

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології

(код, найменування спеціальності)

освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

(назва)

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

Юрій СЛЮСАРЕНКО

(підпис)

Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача

Виконав:

здобувач(ка) вищої освіти
група ІСД -42

Юрій СЛЮСАРЕНКО

Керівник:

*науковий ступінь,
вчене звання*

Юлія КАГРАМАНОВА

Рецензент:

*науковий ступінь,
вчене звання*

Київ 2024

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІПЗАС

Каміла СТОРЧАК

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Слюсаренка Юрія Олександровича**

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE

керівник кваліфікаційної роботи Юлія КАГРАМАНОВА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «27» 02.2024 р. № 36

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «10» травня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, параметри мережі 4G.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Провести комплексний аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE з використанням доступних літературних джерел, наукових публікацій та статистичних даних.

Вивчити основні принципи функціонування LTE мереж та ідентифікувати ключові фактори, що впливають на якість обслуговування користувачів.

Проаналізувати вплив різних сценаріїв руху користувачів, обсягів трафіку та спектра послуг на якість обслуговування та пропускну здатність мережі. Дослідити перспективи впровадження нових технологій та стандартів, таких як 5G, штучний інтелект, віртуалізація та хмарні технології, у контексті підвищення якості надання послуг у мережах LTE.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання: «27» лютого 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір необхідної літератури	05.02.24-16.02.24	
2	Вивчення матеріалів необхідних для аналізу методів покращення якості передачі інформації	19.02.24-03.03.24	
3	Проведення дослідження впливу різних методів на QoS та QoE в LTE. Аналіз отриманих результатів.	04.03.24-29.03.24	
4	Вивчення перспективних технологій та їх впливу на якість обслуговування в LTE.	01.04.24-24.04.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	25.04.24-30.04.24	
6	Оформлення ілюстративного матеріалу	01.05.24-15.05.24	

Здобувач(ка) вищої освіти

(підпис)

Юрій СЛЮСАРЕНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Юлія КАГРАМАНОВА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 48 стор., 11 рис., 2 табл., 16 джерел.

Мета роботи – проаналізувати способи збільшення якості сприйняття послуг користувачем мобільної мережі LTE. Аналіз факторів, що впливають на якість обслуговування, аналіз стратегій оптимізації мережі для забезпечення стабільного та ефективного зв'язку для користувачів.

Об`єкт дослідження – процес формування пропускної здатності радіоканалів мережі LTE із забезпеченням якості прийому послуги користувачами.

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

Методи дослідження – Дослідження виконано на основі застосування базових знань теорії телекомунікаційних систем і мереж.

Короткий зміст роботи: Робота присвячена підвищенню якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE (Long Term Evolution). Особлива увага була приділена зв'язку між поняттями QoS та QoE. Визначено, що QoS охоплює технічні параметри мережі, такі як затримки та пропускна здатність, тоді як QoE враховує суб'єктивні враження користувачів від послуг. Було досліджено методи управління параметрами QoE та QoS, що дозволяє покращити загальну якість обслуговування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕХНОЛОГІЯ LTE, 4G, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, РОЗПОДІЛ РЕСУРСІВ, QOS, QOE, ЯКІСТЬ НАДАННЯ ПОСЛУГ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ QoS У БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ LTE: АНАЛІЗ ТА ЗВ'ЯЗОК З QoE	10
1.1 Основні компоненти та вимоги до QoS у мережах 4G	10
1.2 Класифікація та властивості QoS у LTE	13
1.3 Планування та класифікація трафіку для QoS у LTE	15
1.4 Інтеграція концепції QoS у мережах LTE	17
1.4.1 Роль функцій QoS у забезпеченні якісного обслуговування в LTE	19
1.4.2 Основні функції мережі LTE, що стосуються керування якістю обслуговування в площині керування	20
1.5 Особливості надання послуг у мережах LTE.....	21
1.6 Зв'язок між поняттям QoS та QoE.....	24
1.7 Управління параметрами QoE та QoS.....	26
2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ МЕРЕЖІ LTE	28
2.1 Взаємозв'язок між параметром CQI та пропускнуою здатністю в LTE	28
2.2 Вплив CQI на продуктивність та ефективність передачі даних в LTE.....	30
2.3 Роль еквалайзера у покращенні якості передачі даних в мобільних мережах.....	32
2.3.1 Моделювання адаптивного підстроювання параметрів каналу.....	32
2.4 Дослідження впливу пропускнуої здатності мережі LTE на показники якості сприйняття (QoE) та обслуговування (QoS).....	34
2.4.1 Суб'єктивні та об'єктивні методи оцінки якості обслуговування.....	36
2.5 E-модель для оцінки якості сприйняття послуги.....	37
3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ У СИСТЕМІ LTE.....	38
3.1 Порівняння з попередніми технологіями (2G, 3G).....	38
3.2 Алгоритми формування пропускнуої здатності LTE на фізичному рівні.....	39

3.3 Підвищення пропускної здатності на основі узгодженого планування міжрівневої взаємодії в системі LTE з урахуванням якості обслуговування (QoS).....	42
3.4 Моделі підвищення якості сприйняття послуг в LTE	43
3.5 Аналіз алгоритмів планування ресурсів	46
3.5.1 Аналіз недоліків методу розподілу ресурсів на основі максимуму співвідношення C/I	48
3.6 Аналіз впливу різних сценаріїв руху на пропускну здатність та якість сприйняття.....	49
3.7 Перспективи розвитку та впровадження нових технологій.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ВСТУП

Робота присвячена аналізу методів підвищенню якості обслуговування у системах бездротових телекомунікацій четвертого покоління, заснованих на LTE (Long Term Evolution). Зусилля в роботі зосереджені на дослідженні та вдосконаленні методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE.

Актуальність теми обумовлена швидким розвитком телекомунікаційних технологій та постійним зростанням обсягів передачі даних у бездротових мережах. LTE є однією з основних технологій для забезпечення мобільного зв'язку та передачі даних. Актуальність цієї теми проявляється у зростаючих вимогах користувачів до пропускної здатності, низьких затримках та високої якості обслуговування.

Мета роботи – проаналізувати способи збільшення якості сприйняття послуг користувачем мобільної мережі LTE. Аналіз факторів, що впливають на якість обслуговування, аналіз стратегій оптимізації мережі для забезпечення стабільного та ефективного зв'язку для користувачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести комплексний аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE з використанням доступних літературних джерел, наукових публікацій та статистичних даних.
2. Вивчити основні принципи функціонування LTE мереж та ідентифікувати ключові фактори, що впливають на якість обслуговування користувачів.
3. Проаналізувати вплив різних сценаріїв руху користувачів, обсягів трафіку та спектра послуг на якість обслуговування та пропускну здатність мережі.
4. Дослідити перспективи впровадження нових технологій та стандартів, таких як 5G, штучний інтелект, віртуалізація та хмарні технології, у контексті підвищення якості надання послуг у мережах LTE.

Об'єктом цього дослідження є процес формування пропускну́ї здатності радіоканалів у мережі LTE з метою забезпечення якості обслуговування користувачів.

Предметом дослідження є моделі та алгоритми, спрямовані на забезпечення якості сприйняття послуг у мережі LTE на основі її сервісної архітектури.

Методи дослідження включають використання основних принципів теорії телекомунікаційних систем і мереж.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

У сучасних умовах стрімкого розвитку телекомунікаційних технологій та зростання вимог користувачів до якості обслуговування (QoS) особливу увагу привертає дослідження методів підвищення ефективності надання послуг у бездротових системах четвертого покоління (4G) на основі технології LTE (Long Term Evolution). Технологія LTE забезпечує високі швидкості передачі даних, зменшення затримок та підвищення пропускну́ї здатності мережі, що є критично важливими параметрами для сучасних мобільних користувачів.

У роботі проаналізовано основні методи підвищення якості надання послуг у системах LTE, включаючи управління ресурсами радіоінтерфейсу, адаптивне управління QoS, оптимізацію мережевої архітектури.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Оптимізація мережі: Аналіз методів підвищення якості надання послуг у LTE дозволяє операторам мереж оптимізувати ресурси мережі, знижуючи затрати та підвищуючи ефективність використання існуючих інфраструктурних ресурсів.
2. Покращення якості обслуговування: Розуміння впливу різних технологічних рішень на якість обслуговування дозволяє операторам покращити якість передачі даних, знизити затримки та забезпечити стабільний зв'язок для кінцевих користувачів.
3. Впровадження нових технологій: Знання про перспективи впровадження нових технологій, таких як 5G, AI та віртуалізація, допомагає операторам

планувати свої інвестиції та вчасно адаптуватися до змін у телекомунікаційній індустрії.

4. Підвищення конкурентоспроможності: Вдосконалення мережі та забезпечення високої якості обслуговування допомагає операторам збільшувати свою конкурентоспроможність на ринку та привертати нових клієнтів.

Апробація:

1. Слюсаренко Ю.О., V МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІОТ», теза на тему «АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ У БЕЗДРОТОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE» 2024 р.
2. Слюсаренко Ю.О., V МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІОТ», теза на тему «АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ В LTE МЕРЕЖАХ» 2024 р.

1 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ QoS У БЕЗДРотовИХ МЕРЕЖАХ LTE: АНАЛІЗ ТА ЗВ'ЯЗОК З QoE

У цьому розділі проводиться аналіз методів, алгоритмів та засобів, які забезпечують якість обслуговування (QoS) в бездротових мережах LTE. Дослідження базується на вивченні наукових досліджень у цій галузі та формулюванні наукової задачі дослідження. Також у цьому розділі відбувається розгляд зв'язку між поняттями якості користувацького досвіду (QoE) та якості обслуговування (QoS) у бездротових мережах четвертого покоління.

1.1 Основні компоненти та вимоги до QoS у мережах 4G

У бездротових мережах широкосмугового доступу четвертого покоління (4G) визначені вимоги до забезпечення QoS для різноманітних веб-послуг. Основні вимоги до систем бездротового широкосмугового доступу включають:

1. Фізичний рівень (PHY): методи множинного доступу, адаптація, організація дуплексу, модуляція та інші.
2. Рівень управління доступом до середовища (MAC): сервіси між MAC-рівнем та підрівнем конвергенції, формати фреймів, сервіси та механізми полігону для забезпечення QoS.
3. Підрівень конвергенції (CS): забезпечує взаємодію між MAC-рівнем та вищими рівнями мережі.
4. Рівень безпеки: управління алгоритмами шифрування між базовою станцією та мобільною станцією.

MAC-рівень згідно з IEEE 802.16 має три підрівні, які зображені на рис.1.1.

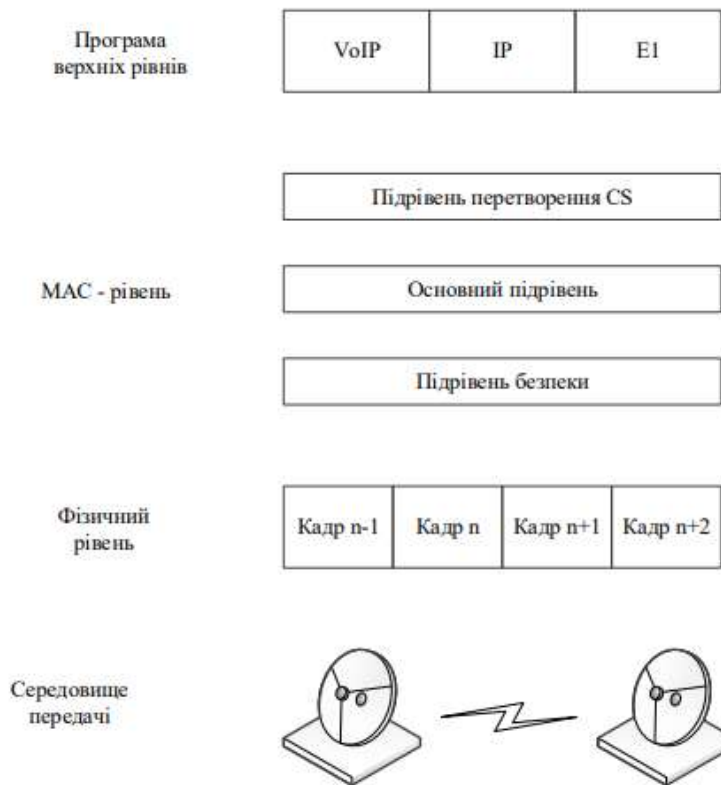


Рис. 1.1 – Структура MAC-рівня стандарту IEEE 802.16e

На рис. 1.1 показано стек протоколів LTE-EPC, який застосовується для наскрізних з'єднань.

Фізичний рівень відповідає за передачу інформації рівня MAC через радіоінтерфейс. Він реалізує функції адаптації (AMC), керування живленням, пошуку комірки та визначення параметрів сигналу для завдань рівня керування радіоканалом[1].

Рівень доступу до медіа (MAC) відповідає за відображення логічних каналів на транспортні канали, мультиплексування блоків даних з одного або кількох логічних каналів у транспортні блоки для їх передачі через фізичний рівень, демуплексування блоків даних, інформування про процес обробки блоків даних та виправлення помилок за допомогою HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). Також він призначає пріоритети мобільним станціям (MS) для динамічного керування ресурсами та логічної пріоритизації каналів в межах

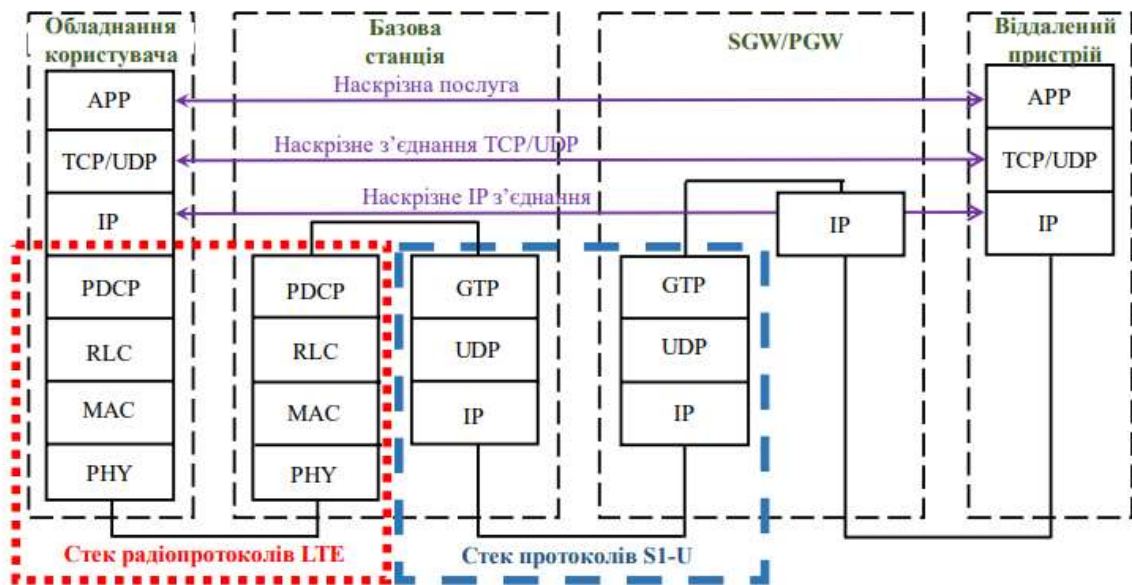


Рис. 1.2 – Стек протоколів LTE-EPG

Рівень управління радіоканалом працює в одному з трьох режимів: прозорий, без підтвердження, з підтвердженням. Він дозволяє пересилати пакети даних більш високого рівня, виправляти помилки за допомогою ARQ, їх уніфікацію, сегментацію та відновлення у вигляді блоків даних рівня управління радіоканалом. Також цей рівень виконує повний набір операцій над власними пакетами даних залежно від режиму пересилання.

Рівень управління радіоресурсами гарантує розподіл службових даних, пов'язаної з рівнями доступу і транспортування, керування з'єднанням і підтримку функцій безпеки, включаючи догляд за політиками обміну ключами між абонентським терміналом і мережею радіодоступу[11].

Рівень керування конвергенцією пакетних даних (PDCP) виконує стиснення заголовків IP-даних, маршрутизацію даних на рівні користувача та управління, а також контроль порядкових номерів пакетів даних. Він забезпечує правильний порядок передачі пакетів, усунення можливості дублювання, перевірку широкомовних сервісів в режимі передачі і ступінь управління над радіоканалами. Крім того, цей рівень виконує шифрування та дешифрування даних

користувацького рівня та контролює тривалість їх передачі, видалення невідповідної інформації, що знаходиться в мережі.

Рівень протоколу, який не виконує функції доступу, відповідає за зв'язок вищого рівня між мобільною станцією (MS) та вузлом управління мобільністю. Цей рівень забезпечує мобільність абонента та підтримку управління сеансами доставки IP-даних між мобільною станцією та крайнім шлюзом пакетної мережі (PDN GW).

Створення всіх вимог щодо забезпечення якості обслуговування здійснюється на рівні MAC.

1.2 Класифікація та властивості QoS у LTE

Якість обслуговування (QoS) у мережах визначається такими параметрами, як затримка, пропускна здатність та надійність. LTE використовує різні класи QoS для забезпечення диференційованого обслуговування різних типів трафіку, наприклад, голосовий трафік потребує низької затримки, тоді як потокове відео може терпіти більшу затримку, але потребує високої пропускної здатності. Це дозволяє ефективно розподіляти ресурси мережі та гарантувати необхідний рівень обслуговування для кожного типу трафіку.

Різні послуги мають конкретну класифікацію, а для кожного класу встановлені показники якості QoS (Quality of Service).

Властивості QoS:

- пріоритет руху;
- Дозволені затримки;
- безпека передачі;
- Необхідні швидкості передачі: максимальна підтримувана швидкість трафіку та мінімальна зарезервована швидкість;
- Допустимий часовий джиттер (нерегулярність періодичності доставки пакетів).

При реалізації транспортного з'єднання кожному потоку даних (поток служби) присвоюється ідентифікатор SFID (ідентифікатор потоку служби) (32 біта). При індивідуальному розподілі SFID у висхідному і низхідному потоці (в напрямку «вгору» і «вниз») задаються значення параметрів QoS, які можуть бути абсолютно різними[8].

Планувальник реалізує функцію розподілу ресурсів каналу з урахуванням надання QoS. Це програмне забезпечення базової станції, яке передається виробником пристрою. Під час передачі по низхідній лінії (BS (базова станція) → MS (мобільна станція)) планувальник знає всю необхідну інформацію про всі обслуговувані потоки даних для забезпечення оптимального розподілу ресурсів каналу. Існує п'ять типів трафіку з різним пріоритетом та вимогами до затримки в організації передачі вгору (від мобільної станції до базової). Ці типи трафіку включають:

UGS (Unsolicited Grant Service): використовується для передачі сигналів у реальному часі, таких як телефонні потоки (E1) і VoIP. Допустима затримка становить менше 10 мс в одному напрямку при BER від 10^{-6} до 10^{-4} .

ertPS (Extended Real-Time Polling Service): необхідний для передачі телефонного трафіку вгору з використанням детектора голосової активності абонента.

rtPS (Real-Time Polling Service): використовується для передачі потоків реального часу з пакетами змінної довжини, наприклад, відео.

nrtPS (Non-Real-Time Polling Service): служба опитування не в реальному часі, яка підтримує потоки змінної довжини, наприклад, при передачі файлів у широкосмуговому режимі.

BE (Best Effort): трафік з найнижчим пріоритетом.

Для оптимізації передачі потоків передбачений механізм видалення повторюваних фрагментів заголовків PHS (Payload Header Suppression) з IP-дейтаграм та комірок АТМ, які відновлюються на приймальній стороні.

Інформаційні повідомлення надходять на базову станцію у вигляді потоку пакетів SDU (Service Data Unit). На верхньому рівні SDU перетворюються на MAC

PDU (протокольні блоки даних), і кілька SDU, переданих абоненту, можуть бути упаковані в один PDU. Потім пакети даних MAC-PDU транслюються на фізичний рівень і передаються по каналу зв'язку. Кожному активному з'єднанню надається 16-бітний CID (ідентифікатор з'єднання), і кожен SFID має власний CID.

1.3 Планування та класифікація трафіку для QoS у LTE

Структура потоків SF гарантує деталізацію QoS та ізоляцію між SF на радіоінтерфейсі. Керування повітряним інтерфейсом відповідає за забезпечення якості обслуговування QoS шляхом призначення блоків ресурсів фізичного рівня (РНУ) середовищам субкадрів SF вище та нижче потоку. Цей механізм відомий як розподіл пропускнуої здатності[4]. Прийняття рішень щодо планування базується на відповідних змінних стану QoS для SF, таких як розмір буфера, затримка вхідного пакету, вимоги до QoS, а також розташування робочої частоти мобільної станції відносно загального спектра. Загалом:

Потоки субкадрів з меншою швидкістю передачі пакетів або більшою довжиною буфера мають вищий пріоритет. Мобільні станції з ліпшими частотними умовами мають більш високий пріоритет для забезпечення високої ефективності у всій площині.

При управлінні повітряним інтерфейсом, рівні пріоритету пакетів у межах субкадру можуть змінюватися залежно від потоку трафіку використовуючи розмір DSCP (Intra-SF). Крім того, параметр пріоритету трафіку може застосовуватися для розрізнення трафіку, пов'язаного з одним і тим же типом потоку.

На рис. 1.3 показана гистограма розподілу трафіку по частоті цього значення.

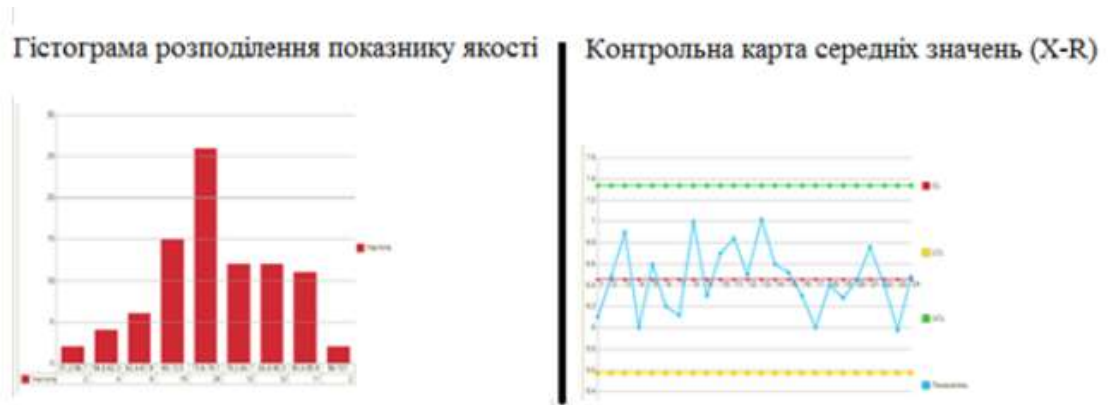


Рис. 1.3 – Гістограма розподілу трафіку

Подібно до мереж стандарту UMTS, мережі LTE забезпечують роботу відбувається через прохідні канали (несучі) з відповідною якістю обслуговування (QoS).

Як частина вимог до QoS, усі типи послуг класифікуються на 9 класів, кожен з яких відповідає ідентифікатору QCI. Крім того, прохідні канали, основані для доставки трафіку поділені на дві групи за типом виділеного ресурсу:

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

Основними параметрами, що характеризують наскрізний канал, є:

- Класи передачі GBR (Guaranteed Bit Rate) гарантують максимальну швидкість передачі, яку заборонено перевищувати.
- Встановлення та підтримування пріоритету.

Ресурси каналу динамічно розподіляються планувальником в eNB (Evolved Node B). Робота планувальника виконується відносно до:

- Статусу радіоканалів з клієнтськими терміналами.
- Прохідні атрибути каналів.
- Властивостей передачі через прохідний канал, включаючи стан буферу станції абонента під час висхідної передачі даних.

- Покращують умови роботи абонентських терміналів поблизу осередку за рахунок перешкод від сусідніх осередків і можливості передачі обслуговування між осередками.

Планувальник також застосовується в програмах для управління доступом до мережі і розв'язання проблем з перегрузкою радіоінтерфейсу.

Керування параметрами радіоінтерфейсу у LTE є складним і багатогранним процесом, який потребує вдосконалених технологій і алгоритмів для забезпечення високої якості обслуговування і ефективного використання ресурсів мережі.

1.4 Інтеграція концепції QoS у мережах LTE

Концепція системи QoS для мобільних мереж 3-го покоління UMTS, яка визначена в специфікації TS 23.107, також використовується для мереж LTE 4-го покоління.

На рис. 1.4 описується якість обслуговування та передачі послуг у випадку, коли зв'язок відбувається між CU, підєднаним до терміналу, для клієнта мобільної мережі та терміналами, у зовнішній пакетній мережі.

Концепція прохідного каналу вводить набір дій між двома кінцевими користувачами та відповідно розділами послуги, які стосуються їхнього зв'язку з компонентами мережі. Це визначено у локальному каналі, де "КО" є термінальним пристроєм, призначеним для користувача у каналі мережі LTE, та у зовнішньому каналі. Отже, існує багаторівнева взаємодія, при якій послуга передається через різні мережеві вузли на різних рівнях[2].

Відносно до архітектури мережі, передача послуг з мережі LTE розглядається особливо, в мережах бездротового доступу, де гарантується конфіденційність передачі даних користувача або з попередньо вибраним рівнем якості обслуговування, в базовій пакетній мережі (Core Network Bearer Service), яка також може підтримувати різні рівні обслуговування.



Рис. 1.4 – Архітектура системи якості обслуговування

Послуга в мережі радіодоступу реалізується у двох частинах:

Радіоканали (Radio Bearer Service) і в механізмі радіодоступу (Access Bearer Service). Реалізація послуг у радіоканалі включає всі аспекти, пов'язані з передачею даних через радіоінтерфейс, що включає сегментацію та повторне збирання пакетів користувача. Крім того, на фізичному рівні (Physical Radio Bearer Service) створюється керування підпотоків для використання даних. Механізм радіодоступу забезпечує функціонування фізичного рівня (Physical Bearer Services) та інтеграцію з магістральною мережею.

Нарешті, проходження послуги через "магістральний" канал (Backbone Network Bearer Service) враховується в рамках функцій рівнів 1 і 2 та відповідних вимог до якості обслуговування, пов'язаних з ними.

1.4.1 Роль функцій QoS у забезпеченні якісного обслуговування в LTE

Функція мапування (MF, mapping function) встановлює відповідні параметри QoS для кожного пакета даних, який призначений для передачі.

Функція класифікації (CF, Classification Function) використовується для встановлення параметрів QoS для пакетів, які призначені для конкретного абонентського терміналу (AT), у випадку, коли для цього AT у мережі наявні декілька каналів передачі послуг[14].

Функція розподілу ресурсів (RMF, Resource Management Function) розподіляє доступні ресурси між різними службами відповідно до параметрів QoS.

Функція обробки трафіку (TCF, Traffic Conditioning Function) забезпечує відповідність між потоком даних, який призначений для користувача, і заданим рівнем якості обслуговування. Пакети даних, які не відповідають встановленим параметрам QoS, можуть бути відкинуті або позначені для подальшого відкидання після накопичення.

На рис. 1.5 показана взаємодія функцій управління якістю обслуговування на користувачем визначеному рівні.

Функція класифікації, реалізована в абонентському терміналі AT і шлюзі сигналізації SS, призначає пакети даних, отримані з зовнішнього (або локального) каналу, службі мережі LTE з відповідними параметрами QoS. Функція координування трафіку, призначена для користувача, у висхідному та низхідному напрямках із опціями QoS, при необхідності. Крім цього, функція маркування надає особливий індикатор QoS і передає його в мережу, що потребує виділення відповідних ресурсів - ця відповідальність знаходиться на функції управління ресурсами, що реалізована в усіх вузлах мережі.

На рівні контролю зосереджені функції, які необхідні для впровадження механізмів управління та контролю.

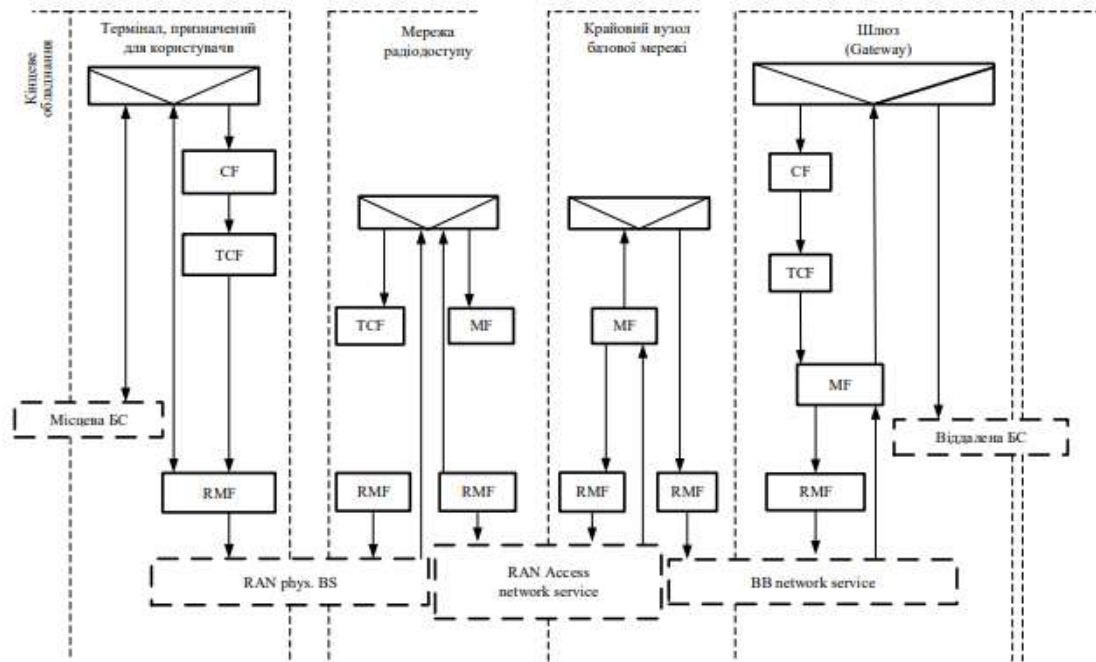


Рис. 1.5 – Функції керування якістю обслуговування в призначеній для користувача площині

1.4.2 Основні функції мережі LTE, що стосуються керування якістю обслуговування в площині керування

Основні функції мережі LTE, що стосуються керування якістю обслуговування (QoS) в площині керування, відіграють вирішальну роль у забезпеченні оптимального користувацького досвіду та ефективного використання ресурсів мережі. Ці функції відповідають за встановлення, модифікацію та управління послугами, а також за контроль доступу до послуг та розподіл ресурсів між користувачами.

Функція керування послугами (SMF, Service Manager Function) діє як координатор, який забезпечує узгоджену роботу всіх функцій керування QoS. SMF відповідає за встановлення, модифікацію та видалення сесій обслуговування, а також за вибір оптимальних параметрів QoS для кожної сесії. Крім того, SMF взаємодіє з іншими функціями мережі, такими як функція трансляції (TF) та функція контролю можливостей (A/CCF), для забезпечення комплексного управління QoS.

Функція трансляції (TF, Translation Function) виконує важливу роль у забезпеченні сумісності між різними мережами та протоколами. Вона перетворює внутрішні примітиви послуг мережі LTE в модулі різних протоколів, що взаємодіють з зовнішніми мережами. Наприклад, TF може перетворити атрибути QoS мережі LTE в параметри QoS протоколів IP або Ethernet. Це дозволяє забезпечити узгоджене управління QoS наскрізь, від мережі LTE до кінцевих пристроїв користувачів.

Функція контролю можливостей (A/CCF, Admission/Capability Control Function) відповідає за контроль доступу до послуг та розподіл ресурсів мережі. A/CCF аналізує доступні ресурси вузлів мережі та визначає, чи можуть вони забезпечити необхідний рівень QoS для нового або існуючого сеансу обслуговування. Якщо ресурсів недостатньо, A/CCF може відхилити запит на послугу або змінити параметри QoS для забезпечення стабільної роботи мережі.

Функція контролю підписки (SCF, Subscription Control Function) дозволяє контролювати доступність певних послуг для абонентів з необхідними параметрами QoS. SCF зберігає інформацію про підписки абонентів, включаючи їх тарифні плани та дозволені послуги, і використовує цю інформацію для управління доступом до послуг та розподілу ресурсів.

Взаємодія цих функцій забезпечує ефективне управління QoS в мережі LTE, що дозволяє операторам зв'язку забезпечувати високу якість обслуговування для користувачів, оптимізувати використання ресурсів мережі та підвищувати задоволеність абонентів.

1.5. Особливості надання послуг у мережах LTE

Концепція надання послуг передбачає наявність чотирьох класів якості обслуговування або класів трафіку:

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

– Фоновий.

Основним відмінністю між названими класами трафіку є їх чутливість до затримок. Голосовий трафік є найбільш чутливим, тоді як фоновий має найменшу чутливість до затримок. Інтернет-додатки, такі як Інтернет-навігація, електронна пошта, міжміський зв'язок тощо, відносяться до цього класу трафіку. При цьому, трафік інтерактивного класу має вищий пріоритет, ніж трафік фонового класу. Розглянемо коротко особливості послуг різних класів.

Одними з найбільш популярних голосових послуг є телефонні дзвінки. Розмови передаються у вигляді пакетів за допомогою технології VoIP (голос через IP). Рух даних у цьому випадку є симетричним або близьким до симетричного. Вимоги до якості мовного потоку поставлені жорстко, враховуючи особливості слуху і зору людини під час реального спілкування. Головними характеристиками QoS (якості обслуговування) в цьому випадку є мінімальна година підтримки, яка є фіксованою між окремими голосовими пакетами у загальному потоці, а також фіксована структура голосових пакетів. Суб'єктивні оцінки сприйняття мовлення показують, що безперервність мовної підтримки не повинна перевищувати 400 мс, оскільки подальша розмова стає практично неможливою [13].

Тому, для мережі необхідні служби різних класів, щоб встановити додаткові атрибути системи якості обслуговування. Можна вибрати конкретні опції для QoS, які відображаються в меню:

1. Клас трафіку (голосовий, потоковий, інтерактивний, фоновий);
2. Максимальна швидкість передачі даних (у Кбіт/с). Ви можете вибрати максимальну кількість біт, що передаються в мережу LTE (або в мережу LTE) протягом певного проміжку часу;
3. Гарантована швидкість передачі даних (в Кбіт/с). Це гарантує задану кількість біт, які будуть доставлені протягом визначеного інтервалу часу;
4. Порядок доставки (Так/Ні). Цей параметр визначає, чи надавати послідовний канал після передачі пакетів даних. Це впливає на протокол передачі даних та протокол PDP, призначений для користувача;

5. Максимальний розмір (у байтах) пакетів даних, що містять вміст послуги (SDU, Service Data Unit). Це вимірюється параметром MTU (Maximum Transfer Unit) для протоколу IP;

6. Інформація про формат пакетів даних (у бітах), що несуть вміст послуги, необхідна для радіодоступу в мережі у режимі прозорого передавання за допомогою функції протоколу RLC;

7. Відносна кількість некоректно переданих пакетів даних, які перевищують вміст послуги. Цей параметр допомагає вибрати схему модуляції/кодування для передачі даних через мережу радіодоступу;

8. Частота залишкових помилок, яка показує неправильну передачу бітів у доставлених пакетах даних, що несуть вміст послуги. Вона також використовується для вибору відповідної схеми модуляції/кодування для передачі даних через мережу радіодоступу;

9. Можливість доставки спотворених пакетів даних, що містять вміст послуги (так/ні). Цей параметр використовується при прийнятті рішень щодо надсилання створених пакетів даних;

10. Затримка передачі (в мс). Це допустиме відхилення значення затримки в мережі радіодоступу від загального часу затримки в наскрізному каналі для менше 95% значень затримки доставлених пакетів даних протягом усього обслуговування;

11. Пріоритет трафіку керування. Це відображає відносну важливість певного потоку даних порівняно з іншими потоками. Цей параметр призначений для інтерактивних сервісів класу, які розподіляють трафік;

12. Призначення/відкликання переваги. Це використовується для визначення оптимальних відмінностей між каналами передачі послуг в умовах обмежених ресурсів та встановлення пріоритету роботи згідно з призначенням та визначенням каналів;

13. Статистичний дескриптор джерела (мова/невідомо). Розмовна мова має статистичні значення, і ці значення можна підтвердити експериментально, підраховуючи пакети даних лінгвістичного характеру.

14. Індикатор службової інформації, визначається лише для служби інтерактивного класу. Вказує тип інформації (сервісна або користувачька), включеної в отриманий пакет даних.

Зверніть увагу, що деякі параметри QoS такі як затримка та частота помилок вхідних пакетів, а також сама надійність, несумісні між собою. Тому при доставці голосового трафіку прохідна затримка не повинна перевищувати 150 мс, а допустима втрата інформаційного пакету не повинна перевищувати 3%.

Для потокового трафіку допустима втрата інформаційних пакетів не повинна перевищувати 1%. Втрата пакетів для інтерактивного трафіку є неприпустимою. Ці послуги, як і фонові послуги трафіку, передаються з підтвердженням прийому. Необхідність отримання повторно переданих пакетів з помилками не дозволяє виміряти затримку.

1.6 Зв'язок між поняттям QoS та QoE

Бездротові мережі оцінюються за критеріями KPI (Key Performance Indicator), які визначають рівень задоволеності клієнтів і продуктивність оператора. Одним із важливих параметрів є сприймана якість обслуговування (QoE), яка описує сприйняття наданих послуг кінцевими користувачами. QoS (якість обслуговування) описує можливості мережі.

Для ефективного забезпечення найкращого QoE користувачам, постачальники мереж і послуг повинні належним чином керувати якістю наданих послуг. QoS і QoE взаємозалежні, тому їх дослідження та управління повинні здійснюватися за єдиним принципом, від планування мережі до технічної реалізації. Загальною метою є досягнення максимального QoE при збереженні якості.

Якість обслуговування (QoS) є фундаментальним будівельним блоком для досягнення цих показників. Проте QoE не обмежується лише технічними характеристиками мережі, оскільки існують також нетехнічні аспекти, які впливають на загальне сприйняття послуг користувачами.

На рисунку 1.6 зображена модель відображення параметрів QoS і QoE. QoS визначається як здатність мережі надавати послуги з гарантованим рівнем обслуговування. QoS включає всі функції, механізми та процедури в мережі та в кінцевих пристроях, які забезпечують надання узгодженої якості обслуговування між обладнанням користувача (UE) і базовою мережею (CN). QoE відображає практичність використання послуг користувачами, включаючи їхнє задоволення наданими послугами, такі як легкість використання, доступність, надійність і повнота обслуговування. У повноту послуги входять: затримки, зміни затримок і втрату даних під час доставки їх користувачам. Доступність послуги охоплює проблему доступності та недоступності, а також аспекти безпеки, активацію, доступ, обсяг, блокування та час підключення до відповідної служби односпрямованого каналу, повнота послуги.

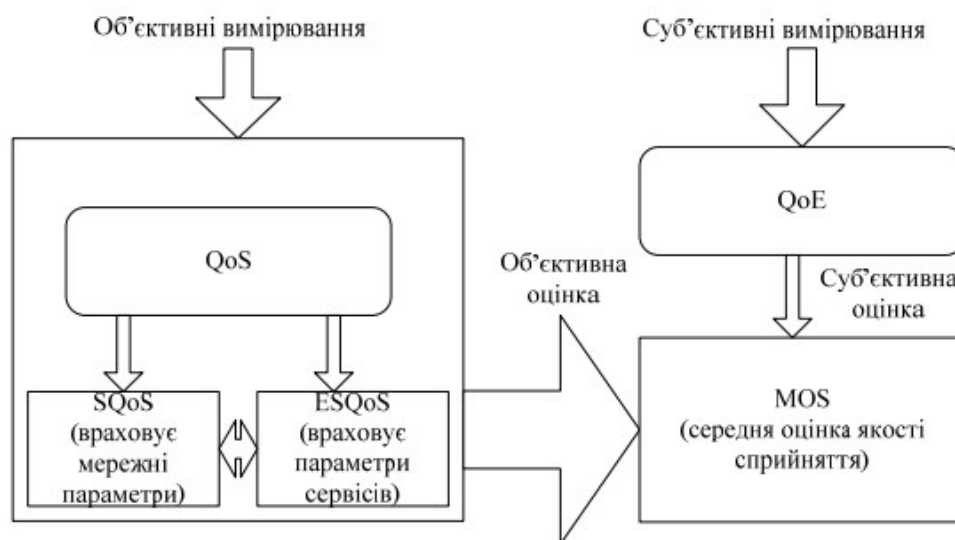


Рис. 1.6 - Модель відображення параметрів QoS та QoE

Однак, у багатьох випадках покращення QoS не завжди призводить до покращення QoE. Врахування всіх вимог QoS до трафіку не гарантує задоволення користувача. Навіть якщо певна частина мережі має високу пропускну здатність, це не завжди допомагає, якщо покриття слабке на близькій відстані. Важливо враховувати, що статистика QoS надає обмежену інформацію про задоволення кінцевого користувача. Тому висновок про покращення QoE за допомогою

механізмів QoS, спрямованих на зниження тремтіння або середньої затримки пакетів, не завжди є обґрунтованим. Головною ціллю QoS є покращення QoE. Надання високоякісних послуг базується на аналізі факторів, які найбільше впливають на сприйняття користувача, і застосуванні отриманої інформації для встановлення вимог до використання. Підхід знизу вгору (bottom-up) дозволяє зменшити витрати на розробку та ризики невідповідності і скарг користувачів, забезпечуючи відповідність потребам користувачів.

1.7 Управління параметрами QoE та QoS

QoE та керування QoS можна розділити на чотири основні категорії: мережеве планування, розгортання QoS, моніторинг QoE та QoS, і оптимізація QoS.

Мережеве планування включає вимірювання та детальне планування параметрів мережі. Первинне планування забезпечує оцінку необхідних елементів радіо, передачі та базової мережі, а також обсяг їхніх відповідних інтерфейсів. Детальне планування включає аналіз пропускну здатності та покриття мережі для кожної її частини та інтерфейсу. Цей процес враховує реальні типи трафіку, топологію мережі та властивості мережевих пристроїв і сигналів, які вони використовують.

Розгортання QoS включає впровадження QoS у мережах і мобільних пристроях. Цей процес перетворює результати планування на механізми та параметри, які використовуються мережевими елементами та мобільними терміналами. Доставка QoS поділяється на три категорії:

- Налаштування QoS всередині мережі на рівні бездротового доступу, базовому рівні та транспортному рівні.
- Призначення певного профілю QoS для кожної послуги на рівні сервісу.
- Забезпечення терміналу QoS, що передбачає надання терміналам службової інформації від додатків.

Моніторинг QoE та QoS стає все важливішим для операторів, оскільки точне вимірювання та покращення QoE є необхідними для збереження користувачів та забезпечення конкурентоспроможності.

Оптимізація QoS полягає у постійному вдосконаленні параметрів QoS для підвищення якості обслуговування. Це включає в себе аналіз зібраних даних про продуктивність мережі та користувацький досвід (QoE), а також впровадження змін, що дозволяють підвищити ефективність мережі та задовольнити потреби користувачів.

2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ МЕРЕЖІ LTE

У даному розділі розглянуто формулювання завдання щодо підвищення пропускної здатності системи. Існує безліч способів підвищення пропускної здатності, які базуються на експериментальних вимірюваннях. Серед них слід відзначити такі:

- Покращення якості сприйняття послуг (QoE) та якості обслуговування (QoS).
- Мінімізацію показника якості каналу (CQI).
- Використання перехідного рівня між фізичним і канальним рівнями для оптимізації планування мережі.
- Покращення продуктивності діаграмоутворення.
- Застосування надійних методів стабілізації параметрів каналу.
- Використання високого рівня модуляції та ефективного розподілу ресурсів.

Всі ці заходи сприяють підвищенню пропускної здатності мережі LTE.

2.1 Взаємозв'язок між параметром CQI та пропускною здатністю в LTE

У даному розділі проводиться аналіз впливу параметра CQI на функціонування мережі з використанням різних типів модуляції. Мінімізація значення CQI сприяє збільшенню пропускної здатності каналу. Базова станція LTE, відома як Evolved NodeB (eNodeB), виступає як основна компонента радіодоступової мережі LTE, тоді як мобільний термінал зазвичай називається обладнанням користувача (UE). Функції eNodeB та UE розподілені на різних рівнях протоколів взаємодії. На рис. 2.1 демонструє спрощену схему, що показує різні рівні та потік даних у низхідному каналі.

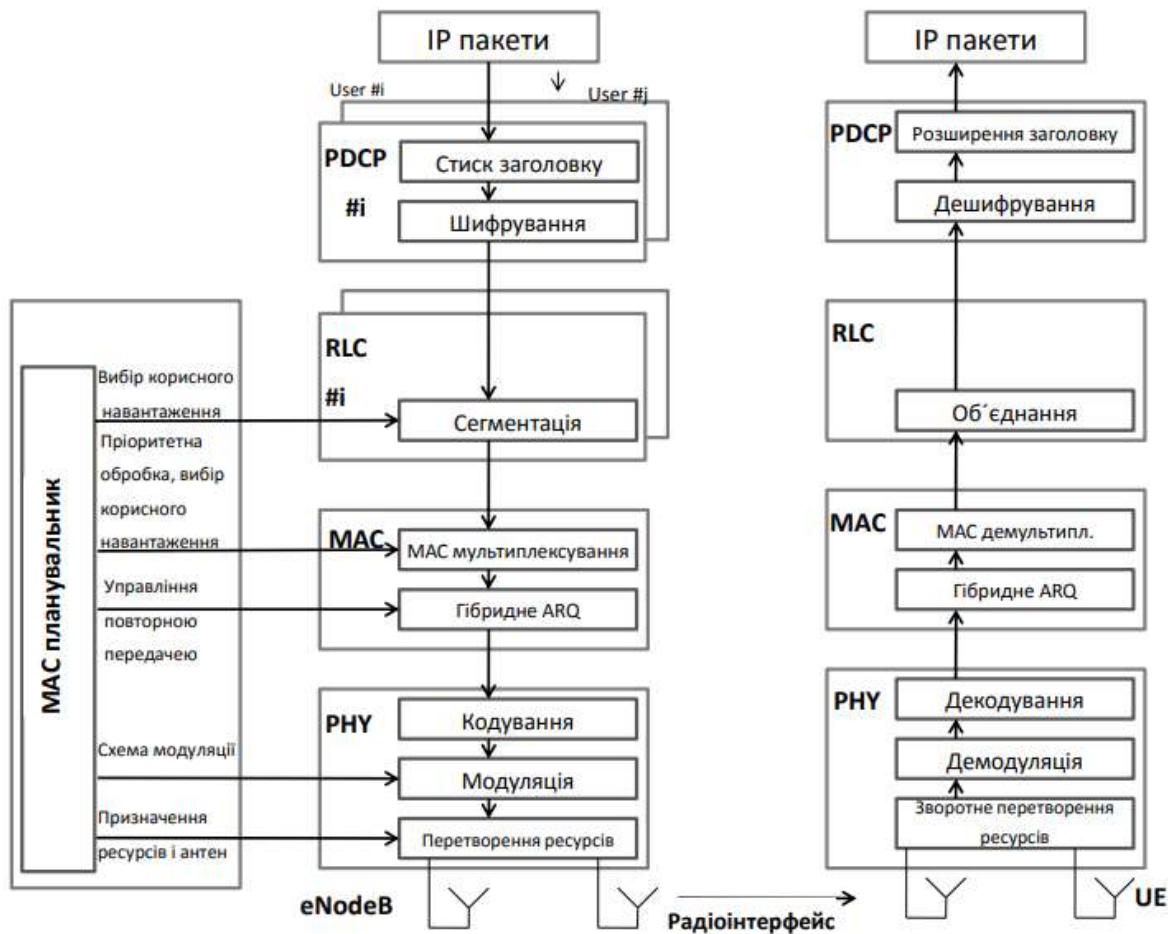


Рис. 2.1 – Модель міжрівневої взаємодії в LTE

IP-пакети надходять до стеку протоколів на рівні протоколу конвергенції пакетних даних (Packet Data Convergence Protocol, PDCP) і проходять через низку протоколів, перш ніж потрапляють на фізичний рівень і передаються до радіоінтерфейсу. У системах мобільного зв'язку якість сигналу, отриманого від користувацького пристрою, залежить від якості каналу, рівня перешкод від інших систем та рівня шуму.

Щоб оптимізувати продуктивність системи і адаптувати потужність передачі, передавач повинен забезпечити передачу правильної швидкості даних кожному користувачеві.

2.2 Вплив CQI на продуктивність та ефективність передачі даних в LTE

У низхідному каналі LTE якість каналу вимірюється на UE (користувацькому обладнанні) і передається на eNodeB (базову станцію) у вигляді CQI (Channel Quality Indicator - показник якості каналу). Якість вимірюваного сигналу залежить не тільки від характеристик каналу, рівнів шуму та завад, але й від якості методу прийому. Якість сигналу вимірюється за допомогою еталонних символів.

На рис. 2.2 показано генерацію сигналу на фізичному рівні LTE з використанням турбокодування і модуляції сигналу. На цьому рівні управління ресурсами здійснюється модулем RM (Resource Management), який розділяє прийнятий блок даних на ресурсні блоки; ресурсний блок складається з 12 піднесучих і часового інтервалу.

Існує два типи звітності CQI: циклічна та ациклічна: PUCCH (Physical Uplink Control Channel) використовується тільки для циклічного звітування CQI, тоді як PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) використовується для ациклічного звітування CQI.

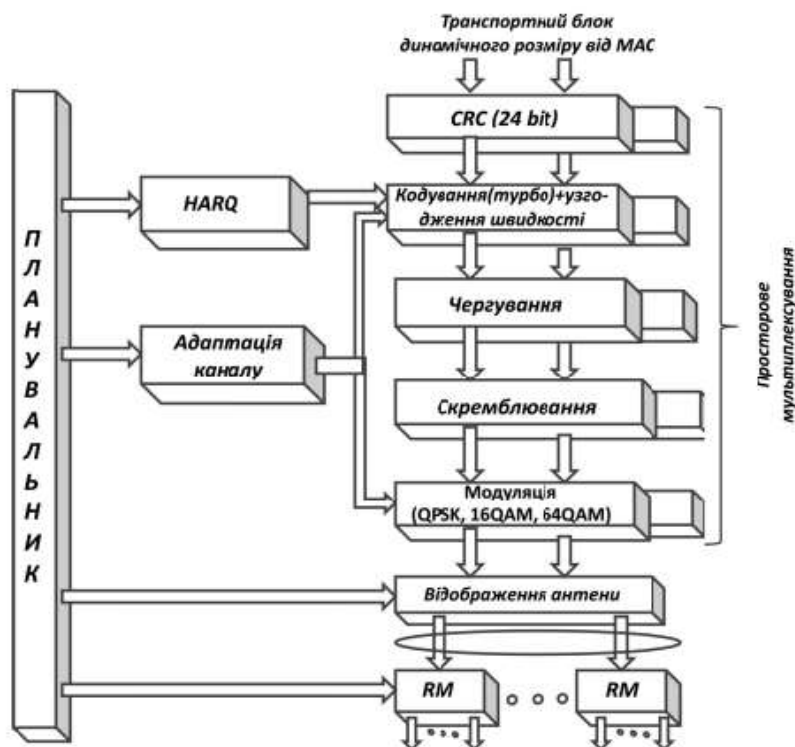


Рис. 2.2 – Генерація сигналу LTE

UE надсилає періодичні звіти CQI через заздалегідь визначені часові інтервали, які важливі для eNodeB, щоб дізнатися про якість каналу в певний момент часу. Якщо eNodeB бажає отримувати неперіодичні звіти CQI, використовується виділений канал PUSCH. Для визначення деталізації частоти оновлення смуга пропускання системи поділяється на N підсмуг, кожна з яких містить k суміжних блоків фізичних ресурсів (PRB). Кількість N піддіапазонів визначає деталізацію частоти звітування CQI.

Періодичні звіти CQI передаються на каналі PUSCH. Періодичні CQI можуть бути широкосмуговими або вибраними піддіапазонами UE для всіх режимів низхідної передачі; тип CQI визначається eNodeB. У широкосмуговому режимі єдине значення CQI вимірюється у всій смузі частот системи і передається на eNodeB; UE вибирає підсмугу зворотного зв'язку, і загальна кількість N підсмуг у смузі частот системи ділиться на j частин. У кожній частині смуги пропускання вибирається певна підсмуга, вимірюється якість каналу в цій підсмузі, і ця інформація надсилається на eNodeB.

Зазвичай використовуються циклічні звіти CQI, але eNodeB може потребувати отримання ациклічних CQI від UE. Циклічна передача CQI також використовується, коли втрачається синхронізація або відбувається хендовер. Ациклічні звіти CQI передаються каналом PUSCH у відповідь на запит від eNodeB, який встановлює біт запиту CQI на фізичному каналі керування низхідною лінією зв'язку (PDCCH). eNodeB встановлює тип CQI одним із таких способів:

- 1) Широкосмуговий зворотний зв'язок: У цьому режимі UE передає єдине значення CQI для всієї смуги частот системи, а також періодичну звітність.
- 2) конфігурація зворотного зв'язку для піддіапазонів eNodeB: у цьому режимі доступні два типи CQI: CQI для всієї смуги частот та CQI для окремих піддіапазонів. При розрахунку CQI для піддіапазону передбачається, що передача відбувається тільки у відповідному піддіапазоні.
- 3) Піддіапазон зворотного зв'язку, обраний користувачем: З цією опцією конфігурації eNodeB використовує два типи CQI: один - значення CQI широкосмугової системи, а інший - середнє значення CQI, виміряне в кожному з

обраних піддіапазонів розміром k . Він також повідомляє про положення обраного піддіапазону.

2.3 Роль еквалайзера у покращенні якості передачі даних в мобільних мережах

Високошвидкісна передача даних необхідна для надання різних послуг у системах мобільного зв'язку, таких як відео, високоякісний голос і мобільні цифрові інтегровані мережі. Коли високошвидкісна передача даних здійснюється через мобільні радіоканали, імпульсна характеристика каналу може охоплювати кілька символних періодів, що призводить до виникнення міжсимвольної інтерференції (ISI). ISI завжди викликає проблеми з відновленням сигналу в радіоканалі. Одним із способів подолання цієї проблеми є використання еквалайзера (коректора). Шляхом налаштування параметрів можна компенсувати міжсимвольну інтерференцію (ISI), яка виникає в результаті багатопроменевих сигналів, що поширюються з каналів з різними затримками.

2.3.1 Моделювання адаптивного підстроювання параметрів каналу

У сучасних мобільних мережах, таких як LTE, високошвидкісна передача даних є критично важливою для забезпечення різноманітних послуг, включаючи потокове відео, високоякісний голосовий зв'язок та мобільний інтернет. Однак, високошвидкісна передача даних через радіоканали стикається з проблемою міжсимвольної інтерференції (ISI), яка виникає через багатопроменеве поширення сигналу та обмежену смугу пропускання каналу. ISI може призвести до спотворення сигналу та погіршення якості передачі даних.

Для вирішення цієї проблеми використовуються різні методи адаптивного підстроювання параметрів каналу, які дозволяють компенсувати ISI та покращити якість передачі даних. Одним з таких методів є використання еквалайзера, який налаштовує свої параметри відповідно до характеристик каналу.

У випадку каналу 2x2 MIMO з релеєвськими завмираннями та модуляцією BPSK, можна застосовувати такі методи налаштування еквалайзера:

Налаштування примусового придушення (Zero Forcing - ZF): Цей метод спрямований на повне усунення ISI шляхом інвертування матриці каналу. Однак, ZF може призвести до посилення шуму, особливо за низького співвідношення сигнал/шум (SNR).

- Налаштування на основі мінімізації середньоквадратичної помилки (Minimum Mean Square Error - MMSE): Цей метод враховує як ISI, так і шум, що дозволяє знайти компроміс між придушенням ISI та посиленням шуму. MMSE зазвичай забезпечує кращу продуктивність, ніж ZF, особливо за низького SNR.
- Налаштування примусового придушення завад (Zero Forcing with Interference Cancellation - ZF-SIC): Цей метод є розширенням ZF, який послідовно виявляє та усуває символи, що заважають, що дозволяє покращити продуктивність порівняно зі звичайним ZF.
- MMSE-SIC: Цей метод поєднує переваги MMSE та SIC, що дозволяє досягти ще кращої продуктивності.
- MIMO з оптимальним впорядкуванням: Цей метод враховує порядок детектування символів у MIMO-системах, що дозволяє покращити продуктивність порівняно з методами, які не враховують впорядкування.

Зазвичай, налаштування параметрів каналу здійснюється в цифровій області, після демодуляції сигналу в приймачі. Процес адаптації може бути реалізований за допомогою різних алгоритмів, таких як алгоритм найменших квадратів (Least Squares - LS), алгоритм рекурсивних найменших квадратів (Recursive Least Squares - RLS) або алгоритм Калмана.

Вибір конкретного методу налаштування залежить від вимог до якості передачі даних, складності алгоритму та обчислювальних ресурсів приймача. У реальних умовах, характеристики каналу можуть змінюватися з часом, тому адаптивне налаштування є важливим для забезпечення стабільної та надійної передачі даних у мобільних мережах.

2.4 Дослідження впливу пропускної здатності мережі LTE на показники якості сприйняття (QoE) та обслуговування (QoS)

Якість обслуговування (QoS) досягається шляхом поліпшення різних показників продуктивності мережі, які розрізняють інтернет-потоки; якість досвіду (QoE) визначається задоволеністю клієнтів мережевими послугами. Тому такі параметри QoS, як швидкість, втрата пакетів, затримка і джиттер, безпосередньо впливають на якість обслуговування користувачів. Різні типи послуг вимагають різних параметрів мережі, таких як джиттер, затримка, втрата пакетів і пропускна здатність. QoS відноситься до здатності мережі задовольняти вимоги декількох потоків. Тому QoS вимагає резервування смуги пропускання, покращення параметрів втрат, управління перевантаженням мережі та визначення пріоритетів для потоків трафіку.

З іншого боку, QoE дозволяє вимірювати рівень обслуговування, як його сприймають абоненти. Це дає можливість оцінити загальну задоволеність клієнта наданою послугою і, за необхідності, розробити шляхи її покращення. QoE може мати різне значення для різних послуг. Наприклад, голосовий додаток може отримати високу оцінку QoE за якість звуку, в той час як відеододаток може вимагати великих і чітких зображень. Були запропоновані різні алгоритми для вирішення завдань контролю, планування та маркування, а також інших завдань для досягнення порогових значень QoS, встановлених під час передачі даних для підтримки QoS. Однак, оскільки QoS сам по собі не може повністю описати і задовольнити якість, що сприймається користувачем, необхідно розробити методи визначення QoE на основі параметрів мережі.

При визначенні класів QoS в IMT-2000 необхідно враховувати обмеження і вимоги радіоінтерфейсу. Механізми QoS, що надаються в мережах IMT-2000, повинні бути надійними і забезпечувати адекватний рівень якості обслуговування. В IMT-2000 запропоновано чотири різних класи QoS:

- Мовний клас

- Клас потоку
- Діалоговий клас;
- Фоновий клас.

Таблиця 2.1

Класи QoS в ІМТ-2000

Клас трафіку	Клас мовлення	Клас потоку в режимі реального часу	Інтерактивний клас	Фонові класи
Основні характеристики	– Підтримка варіації інформаційних розділів потоку –Діалоговий шаблон	– Збереження варіації між інформаційними розділами потоку	– Формулювання Питання - відповіді – Збереження корисного контенту навантаження	–Часовий інтервал протягом якого не отримує жодних даних –Збереження контенту
Приклад застосування	– Голос	– Потокове відео	–Перегляд вебсторінок	– Фонове завантаження електронних листів

2.4.1 Суб'єктивні та об'єктивні методи оцінки якості обслуговування

Існує два основні підходи до оцінки якості послуг: суб'єктивні та об'єктивні методи. Суб'єктивні методи передбачають, що групу людей просять оцінити, як вони сприймають послугу. Об'єктивні методи ґрунтуються на використанні математичних моделей, які наближають результати суб'єктивних оцінок якості, і можуть бути поділені на неоперативні та оперативні методи. Неоперативні методи

потребують збережених даних і тому є більш точними, але не підходять для моніторингу трафіку в реальному часі.

Суб'єктивна оцінка якості обслуговування зазвичай виконується на основі шкали MOS, наведеної в таблиці 2.2. Ця шкала включає п'ять категорій суб'єктивної оцінки якості обслуговування..

Таблиця 2.2

Шкала MOS

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

До недоліків суб'єктивних методів можна віднести високу вартість і складність організації їх використання, що іноді навіть робить їх повністю непридатними. Тому зараз активно розробляються та досліджуються об'єктивні методи вимірювання якості сприйняття.

2.5 E-модель для оцінки якості сприйняття послуги

Голосовий зв'язок через IP (VoIP) став набагато популярніше ніж раніше традиційна телефонія. Це пов'язано з тим, що ця технологія передачі даних через мережу (зазвичай TSP/IP) дозволяє легко розширювати спектр додаткових послуг, забезпечує можливість їх інтеграції та низькі операційні витрати. Основними

протоколами VoIP є H.323, SIP (Session Initiation Protocol), MGCP, RTP (Real-Time Transport Protocol), RTCP (Real-Time Control Protocol).

Існує декілька методів оцінки якості прийому VoIP. Один з цих методів, E-модель, є об'єктивним: E-модель дозволяє визначити рейтингову оцінку, яка об'єднує всі важливі параметри передачі даного VoIP-з'єднання. Рейтинг передачі R коливається від 0 до 100, де R=0 відповідає дуже низькій якості, а R=100 - дуже високій якості. E-модель надає статистичну оцінку якості: Оцінка "Добре або краще" (GoB) або "Погано або гірше" виводиться з фактору R шляхом аналізу функції гауссової похибки, отриманої зі статистики.

3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ У СИСТЕМІ LTE

Основна мета цього розділу - описати і проаналізувати пропускну здатність LTE, розглядаючи різні методи та моделі, що сприяють підвищенню цієї здатності та якості сприйняття послуг користувачами. Цей розділ дозволить отримати комплексне уявлення про поточні можливості та майбутні напрямки розвитку технологій LTE, спрямовані на підвищення пропускну здатності та покращення якості сприйняття послуг користувачами.

3.1 Порівняння з попередніми технологіями (2G, 3G)

Розвиток мобільного зв'язку пройшов кілька ключових етапів, кожен з яких приніс суттєві покращення у швидкості передачі даних, якості зв'язку та спектральній ефективності. LTE (Long Term Evolution) є значним кроком вперед у порівнянні з попередніми технологіями 2G (GSM) та 3G (UMTS/HSPA).

Технологія 2G орієнтувалась в першу чергу на голосовий зв'язок. Швидкість передачі даних була обмежена і становила до 14,4 кбіт/с. З впровадженням GPRS та EDGE (покращений GSM), швидкість передачі даних зросла до 114 кбіт/с та 384 кбіт/с відповідно, що дозволило користувачам обмінюватися текстовими повідомленнями та базовими інтернет-сервісами.

Технологія 3G принесла значні покращення у швидкості передачі даних, забезпечуючи до 384 кбіт/с з UMTS та до 42 Мбіт/с з HSPA+. Це дозволило користувачам комфортно користуватися інтернетом, переглядати відео, використовувати мобільні додатки та сервіси. Однак, навіть при таких швидкостях, 3G не могло забезпечити той рівень продуктивності та якості, який став стандартом у сучасних мобільних мережах.

Технологія LTE забезпечує суттєво вищу пропускну здатність порівняно з 3G. Теоретичні пікові швидкості можуть досягати 300 Мбіт/с у напрямку завантаження та 75 Мбіт/с у напрямку відвантаження. Це дозволяє користувачам

насолоджуватися високоякісним потоковим відео, швидким завантаженням файлів та багатокористувацькими онлайн-іграми.

Затримка в мережах 2G була високою, що робило цю технологію непридатною для реального часу додатків, таких як відеодзвінки або онлайн-ігри. Типова затримка складала більше 500 мс.

Впровадження 3G зменшило затримку до 100-200 мс, що покращило користувацький досвід, але все ще залишало певні обмеження для реального часу сервісів.

Затримка в мережах LTE значно зменшилась і може бути на рівні 10-50 мс, що робить можливим використання додатків, чутливих до затримок, таких як VoIP, відеоконференції та інтерактивні онлайн-ігри.

Таким чином, LTE представляє значний крок вперед порівняно з 2G та 3G, забезпечуючи значно вищу пропускну здатність, меншу затримку та кращу спектральну ефективність. Це робить можливим надання сучасних мультимедійних послуг і задоволення зростаючих вимог користувачів до мобільного зв'язку.

3.2 Алгоритми формування пропускну здатності LTE на фізичному рівні

У системах LTE використовуються різні методи для підвищення пропускну здатності, які включають застосування передових технологій, ефективне управління ресурсами та покращення спектральної ефективності. Одним з ключових методів є технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output), яка дозволяє передавати та приймати кілька потоків даних одночасно за допомогою множинних антен. Просторове мультиплексування, що використовується в MIMO, дозволяє передавати різні потоки даних одночасно через один і той же частотний спектр, збільшуючи загальну пропускну здатність без збільшення частотного спектра. Просторове рознесення підвищує надійність зв'язку, оскільки якщо один канал зазнає впливу інтерференції або затухання, інші канали можуть передати дані без

перешкод. Використання MIMO значно підвищує пропускну здатність і спектральну ефективність, проте реалізація цієї технології вимагає складних алгоритмів обробки сигналів та координації між антенами, що може збільшувати вартість обладнання та вимоги до енергоспоживання.

Агрегація несучих (Carrier Aggregation) є ще однією важливою технологією, яка дозволяє об'єднувати кілька частотних каналів для збільшення загальної пропускну здатності. Мережі LTE можуть використовувати декілька частотних каналів одночасно, що дозволяє збільшити ширину спектра і, відповідно, пропускну здатність. Агрегація може бути як внутрішньодіапазонною (intra-band), коли об'єднуються суміжні частотні канали, так і міждіапазонною (inter-band), коли об'єднуються канали з різних частотних діапазонів. Використання цієї технології дозволяє операторам мобільного зв'язку підвищити гнучкість та ефективність використання спектра, збільшити пропускну здатність та покращити якість обслуговування. Однак, агрегація несучих вимагає узгодження між різними частотними діапазонами та підвищені вимоги до апаратного забезпечення.

Модуляція високого порядку дозволяє передавати більше бітів інформації на один символ, що підвищує швидкість передачі даних. Техніки, такі як 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), дозволяють передавати 6 бітів на символ, а 256-QAM – 8 бітів на символ, що значно підвищує пропускну здатність каналу без збільшення ширини спектра. Використання модуляції високого порядку дозволяє збільшити пропускну здатність і підвищити ефективність використання спектра, але вимагає високої якості сигналу та низького рівня шуму, а також складніших алгоритмів обробки сигналу.

Гетерогенні мережі (HetNets) використовують різні типи базових станцій для підвищення покриття та пропускну здатності. Використання макросот, пікосот, фемтосот та релейних станцій дозволяє покращити покриття і пропускну здатність, особливо у зонах з високою щільністю трафіку. Макросоти покривають великі території, забезпечуючи основне покриття, пікосоти використовуються в зонах з високою щільністю трафіку, таких як міські центри, фемтосоти забезпечують покриття всередині будівель, де сигнал від макросот слабкий, а релейні станції

підсилюють сигнал у важкодоступних місцях. Гетерогенні мережі дозволяють більш ефективно використовувати спектр і покращувати якість обслуговування для користувачів, знижуючи інтерференцію та збільшуючи пропускну здатність у місцях з високим трафіком, але вимагають складного управління різними типами базових станцій та координації між ними.

Ефективне планування ресурсів та управління трафіком є критично важливими для забезпечення високої пропускну здатності у мережах LTE. Використання просунутих алгоритмів планування, таких як Proportional Fair, Round Robin та Max C/I, дозволяє оптимально розподіляти ресурси між користувачами, забезпечуючи баланс між пропускну здатністю та якістю обслуговування. Алгоритми Proportional Fair збалансовують швидкість передачі даних і рівень обслуговування для всіх користувачів, Round Robin призначає ресурси послідовно кожному користувачеві, забезпечуючи рівномірний розподіл, а Max C/I призначає ресурси користувачам з найкращою якістю каналу, що максимізує пропускну здатність. Управління трафіком включає використання політик QoS (Quality of Service) для пріоритизації трафіку та забезпечення високої якості обслуговування для критичних додатків, таких як відео-стрімінг та VoIP. Оптимальне використання мережевих ресурсів та підвищення загальної ефективності мережі є ключовими перевагами цих методів, але вони вимагають складної реалізації та налаштування алгоритмів, а також постійного моніторингу та коригування параметрів.

Методи підвищення пропускну здатності в LTE включають застосування передових технологій, таких як MIMO, агрегація несучих та високий порядок модуляції, а також використання гетерогенних мереж і ефективне управління ресурсами. Кожен з цих методів має свої переваги та виклики, але в сукупності вони дозволяють забезпечити високу продуктивність, якість обслуговування та задовольнити зростаючі вимоги користувачів до мобільного зв'язку.

Ці методи підвищення пропускну здатності в LTE відіграють критичну роль у підтримці зростаючого обсягу даних та покращенні якості обслуговування для мільйонів користувачів мобільного зв'язку. Однак існує постійна потреба в

подальшому розвитку та оптимізації цих методів, особливо з урахуванням стрімкого зростання трафіку та появи нових вимог до мереж LTE.

Зокрема, динамічне керування ресурсами, яке включає адаптивне розподілення частот та потужності, може допомогти максимізувати ефективність використання доступних ресурсів у реальному часі. Це може включати автоматичну оптимізацію параметрів мережі на основі змінних умов зв'язку, таких як швидкість руху користувачів та обсяг трафіку.

Також важливою є подальша стандартизація та впровадження нових технологій, які можуть підвищити пропускну здатність та знизити затримки в мережах LTE. Наприклад, розвиток технологій масивних множинних вхідних і вихідних антен (Massive MIMO) може дозволити ще більше збільшити пропускну здатність та покращити якість обслуговування шляхом використання великої кількості антен для передачі та прийому сигналів.

Наприкінці, розвиток та впровадження нових стандартів, таких як 5G, також може відігравати важливу роль у підвищенні пропускну здатності та ефективності мобільних мереж.

3.3. Підвищення пропускну здатності на основі узгодженого планування міжрівневої взаємодії в системі LTE з урахуванням якості обслуговування (QoS)

Підвищення пропускну здатності в мережах LTE тісно пов'язане з узгодженим плануванням міжрівневої взаємодії, яке враховує вимоги QoS (Quality of Service) різних типів трафіку. QoS зазвичай визначається в термінах мінімальної швидкості передачі даних або максимальної затримки.

Параметри QoS в LTE класифікуються на трьох рівнях:

- Бітовий рівень: На цьому рівні QoS забезпечується шляхом досягнення необхідного співвідношення сигнал/шум (SIR), що гарантує цільовий коефіцієнт бітових помилок (BER) для кожного користувача.

- Рівень пакетів: Для додатків реального часу, таких як аудіо- та відеоконференції, критично важливо забезпечити низьку затримку передачі кожного пакету. Процедури планування ресурсів дозволяють динамічно розподіляти ресурси між користувачами в залежності від їх класу QoS та стану каналу, забезпечуючи тим самим необхідний рівень QoS для кожного типу трафіку.
- Рівень виклику: На цьому рівні QoS визначає можливість встановлення та підтримки виклику в залежності від доступності ресурсів та типу виклику (голос, відео, дані).

Узгоджене планування міжрівневої взаємодії передбачає координацію роботи різних рівнів мережі LTE для забезпечення оптимального розподілу ресурсів та досягнення необхідних параметрів QoS для кожного користувача. Це включає в себе планування радіоресурсів, планування пакетів, управління мобільністю та інші аспекти.

Наприклад, алгоритм планування радіоресурсів може враховувати вимоги QoS різних користувачів та стан каналу, щоб виділити ресурси тим користувачам, які найбільше потребують високої пропускної здатності або низької затримки. Алгоритм планування пакетів може враховувати пріоритети різних типів трафіку, щоб забезпечити своєчасну доставку пакетів реального часу. Управління мобільністю може враховувати вимоги QoS користувача при його переміщенні між комірками, щоб забезпечити безперервність обслуговування.

Таким чином, узгоджене планування міжрівневої взаємодії з урахуванням QoS є ключовим фактором для підвищення пропускної здатності та забезпечення високої якості обслуговування в мережах LTE.

3.4 Моделі підвищення якості сприйняття послуг в LTE

Моделі підвищення якості сприйняття послуг (QoE) в LTE є невід'ємною частиною сучасних телекомунікаційних систем, оскільки вони дозволяють операторам зв'язку зрозуміти та покращити суб'єктивний досвід користувачів. Ці

моделі враховують різноманітні аспекти, що впливають на сприйняття якості, такі як якість звуку та відео, швидкість завантаження веб-сторінок, плавність відтворення потокового відео, час відгуку додатків та інші фактори, що формують загальне враження користувача від послуг LTE.

Суб'єктивні моделі QoE базуються на оцінках користувачів щодо якості послуг. Найпоширенішим прикладом є MOS (Mean Opinion Score), яка використовується для оцінки якості голосу та відео. Користувачі оцінюють якість за 5-бальною шкалою, де 1 означає "погана якість", а 5 - "відмінна якість". Середнє значення цих оцінок (MOS) використовується для визначення загальної якості послуги. Інший приклад суб'єктивної моделі - це Subjective Video Quality Assessment (SVQA), яка використовується для оцінки якості відео.

Об'єктивні моделі QoE використовують вимірювання технічних параметрів мережі та аналіз їх впливу на QoE. Ці моделі дозволяють автоматично оцінювати якість послуг без залучення користувачів. Деякі з найпоширеніших об'єктивних моделей включають:

- E-Model: Ця модель оцінює якість голосових послуг (наприклад, VoLTE) на основі таких параметрів, як затримка, втрата пакетів, шум, ехо та інших факторів, що впливають на якість передачі голосу.
- R-Factor: Ця модель використовується для оцінки якості голосового зв'язку в IP-мережах, таких як VoLTE. Вона враховує такі параметри, як затримки, втрати пакетів та їх вплив на розбірливість мови.
- PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality): Ця модель використовується для об'єктивної оцінки якості голосових послуг шляхом порівняння оригінального та переданого аудіосигналів. Вона враховує психоакустичні особливості людського слуху для більш точної оцінки якості.
- PSQM (Perceptual Speech Quality Measure): Ця модель також використовується для оцінки якості голосу, але вона враховує не тільки параметри сигналу, але й характеристики мережі передачі, такі як кодеки та протоколи.

- SSIM (Structural Similarity Index Measure): Ця модель використовується для оцінки якості відео шляхом порівняння оригінального та переданого відеопотоків. Вона враховує структурну схожість зображень для більш точної оцінки якості.

Моделі QoE використовуються операторами мобільного зв'язку для вирішення широкого кола завдань, включаючи:

- Моніторинг та аналіз: Відстеження якості послуг у реальному часі та виявлення проблемних ділянок мережі.
- Оптимізація мережі: Використання моделей QoE для налаштування параметрів мережі з метою покращення якості послуг.
- Планування та розширення мережі: Використання моделей QoE для прогнозування майбутнього попиту на послуги та планування розширення мережі.
- Розробка нових послуг: Врахування вимог QoE при розробці нових послуг та застосунків.
- Підвищення задоволеності користувачів: Забезпечення високої якості послуг, що призводить до підвищення лояльності та утримання абонентів.
- Конкурентна перевага: Використання QoE як маркетингового інструменту для залучення нових абонентів.

Подальший розвиток моделей QoE в LTE пов'язаний з використанням машинного навчання та штучного інтелекту. Це дозволить створювати більш точні та адаптивні моделі, які зможуть враховувати індивідуальні особливості користувачів та контекст використання послуг. Наприклад, моделі QoE можуть враховувати тип пристрою, місцезнаходження користувача, час доби та інші фактори, що впливають на сприйняття якості.

3.5 Аналіз алгоритмів планування ресурсів

Аналіз алгоритмів планування ресурсів в мережах LTE включає в себе ретельне вивчення їхньої ефективності, працездатності та відповідності вимогам різних сценаріїв використання. Для початку, розглянемо алгоритм Proportional Fair (PF). Він відомий своєю здатністю до справедливого розподілу ресурсів між користувачами, що веде до задоволення більш широкого кола абонентів. Однак, при високому навантаженні може статися, що користувачі зі слабким сигналом будуть постійно отримувати ресурси, знижуючи загальну ефективність мережі.

Round Robin (RR) також має свої переваги та недоліки. Він забезпечує рівномірний розподіл ресурсів, що дозволяє уникнути перевантаження деяких секторів. Однак, це може призвести до неефективного використання ресурсів у випадку, коли деякі користувачі потребують більше пропускної здатності, ніж інші.

Алгоритм Max C/I, який призначає ресурси користувачам з найвищим співвідношенням сигнал-шум, може допомогти максимізувати пропускну здатність мережі, зменшуючи вплив інтерференції. Однак він може бути менш ефективним в умовах нерівномірного розподілу користувачів або в ситуаціях зі значною зміною каналу зв'язку.

Пропозиції, як Hybrid Precoding з Max-SINR, можуть бути ефективними в умовах складних каналів зв'язку, де інші алгоритми можуть бути менш ефективними. Однак їхнє впровадження може вимагати додаткових обчислювальних ресурсів та складніших алгоритмів обробки сигналів.

При аналізі цих алгоритмів важливо також враховувати вимоги конкретного сценарію використання мережі, такі як рівень трафіку, тип послуг, мобільність користувачів тощо. Відповідно, оптимальний вибір алгоритму планування ресурсів може змінюватися в залежності від конкретних умов експлуатації мережі.

Узагальнюючи, аналіз алгоритмів планування ресурсів в мережах LTE є важливою складовою ефективного використання мережевих ресурсів та забезпечення високої якості обслуговування для користувачів. Такий аналіз

дозволяє зрозуміти переваги та обмеження кожного алгоритму в різних умовах та розробити оптимальні стратегії планування для досягнення максимальної продуктивності та якості обслуговування в мережах LTE.

Додатковий аналіз алгоритмів планування ресурсів у мережах LTE може включати оцінку їхньої витратоємності та складності реалізації. Наприклад, алгоритми, які вимагають значних обчислювальних ресурсів або складніших алгоритмів обробки сигналів, можуть бути менш придатні для впровадження у високонавантажених мережах або на пристроях з обмеженими обчислювальними можливостями.

Також важливо оцінювати реакцію алгоритмів на зміни умов мережі, такі як зміни в рівні трафіку, рух користувачів та інтерференція. Деякі алгоритми можуть бути більш адаптивними та ефективними у вирішенні таких змін, ніж інші, що може мати велике значення для забезпечення стабільної та якісної роботи мережі у різних умовах.

Крім того, аналіз впливу різних алгоритмів на конкретні метрики продуктивності мережі, такі як пропускна здатність, затримка та стійкість до перешкод, може допомогти визначити найбільш підходящі стратегії планування ресурсів для конкретних вимог та умов використання мережі.

Крім того, аналіз алгоритмів планування ресурсів може включати оцінку їхньої витратоємності та складності реалізації. Наприклад, алгоритми, які вимагають значних обчислювальних ресурсів або складніших алгоритмів обробки сигналів, можуть бути менш придатними для впровадження у високонавантажених мережах або на пристроях з обмеженими обчислювальними можливостями.

Загалом, аналіз алгоритмів планування ресурсів у мережах LTE важливий для визначення оптимальних стратегій планування, які забезпечать максимальну продуктивність та якість обслуговування для користувачів при мінімальних витратах ресурсів та складності реалізації.

3.5.1 Аналіз недоліків методу розподілу ресурсів на основі максимуму співвідношення С/І

У розглянутому методі розподілу ресурсів частотні та часові ресурси вимірювального діапазону виділяються станції-користувачу з найвищим відношенням сигнал/шум на вході її приймача. Однак цей метод не гарантує пропорційного розподілу ресурсів між іншими станціями-користувачами зображено на рис. 3.1.

Тому на ділянці вимірювання ресурси виділяються лише одній абонентській станції. Якщо кілька станцій мають однакове співвідношення сигнал/шум на своїх входах, то частотно-часові ресурси розподіляються порівну.

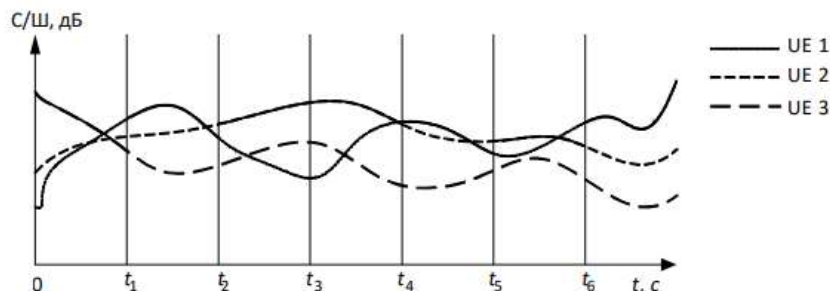


Рис. 3.1 - Вимірювання відношення сигнал/шум для розподілу ресурсів на основі максимального співвідношення сигнал/шум

Однак, якщо відношення сигнал/шум на вході станції є однаковим протягом декількох інтервалів вимірювання, може виникнути ситуація захоплення джерела, як показано на рис. 3.2.

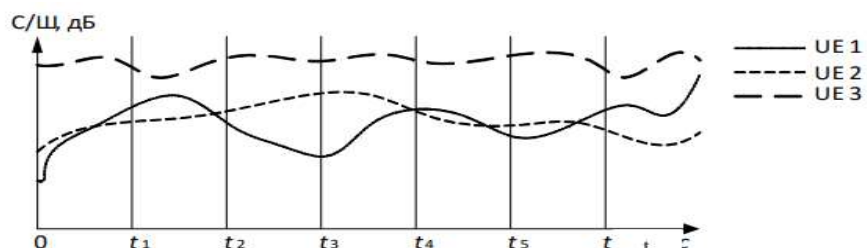


Рис. 3.2 – Недолік методу розподілу ресурсів на основі максимуму відношення сигнал/шум

3.6 Аналіз впливу різних сценаріїв руху на пропускну здатність та якість сприйняття

Аналіз впливу різних сценаріїв руху на пропускну здатність та якість сприйняття у мережах LTE є важливою складовою оцінки продуктивності та ефективності цих мереж. Як показано на рис. 3.3 рух користувачів може значно впливати на характеристики мережі, включаючи пропускну здатність та затримки передачі даних.



Рис. 3.3 – Графік залежності пропускну здатності та QoE від різних сценаріїв руху користувача.

Для розуміння цього впливу необхідно розглянути різні сценарії руху користувачів і їхні наслідки для мережі LTE.

Один з сценаріїв - статичний рух, коли користувачі перебувають у стаціонарному стані або рухаються з низькою швидкістю. У цьому випадку мережа може оптимально розподіляти ресурси, оскільки переміщення користувачів обмежене, і забезпечувати стабільну пропускну здатність та низькі затримки.

Другий сценарій - користувачі, які рухаються з великою швидкістю, наприклад, у транспорті або під час спортивних заходів. У цьому випадку може виникати проблема з розривами зв'язку та зниженням якості обслуговування через швидке переміщення користувачів між секторами та клітинами, що може призвести до нестабільності зв'язку та погіршення якості послуг.

Третій сценарій - масові заходи або події, де концентрація користувачів у певному місці може значно перевищити середні значення навантаження. У таких умовах може виникати перевантаження окремих секторів або базових станцій, що призводить до зниження пропускної здатності та погіршення якості обслуговування для всіх користувачів у даній області.

Для кожного з цих сценаріїв важливо проводити аналіз і розробляти відповідні стратегії управління мережею, щоб забезпечити оптимальне використання ресурсів та задоволення вимог різних категорій користувачів. Наприклад, використання технологій Dynamic Resource Allocation та Load Balancing може допомогти розподілити ресурси ефективно навіть у складних умовах руху користувачів.

Отже, розгляд різних сценаріїв руху користувачів є важливою частиною аналізу пропускної здатності та якості обслуговування в мережах LTE. Розуміння впливу різних сценаріїв руху дозволяє операторам мереж здійснювати належне планування та управління ресурсами для забезпечення стабільності мережі та задоволення потреб користувачів у будь-яких умовах.

Зокрема, при аналізі статичного руху важливо зосередитися на ефективному розподілі ресурсів між стаціонарними користувачами та оптимізації антенних діаграм для забезпечення максимальної покриття. Для сценаріїв з великою швидкістю руху важливо розвивати технології, що дозволяють працювати з високою мобільністю, такі як Handover та Beamforming, для забезпечення безперервного зв'язку та підтримки якості обслуговування. У разі масових заходів важливо передбачати підвищені навантаження та реагувати швидко, реалізуючи механізми автоматичного масштабування мережі та ресурсів.

Для впровадження ефективних стратегій управління мережею у різних сценаріях руху необхідно мати доступ до великого обсягу даних та використовувати аналітичні методи та інструменти машинного навчання. Це дозволить операторам мереж вчасно реагувати на зміни в умовах експлуатації мережі та забезпечувати високу якість обслуговування для всіх користувачів.

3.7 Перспективи розвитку та впровадження нових технологій

Перспективи розвитку та впровадження нових технологій у мережах LTE є ключовим аспектом стратегічного планування операторів зв'язку та постачальників технологій. Розвиток мобільних мереж зосереджується на пошуку нових інновацій, які можуть підвищити ефективність, продуктивність та якість обслуговування користувачів. Розглянемо деякі перспективні напрямки розвитку та впровадження нових технологій у LTE мережах.

Однією з ключових перспектив є розвиток технологій 5G та їх впровадження. 5G відкриває нові можливості для мобільних мереж, забезпечуючи велику пропускну здатність, низьку затримку та підтримку великої кількості підключених пристроїв. Впровадження 5G дозволить операторам розширювати спектр послуг та забезпечувати підтримку нових застосувань, таких як інтернет речей (IoT), віртуальна реальність (VR) та розширена реальність (AR).

Іншою перспективною технологією є використання штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації управління мережею. AI та ML можуть допомогти в розпізнаванні та прогнозуванні паттернів трафіку, управлінні ресурсами, виявленні несправностей та автоматизації процесів управління мережею. Впровадження цих технологій може покращити ефективність мережі та зменшити витрати на її управління.

Штучний інтелект та машинне навчання відкривають нові можливості для оптимізації мереж LTE. Використання ШІ може покращити управління мережею, передбачати збої та оптимізувати розподіл ресурсів у режимі реального часу. Наприклад, алгоритми МН можуть аналізувати великі обсяги даних про трафік та поведінку користувачів, щоб передбачити пікові навантаження і динамічно регулювати параметри мережі для підтримання стабільного рівня обслуговування.

Також важливою перспективою є розвиток віртуалізації та хмарних технологій у мобільних мережах. Віртуалізація дозволяє розділити функціональні елементи мережі на віртуальні компоненти, що спрощує управління та підвищує гнучкість мережі. Хмарні технології дозволяють зберігати та обробляти великі

обсяги даних в реальному часі, що покращує доступність послуг та ефективність роботи мережі.

Загалом, розвиток та впровадження нових технологій у мережах LTE є важливими для підвищення конкурентоспроможності операторів зв'язку та задоволення зростаючих вимог користувачів. Ці технології можуть допомогти оптимізувати використання ресурсів, покращити якість обслуговування та розширити спектр доступних послуг, що є ключовими чинниками успіху у сучасній телекомунікаційній індустрії.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE свідчить про важливість постійного вдосконалення мобільних мереж для задоволення зростаючих потреб користувачів.

Особлива увага була приділена зв'язку між поняттями QoS та QoE. Визначено, що QoS охоплює технічні параметри мережі, такі як затримки та пропускна здатність, тоді як QoE враховує суб'єктивні враження користувачів від послуг. Було досліджено методи управління параметрами QoE та QoS, що дозволяє покращити загальну якість обслуговування.

При визначенні параметрів якості обслуговування (QoE) і якості обслуговування (QoS) технічні збої (апаратні або програмні) можуть призвести до втрат як для операторів, так і для користувачів. Для управління цими параметрами використовуються такі методи, як планування мережі, резервування якості обслуговування (QoS), моніторинг та оптимізація якості обслуговування (QoE) і QoS.

Одним із ключових аспектів аналізу є вивчення основних принципів функціонування LTE, які визначають якість обслуговування користувачів. Пропускна здатність, затримки та стійкість зв'язку є основними показниками, на які впливають різні методи оптимізації мережі.

Дослідження різних технологічних підходів виявило їхню важливість у підвищенні ефективності використання мережевих ресурсів та забезпеченні кращої якості обслуговування.

Також був проведений аналіз впливу різних сценаріїв руху користувачів на мережу. Погляд на перспективи впровадження нових технологій, таких як 5G, штучний інтелект, віртуалізація та хмарні технології, показує потенціал для подальшого підвищення якості надання послуг та розширення спектру доступних сервісів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Komada Paweł. Throughput Physical Layer Analysis of LTE / PawełKomada, Haider Al-Zayadi, S. Olszewski, M. Reznikov, Mushtaq Talib Al-Shuraifi // Electronics: Products, Technologies, Applications. – 2013. – № 8. – pp. 63 – 66. (CrossRef, DOI).
2. Al-Shurayfi Mushtaq Talib. Improving Throughput Network Using MIMO-Beamforming / Al-Shurayfi Mushtaq Talib, Al-Zayadi Hayder Hudhair, Mykhaylo Reznikov, Yuriy Khlaponin // Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2014, vol. 20, issue 1, P. 12-16. (UlrichsWeb, ПИНЦ, WorldCat).
3. Al-Zayadi H.A. Mobility Affected on Channel Estimation Using Different Modulation in LTE [Електронний ресурс] / H.A. Al-Zayadi, M.M. Klymash, O.A. Lavriv, M. Al-Shuraifi // Проблеми телекомунікацій. – 2014. – № 2 (14). – С. 30 - 41. – Режим доступу: http://pt.journal.kh.ua/2014/2/1/142_lavriv_lte.pdf.
4. Al-Shuraifi Mushtaq. Effected Angular Spread on Beamforming and Transmit Diversity for Indoor and Outdoor / Mushtaq Al-Shuraifi, Haider Al-Zayadi, I.D. Orlevych / Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія "Радіоелектроніка та телекомунікації". – № 796. – 2014. – С. 22-28. (Index Copernicus, Google Scholar)
5. Al-Zayadi Haider, Al-Shuraifi Mushtaq, Al-Sharify Talib. SNR Effect on CQI Applying Multiple Antennas in Closed Loop Spatial Multiplexing Mode in LTE Technologies / Haider Al-Zayadi, Mushtaq Al-Shuraifi, Talib Al-Sharify // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 6(34). С. 92-97. (Google Scholar).
6. Al-Zayadi Haider. Ensuring QoE and Fairness of LTE Resource Allocation During Video Streaming / Haider Al-Zayadi // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія "Радіоелектроніка та телекомунікації". – № 818. – 2015. – С. 231-241. (Index Copernicus, Google Scholar)
7. Improve Bit Error Rate Using Equalization Techniques [Al-ZayadiHaider]: Proceedings of the 12th International Conference Modern Problems of Radio

Engineering, Telecommunications and Computer Science Dedicated to the 170th Anniversary of Lviv Polytechnic National University TCSET'2014. – February 25-135 March 1. – 2014. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Publishing House of Lviv Polytechnic. – pp. 516-517.

8. Способи валідації якості обслуговування в безпроводних мережах широкопasmового доступу [Климаш М.М., Хайдер Аббас Аль-Заяді, Осипова М.Б.]: Матеріали 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми телекомунікацій – 2014" (ПТ-14). – 22-25 квітня 2014 р. – Київ, Україна. – С. 115-117.
9. Bandwidth Allocation Problems of LTE Cell Network [Klymash M.M., Shushara Yu.M., Haider Abbas Al-Zayadi]: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2014" (СПТЕЛ-2014). – 30 жовтня-02 листопада 2014 р. – Львів, Україна. – С. 143-144.
10. LTE Channel Capacity and its Influence on the QoE in the Case of Video Transmission [Haider Abbas Al-Zayadi, Mykhailo Klymash]: Proceedings of the XXII Ukrainian–Polish conference CADMD'2014. – October 10-11, 2014. – Lviv, Ukraine. – pp. 118-121.
11. The Problem of Downlink Channel Bandwidth Capacity Allocation in LTE Technology [H. Al-Zayadi]: Proceedings of the 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2016. – February 23-26. – 2016. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Publishing House of Lviv Polytechnic. – pp. 940-942.
12. MIMO. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>.
13. Improving QoS in MAX C/I Scheduling Using Resource Allocation Type 1 of LTE [Mushtaq Al-Shurafi, Haider Al-Zayadi, Orest Lavriv, Mykhailo Klymash] Proceedings of the XIIIth International Conference "The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics" (CADSM'2015). – 24-27 February 2015. – Polyana-Svalyava. – pp. 12-14.

14. Effected VOIP Service by Means Subjective Method Using MOS in LTE Network [Haider Al-Zayadi, Mushtaq Al-Shuraifi, Talib Al-Sharify, Zainab AlSharify] 5th Annual BEAR PGR. – 15th December 2014. – Birmingham, UK. pp. 47-57.
15. QoE-based Monitoring of LTE Networks [Al-Zayadi Haider, Koval Bohdan] Proceedings of the 2015 1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015). – Lviv. – Ukraine. – October 29 – November 1. – 2015, С. 53-54.
16. [Электронный ресурс] Defining Mobile User Experience – QoE&QoS. <http://www.telecom-cloud.net/defining-mobile-user-experienceqoe-qos>

Державний університет інформаційно-комунікаційних
технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових
телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології
LTE»**

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

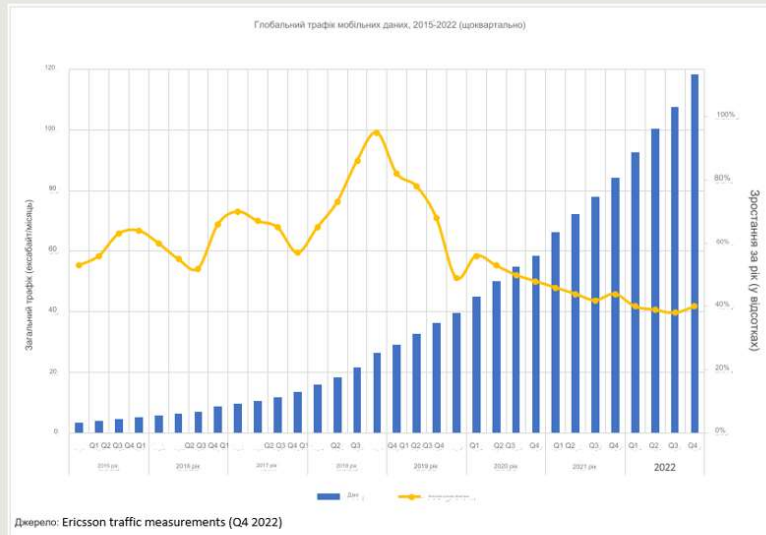
Виконав(ла): Слюсаренко Ю.О., ІСД-42

Науковий керівник роботи:

Каграманова Ю.К.

Київ - 2024

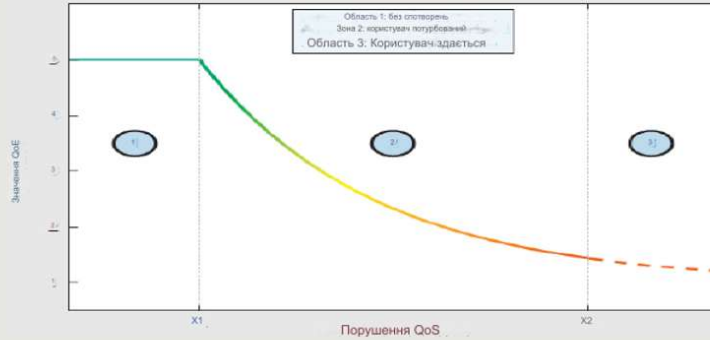
- Актуальність теми обумовлена швидким розвитком телекомунікаційних технологій та постійним зростанням обсягів передачі даних у бездротових мережах. LTE є однією з основних технологій для забезпечення мобільного зв'язку та передачі даних. Актуальність цієї теми проявляється у зростаючих вимогах користувачів до пропускної здатності, низьких затримках та високої якості обслуговування.
- Наукова новинка - У роботі проаналізовано основні методи підвищення якості надання послуг у системах LTE, включаючи адаптивне управління QoS, оптимізацію мережевої архітектури.
- Об'єктом цього дослідження є процес формування пропускної здатності радіоканалів у мережі LTE з метою забезпечення якості обслуговування користувачів.
- Предметом дослідження є моделі та алгоритми, спрямовані на забезпечення якості сприйняття послуг у мережі LTE на основі її сервісної архітектури.
- Мета роботи – проаналізувати способи збільшення якості сприйняття послуг користувачем мобільної мережі LTE. Аналіз факторів, що впливають на якість обслуговування, аналіз стратегій оптимізації мережі для забезпечення стабільного та ефективного зв'язку для користувачів.
- Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:
 1. Провести комплексний аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE з використанням доступних літературних джерел, наукових публікацій та статистичних даних.
 2. Вивчити основні принципи функціонування LTE мереж та ідентифікувати ключові фактори, що впливають на якість обслуговування користувачів.
 3. Проаналізувати вплив різних сценаріїв руху користувачів, обсягів трафіку та спектра послуг на якість обслуговування та пропускну здатність мережі.
 4. Дослідити перспективи впровадження нових технологій та стандартів, таких як 5G, штучний інтелект, віртуалізація та хмарні технології, у контексті підвищення якості надання послуг у мережах LTE.



Графік зростання використання мобільних даних у світі.



Модель відображення параметрів QoS та QoE



Діаграма, що ілюструє взаємозв'язок між QoS (затримка, jitter, втрата пакетів) та QoE (якість відео, якість голосу, задоволеність користувача).

QoS та QoE тісно пов'язані між собою. QoS визначає технічні параметри мережі, тоді як QoE відображає суб'єктивні враження користувачів. Успішне управління QoS є необхідною, але не достатньою умовою для забезпечення високого рівня QoE.

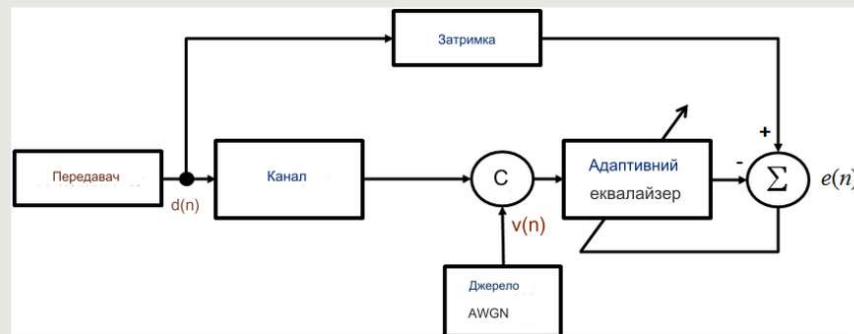


Схема роботи адаптивного еквалайзера

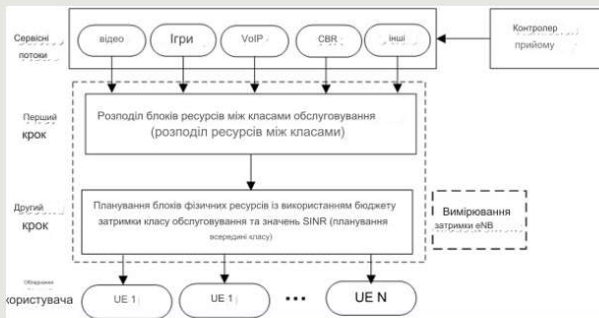


Схема алгоритму планування радіоресурсів в LTE

Алгоритм Proportional Fair є одним з найбільш поширених алгоритмів планування ресурсів в LTE. Він забезпечує баланс між ефективністю використання ресурсів та справедливістю розподілу ресурсів між користувачами.

Мережеві технології	Пікова швидкість завантаження	Середня швидкість завантаження
2G - GPRS	171,2 кбіт/с	30-50 кбіт/с
2G - EDGE	384 кбіт/с	130-200 кбіт/с
3G - UMTS	2 Мбіт/с	384 кбіт/с
3G - HSPA	14,4 Мбіт/с	5 Мбіт/с
3G - HSPA+	42 Мбіт/с	5-8 Мбіт/с
4G - LTE	300 Мбіт/с	15-20 Мбіт/с
4G - LTE+	1-3 Гбіт/с	50-80 Мбіт/с
5G – NR	10 Гбіт/с	150-200 Мбіт/с

Таблиця що порівнює пікову пропускну здатність LTE з 2G та 3G

ВИСНОВОК

Проведений аналіз методів підвищення якості надання послуг у бездротових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE свідчить про важливість постійного вдосконалення мобільних мереж для задоволення зростаючих потреб користувачів.

При визначенні параметрів якості обслуговування (QoE) і якості обслуговування (QoS) технічні збої (апаратні або програмні) можуть призвести до втрат як для операторів, так і для користувачів. Для управління цими параметрами використовуються такі методи, як планування мережі, резервування якості обслуговування (QoS), моніторинг та оптимізація якості обслуговування (QoE) і QoS.

Одним із ключових аспектів аналізу є вивчення основних принципів функціонування LTE, які визначають якість обслуговування користувачів. Пропускна здатність, затримки та стійкість зв'язку є основними показниками, на які впливають різні методи оптимізації мережі.

Дослідження різних технологічних підходів виявило їхню важливість у підвищенні ефективності використання мережевих ресурсів та забезпеченні кращої якості обслуговування.

Також був проведений аналіз впливу різних сценаріїв руху користувачів на мережу. Виявлено, що керування ресурсами та планування мережі відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності та ефективності в умовах змінного обсягу трафіку.

Погляд на перспективи впровадження нових технологій, таких як 5G, штучний інтелект, віртуалізація та хмарні технології, показує потенціал для подальшого підвищення якості надання послуг та розширення спектру доступних сервісів.

9

Апробація результатів роботи:

Було опубліковано дві тези на V МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІОТ». Перша теза на тему «АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ У БЕЗДРІТОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE» у 2024 році. Друга теза на тему «АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА СПРІЙНЯТТЯ ПОСЛУГ В LTE МЕРЕЖАХ» у 2024 році.

Дякую за увагу!

10