип CQI одним із таких способів:

1) Широкосмуговий зворотний зв'язок: в цьому режимі, як в періодичній звітності, UE передає одне значення CQI смуги пропускання системи в цілому.

2) Налаштування піддіапазону зворотного зв'язку eNodeB: є два види CQI, які представлені в даному режимі, один для смуги пропускання в цілому і один для піддіапазонів. При розрахунку CQI піддіапазону передбачено, що передача відбувається тільки у відповідному піддіапазоні.

3) Піддіапазон зворотного зв'язку, обраний UE: в налаштуванні eNodeB використовується два типи CQI, одне значення CQI в широкосмуговій системі, і одне для звітності середнього виміряного CQI в кожному з M обраних піддіапазонів розміру k. UE вирішує, які піддіапазони обрано. UE також надсилає положення M обраних піддіапазонів.

Таблиця 2.3

Кількість ресурсних блоків в смузі пропускання системи в цілому N_{RB}^{DL} кількість ресурсних блоків в піддіапазоні (k) і частин пропускної здатності (J) в обраних піддіапазонах UE з використанням періодичного CQI

Кількість ресурсних блоків у системі, N_{RB}^{DL}	Кількість ресурсних блоків у піддіапазоні,k	Відповідна частка пропускної здатності на піддіапазон (J)
6-7	-	-
8-10	4	1

Кількість ресурсних блоків у системі, N_{RB}^{DL}	Кількість ресурсних блоків у піддіапазоні,k	Відповідна частка пропускної здатності на піддіапазон (J)
11-26	4	2
27-63	6	3
64-110	8	4

Кількість ресурсних блоків в смузі пропускання системи в цілому, кількість ресурсних блоків в піддіапазоні (k) і кількість піддіапазонів (M) для обраних UE піддіапазонів звітності CQI зворотного зв'язку наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Параметри неперіодичної звітності CQI для обраних UE піддіапазонів зворотного зв'язку

Кількість ресурсних блоків у системі, N_{RB}^{DL}	Кількість ресурсних блоків у піддіапазоні, k	Номери найбільш підходящих піддіапазонів (M)
6-7	Лише широкосмуговий CQI	Лише широкосмуговий CQI
8-10	2	1
11-26	2	3
27-63	3	5
64-110	4	6

Пропускна здатність порівнюється з пропускною здатністю системи C AWGN каналу, що розрахована за допомогою формули Шеннона:

$$C = FB \log_2(1 + SNR). \tag{2.1}$$

де N_{SC}= 12 – кількість піднесучих в одному RB, N_S– кількість символів OFDM в одному підкадрі (зазвичай дорівнює 14, коли встановлено нормальний циклічний

префікс (CyclicPrefix CP), N_{rb} – кількість RB, яка підходить до обраної смуги пропускання системи (наприклад, 6 RB в межах смуги частот 1.4МГц системи) та T_{sub} – тривалість одного субфрейму, рівна 1мс. Передача OFDM сигналу потребує циклічного префікса CP, щоб уникнути міжсимвольної інтерференції та опорних символів для оцінки каналу. Таким чином, відома формула Шеннона, зображена в (3.4), регулюється коефіцієнтом.

2.3. Дослідження впливу підстроювання параметрів каналу LTE на відносну частоту бітової помилки

В системах мобільного зв'язку передача даних на високій швидкості має важливе значення для багатьох послуг, таких як відео, високоякісне аудіо та послуга мобільної цифрової інтегрованої мережі. Коли дані передаються на високій швидкості через радіоканал мобільного зв'язку, імпульсний відгук каналу може розтягнутися на багато періодів символу, що призводить до міжсимвольних перешкод (inter-symbol interference – ISI). Міжсимвольні перешкоди завжди викликають питання відновлення сигналу в безпровідному каналі. Це можна подолати з використанням еквалайзера (підстроювача). Підстроювання компенсує міжсимвольну інтерференцію (ISI), створену багатопроменевим поширенням сигналу по каналах із різною затримкою. Запропоновано декілька методів підстроювання для отримання кращих характеристик ймовірності помилки [4].

Моделювання адаптивного підстроювання параметрів каналу OFDM є однією з перспективних технологій, спрямованих на пом'якшення ISI. Сигнал OFDM в смузі пропускання поділяється на множину вузьких підканалів, які передаються паралельно. Кожен підканал обирають досить вузьким, для того щоб відкинути вплив розкиду затримки. Об'єднавши OFDM з CDMA, можна подолати обмеження дисперсійного завмирання середовища рухомого стільникового зв'язку та зменшити внутрішньоканальні перешкоди.

В даному розділі підстроювання параметрів каналу розглядається у випадку

2 передавальних та 2 приймальних антен (2×2 MIMO канал). Припустимо, що канал є багатопроменевим з гладкими Релеївськими завмираннями і модуляцією BPSK.

Кінцева мета полягає у створенні універсального особистого і мультимедійного зв'язку без урахування мобільності чи місцезнаходження з високою швидкістю передачі даних. Для досягнення такої мети необхідно підстроїти параметри каналу так, щоб компенсувати ISI:

✓ Підстроювання шляхом примусового подавлення – ZF;

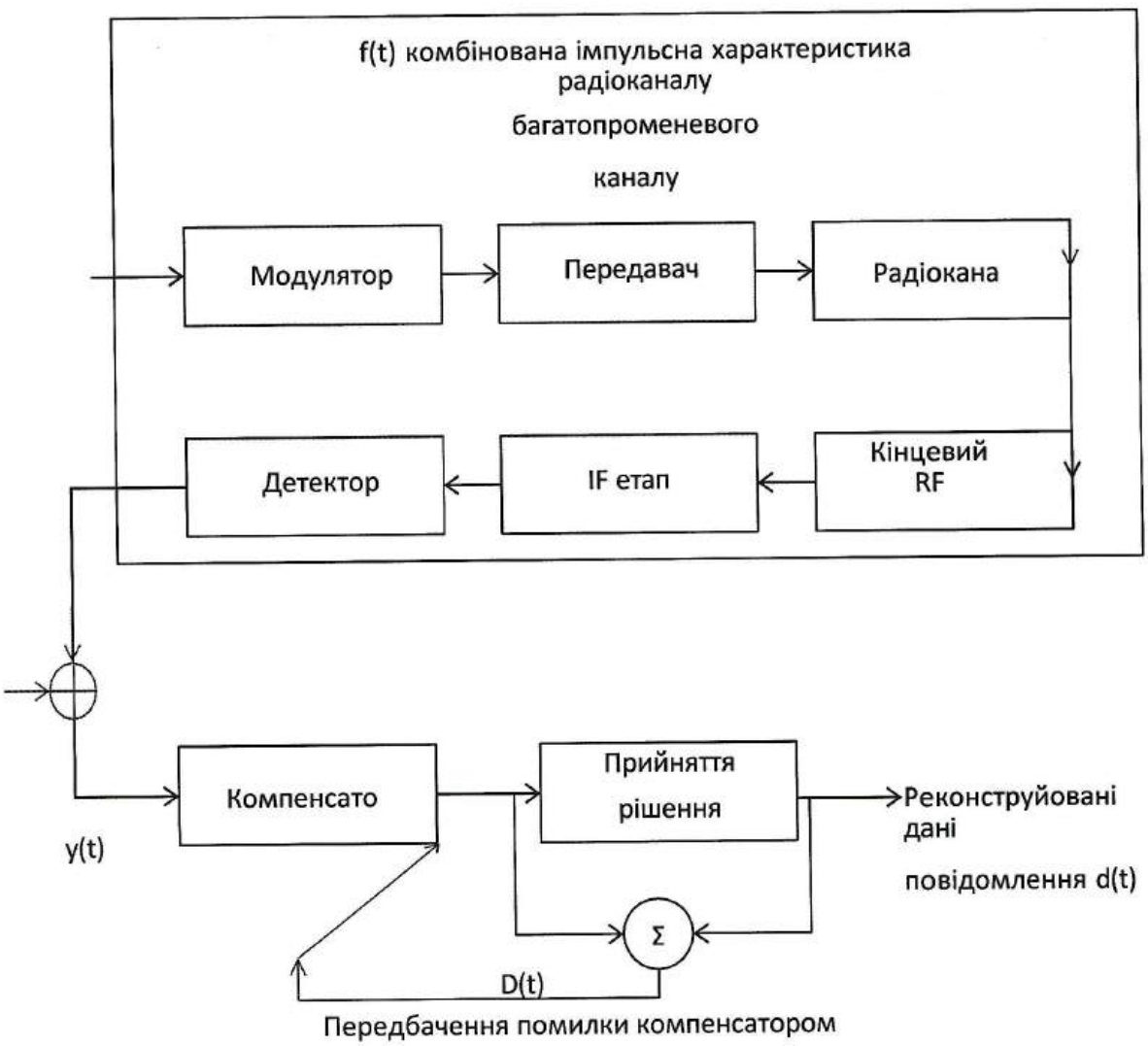
✓ Підстроювання на основі мінімізації середньоквадратичної помилки (MinimumMeanSquareError– MMSE);

✓ Підстроювання шляхом примусового подавлення з уникненням інтерференції;

✓ ZF-SIC з оптимальною впорядкованістю;

✓ MIMO з MMSESIC і оптимальне впорядкування;

Підстроювання параметрів каналу зазвичай відбувається в основній смузі частот чи на передавальній частоті в приймачі. Демодульований сигнал та процес адаптивного підстроювання зазвичай реалізують в основній смузі частот з використанням комплексного представлення сигналів. У даному розділі проведено дослідження двох типів підстроювання, які використовуються в системах LTE: з примусовим подавленням (ZF) та з мінімізацією середньоквадратичної помилки (MMSE).



На рис. 2.5 зображено блок-схему системи зв'язку в приймачі з адаптивним підстроюванням параметрів каналу. Якщо *x(t)* є вихідний інформаційний сигнал, і *f(t)* є основною смугою частоти у поєднанні з імпульсною характеристикою каналу передавача та RF/IF в секціях приймача, то сигнал, що приймається на підстроювання параметрів каналу.

2.4. Дослідження впливу пропускної здатності мережі LTE на показники QoE та QoS

Підвищення якості обслуговування QoS досягається покращенням декількох показників продуктивності мережі, які диференціюють Інтернет потоки. Якість сприйняття QoE – задоволення потреб клієнта мережевих послуг. Таким чином,

показники ефективності в параметрах QoS, такі як швидкість, втрата пакетів, затримки та джитер, впливають на QoE користувача. Різні сервіси мають різний набір вимог для мережевих параметрів, таких як джитер, затримка, втрата пакетів і пропускна здатність. QoS – це здатність мережі забезпечити кілька потоків з їх конкретними вимогами. Отже, QoS потребує підтримки виділеної смуги пропускання, покращення характеристик втрат, запобігання і управління перевантаженням мережі та формування і пріоритезації потоків трафіку.

З іншої сторони, QoE забезпечує можливість кількісної оцінки рівня якості сприйняття сервісів абонентами. Це забезпечує деякі засоби для оцінки загального рівня задоволеності клієнта від наданого сервісу, а отже, і оцінки методів покращення, які можуть бути реалізовані у випадку необхідності. QoE може означати різні речі для різних сервісів. Наприклад, аудіододаток може отримати високе значення QoE за рахунок правильності звуку, тоді як високе значення QoE для відеододатку пов'язане з великим та чітким зображенням. В цілях підтримки якості обслуговування, запропоновано різні алгоритми управління, планування маркування і розв'язання інших задач, щоб задовольнити певні порогові значення QoS під час сеансу зв'язку. На основі QoS не можна повністю описати і задовольнити якість сприйняття користувача, що вимагає формування методу визначення QoE на основі мережевих параметрів.

При визначенні класів QoS на IMT-2000 заборони та обмеження радіоінтерфейсу повинні бути прийняті до уваги. Механізми QoS, передбачені в IMT-2000 мережі, повинні бути надійними та здатними забезпечити достатній рівнь QoS. Запропоновано чотири різних класи QoS:

- Розмовний клас;
- Потоковий клас;
- Інтерактивний клас;
- Фоновий клас.

Таблиця 2.5.

Класи QoS для IMT-2000

Клас трафіку	Розмовний клас Розмова в режимі реального часу	Потоковий клас В режимі реального часу	Інтерактивний клас	Фоновий клас
Основні характеристики	– Збереження співвідношення (варіації) між інформаційними частинами потоку –Розмовний шаблон (точна та низька затримка)	– Збереження співвідношення (варіації) між інформаційними частинами потоку	– Шаблон запиту відповіді – Збереження змісту корисного навантаження	– Пункт призначення не очікує даних протягом певного часу – Збереження змісту корисного навантаження
Приклад застосування	– Голос	– Потокове відео	– Перегляд веб-сторінок	– Фонове завантаження електронних листів

Підходи до оцінки якості надання послуг.

Підходи до оцінки якості діляться на дві основні категорії: суб'єктивні і об'єктивні. При застосуванні суб'єктивних методів групу людей просять оцінити, як вони сприймають послугу. Об'єктивні методи базуються на використанні математичних моделей для апроксимації результатів суб'єктивної оцінки якості і поділяються на неоперативні і оперативні методи. Для застосування неоперативних методів потрібні накопичені дані, отже, хоча вони є більш точним, однак не підходять для моніторингу трафіку в реальному часі. Залежно від типу використовуваної послуги, є кілька об'єктивних підходів для оцінки сприйманого якості. До прикладів таких підходів належить E-модель представлена в Рекомендації MCE-T G.107 [13] для оцінки якості сприйняття послуги VoIP, яка досліджується у роботі, MSE та PSNR для оцінки якості сприйняття відеопотоків, G-модель для оцінки якості сприйняття онлайн-ігор, а також Рекомендація MCE-T G.1030 [25] для оцінки якості сприйняття веб- застсоувань. Всі ці об'єктивні методи відображають якість сприйняття послуги користувачем на мережеві параметри, такі як затримка, джитер, імовірність втрати пакетрів.

Суб'єктивну оцінку якості сприйняття послуг зазвичай виконують на основі шкали MOS, яка подана у таблиці 2.6. Ця шкала містить 5 категорій суб'єктивної оцінки якості сприйняття послуги. Кожен учасник тестової групи повинен класифікувати послугу за однією з категорій якості сприйняття.

Таблиця 2.6

Шкала MOS

MOS оцінка	Категорія якості сприйняття
1	Незадовільно
2	Погано
3	Задовільно
4	Добре
5	Відмінно

До недоліків суб'єктивних методів слід віднести високу вартість і організаційну складність їх застосування, а подекуди і цілковиту непридатність. Тому активно розробляються та досліджуються об'єктивні метрики якості сприйняття.

2.5. E-модель для оцінки якості сприйняття послуги

Застосування VoIP набирає все більш широкої популярності і використовується як альтернатива традиційної телефонії. Ця популярність пов'язана зі способом передавання даних по мережі (як правило, TCP / IP), простотою розширення спектру додаткових послуг, їх інтеграції та низької експлуатаційної вартості. До основних протоколи VoIP належать H.323, SIP, MGCP, Skype і IAX2 тощо. IAX2 є популярним протоколом, широко

Висновки до другого розділу

У розділі представлено математичні моделі підвищення пропускної здатності безпровідного каналу LTE з використанням різних видів модуляції та швидкостей кодування, моделей каналу, видів інформування про стан каналу з урахуванням моделі адитивного білого гаусівського шуму, що, у підсумку, дає змогу підвищити якість обслуговування.

Представлено математичні моделі адаптивної компенсації міжсимольної інтерференції з урахуванням впливу цього процесу на пропускну здатність

безпровідного каналу.

Представлено методи об'єктивної та суб'єктивної оцінки QoE та QoS з урахуванням відомих чотирьох класів якості обслуговування.

Запропоновано модель формування безпровідного каналу передавання з адаптивним діаграмоутворенням в режимі часового та частотного дуплексу для підвищення пропускної здатності для конфігурації каналу SU/MU-MIMO з використанням просторового рознесення, необідної ширини діаграми спрямованості та декількох антен на передавальній стороні. Запропоновано математичні моделі діаграмоутворення.

Метою розділу є формування оцінки впливу компонентів каналу LTE на його пропускну здатність, якість обслуговування та якість сприйняття послуг на фізичному рівні та розроблення основи для удосконалення відомих методів та моделей.

3. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ У СИСТЕМІ LTE

3.1. Особливості та параметри технології LTE-MIMO

Ресурс для передачі даних LTE складається з частот, простору і часу. Усі одиниці часу в LTE зводяться до параметра Ts = 1 / (15000 × 2 048), в якому 2 048 – довжина ШПФ. Фрейм LTE для низхідного та висхідного каналу становить 307200 * Ts = 10 мс. Фрейм складається з 10 субфреймів (30720×TS

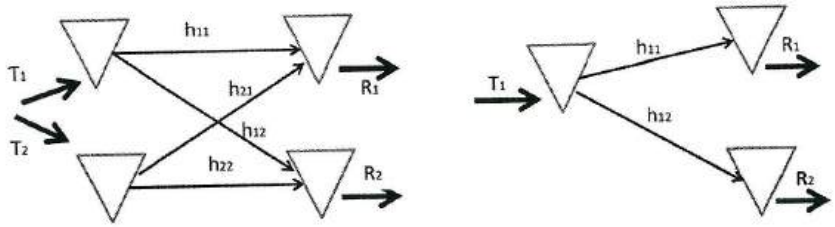
=1 мс) в FDD і двох півфреймів (тривалістю 153600 × Ts = 5 мс) в TDD а півфрейм ділиться на чотири субфрейми і спеціальний субфрейм або п'ять субфреймів у залежності від періодичності перемикання напрямів передавання. Спеціальний субфрейм не існує в другому півфреймі. Структура кадру TDD може бути різною: існує сім різних форматів субфрейму [9-14].

Субфрейми 0 і 5, як і DwTS зарезервовані для низхідного каналу. Субфрейм, який з'являється після спеціального субфрейму, а також UpPTS завжди призначається висхідному каналу. Кожен субфрейм і в FDD, і в TDD має два слоти тривалістю 15360×TS=0,5 мс. У частотній області 12 піднесівних згруповані разом і становлять ресурсний блок (RB) в одному слоті. Таким чином, ресурсний блок займає 180 кГц в частотній області і 0,5 мс в часовій області. З урахування смуги пропускання системи є від 6 до 110 RB, доступних для передачі даних. Функціонування режиму TDD забезпечує сім різних конфігурацій субфреймму, в режимі 5 найбільш імовірне призначення суб- фрейму низхідному каналу. У режимі 0 – висхідному каналу. При роботі TDD для перемикання між низхідним і висхідним каналами є захисний період в спеціальному субфреймі, що забезпечує додатковий час для висхідного каналу. У подальшому представлене більш детальне одслідження особливостей формування каналу передавання у системі LTE-MIMO.

3.2. Алгоритми формування пропускної здатності LTE на фізичному рівні

На основі смуги пропускання системи, яка коливається від 1,4 до 20 МГц, доступна різна кількість фізичних ресурсів кадру. Фізичні канали та опорні сигнали розподіляються до цих ресурсів. Розрахувавши навантаження опорних сигналів, які фактично не несуть інформацію до вищих рівнів і каналів управління, які передають інформацію керування, можна визначити кількість ресурсних елементів, виділених для передачі. На основі різних схем модуляції, швидкості коду і кількості портів антени, може бути розрахована пропускна здатність для каналів передачі даних. Під час роботи TDD є сім конфігурацій для мультиплексування передачі даних в часовій області низхідного і висхідного каналів, які призводять до різних значень пропускної здатності в заданій смузі частот каналу.

Базуючись на тому, що низхідний канал – службовий канал управління, в підкадрі – 2 OFDM символи, і 0.93 – кодова швидкість, максимальна пропускна здатність низхідного та висхідного каналів 130 Мбіт/с та 40 Мбіт/с відповідно. Нижче наведено це в математичному вираженні для пропускної здатності каналу C [15]:



а б

Рисунок 3.1. а) MIMO канал; б) SIMO канал

На рис. 3.1. (а) показано, як визначається розділення антени за взаємною кореляційною функцією антени з використанням моделі Джейкса.

Це формулювання підходить для передачі та прийняття сигналів-векторів. Імпульсна характеристика каналу h тепер є у вигляді матриці H. Матриця H для

багатопроменевого та к налу з ефектом Доплера матиме вигляд:

$$R(t) = H(r,t) \otimes S(t). \tag{3.1}$$

У цьому випадку, матриця Н змінюється випадковим чином в часі. Якщо зміни в часі дуже повільні (нерухомі приймач і передавач), настільки, що тривалість передавального блоку більша, ніж декількох символів, можна припустити, що цей канал буде статичним.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11}(\tau,t) & h_{12}(\tau,t) & \cdots & h_{1N_T}(\tau,t) \\ h_{21}(\tau,t) & h_{22}(\tau,t) & & h_{2N_T}(\tau,t) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(\tau,t) & h_{N_R,2}(\tau,t) & \cdots & h_{N_R N_T}(\tau,t) \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

Тоді прийнятий сигнал може бути визначений як:

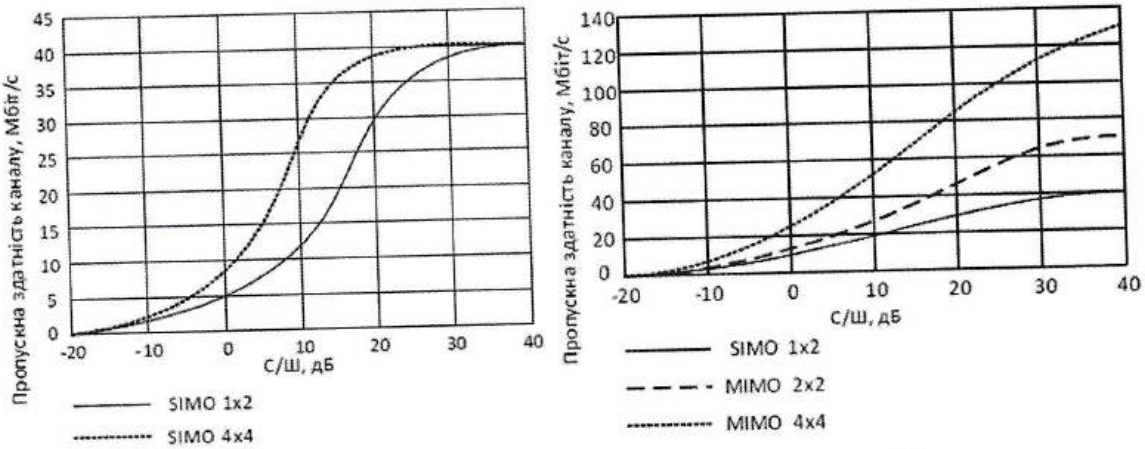
$$r(t)=H\otimes s(t). \tag{3.3}$$

Елементи матриці Н можуть бути як дійсними, так і комплексними числами. Для проведення подальший досліджень слід прийняти, що матриця Н є незмінною протягом тривалості одного або декількох символів, а потім змінюється випадково.

Такі швидкі зміни призводять до інтенсивних змін співвідношення сигнал/шум. Однак, припущення про стаціонарність каналу протягом певного часу дає змогу спростити декодування, бо у цьому разі декодеру не потрібно знати особливості коливання значень сигнал/шум, і канал може вважатися квазістатичним у межах тривлості блоку даних, подібно до систем з часовим розділенням каналів. Поведінка каналу є статичною щонайменше протягом тривлості блоку даних. Кожну версію матриці Н називатимемо її реалізацією. Швидкість зміни цих реалізацій залежиться від стану безпровідного каналу. Для визначення спектральної ефективності такої системи за умови конфігурації каналу SIMO використаємо співвідношення

$$C_{SIMO} = \log_2(1+ \|h\|^2 SNR) \text{ bits/s/Hz} \quad (3.4)$$

де $\|h\|^2$ визначається як $h_1^2 + h_2^2 + \cdots ... + h_{NR}^2$;h – вектор стану просторового каналу.З урахуванням різних моделей завад у каналі проведено моделювання для оцінуи залежності спектральної ефективності безпровідного каналу від співвідношення сигнал/шум на вході приймача мобільної станції (рис. 3.2).



а б

Рисунок 3.2. Залежність пропускної здатності каналу від співвідношення сигнал/шум на вході приймача у системі LTE для низхідного каналу (а) та висхідного каналу (б)

Канал містить N_R шляхів, а, отже, максимальний виграш у пропускній здатності обмежується коефіцієнтом $h^2 = N_R$ з урахуванням припущення, що передавачу не відомий стан каналу.

Формування пропускної здатності на основі вибору порту антени і кількості OFDM символів для різної смуги каналів «вгору» і «вниз»

Пропускна здатність (ПЗ) на фізичному рівні розраховується для різних сценаріїв. Для того, щоб визначити ПЗ фізичного рівня, необхідно розрахувати загальну кількість фізичних ресурсів, які доступні для різних смуг пропускання у висхідному та низхідному каналах передачі [17]. З іншого боку, необхідно визначити, яка кількість фізичних ресурсів пов'язана з втратами. Досяжні на

фізичному рівні значення пропускної здатності 100 Мбіт/с, 150 Мбіт/с і 300 Мбіт/с для 1, 2, 4 портів антени відповідно. На підставі доступної ширини смуги пропускання системи (від 1,4 до 20 МГц), числа портів антени, кількості OFDM символів, призначених для PDCCH(1, 2, чи 3 символів у підкадрі), кодової швидкості (0.33 – 0.92), і методу модуляції (QPSK, 16-QAM, чи 64-QAM), можуть бути отримані різні значення пропускної здатності. Для передачі по низхідному каналу, eNB визначає, яка модуляція і кодова швидкість будуть використовуватись на основі CQI, що передається від UE. eNB також може оцінити швидкість коду та схему модуляції за допомогою опорного зондуючого сигналу SRS. Отже, LTE надає перевагу техніці адаптивних модуляції та кодування AMC, яка базується на якості сигналу, певній схемі модуляції та кодовій швидкості, обраній для передачі даних.

AMC є постійною для виділених для користувача ресурсних блоків; однак різні користувачі можуть мати різні модуляції та швидкості коду. Окрім того, для мультиантенної передачі, кожен просторовий канал може використовувати незалежну модуляцію і кодову швидкість. Розрахунок пропускної здатності базується на передачі по висхідному та низхідному каналах, і не включає в себе будь яку інформацію управління.

PDCCH може займати 1-4 OFDM символи в низхідному каналі, отже в PDCCH службова інформація коливається від 2.3% (один OFDM символ у випадку 4-портів антени та смуги пропускання 20 МГц) до 27% (чотири OFDM символи у випадку 1-порту антени та смуги пропускання 1.4 МГц). Опорні сигнали відображаються ресурсними елементами в залежності від кількості портів антени. Для одного порту антени, опорний сигнал становить 4,7%; це навантаження зростає до 9,5% і 14% у разі двох і чотирьох портів антени, відповідно. Основний сигнал синхронізації для P-SS і S-SS можна вважати 1.4% (для смуги пропускання 1.4 МГц) і 0.085% (для смуги пропускання 20 МГц), як мінімальне та максимальне значення. Основні втрати, пов'язані з PBCH, можуть становити 2.7% – 0.14% від пропускної здатності каналу. Слід зазначити, що для шести ресурсних блоків мінімальними і максимальними OFDM символами, зайнятими PDCCH є 2 та 4.

Тим не менше, в результаті ре конфігурації PDCCH, кількість OFDM символів може бути збільшена до 6. Максимальна пропускна здатність на фізичному рівні може бути розрахована шляхом застосування схем кодування і модуляції каналу для ресурсних елементів, доступних для передачі даних. Наприклад, максимальна пропускна здатність у випадку 1-портової антени, одного OFDM символу, призначеного для PDCCH, 64-QAM модуляції та кодової швидкості=0.85, становить 75,31 Мбіт/с. Якщо використовується антена з 2 портами, максимальна пропускна здатність досягає 144,595Мбіт/с. Максимальна пропускна здатність для антени з 4 портами і кодовою швидкістю 0.92 досягає 299,122 Мбіт/с. Максимальна пропускна здатність у висхідному каналі може бути отримана шляхом застосування схем модуляції і канального кодування. Наприклад, у випадку смуги пропускання системи 20 МГц, 64-QAM модуляції та кодової швидкості=0.85, максимальна пропускна здатність у висхідному каналі буде 71,97 Мбіт/с. У процесі роботи TDD існує сім різних конфігурацій для передачі даних у висхідному та низхідному каналах. Конфігурація MOD 0 організує найбільшу кількість підкадрів у висхідному каналі (в цілому шість підкадрів); однак, в MOD 5 найбільша кількість підкадрів виділяється для передачі у низхідному каналі (8 підкадрів).

Максимум PDSCH та PUSCH ресурсних елементів може бути досягнуто як з MOD 5, так і з MOD 0 відповідно. Дані результати отримано з використанням поєднання технологій SU-MIMO і MU-MIMO, які представлено у другому розділі.

Підвищення пропускної здатності на основі узгодженого планування міжрівневої взаємодії в системі LTE з урахуванням QoS

QoS, як правило, визначається з точки зору мінімальної швидкості чи максимальної затримки.

Параметри QoS можуть бути класифіковані відповідно до їх технічних реалізацій в системах LTE.

Така класифікація може мати ієрархічну структуру трьох різних рівнів: рівень бітів, рівень пакетів і рівень виклику. Дана класифікація називається категорією технічних параметрів QoS.

•QoS рівня бітів. Для забезпечення цілісності швидкості передачі, цільове значення BER для кожного користувача не потрібне. Досягнення необхідного SIR гарантує цільове BER для цього користувача.

•QoS рівня пакетів. У випадку даних реального часу, таких як голосова та відео конференції, які чутливі до затримки, кожен пакет повинен бути переданий в межах нормованої затримки пакета. Процедури планування можна досягти різними службами QoS, де параметри передачі визначаються відповідно до класу QoS та стану каналу.

•QoS рівня виклику. В системі стільникового зв'язку LTE, прийом виклику в системі залежить від ємності та типу виклику (новий чи хендовер).

3.3 Застосування засобів підвищення пропускної здатності та якості обслуговування на фізичному рівні LTE

На основі моделювання різного типу антенних систем із використанням симулятора LTE Віденського університету отримано результати залежності BLER від відношення сигнал/шум, що відображає поведінку звітування CQI. До прикладу (рис. 3.3), для досягнення BLER=10^{-2} у каналі типу PedB з використанням CQI 7 та TxD MIMO 4x2 необхідне відношення сигнал/шум становить 6 дБ, а для таких же умов з використанням OLSM MIMO 4x2 відношення сигнал/шум становить 12 дБ, тобто за умов більш зашумленого середовища доцільно використовувати TxD MIMO 4x2.

Дослідження пропускної здатності каналу LTE за різних конфігурацій приймально-передавального тракту.

На рис. 3.3, а подано характеристики пропускної здатності системи у залежності від відношення сигнал/шум, отримані з використанням того ж інструменту моделювання. У процесі моделювання не враховується HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request), і жодні повторні передачі не виконуються. Легко бачити, що для тих же значень SNR максимально досяжна пропускна здатність перевищує реальну на основі CQI приблизно у 1,3 рази. Відстань від кривої

максимальної ємності системи для всіх кривих складає близько 2 дБ. Ця відстань збільшується зі зростанням CQI, що пояснюється негаусівською природою сузір'їв QAM.

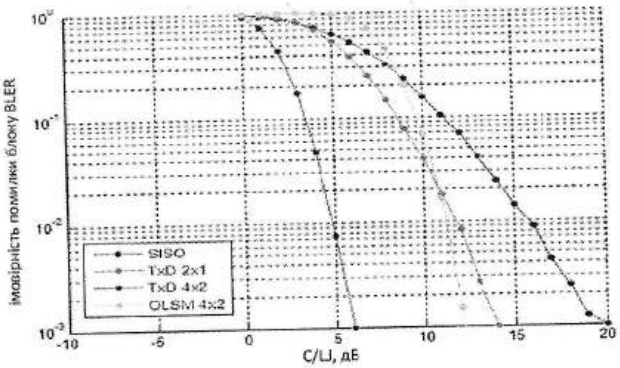


Рисунок 3.3. Залежність BLER від відношення сигнал/шум для різних конфігурацій приймально-передавального тракту

Залежність пропускної здатності від відношення сигнал/шум із застосуванням АМС представлена на рис. 3.3 б для одного користувача, який отримує усі доступні ресурси. Варто відзначити, що характер кривих на рис. 3.2 і 3.4, б подібний, хоча у другому випадку допускалося до трьох повторних передач. Причина такої подібності полягає у тому, що в AWGN каналі перемикання між схемами кодування і модуляції здійснюється ідеально, і немає необхідності у повторних передачах.

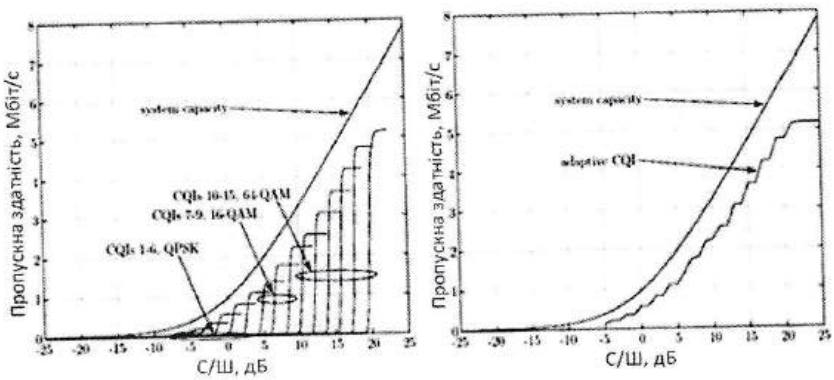


Рисунок 3.4. Залежність пропускної здатності від відношення сигнал/шум: без HARQ у AWGN каналі (а); з АМС і HARQ у AWGN каналі (б)

На рис. 3.4 представлено сімейство залежностей максимально досяжної пропускної здатності системи від відношення сигнал/шум для різних конфігурацій приймально-передавального тракту. Чим більше передавальних антен використовуються для передачі, тим більше експериментальних символів вставляються в кадр OFDM і тим нижча максимальна пропускна здатність може бути досягнута.

У випадку конфігурації OLSM, передаються два просторово розділені потоки даних, що приводить до подвоєння максимальної пропускної здатності системи TxD 4x2. Варто зазначити, що результати, представлені на рис. 3.5, отримані без адаптивного попереднього кодування каналу. Отже, може очікуватися перевага схеми TxD, коли буде використовуватись ідентифікатор комірки PCI (Physical Cell Identifier).

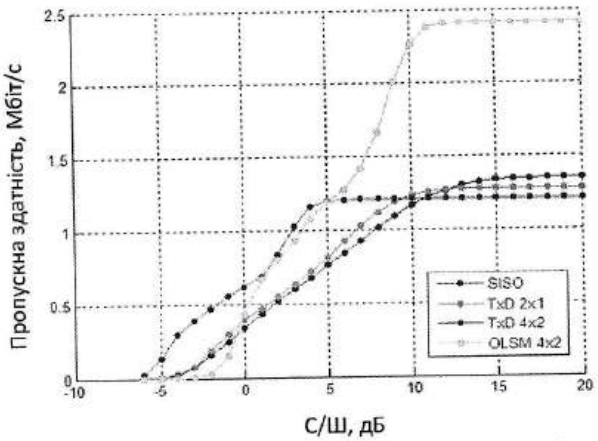


Рисунок 3.5. Залежність пропускної здатності каналу від відношення сигнал/шум для різних конфігурацій приймально-передавального тракту

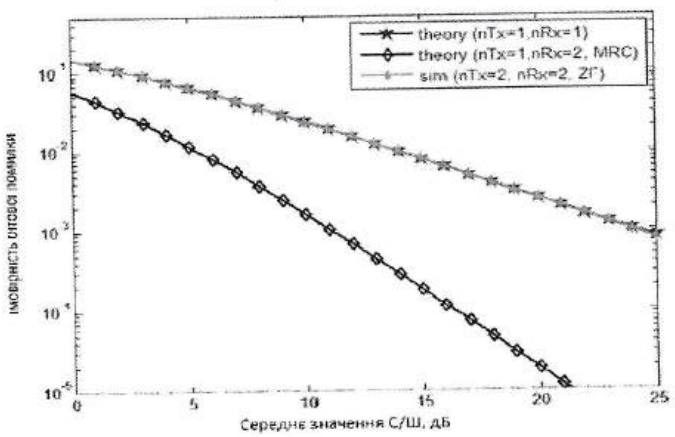


Рисунок 3.6. Порівняння BER для каналу MIMO з компенсатором ZF та MRC

В порівнянні з ZF, MMSE демонструє кращу завадозахищеність за рахунок урахування шумового параметра в рівнянні компенсації (рис. 3.6). Але для високих значень SNR ця різниця зменшується.

У роботі досліджено вплив методів підлаштування параметрів передавання до умов каналу. Для порівняння ефективності ZF та MMSE використовувалась схема підсумовування диференціально-зважених сигналів (MRC) з кожного елементу антенної системи. Різниця між використанням MRC і ZF MIMO полягає у значеннях BER: наприклад, для співвідношення сигнал/шум 20 дБ BER для MRC становить близько 10^{-5}, а для ZF MIMO 2x2 BER=10^{-3}, що підтверджує покращення якості обслуговування із застосуванням методу підсумовування диференціально-зважених сигналів з кожного елементу антенної системи (рис. 3.6).

Легко бачити, що пропускна здатність каналу з цифровим діаграмоутворенням вища в обох випадках, а з використанням модуляції 16 QOAM досягається на 35-40 % вища пропускна здатність, ніж для QPSK в області значень SNR вище 15 дБ

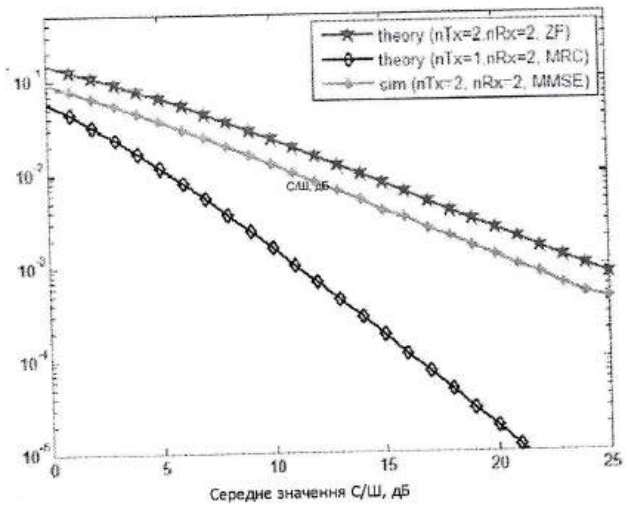


Рисунок 3.7. Порівняння BER для каналу MIMO з компенсаторами ZF, MMSE та MRC

Проведено дослідження технічної ефективості іншого методу підвищення пропускної здатності, який описаний у другому розділі роботи – адаптивного діаграмоутворення. Проведено моделювання системи з та без діаграмоутворення з

використанням модуляцій типу QPSK та 64-QAM. Кодова швидкість встановлена рівною 1/3.

На рис. 3.7 представлено результати дослідження пропускної здатності LTE з використанням та без використання цифрового діаграмоутворення і з використанням двох видів модуляцій: а) QPSK, б) 64 QAM.

Легко бачити, що пропускна здатність каналу з цифровим діаграмоутворенням вища в обох випадках, а з використанням модуляції 64 QAM досягається на 25 % вища пропускна здатність, ніж для QPSK в області значень SNR вище 15 дБ.

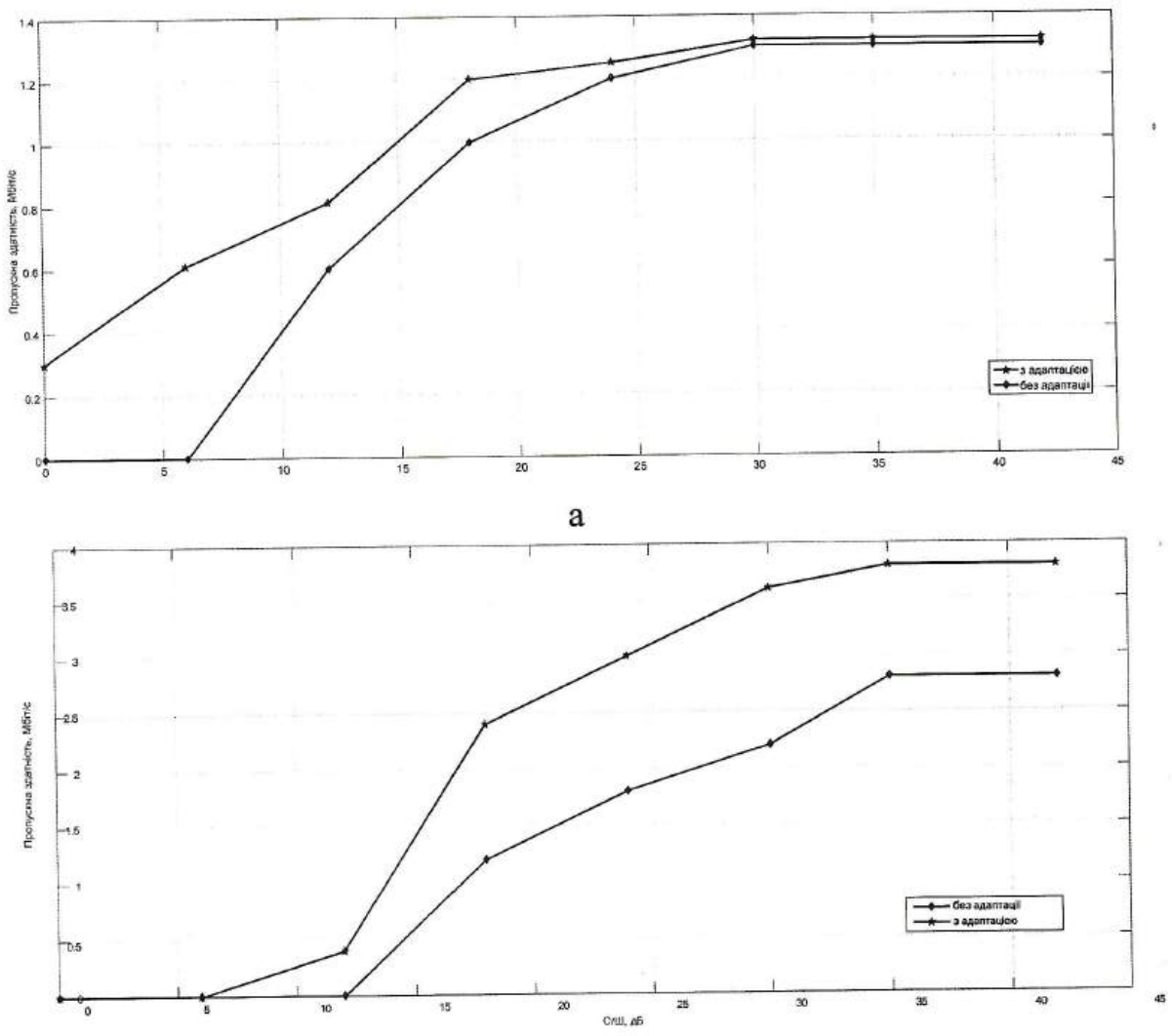


Рисунок 3.8. Порівняння пропускної здатності каналу LTE з та без BF з використанням модуляцій: а) QPSK, б) 64 QAM

Проведено моделювання роботи каналу LTE за різних сигнально-кодових конструкцій для максимальної та мінімальної довжини кодового слова (40 та 6144). Модель завади у каналі – адитивний білий гаусівський шум. Використано стандартний циклічний префікс та швидкість турбокодера 1/3. Проведено моделювання таких типів модуляцій: QPSK, 16-QAM, та 64-QAM. У табл. 3.1 подано основні параметри моделювання. З використанням поданих нижче співідношень обчислено решту показників, які подані у табл. 3.1

Таблиця 3.1

Параметри моделювання

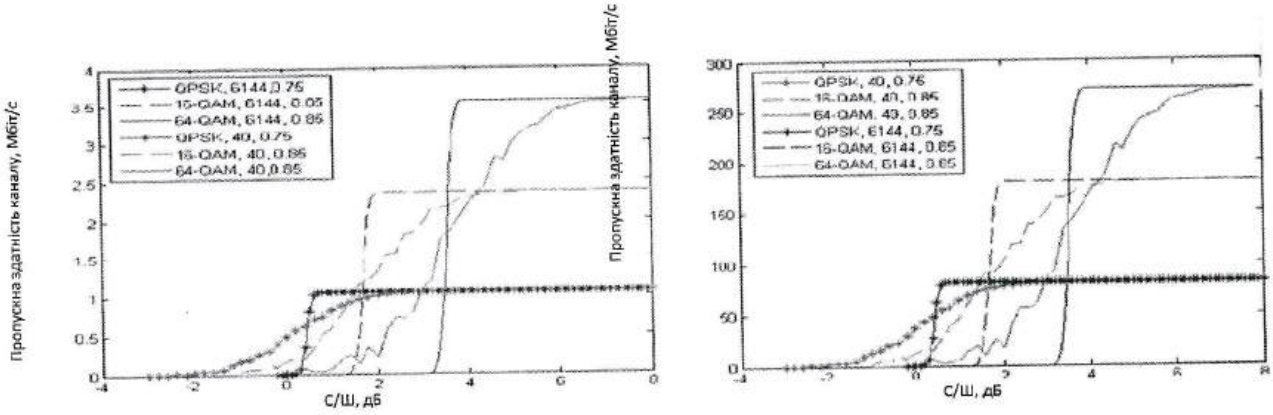
Параметр	Значення
Ширина смуги пропускання каналу	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 (МГц)
Розмірність перетворення Фур'є	2048
Максимальна кількість ресурсних блоків	100
Режим дуплексу	FDD
Модель каналу	AWGN
Завадосстіке кодування	турбокодування, R=1/3
Модуляція	QPSK, 16-QAM,64-QAM
Тривалість фрему	10 мс
Рознесення між піднесучими	15 кГц
Циклічний префікс	Стандартний
Розмір блочного коду	40, 6144
Швидкості кодера	0.33 to 0.92
Антенна система	SISO, 2x2 MIMO and 4x4 MIMO
Мксимальна кількість ітерацій турбокодера	10
Глибина турбокоду	6
Мінімальна BER	10^{-9}
Максимальна BER	10^{-4}
Кількість помилок	300

Максимальна пропускна здатність у смузі 1,4 МГц з використанням одного порту антени і двох OFDM символів, призначених на PDCCH, 64-QAM модуляції з кодовою швидкістю 0.71, становить 3,935 Мбіт/с; в смузі 20 МГц з використанням чотирьох антенних портів, модуляції 64-QAM з кодовою швидкістю 0,85 – 276.32 Мбіт/с. З використанням максимально досяжної кодової

швидкості 0,92 може бути досягнута пропускна здатність 299.122 Мбіт/с.

Бачимо, що теоретичний максимум пропускної здатності досягається в смузі пропускання 20 МГц з використанням чотирьох антенних портів, модуляції 64-QAM, швидкості кодера 0.92, і становить 299.122 Мбіт/с.

На підставі моделі підвищення пропускної здатності каналу LTE з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на продуктивність мережі проведено дослідження досяжних значень пропускної здатності каналу. Результати наведено на рис. 4.7.



а б

Рисунок 3.9 Залежність пропускної здатності каналу FDD PDSCH від відношення сигнал/шум з урахуванням множини параметрів радіоканалу у смузі 1,4 МГц з антенною системою SISO (а) та 20 МГц з антенною системою MIMO 4x4 (б)

3.4 Дослідження параметрів QoE та QoS у комірці LTE у процесі передавання мультимедійного трафіку

Підвищення якості сприйняття трафіку VOIP.

У підрозділі проведено імітаційне моделювання процесу передавання VOIP трафіку у комірці LTE з використанням різних типів кодеків. Схему експерименту подано на рис. 3.10.

У моделюванні бере участь чотири комірки по три мобільні станції у кожній з них. Кожна мобільна станція може здійснити виклик до будь-якої іншої

випадково обраної. Мережа функціонує у режимі FDD. Несуча висхідного каналу – 1920 МГц, а низхідного каналу – 2110 МГц. Використовується стандартний циклічний префікс. Метою дослідження є вивчення впливу кодеків та оцінку MOS у такій мережі. Як середовище моделювання використовуємо OPNET Modeler 16.

Оцінку MOS отримано за допомогою використання E-моделі на підставі рейтингового показника. Зі стандартної E-моделі відомо, що стандартний рейтинговий показник становить 93,2, проте, якщо знизиться наприклад показник шуму в приміщенні, то рейтинговий показник знизиться до 82,6, що вплине на продуктивність мережі та призведе до зниження якості сприйняття послуг з 4,41 до 4,42 в термінах оцінки MOS.

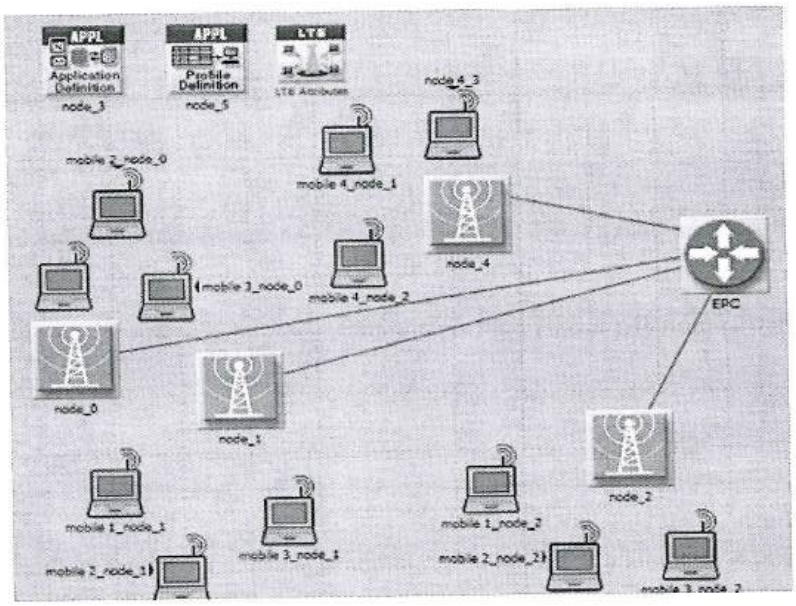


Рисунок 3.10 Схема експерименту для дослідження якості сприйняття голосового трафіку у мережі LTE

З використанням одного і того ж кодека подано результати залежності R фактора від односторонньої затримки передавання VOIP трафіку. Варто зазначити, що E-модель передбачає наявність одного користувача, який передає, і одного користувача, який приймає в одни момент часу, а у запропонованій моделі ця кількість не обмежується. Отже, може бути отримана більш точна оцінка якості сприйняття. У підсумку відзначимо, що оцінка MOS залежатиме від кількості

одночасних активних пар мобільних станцій та від типу кодека, який використовується.

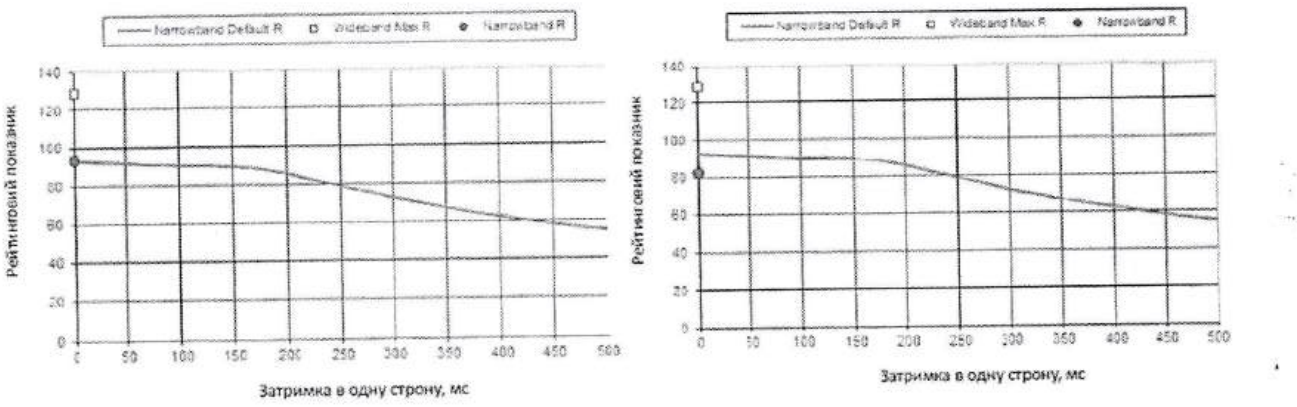


Рисунок 3.11. Рейтинговий показник 93.2 при RLR=2 (а) та 82.6 при RLR=10 (б)

Очевидно, що використання високошвидкісних кодеків (G.711 з номінальною швидкістю передаваня 64 кбіт/с) дає змогу отримати вищу оцінку MOS. Менш швидкісні кодеки (GSM FR, G.723.1 5.3K, and G.729A) знижують оцінку MOS, про що свідчать дані з табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати моделювання якості сприйняття послуг

Кодек VoIP	Ширина смуги пропускання каналу	
	MOS при 1.4 МГц	MOS при 20 МГц
GSM FR	2.39	3.49
G.729 A	3.01	3.03
G.723.1 5.3K	2.5	2.51
G.711	3.62	4.64

Дослідження параметрів QoE у процесі відеотрансляції

Аналіз продуктивності та моделювання було здійснено за наступними припущеннями:

• eNodeB забезпечує 3 типи схем модуляції та кодування, а також зони їх застосування, визначені у табл. 3.3;

• мобільні станції рівномірно розподілені у межах комірки;

• відео кодується з використанням SVC (scalable video coding) зі швидкістю кодування $R_S = 512$ *кбіт / с* ;

• кількість шарів відео не більша від кількості типів схем модуляції та кодування;

• не враховуються втрати у шарах Scalable Video.

Таблиця 3.3

Сигнально-кодові конструкції, застосовані у моделі

Тип СКК	Модуляція	швидкість коду	Інф. біт/символ	С/Ш(дБ)	Відстань (км)
1	QPSK	1/2	1	0,61	1,58
2	QPSK	3/4	1,5	2,7	1,44
3	16QAM	1/2	2	6,528	1,31

При використанні зв'язку типу точка-точка, відповідний рівень МС для передачі відеоінформації визначається залежно від стану каналу до приймача. З цієї причини, приймачі з низьким співвідношенням сигнал/шум на своєму вході обирають порівняно низький рівень СКК і обмежують швидкість багатоадресного передавання. У зв'язку з цим приймачі отримують справедливі частки пропускної здатності, але вона не забезпечує у багатьох випадках достатньої якості сприйняття послуг.

З іншого боку, ефективність відеотрансляції не вимірюється пропускною здатністю, як при звичайному передаванні даних. Тому ефективність трансляції відео потоку залежить від якості сприйняття послуги (QoE).

В табл. 3.4 і 3.5 зведено оптимальні результати розподілу ресурсів із максимізованим та пропорційно-справедливим QoE відповідно для різних символьних швидкостей і кількостей шарів відео.

Наприклад, якщо доступна швидкість передачі символів 200 ксим/с,

формуємо для його трансляції групову багатошарову сесію, і отримуємо максимальну середню QoE рівну 0,65 за умови, що:

- кількість відео шарів становить 3;
- швидкості кодування основного шару 142 кбіт/с і шару покращення 63 кбіт/с та 32 кбіт/с відповідно;
- швидкість передачі символів для базового шару встановлена на рівні 142 ксим/с і застосовується перший тип СКК (QPSK модуляція і швидкість кодування 1/2);
- для першого шару покращення встановлена символьна швидкість 42 ксим/с і застосовано другий тип СКК (QPSK модуляція і швидкість кодування 3/4);
- для другого шару покращення встановлена символьна швидкість 16 ксим/с і застосовується третій тип СКК (16QAM модуляція і швидкість кодування 1/2);
- 18% приймачів отримають тільки базовий шар з QoE 0,37, 14% приймачів отримають базовий і перший шарпокращення з QoE 0,62, а 68% отримають всі шари з QoE 0,73.

Таблиця 3.4

Результати розподілу ресурсів із максимізованим QoE для різних символьних швидкостей і кількостей шарів відео

Символьна швидкість відео (ксим/с)	Шар відео	Швидкість кодування	Тип СКК	символьна швидкість	QoE	Користувачі, %	Середнє значення QoE	Показник справедливості
120	1	240	3	120	0,73	68	0,50	0,68
200	3	32	3	16	0,73	68	0,65	0,92
	2	63	2	42	0,62	14		
	1	142	1	142	0,37	18		
280	3	22	3	11	0,88	68	0,85	0,98
	2	30	2	20	0,83	14		
	1	249	1	249	0,76	18		

У порівнянні з випадком максимізації QoE, PF стратегія розподілу QoE стимулює спільне використання відеопотоку ширшим колом користувачів шляхом поділу цього відеопотоку на більшу кількість шарів, завдяки чому досягається покращення рівня справедливості, як показано в табл. 3.5.

У випадку обмеження пропускної здатності до 120 ксим/с, стратегія максимізації QoE формує одношаровий відеопотік і охоплює тільки 68% користувачів. При цьому використовуємо 3 тип СКК. З іншого боку, алгоритм PF ділить ресурси на 3 шари і охоплює 100% користувачів шляхом адаптації СКК нижчих рівнів на шари 1, 2 і 3, щоб отримати більше охоплення. Отже, кожен з 18% отримує відео з шару 1 при швидкості передачі даних 80 кбіт/с, кожен з 14% користувачів отримує дані з обох шарів 1 і 2 з сукупною швидкістю даних 114,6 кбіт/с, кожен з решти користувачів може отримувати дані з шарів 1, 2, 3 зі швидкістю 148,5 кбіт/с. У цьому випадку за рахунок зниження QoE на 34%, PF алгоритм дає можливість отримати 21% приросту в справедливості розподілу.

Для аналізу множини можливих компромісів між QoE і справедливістю розподілу розглянемо ідеальні умови поширення в каналі ($C_1 = 6, C_2 = 2$).

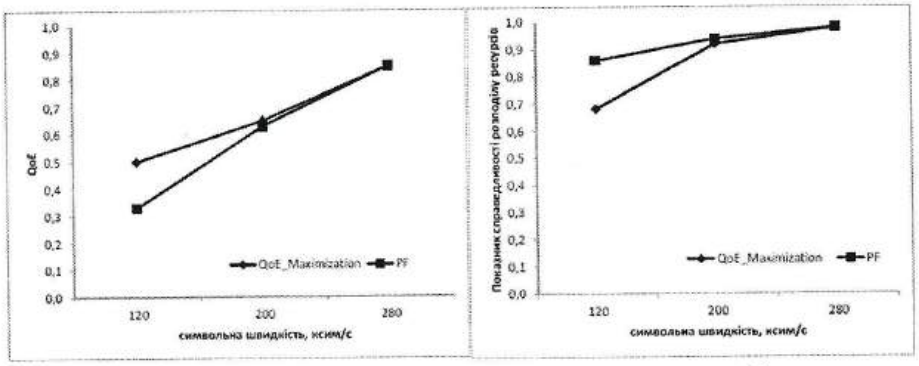
На основі запропонованої моделі передавання відеотрафіку в комірці LTE проведено дослідження ефективності стратегій максимізації QoE та забезпечення пропорційно-справедливого розподілу ресурсів (рис. 3.13).

У зашумленому каналі каналі QoE зростає дуже повільно зі збільшенням швидкості, коли значення цієї швидкості є нижчим за певний пороговий рівень або вищим за інший поріг, як показано на *S*-подібній кривій у дисертаційній роботі. У цих межах значення QoE, які залежать від швидкості надходження відеоданих, слабко відрізняються, тому стратегія виділення ресурсів впливає на QoE несуттєво.

Таблиця 3.5

Результати розподілу ресурсів із пропорційно-справедливим QoE для різних символьних швидкостей і кількостей шарів відео

Символьна швидкість відео (ксим/с)	Шар відео	Швидкість кодування	Тип СКК	символьна швидкість	QoE	Користувачі, %	Середнє значення QoE	Показник справедливості
120	3	34	3	17	0,40	68	0,33	0,86
	2	34,5	2	23	0,26	14		
	1	80	1	80	0,14	18		
200	3	28	3	14	0,69	68	0,63	0,94
	2	36	2	24	0,59	14		
	1	162	1	162	0,45	18		
280	3	22	3	11	0,87	68	0,85	0,98
	2	25,5	2	17	0,83	14		
	1	252	1	252	0,77	18		



а б

Рисунок 3.13. Баланс між QoE та показником справедливості розподілу ресурсів (для умов каналу $C_1 = 6$, $C_2 = 2$)

Висновки до третього розділу

Представлено модель для підвищення пропускної здатності з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на продуктивність мережі.

Метод збільшення пропускної здатності низхідного каналу передавання даних LTE з підтримкою QoS з використанням різних типів розподілу ресурсів. Цей метод розподіляє доступні ресурси низхідного каналу LTE на основі максимальної справедливості, максимальної сумарної пропускної здатності і пропорційно-справедливого розподілу. Метод здійснює виділення частотно-часових ресурсів низхідного каналу LTE на основі розподілу ресурсних блоків з використанням нульового типу розподілу ресурсів. Таким чином досягається виділення необхідної пропускної здатності для кожного UE без максимізації загальної продуктивності низхідного каналу LTE.

У роботі проведено дослідження продуктивності мережі за допомогою QoE і QoS при відеотрансляції з використанням S-кривої, яка обрана в якості моделі, що встановлює співвідношення між QoE і швидкістю передавання відеопотоку.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу ресурсів та міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

В процесі визначення параметрів QoE і QoS, можливі втрати оператора і користувача пов'язані з технічною (апаратне та програмне забезпечення) відмовою. Цими параметрами керують із застосуванням таких методів, як планування мережі, резервування QoS, моніторинг та оптимізація QoE і QoS. Аналіз показує, що існує цілий ряд методів для забезпечення якості обслуговування в сервісно-орієнтованій архітектурі LTE, але їх функціональність обмежена або радіо-мережею e-UTRAN або базовою мережею SAE.

Розглянута модель формування пропускної здатності з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на продуктивність мережі. Максимальна пропускна здатність у смузі 1,4 МГц з використанням одного порту антени і двох OFDM символів, призначених на PDCCH, 64-QAM модуляції з кодовою швидкістю 0,85, становить 3,935 Мбіт/с; в смузі 20 МГц з використанням чотирьох антенних портів, модуляції 64-QAM з кодовою швидкістю 0,85 – 276.32 Мбіт/с. З використанням максимально досяжної кодової швидкості 0,92 може бути досягнута пропускна здатність 299.122 Мбіт/с.

Метод збільшення пропускної здатності низхідного каналу передавання даних LTE з підтримкою QoS з використанням різних типів розподілу ресурсів. Цей метод розподіляє доступні ресурси низхідного каналу LTE на основі максимальної справедливості, максимального відношення сигнал/шум і пропорційно-справедливого розподілу. Метод здійснює виділення частотно-часових ресурсів низхідного каналу LTE на основі розподілу ресурсних блоків з використанням нульового типу розподілу ресурсів. Таким чином досягається виділення необхідної пропускної здатності для кожного UE без максимізації загальної продуктивності низхідного каналу LTE. Запропонований метод дає змогу

на 30% підвищити справедливість розподілу ресурсів у порівнянні з відомими. Використовуючи алгоритм максимізації відношення сигнал/шум, слід вирішити задачу виділенням ресурсних блоків всім UE без можливості захоплення ресурсів найближчим UE до eNodeB. Такий розв'язок у роботі отримано з використанням першого типу розподілу ресурсів із поділом ресурсних блоків на підмножини, які динамічно формуються, а доступ до них надано лише окремим UE.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fei Liu,/ A Novel QoE-Based Carrier Scheduling Scheme in LTE- Advanced Networks with Multi-Service// Wei Xiang, Yueying Zhang, - Program for New Century Excellent Talents in University (Grant No. NCET-11-0600), and Graduate Innovation Fund of HUAXING CHUANGYE & SICE, BUPT, 2011.

2. Martin Wrulich,/ System level simulation of LTE networks// Vienna University of Technology, Austria, IEEE – 2010.

3. Andrei Vasile Iordache,/ LTE Downlink Performance// Faculty of Electronics, Telecommunications and Information, University POLITEHNICA University Politehnica Bucharest, Romania, IEEE – 2012.

4. R. Barco,/ Estimation of Link-Layer Quality Parameters in a System-Level LTE Simulator// University of Malaga, Communications Engineering Dept., Malaga, Spain, IEEE – 2010.

5. Motorola, «Long Term Evolution (LTE): Overview of LTE Air-Interface», Technical White Paper, 2007

6. ETSI TR 136 942 V10.2.0 (2011-05) «LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios(3GPP TR 36.942 version 10.2.0 Release 10)»

7. Rohde & Schwarz. UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction. Rohde & Schwarz Products C.Gessner 03.2007., p.17-22.

8. Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold and Per Beming. 3G Evolution. HSPA and LTE for Mobile Broadband. Second edition. Academic Press is an imprint of Elsevier. Burlington, MA.- 2008., p.300-316.

9. Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice. Second Edition. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. Great Britain.-2011., p.217-249.

10. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance. Cambridge University Press, New York.- 2009., p.291-342.

11. Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. Great Britain.-2009., p.207-239.

12. Lee, Juho, Han, Jin-Kyu, and Zhang, Jianzhong (Charlie), (2009), "MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2009, pp. 1-10.

13. A Mathematical Theory of Communications. Shannon, C. E. Vols. Bell Systems Technical Journal, vol. 27, 1948, pp. 379-423 and 623-656.

14. Y. G. Li, N. Seshadri, and S. Ariyavisitakul, "Channel estimation for transmitter diversity in OFDM systems with mobile wireless channels," IEEE J. Selected Areas Commun., vol. 17, pp. 461-471, March 1999

15. Mehlführer, C., Caban, S., Wrulich, M., and Rupp, M., (2008), "Joint throughput optimized CQI and precoding weight calculation for MIMO HSDPA", 2008 42nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, 26-29 Oct., 2008, pp. 1320-1325.

16. D. Falconer, "Frequency Domain Equalization for Single-carrier Broadband Wireless Systems," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 4, April 2002, pp.58–66.

17. S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data Transmission by Frequency Division Multiplexing 634, Using Discrete Fourier Transform," IEEE Transactions on Communications, vol. 19, no. 5, pp. 628–October 1971

18. A. Paulraj, D. Gore, R. Nabar, and H. Bolcskei. An overview of MIMO communications - a key to gigabit wireless. In Proceedings of the IEEE, vol. 92, pp. 198–218, Feb. 2004.

19. G. L. Stuber, J. R. Barry, S.W.McLaughlin, Y. Li,M. A. Ingram, and T. G. Pratt. Broadband MIMO-OFDMwireless communications. In Proceedings of the IEEE, vol. 92, pp.271– 294, Feb. 2004.

20. K. Ogawa, Y.and Nishio, T. Nishimura, and T. Ohgane. A mimo-ofdm system for high speed transmission. In IEEE 58th Vehicular Technology Conference, vol. 1,

pp.493– 497, 2003.

21. H. Sampath, S. Talwar, J. Tellado, V. Erceg, and A. Paulraj. A fourth-generation MIMOOFDM broadband wireless system: design, performance, and field trial results. IEEE Communications Magazine, 40(9):143–149, Sep. 2002.

22. "Techniques for adaptive equalization of digital communication systems", R.W.Lucky, in Bell System Technical Journal, vol. 45, pp. 255–286, Feb. 1966.

23. V.Jagan Naveen, K.Murali Krishna, K.RajaRajeswari, "Performance analysis of equalization techniques for MIMO systems in wireless communication", International Journal of International Journal of Smart Home Smart Home Smart Home, Vol.4, No.4, October, 2010, page 47-62.

24. W. M. Eddy. At what layer does mobility belong. IEEE Communications Magazine, 42(10):155 – 159, 2004.

25. ITU. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. The E-model, a computational model for use in transmission planning. International telephone connections and circuits – General definitions.G-107. -03.2005., p. 1-20.

26. Leila shyanpour Master thesis. QOE base application mapping for resource management. University of electrical and computer engineering university Toronto.-2010, P. 23-26

27. ITU. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. Estimating end-to-end performance in IP networks for data applications. Quality of service and performance – Generic and user related aspects.G-1030. -11.2005., p. 1-20.

28. ITU. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. The E-model, a computational model for use in transmission planning. International telephone connections and circuits.G-107. -12.2011., p.1-18.

29. White paper. TD-LTE and MIMO Beamforming Principles and Test Challenges. SPIRENT, CA, USA. – Aug.2012, p.7-12.

ДЕМОНСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Магістерська робота

на тему:

«МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДАННЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ ДЛЯ АБОНЕНТІВ МЕРЕЖ 4G НА ОСНОВІ МОДЕЛІ СЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ LTE»

Студент Ниник В.Б.

➨**Мета роботи** – підвищення якості сприйняття послуг користувачами мережі LTE на основі адаптивного формування пропускної здатності каналу передавання, удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

➨**Об'єкт дослідження** – процес формування пропускної здатності радіоканалів у мережі LTE із забезпеченням якості сприйняття послуг користувачами.

➨**Предмет дослідження** – моделі та алгоритми забезпечення якості сприйняття послуг у мережі LTE на основі моделі її сервісної архітектури.

Актуальність

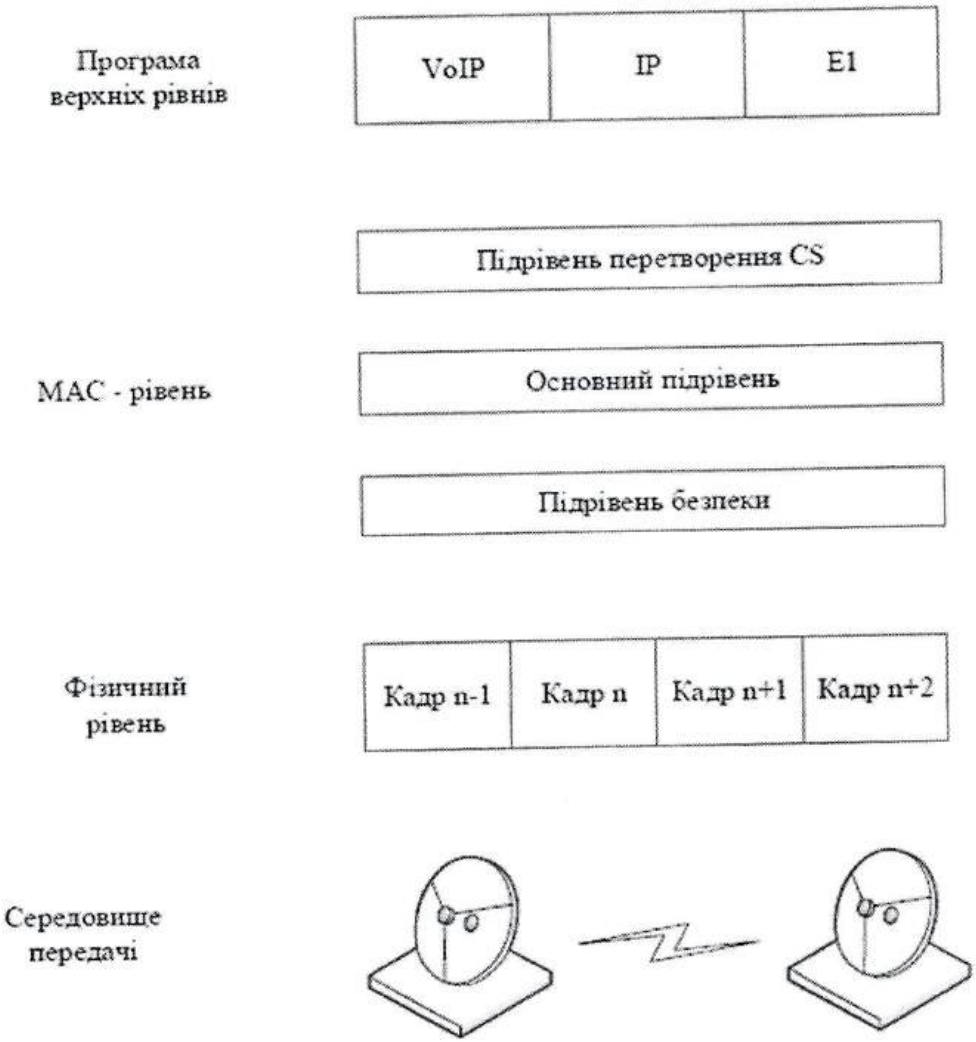
Четверте покоління (4G) безпровідних широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e, проект партнерства третього покоління (3GPP) і LTE, було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів.

LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с.

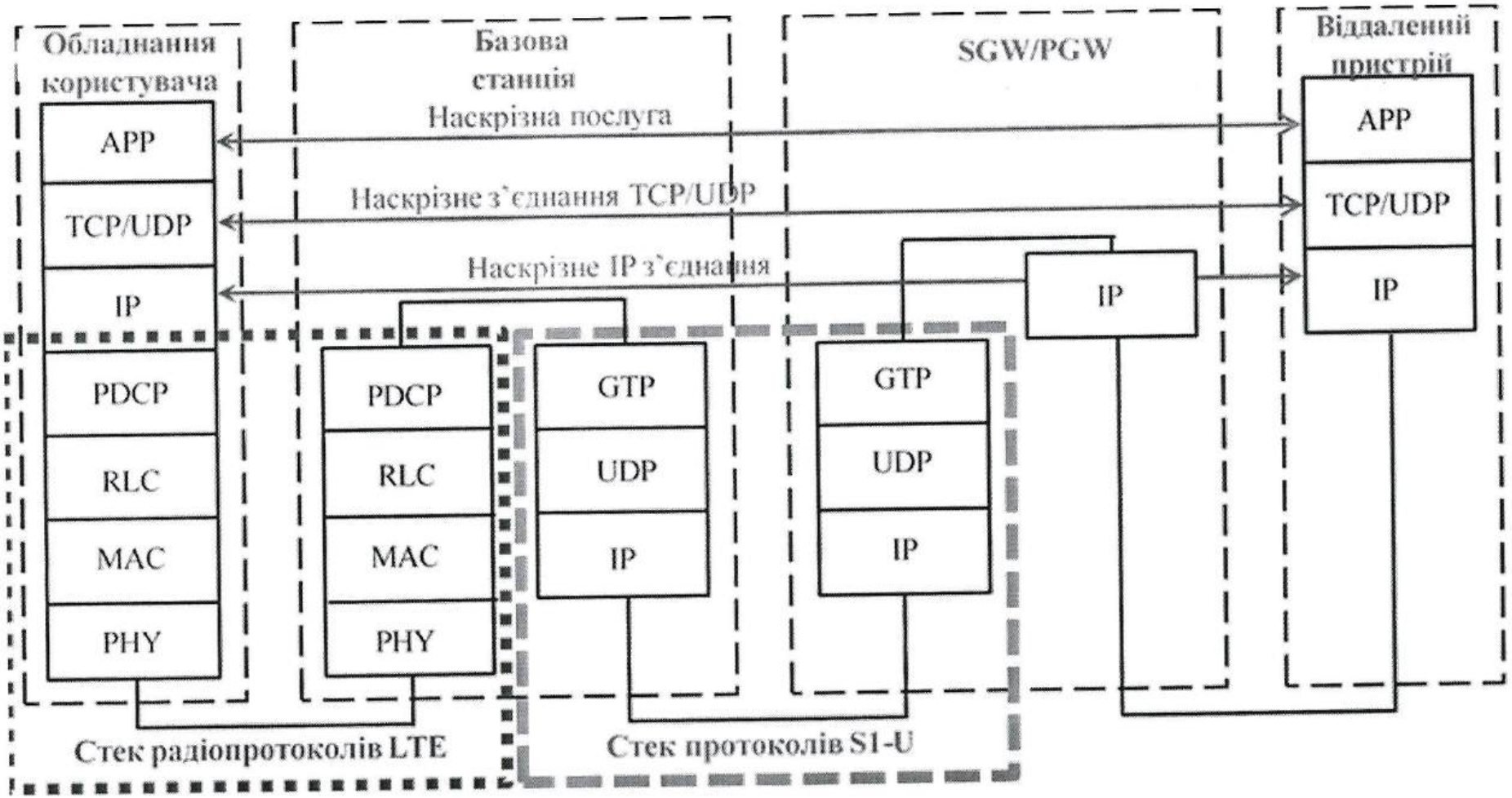
Методи оцінки та збільшення пропускної здатності сучасних безпровідних систем зв'язку з дотриманням високої якості обслуговування користувачів (малої ймовірності бітової помилки) в складних умовах багатопроменевого просторового каналу з глибокими завмираннями сигналів, вирішення полягає у використанні антенних систем як на приймальному, так і на передавальному кінцях каналу зв'язку (так звані MIMO (Multiple Input-Multiple Output) - системи) разом із технологією OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing).

Отже, підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу ресурсів та міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE є актуальною.

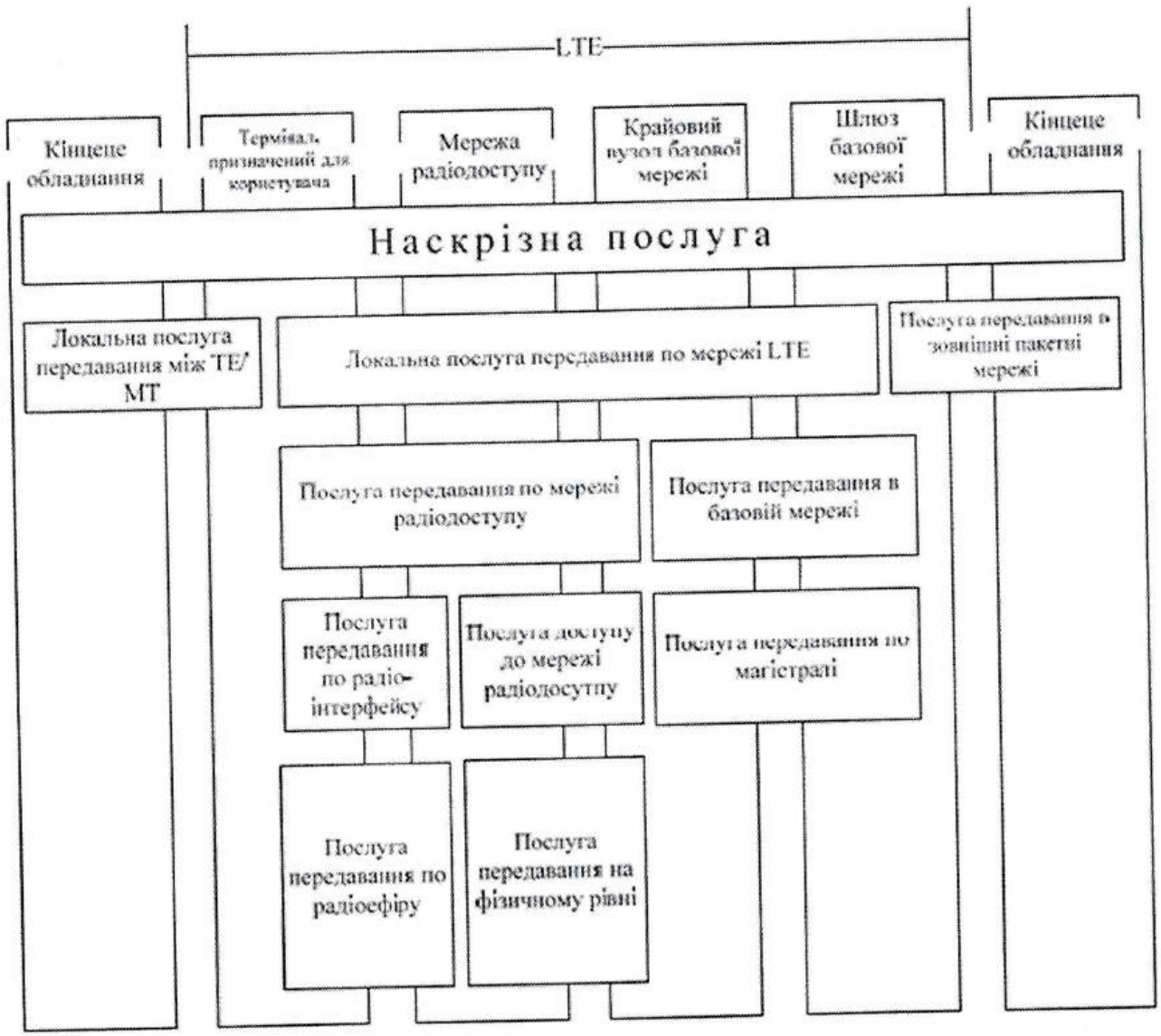
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В LTE МЕРЕЖАХ



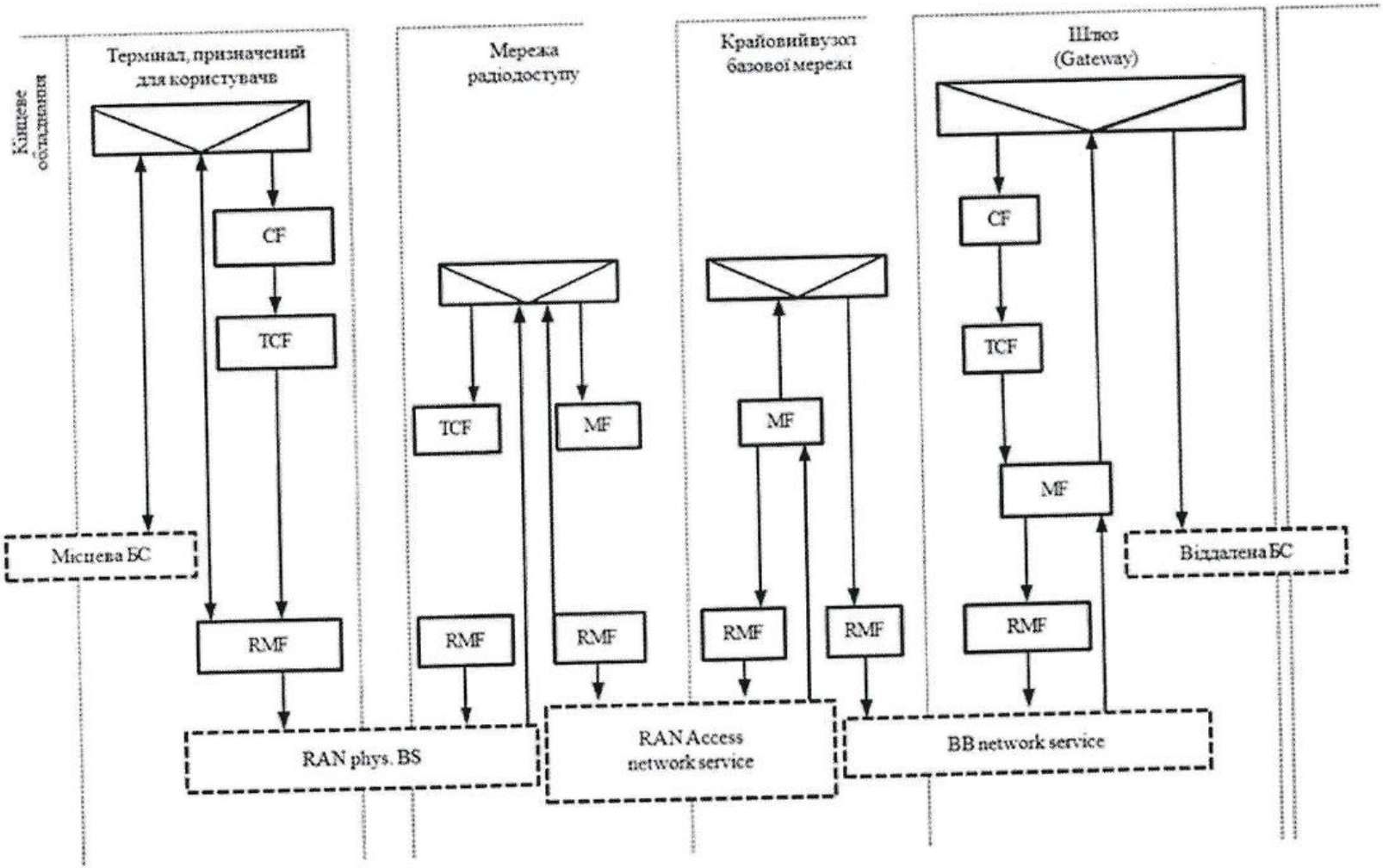
Стек протоколів LTE-EPC



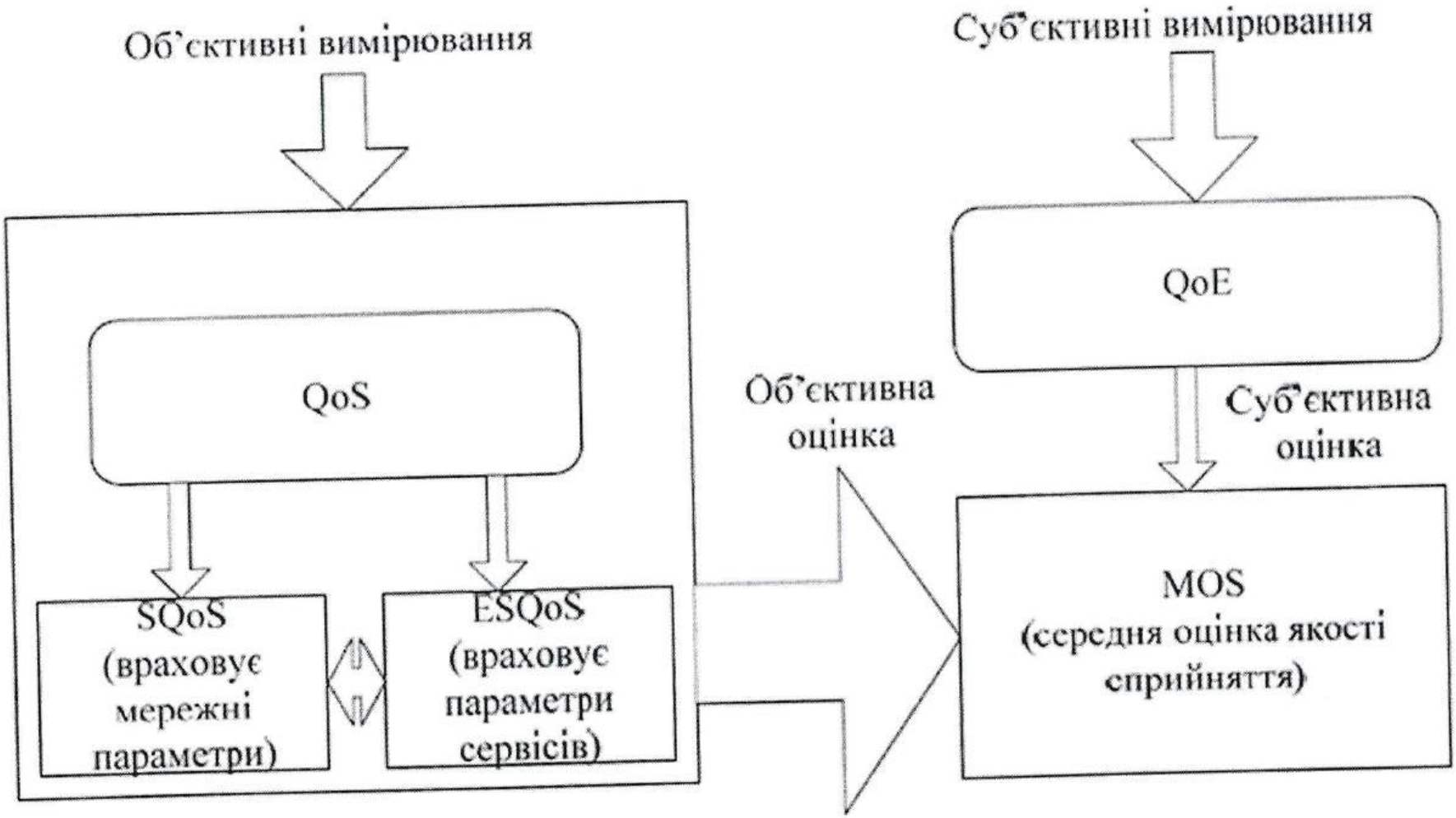
Архітектура системи якості обслуговування



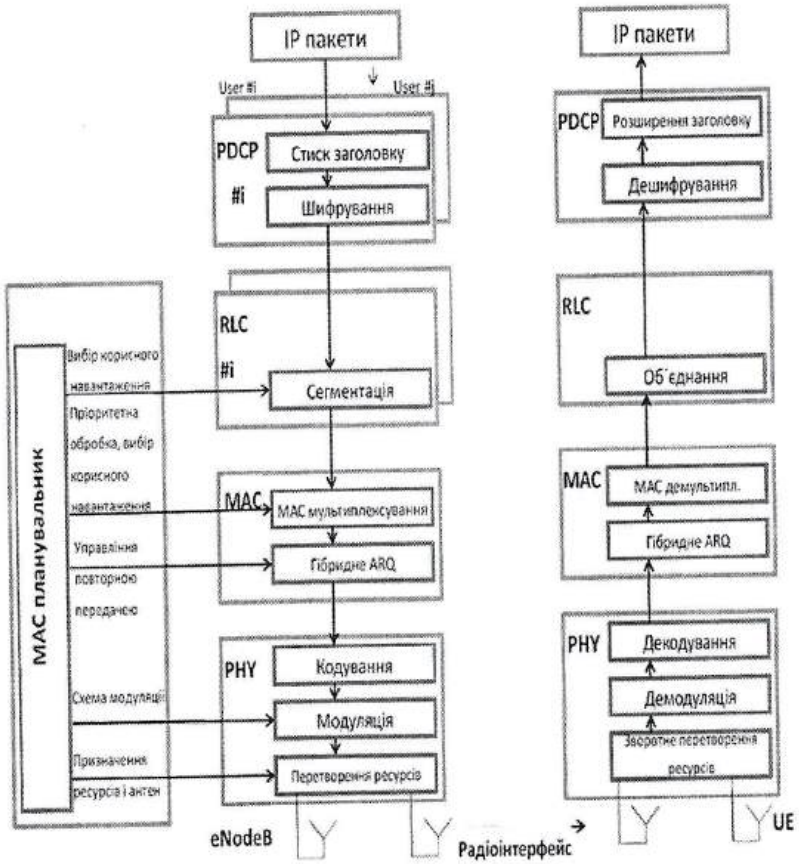
Функції керування якістю обслуговування в призначеній для користувача площині



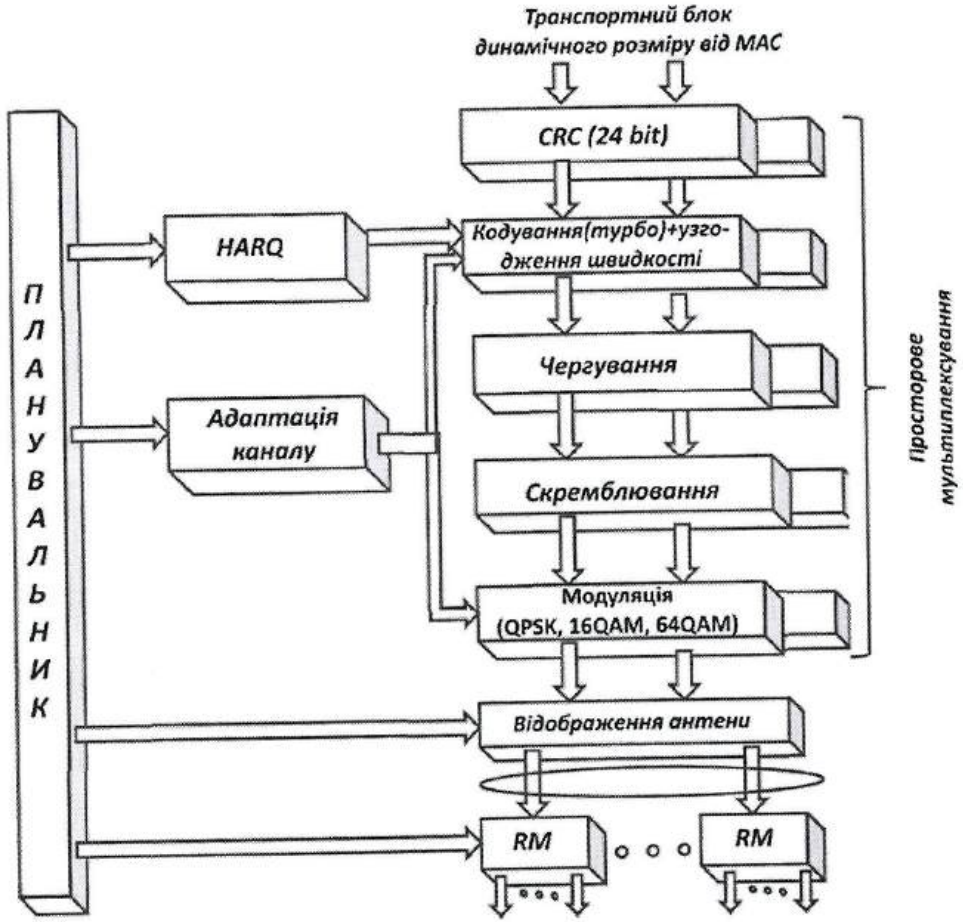
Модель відображення параметрів QoS та QoE



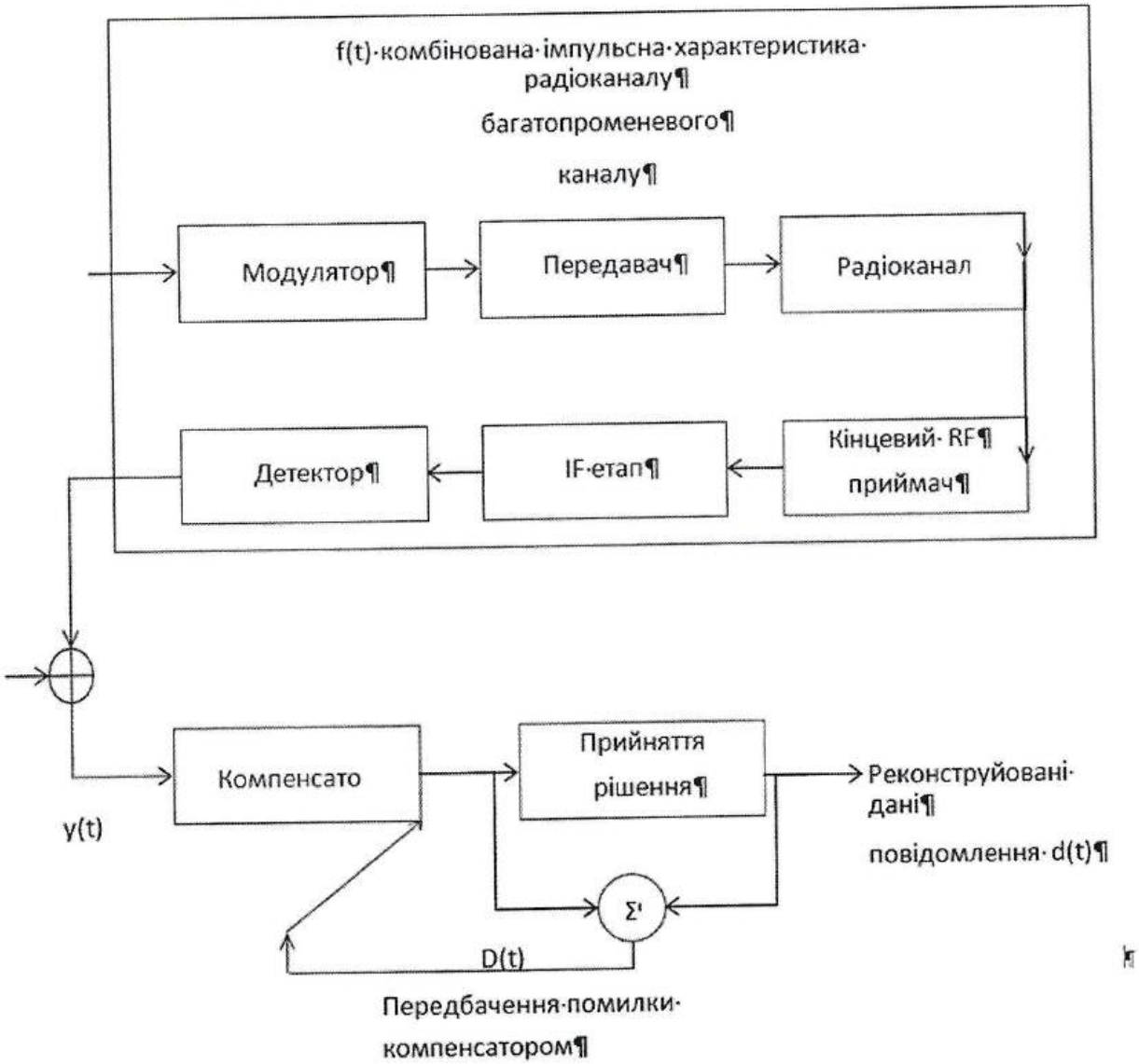
Модель міжрівневої взаємодії в LTE



Генерація сигналу LTE



Блок-схема системи зв'язку в приймачі з адаптивним підстроюванням параметрів каналу



Класи QoS для IMT-2000

Клас трафіку	Розмовний клас Розмова в режимі реального часу	Потоковий клас В режимі реального часу	Інтерактивний клас	Фоновий клас
Основні характеристики	– Збереження співвідношення (варіації) між інформаційними частинами потоку –Розмовний шаблон (точна та низька затримка)	– Збереження співвідношення (варіації) між інформаційними частинами потоку	– Шаблон запиту відповіді – Збереження змісту корисного навантаження	– Пункт призначення не очікує даних протягом певного часу – Збереження змісту корисного навантаження
Приклад застосування	– Голос	– Потокове відео	– Перегляд веб-сторінок	– Фонове завантаження електронних листів

Висновок

У роботі розглянуто підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу ресурсів та міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

В процесі визначення параметрів QoE і QoS, можливі втрати оператора і користувача пов'язані з технічною (апаратне та програмне забезпечення) відмовою. Цими параметрами керують із застосуванням таких методів, як планування мережі, резервування QoS, моніторинг та оптимізація QoE і QoS. Аналіз показує, що існує цілий ряд методів для забезпечення якості обслуговування в сервісно-орієнтованій архітектурі LTE, але їх функціональність обмежена або радіо-мережею e-UTRAN або базовою мережею SAE.

Розглянута модель формування пропускної здатності з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на продуктивність мережі. Максимальна пропускна здатність у смузі 1,4 МГц з використанням одного порту антени і двох OFDM символів, призначених на PDCCH, 64-QAM модуляції з кодовою швидкістю 0,85, становить 3,935 Мбіт/с; в смузі 20 МГц з використанням чотирьох антенних портів, модуляції 64-QAM з кодовою швидкістю 0,85 – 276.32 Мбіт/с. З використанням максимально досяжної кодової швидкості 0,92 може бути досягнута пропускна здатність 299.122 Мбіт/с.

Метод збільшення пропускної здатності низхідного каналу передавання даних LTE з підтримкою QoS з використанням різних типів розподілу ресурсів. Цей метод розподіляє доступні ресурси низхідного каналу LTE на основі максимальної справедливості, максимального відношення сигнал/шум і пропорційно-справедливого розподілу. Запропонований метод здійснює виділення частотно-часових ресурсів низхідного каналу LTE на основі розподілу ресурсних блоків з використанням нульового типу розподілу ресурсів. Таким чином досягається виділення необхідної пропускної здатності для кожного UE без максимізації загальної продуктивності низхідного каналу LTE. Запропонований метод дає змогу на 30% підвищити справедливість розподілу ресурсів у порівнянні з відомими. Використовуючи алгоритм максимізації відношення сигнал/шум, слід вирішити задачу виділенням ресурсних блоків всім UE без можливості захоплення ресурсів найближчим UE до eNodeB. Такий розв'язок у роботі отримано з використанням першого типу розподілу ресурсів із поділом ресурсних блоків на підмножини, які динамічно формуються, а доступ до них надано лише окремим UE.

Дякую за увагу!

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Володимир Ниник

Назва: Методи підвищення якості надання послуг для абонентів мереж 4G на основі моделі сервісної архітектури LTE

Координатор: Лариса Дакова

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:37.1

Коефіцієнт подібності 2:20

Тривога: 0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☐ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

....

Дата *Підпис Наукового керівника*