

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

Освітній рівень

Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE

Назва теми

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ

172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ

17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва


ОСВІТНЯ ПРОГРАМА

Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

КвРТР. 2019026.01.06 ПЗ

Виконав:

студент 3 курсу, група ТР1с-19-1


підпис

Богдан ЛІЩНСЬКИЙ
ім'я, прізвище

Керівник: канд. військ. наук, доцент


підпис, дата

Віктор ЛУЖАНСЬКИЙ
ім'я, прізвище

Нормоконтроль:

канд. техн. наук, доцент


підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
ім'я, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій:
д-р техн. наук, проф.


підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, прізвище

«___» червня 2022р.


Хмельницький, 2022

Хмельницький національний університет

Факультет	інформаційних технологій
Кафедра	автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Освітній рівень:	бакалавр
Галузь знань:	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність:	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма:	Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру АКТ

 Валерій МАРТИНЮК
« 03 » березня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

ЛПІНСЬКОМУ Богдану Олександровичу

Прізвище, ім'я по батькові здобувача

1 Тема роботи: Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE

Керівник роботи: канд. військ. наук, доц. Лужанський Віктор Ігорович

Затверджено наказом по університету від «01» березня 2022р. № 18

2 Строк подання здобувачем роботи на кафедру 25 травня 2022 року

3 Вихідні дані до роботи:

- Частотна смуга: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- eNB – на кожному секторі один TRX,
- вихідна потужність TRX = 40 Вт (46 дБм);
- робота на лінії DL у режимі MIMO 2×2;
- UE – абонентський термінал – USB-модем, клас 4 - EIRP 33 дБм;
- співвідношення тривалості кадрів DL/UL: 100%/100%.





4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- основна частина;
- експериментальна частина;
- розрахункова частина.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

- функціональна схема пристрою;
- презентаційні слайди.

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвища, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	КОРЕЦЬКА Людмила к.т.н., доцент		
Антиплагіат	ФЕДУЛА Микола к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 03 березня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційну роботу	03.03.2022р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційну роботу	15.03.2022р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	20.03.2022р.	виконано
4.	Написання другого розділу	03.04.2022р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2022р.	виконано
6.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційної роботи	30.04.2022р.	виконано
7.	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.05.2022р.	виконано
8.	Рецензування кваліфікаційної роботи	15.05.2022р.	виконано
9.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційної роботи	20.05.2022р.	виконано

Здобувач


(підпис, дата)

Богдан ЛІПНІСЬКИЙ

Науковий керівник


(підпис, дата)

Віктор ЛУЖАНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE»

Автор роботи: Ліпінський Богдан Олександрович

Керівник роботи: канд. військ. наук, доц. Лужанський Віктор Ігорович.

Пояснювальна записка: 68 сторінок, 24 рисунків, 4 таблиць, 21 джерела.

Графічна частина: 15 презентаційних слайдів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕХНОЛОГІЯ LTE, ІНТЕРНЕТ, МОДЕМ, UMTS 3GPP, ЗВ'ЯЗОК, РЕГІСТР, ПРОТОКОЛИ, БАЗОВА СТАНЦІЯ, БАЗОВА МЕРЕЖА, МІМО, СИГНАЛ, МЕРЕЖА, КАНАЛ, ШВИДКІСТЬ, ЧАСТОТА.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження характеристик мобільної передачі даних технології LTE

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження параметрів мобільної передачі даних за технологією LTE. Ця технологія є масштабованою, найбільш ефективною з точки зору питомих витрат на абонента та використання доступного частотного діапазону, а також здатна запропонувати високі якісні параметри для розвитку сервісів – високу смугу пропускання (до 450 Мбіт/с на базову станцію) та низький рівень затримок (до 20 мс).

У роботі проведені експериментальні дослідження, та представлена розрахункова частина.






25.05.2022 р.



ЗМІСТ

С.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 ОСНОВНА ЧАСТИНА	6
1.1 Перехід стандарту 3го покоління до стандартам 4го покоління	6
1.2 Рубежі розвитку зразка UMTS. Перехід до LTE	9
1.3 Короткий огляд основних параметрів технології LTE	14
1.4 Архітектура мережі LTE. Основи технології	15
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	20
2.1 Структура каналного ресурсу в мережах LTE	20
2.2 Взаємодія стандарту LTE з UMTS/GSM і стандартами не-3GPP	22
2.3 Керування мобільністю абонентських терміналів	23
2.4 Послуги, надані мережами LTE	28
2.5 Мультимедійні повідомлення	29
2.6 Оптимізація мережі	30
2.7 Якість обслуговування в мережах LTE	31
2.8 Передача користувальницьких даних в висхідному напрямку	38
2.9 Передача користувальницьких даних в низхідному напрямку	40
2.10 Прийом і обробка сигналів мереж LTE	43
2.11 Оцінка обладнання базовий станції	46
2.12 Порівняння базових станцій і дослідження характеристик	48
3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	51
3.1 Розрахунок пропускний здібності мережі. Розрахунок кількості потенційних абонентів	51
3.2 Аналіз покриття	55

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Ліпінський Б.О.						2	67
Перевір.		Лужанський В.І.							
Реценз.									
Н. Контр.		Корецька Л.О.							
Затверд.		Мартинюк В.В.						<i>ХНУ, гр. ТР1с-19-1</i>	

3.3 Оцінка допустимою швидкості передачі в каналі мережі LTE для «близьких» і «далеких» користувачів	59
3.4 Розрахунок чутливості приймача БС	60
3.5 Розрахунок максимально допустимих втрат мережі LTE	61
3.6 Розрахунок мінімально допустимої потужності сигналу на в ході приймача базовий станції	64
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

LTE	–	Long Term Evolution
8-ВФМ	–	відносна фазова модуляція
CN	–	Базова мережа
eNB	–	E-UTRAN NodeB
EPC	–	Evolved Packet Core
E-UTRAN	–	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
HLR	–	домашній реєстр
HSOPA	–	High Speed Ofdm Packet Access
HSS	–	сервер («домашніх») абонентів
ID	–	Infrastructure Domain
IMS – IP	–	система IP-мультимедіа (IMS – IP Multimedia Service).
MBSFN	–	Multicast Broadcast Single Frequency Network
MGW	–	мультимедійні шлюз
MME	–	Mobility Management Entity
MSC	–	сервер центру комутації змінного зв'язку
OFDM	–	технологія ортогонального частотного рознесення
P-GW	–	Packet Data Network Gateway
PSTN	–	стандартна телефонна мережа
RNS	–	підсистема радіозв'язку
SGW	–	шлюз сигналізації
S-GW	–	Serving Gateway
UED	–	User Equipment Domain
UTRAN	–	універсальна наземна мережа
ЧММЗ	–	частотна модуляція з мінімальним зсувом
ШСД	–	широкосмуговий доступ

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Стрімкий прогрес інформаційних технологій та глобальне використання мережі інтернет, як основних ресурсів масової комунікації, є причиною багатьох змін у всіх сферах сучасного життя.

Інноваційні науково-технічні зміни сприяють модернізації систем комунікації, та виводять її на новий рівень. У світі зростає потреба мобільної передачі у будь-якому місці, де буває сучасна людина. При цьому більшість таких користувачів отримують сервіси завдяки сучасним мережам з підтримкою мережевих протоколів на основі технології LTE (Long Term Evolution) [1]. LTE технологія побудови мереж бездротового доступу четвертого покоління, на базі IP – мережі, яка відрізняється високою швидкістю передачі даних. Стандарт LTE – був розроблений та затверджений Міжнародним Партнерським Об'єднанням 3GPP. Еволюція стандарту 3G відбулася завдяки зміні систем переходу від CDMA до системи OFDMA, для реалізації високошвидкісних каналів зв'язку мобільних мереж.

Мета та розробки технології LTE:

- збільшення швидкості передачі даних;
- зниження вартості наданих сервісів;
- надання найбільшого діапазону сервісів і послуг;
- гнучке використання існуючих мереж.

З виходом в світ технології LTE, користуватись мобільними пропозиціями буде набагато комфортніше та зручніше. При впровадженні мережі LTE виникають нові послуги, які розвиваються швидкими темпами. На сьогоднішній день мережі на базі технології LTE розвиваються, з'являються перші фактичні реалізації невеликих мереж. Проблема в тому, що провайдери послуг часто не можуть вибрати відповідне обладнання базовий станції і забезпечувати необхідні показники якості сервісу абонентів. В результаті – зростає потреба у технічному обслуговуванні найбільшого числа базових станцій для рішення зростаючого кількості завдань за короткий час. Для радіодоступу характеристики покриття є одними з важливих показників працездатності.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ми, просунуті користувачі, звикли йти в ногу з розвитком технічного прогресу, вже сьогодні можемо використовувати інтернет або працювати з електронною поштою прямо з мобільних телефонів, смартфонів або планшетів, за допомогою технології 3G. З появою технології LTE, користуватися такими послугами стає набагато комфортніше. Швидше всього, в мережах, побудованих на технології LTE, з'являться і інші послуги, які дуже залежить від ширини каналу зв'язку. З таких послуг можна виділити, наприклад, онлайн ігри, мобільний відео-блогінг, інтерактивне ТБ, або якісь професійні послуги. Перехід на стандарт LTE принесе важливі переваги як для абонентів, так і для операторів надають послуги мобільного ШСД (широкосмуговий доступ) [2].

Дана технологія орієнтована на програми, які чутливі до затримки і пропускну можливості, тому питання якості зв'язку в ній стоїть особливо гостро. Підвищити якість зв'язку дозволяє при закладені в LTE механізми диспетчеризації радіоканалу та адаптації до його умов. Тому дослідження характеристик покриття, вироблення оптимального критерію адаптації є на сьогоднішній день актуальною, особливо у світлі незавершеності роботи над стандартом LTE.

На сьогоднішній день мережі на базі технології LTE в світі отримали розвиток, з'являються перші практичні реалізації невеликих мереж. Мета даної кваліфікаційної роботи – дослідження характеристик мобільної передачі даних технології LTE.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Перехід стандарту 3го покоління до стандартам 4го покоління.

Формування мережі GSM у напрямі збільшення швидкості передачі даних GPRS (до 384 кбіт/с) спричинило створення технології EDGE.

У цій технології збільшення швидкості передачі даних у 3 рази досягнуто за рахунок переходу від бінарної маніпуляції ЧММЗ (частотна модуляція з мінімальним зсувом) до багатопозиційної 8-ВФМ (відносна фазова модуляція). Безпосередній перехід до 8-ВФМ можливий лише у каналах з високим відношенням сигнал/завада. Іншою характерною особливістю технології EDGE вважається здійснення способу «підвищення надмірності» При завадостійкому кодуванні, суть якого полягає у збільшенні пікової швидкості передачі даних за рахунок ймовірного зниження надмірності кодів при зміні потужності кодів до якості зв'язку.

Свідомо, новим кроком становлення мобільного зв'язку вважається дослідження та ведення мережі UMTS, яка могла забезпечити швидкість передачі у виділеному каналі до 1 Мбіт/с. Мережа UMTS працює з кодовим розподілом каналів [3].

Основна відмінність мережі UMTS від GSM/EDGE/GPRS – це використання широкосмугових сигналів зі смугою 3,84 МГц, а також з основою сигналу більше одиниці ($b \gg 1$).

Принциповою індивідуальністю методу доступу, що використовується в UMTS з кодовим поділом каналів CDMA, вважається його чутливість до потужності вхідних радіосигналів. Завдяки цьому в UMTS реалізовано швидке керування потужністю випромінювання. Інші особливості UMTS:

- гнучке розташування радіоресурсів мережі доступу UTRAN;
- підвищення ефективності застосування фізичного середовища передачі маршруту, використання нового виду транспортних каналів;
- конвергенція з аналогічними мережами бездротового доступу;

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- оптимізація трафіку в ядрі мережі за рахунок введення медіашлюзів MGW та найбільшого застосування в мережі протоколу IP;
- велика різноманітність адаптивних мовних кодеків (AMR-NB, AMR-WB, AMR-WB+);
- керування якістю сервісів у колі «Кінцевий Користувач – Кінцевий Користувач» QoS Bearer Service;
- ймовірність реалізації VoIP.

Подальше формування UMTS з метою збільшення швидкостей передачі даних та мінімізації затримок передачі даних при застосуванні протоколів площин користувача та керування (User - Plane, Control - Plane) визначило дослідження технологій HSPA (HSDPA/HSUPA), в яких знайшли своє використання багатопозиційних сигналів з квадратурною амплітудною маніпуляцією 16-кам, 64-кам [4]. Особливий інтерес у цих розробках з метою мінімізації зазначених затримок приділено модернізації протоколу доступу до фізичного середовища передачі MAC.

Технічно швидкий підйом, стимульований впровадженням технології ортогонального частотного рознесення (OFDM) у бездротових мережах передачі даних WIFI/WIMAX, не міг оминати і мережі мобільного зв'язку. Початок дослідження технології HSOPA (High Speed Ofdm Packet Access) перетворився на теорію довготривалої еволюції LTE (Long Term Evolution) системи UMTS.

Новий стандарт мобільного зв'язку Evolved Utra (E-UTRA) є еволюцією стандарту 3-го покоління UMTS зі збільшенням швидкості передачі, зниження затримок і поліпшення пакетної передачі даних

Еталон E-UTRA, що розроблений як стандарт LTE (Long-Term Evolution), описаний у функціях 3GPP, починаючи з Rel.8. За своїми властивостями LTE є гібридом двох досить різних систем: мобільного зв'язку UMTS і бездротового доступу WIMAX [5]. З WIMAX як основа фізичного значення взято розробку ортогонального частотного рознесення (OFDM).

E-UTRA відноситься до еталонів з частотно-часовим поділом каналів. Можливі реалізації мереж E-UTRA з частотним і з тимчасовим дуплексом. З системи UMTS використані лише протоколи рівня L2: Mobility Management,

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Session Management, щонайменше RRC (Radio Resource Control). Конструкція мережі E-UTRA вважається новим кроком еволюції структури системи UMTS у роботі з комутацією пакетів, що виконується в рамках модернізації стандарту UMTS в Rel.7 і Rel.8.

1.2 Рубежі розвитку стандарту UMTS. Перехід до LTE

У процесі оптимізації UMTS 3GPP система була визначена комплектом версій або кроків. У процесі еволюції було винайдено такі етапи: UMTS версії 1999 року (R99 – іноді називається версією 3/Rel-3), UMTS версії 4 (Rel-4), UMTS версії 5 (Rel-5), UMTS версії 6, UMTS версії 7, UMTS версії 8, UMTS версії 9 та 10.

Розглянемо особливості кожного етапу:

- R99 Описує універсальну наземну мережу (UTRAN) UMTS. До існуючої мережі GSM/GPRS було додано підсистему радіозв'язку (RNS). Базова мережа (CN) – це модернізована мережа GSM/GPRS.

- REL – 4 На 4 етапі було введено мультимедійні шлюзи (MGW), шлюз сигналізації (SGW) та сервер центру комутації змінного зв'язку (MSC). Ці зміни дозволили логічно ділити абонентські дані та інформацію сигналізації в MSC. Були також введені покращення UTRAN, які включали велику швидкість передачі даних у локальній області до 2 Мбіт/с.

- REL – 5 На 5 етапі була додана система IP-мультимедіа (IMS – IP Multimedia Service). Далі домашній реєстр (HLR) доповнюється сервером («домашніх») абонентів (HSS). У UTRAN вводяться покращення, які забезпечують нові послуги мультимедіа на базі IP в UMTS. Вступ інтерфейсу IubFlex між RNC та NodeB. Розробка алгоритмів сервісів розташування (LCS – Location Services). На цьому етапі відбувається перехід до протоколу IP версії 6 (IPV6) і створення універсальної мережі з урахуванням протоколу IP.

- REL – 6 На 6 етапі було оптимізовано специфіку сервісів ширококомовного мультимедіа (Multimedia Broadcast and Multicast Service). Також додали підтримку хендовера у режимі пакетної передачі з мережею доступу GERAN [6]. Специфіка кодеку AMR-WB. Оновлення RAN (Iub, Iur інтерфейси). Підтримка

						КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
							9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Push сервісів. Архітектура мережі GERAN/UTRAN наведена на рисунку 1.1. Індивідуальністю мережі вважається використання універсальних інтерфейсів Iu для взаємозв'язку ядра мережі з двома підсистемами радіодоступу: GERAN і UMTS. Слід зазначити, що в пакетній передачі термінальної площини інтерфейси Gn і Iu(PS) були побудовані як тунельні з'єднання (наведені на рисунку 1.2).



Рисунок 1.1 – Архітектура мережі GERAN/UTRAN

- REL – 7 На 7 етапі було додано ServID (особистий номер послуг зв'язку для підсистеми IMS). Також додано сервіс мультимедіа телефонії для підсистеми IMS (MTSI). Сервіс вважається еволюцією становлення телефонії, з комутацією каналів за стандартними телефонними мережами (PSTN) і мережами ISDN. Було організовано взаємодію WLAN-UMTS (QoS послуг, удосконалення безпеки з'єднань та білінгу) – розроблено службу Seamless Communication [7]. Специфіка доповідей про місцезнаходження UE, які були застосовані для визначення швидкості та спрямованості переміщення UE. Допомога системи Galileo (при застосуванні A-GPS). Була задіяна можливість застосування підсистемою IMS наскрізного каналу MBMS. Також наведено поради, які дозволяють зменшити час встановлення відеодзвінків. Впровадження технології MIMO у NodeB та UE призвело до збільшення системної ємності та спектральної віддачі системи взаємозв'язку через зростання пропускної можливості у напрямку вниз.

- REL – 8 На 8 етапі було винайдено специфіку системної архітектури для вдосконаленої системи з комутацією пакетів EPC (Evolved Packet System). Також було винайдено специфікації Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) та додано eNB (E-UTRAN NodeB), об'єднані між собою

інтерфейсом X2. eNB підключено до Evolved Packet Core (EPC) засобом інтерфейсу S1. На рисунку 1.3 показано взаємодію нових елементів мережі: S-GW (Serving Gateway) – обслуговуючих шлюзів, що містять ПЗ MME (Mobility Management Entity) для керування протоколом MM.

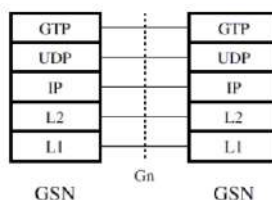


Рисунок 1.2 – Структура тунельного протоколу

У результаті було створено таку структуру мережі, яка дозволяла збільшувати швидкість передачі, знизити затримки, і навіть підтримувати різні технології мобільного доступу. Мережа побудована за принципом ALL-IP Network (AIPN).

Методика множинного доступу до фізичного рівня виконується за технологією ортогонального частотного рознесення OFDM по лінії вниз і SC-FDMA по лінії вгору.

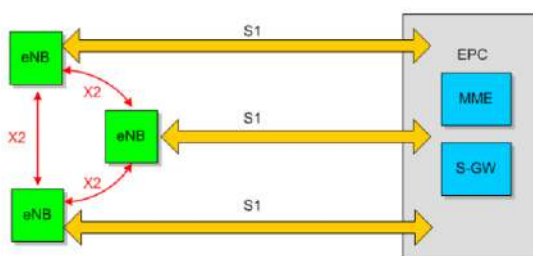


Рисунок 1.3 – Взаємодія eNB з мережею та обслуговуючими шлюзами

- REL – 9 На 9 етапі була покращена система безпеки, QoS, процес встановлення з'єднання Home Nodeb / Enodeb (Ehnb). Було вдосконалено взаємодію послуг із комутацією каналів із пропозиціями, реалізованими з урахуванням технології IMS (можливий перехід організації всіх сервісів на IMS).

- REL – 10 10 етап знаходиться на розробці. Із запропонованих параметрів можна відзначити такі: способи зменшення впливу величезної кількості операцій Location Area Update / Routing Area Update (LAU/RAU) на мережу в районах з великою щільністю абонентів в годину пік. Дослідження технології Haptic (Human-Machine Tactile Communication) та можливості її застосування у мобільних мережах.

- Версія переходу HSPA Rel.6 до Rel.7

Технології, що пропонуються в Rel.7, отримали назву HSPA+. У HSPA+ пікова швидкість на лінію вниз була збільшена до 28,8 Мбіт/с при використанні багато-антенних систем (розробка MIMO), а на лінію вгору до швидкості 11,5 Мбіт/с. У Rel.6 $B = 10,8$ Мбіт/с при $R_{\text{коду}} = 3/4$ і застосуванні 16 – КАМ, а при $R_{\text{коду}} > a = 1$ $B = 14,4$ Мбіт/с. У Rel.7 додано модуляцію 64 – КАМ, що дозволяє збільшити швидкість передачі в 1,5 рази.

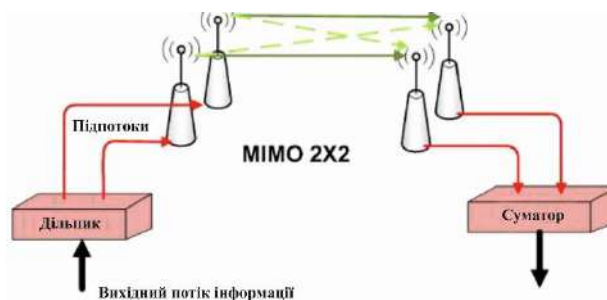


Рисунок 1.4 – Структура передачі за 2x2MIMO

При переході від 4-ФМ до 16 – КАМ вимоги до відношення сигнал/завада прийому сигналу зростають на 6 Дб, і за переході від 16 – КАМ до 64 – КАМ ще 6 Дб. Другий шлях збільшення швидкості передачі на лінію вниз полягає у застосуванні технології MIMO [8]. Схему 2x2 MIMO показано на рисунку 1.4. На базовій станції діють 2 передавачі, і вони передають незалежний сигнал (s_1 і s_2 – різні сигнали), за допомогою цього швидкість передачі радіоканалом збільшується в 2 рази. Термінальна станція приймає сигнали на 2 антени, при цьому коефіцієнти передачі не можуть бути корельовані між собою.

Але через сильний вплив завад, властивості сигналів виявилися невисокими. Для зменшення впливу завад запропоновані різні способи прийому

сигналів MIMO. Наприклад, при лінійному детектуванні при обчисленні матриці $W = H^H$ її окремі складові множать на вагові коефіцієнти в залежності від відношення сигнал/завада в будь-якому з чотирьох сполук радіотракту [9]. Найбільш достовірним і ефективним методом є здійснення MIMO зі зворотним зв'язком, де кожен з двох передавачів передає потрібну суму сигналів s_1 і s_2 . Структурна схема тракту передачі MIMO – сигналу наведено на рисунку 1.5.

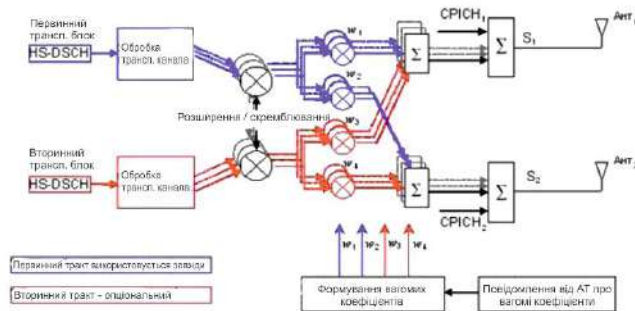


Рисунок 1.5 – Тракт формування MIMO сигналу

Наступне нововведення Rel.7 полягає у можливості застосування технології HSDPA при передачі інформації по транспортному каналу FACH. У всіх попередніх релізах дана можливість була відсутня. Зазначена можливість важлива при реалізації сервісу MBMS. А також для збільшення якості прийому мультимедійного мовлення запропоновано нову розробку MBSFN – Multicast Broadcast Single Frequency Network. Для цього була потрібна синхронізація передач мультимедійного мовлення сусідніми базовими станціями та впровадження для однакових програм одного скремблюючого коду. На рисунку 1.6 зазначено як у Rel.7 враховано ймовірність поступового переходу структури мережі на шляху від UTRAN до LTE [10].



Рисунок 1.6 – Перехід структури мережі від UTRAN до LTE

Структура LTE в Rel.8 передбачає полегшення структури мережі по двох частинах: шлюзу доступу (a-GW) в ядрі мережі та зміненого вузла базових станцій eNode B. Access Gateway (a-GW) охоплює ПЗ протокольного значення MME (Mobility Management Entity), і ПЗ користувача площини шлюзу. У архітектурі мережі значно зменшується затримка при передачі пакетного трафіку. У Rel.7 враховано логічний перехід від Rel.6 до Rel.8. На головному етапі в площині користувача позбавляють буферизацію трафіку в SGSN: через нього проходить наскрізний тунель від GGSN до RNC. Далі функції контролера на рівнях RLC та MAC обробки пакетного трафіку передають у Node B, де відбувається ухвалення рішення про виділення каналного ресурсу та організацію пакетної передачі з впровадженням технологій HSPA.

1.3 Короткий огляд основних параметрів технології LTE

Технологія LTE є ефірним інтерфейсом, що володіє великою гнучкістю. Вид мережі носить назву E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network – універсальна наземна мережа радіодоступу, що розвивається. Нижче розглянуто основні параметри технології LTE:

1. Технологія множинного доступу:

- прямий канал (Downlink - DL) - OFDMA;
- зворотний канал (Uplink - UL) - SC-FDMA;

2. Робочий діапазон частот:

- 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц;
- 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 – 2,5 ГГц; 2,6 – 2,7 ГГц.

3. Бітова швидкість:

- прямий канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбіт/с;
- зворотний канал (UL): 50 - 172,8 Мбіт/с.

4. Ширіна лінії радіоканалу: 1,4 - 20 МГц.

5. Радіус осередку: 5 – 30 км.

6. Ємність осередку (кількість абонентів, що обслуговуються):

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- понад 200 користувачів при смузі 5 МГц;
 - більше 400 користувачів при смузі понад 5 МГц.
7. Мобільність: швидкість переміщення до 250 км/год.
8. Параметри MIMO:
- прямий канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
 - зворотний канал (UL): 2TX×2RX.
9. Зазначення затримки (latency): 5мс.
10. Спектральна ефективність: 5 біт/сек/Гц.
11. Підтримувані типи модуляції:
- прямий канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.
 - зворотний канал (UL): QPSK, 16 QAM.
12. Дуплексний поділ каналів: FDD, TDD.

1.4 Архітектура мережі LTE. Основи технології

Однією з найважливіших завдань технології LTE є створення окремої структури радіодоступу для мобільних мереж зв'язку та бездротового доступу на рівні стандарту WiMAX. Структура мережі LTE була розроблена для того, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з безшовною («гладкою», seamless) мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів та високими ознаками якості сервісу. Головними цілями дослідження та розробки технології LTE вважаються: зниження ціни на послуги передачі даних, збільшення трафіку, а також швидкості передачі даних, можливість надання найбільшого діапазону послуг за нижчою вартістю, збільшення гнучкості мережі та розвиток існуючих систем мобільного зв'язку.

Основна відмінність технології LTE від інших технологій мобільного зв'язку полягає в тому, що цей стандарт побудований на основі IP-технологій. Радіоінтерфейс LTE забезпечує покращені технічні властивості: максимальна швидкість передачі даних більше 300 Мбіт/с, час затримки посилки пакетів до 20 мс, найбільш високу спектральну ефективність у порівнянні з існуючими стандартами бездротового мобільного доступу третього покоління (3G).

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пакетне надання даних дозволяє забезпечити всі послуги, у тому числі передачу голосового трафіку. На відміну від основних мереж минулих поколінь, у яких є тотальна різнотипність та ієрархічність мережевих вузлів, архітектуру мереж LTE можна назвати «простою», оскільки весь мережевий взаємозв'язок відбувається між двома вузлами: базовою станцією або В-вузлом (Node-B, eNB) та блоком керування мобільністю (MME – Mobility Management Entity), що включає мережевий шлюз (GW, Gateway), а також є об'єднані блоки MME/GW.

БС відповідає за функціями, такими як шифрування, надійна доставка пакетів, керування радіо ресурсами, стиснення заголовків. Блок керування мобільністю функціонує лише зі службовою інформацією – мережевою сигналізацією, тому IP-пакети, які містять інформацію, через нього не проходять. Головна функція даного блоку – це керування терміналами користувачів, які знаходяться в режимі очікування, в тому числі авторизація та аутентифікація, перенаправлення та виконання викликів, роумінг та хендовер, встановлення службових та користувальницьких каналів.

Мережеві шлюзи діляться на два: обслуговуючий шлюз – S-GW (Serving Gateway) та пакетний шлюз – P-GW (Packet Data Network Gateway). Обслуговуючий шлюз працює як блок керування локальною мобільністю, приймає і пересилає пакети даних, що обслуговуються абонентськими терміналами, які відносяться до БС. Пакетний шлюз представляється як інтерфейс між БС та зовнішніми мережами, та виконує окремі функції IP-мереж: маршрутизація, фільтрація пакетів, розподіл адрес.

В основу принципів побудови мережі LTE покладено поділ двох аспектів: фізична реалізація мережевих блоків і формування функціональних зв'язків між ними. Основним розподілом на фізичному рівні є поділ архітектури мережі на область (domain) встаткування UED (User Equipment Domain) і область мережної інфраструктури ID (Infrastructure Domain). А функціональні зв'язки враховуються у межах шару (stratum). Основні відомості про стандарт LTE наведені у специфікаціях E-UTRA Rel.8 [1]

В E-UTRA реалізовані основні проблеми еволюції системної архітектури SAE (System Architecture Evolution) під час передачі трафіку. Структура E-UTRA

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вказана на рисунку 1.7 – де включено: ядро пакетної мережі EPC (Evolved Packet Core), вузли базових станцій eNodeB, а також інтерфейси S1 [2] та X2 [3].

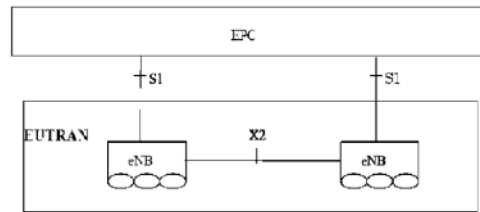


Рисунок 1.7 – Базова архітектура мережі E-UTRA

EPC складається із шлюзів доступу, які умовно обслуговують абонентські термінали, та стають S-GW (Serving Gateway). eNodeB накопичує функції наявних Node B та контролерів RNC, що досягає обробки пакетного трафіку та розподіл каналного ресурсу. В E-UTRA винесено принцип закономірного поділу маршрутних мереж сигналізації та передачі даних. S1 – це стек протоколів площині керування інтерфейсу: S1-MME (Mobility Management Entity) вказаний на рисунку 1.8, а (SCTP – S Common Transport Protocol), а стек протоколів у користувальницькій площині (тунельний протокол лише на рівні L2) на рисунку 1.8, б.

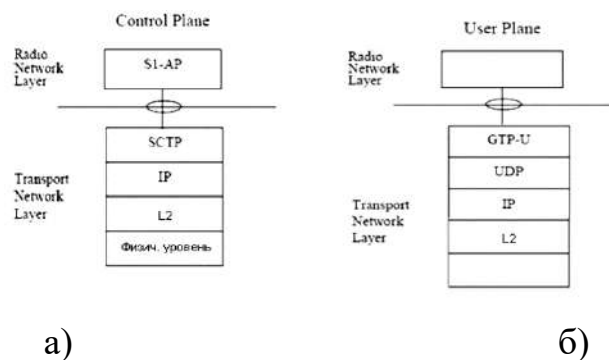


Рисунок 1.8 – Стек протоколу інтерфейсу S1

Закономірна структура мережі E-UTRA зазначена на рисунку 1.9, де червоним позначені інтерфейси та нові компоненти.

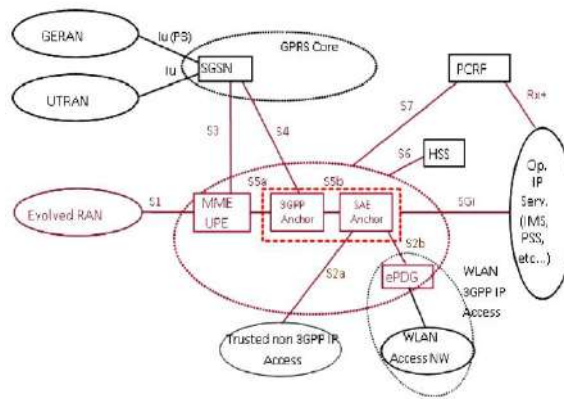


Рисунок 1.9 – Структура пакетної мережі Release 8

У паралель з радіодоступом LTE опорні пакетні мережі також еволюціонують до плоскої архітектури SAE. Ця нова архітектура розроблена для оптимізації продуктивності, покращення ефективності витрат та спрощення запуску послуг на базі IP для масового ринку.

На рівні користувача архітектури SAE є всього дв базових пристроя: базова станція LTE (eNodeB) і гейт SAE Gateway. Базові станції LTE підключаються до опорної мережі, використовуючи інтерфейс S1 – Core Network – RAN. Така плоска архітектура скорочує кількість вузлів, необхідних для забезпечення з'єднання.

Існуючі системи 3GPP (GSM та WCDMA/HSPA) та 3GPP2 (CDMA2000 1xRTT, EV-DO) інтегровані в систему LTE за рахунок використання стандартизованих інтерфейсів, що забезпечують оптимізовану мобільність. Для систем 3GPP – це означає наявність сигнального інтерфейсу між CDMA RAN та новою опорною мережею. Така інтеграція забезпечить підтримку як подвійних, так і одиночних радіо хендоверів, забезпечуючи можливість плавної міграції до LTE.

Керування сигналізацією, наприклад, для забезпечення мобільності, підтримується вузлом керування мобільністю (Mobility Management Entity, MME), виділеним із гейту (Gateway). Це спрощує оптимізацію розгортання мережі та забезпечує можливість гнучкого масштабування її ємності.

Сервер домашніх абонентів (HSS), що підключається до пакетної мережі (Packet Core) з допомогою інтерфейсу, заснованого на Diameter, а не на базі

сигналізації SS7, що використовувалася в мережах GSM і WCDMA. Сигналізація мережі для поліцейського прослуговування та для білінгу (charging) також базується на Diameter. Це означає, що всі інтерфейси архітектури – це ІТ-інтерфейси.

Існуючі системи GSM та WCDMA/HSPA інтегровані із системою LTE за допомогою стандартизованих інтерфейсів між SGSN та опорною мережею LTE. Очікується, що спроба інтегрувати CDMA доступ також призведе до забезпечення можливості підтримки мобільності між мережами CDMA та LTE. Така інтеграція також повинна забезпечувати як дуальний, так і одиночний handover виклики, що забезпечують гнучку можливість міграції з мереж CDMA в мережі LTE.

У LTE-SAE діє концепція QoS (якості послуг), заснована на понятті класу послуги. Це забезпечує просте, але ефективно рішення, що дозволяє оператору пропонувати диференціювати пакетні послуги, що надаються.

Висновки до 2 розділу

Розглянуто історію виникнення четвертого покоління бездротового зв'язку стандарту LTE, показано основні особливості цієї технології, проведено порівняння з технологією третього покоління UMTS, в тому числі реальним тестуванням.

Було розглянуто архітектуру мережі, коротко показано функції кожного елемента, особливості частотного спектру, що використовується для роботи мережі та організацію фізичного каналу.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Структура каналного ресурсу мереж LTE

На фізичному рівні еталона E-UTRA застосовуються технологію ортогонального частотного рознесення (OFDM) з модуляцією 4-ФМ, 16-КАМ і 64-КАМ, з максимальною кількістю піднесучих частот в робочій смузі до 2048. Радіоінтерфейс мережі LTE E-UTRAN сприяє два способи рознесення каналів: частотний FDD та тимчасовий TDD [12]. Функціонування мереж LTE має можливість здійснюватись у частотних спектрах з різною шириною.

Сигнали низхідного та висхідного напрямків здатні займати смуги від 1,4 до 20 МГц відповідно до чисельності функціональних ресурсних блоків. Надання інформації у висхідному та низхідному напрямках організована у кадрах, з тривалістю 10 мс. Кадри поділяються на більш короткі короткочасні текстури – слоти.

У режимі з частотним рознесенням FDD кадр розподіляється на 20 слотів, які нумеруються від нуля до 19-ти, тривалістю 0,5 мс. У режимі FDD тимчасовий ресурс у межах кадру поділений навпіл для передачі в альтернативних напрямках. Фізичні канали в режимі FDD у контрастних напрямках мають неодмінне дуплексне рознесення. Режим тимчасового рознесення каналів TDD має природу, що не збігається. Надання даних у режимі TDD відбувається одразу у двох напрямках в одному спектрі частот.

Особливістю радіоінтерфейсу в лінії «вниз» мережі E-UTRAN вважається використання технології численного доступу OFDMA – мультиплексування з ортогональним частотним поділом.

Одна з головних цілей застосування технології OFDMA вважається боротьба з завадами, стимульованими багатопроблемним поширенням сигналу, і OFDM-сигнал розглядається як багато повільно перетворюваних вузькосмугових сигналів, а не як один широкосмуговий сигнал, що швидко змінюється. Створення OFDM-сигналу в передавачі базової станції мережі LTE E-UTRAN показано риунку 2.1.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

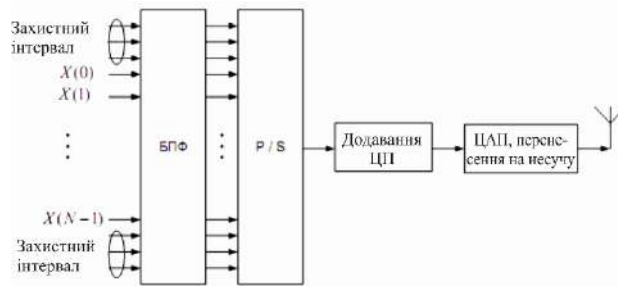


Рисунок 2.1 – Структурна схема формування OFDM-сигналу

У боротьбі з міжсимвольною інтерференцією використовуються циклічні префікси ЦП (CP). Використовують короткі та довгі префікси, тривалість яких дорівнює 4,7 мкс та 16,7 мкс.

Для смуги «вниз» мережі E-UTRAN віднесено три фізичні та чотири маршрутні канали:- фізичний канал керування «вниз» – PDCCH (Physical Downlink Control Channel);- загальний фізичний канал лінії «вниз», створений для передачі даних та мультимедіа із високою швидкістю – PDSCH (Physical Downlink Shared Channel);- загальний фізичний канал керування, що передає службову інформацію – PCPCH (Common Control Physical Channels);- транспортний канал мовлення – BCH (Broadcast Channel);- транспортний канал виклику – PCH (Paging Channel);- загальний транспортний канал лінії «вниз» – DL-SCH (Downlink Shared Channel);- транспортний канал мовлення групи – MCH (Multicast Channel).

Для смуги «вгору» радіоінтерфейсу мережі LTE E-UTRAN був розроблений SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) – багаторазовий доступ з мультиплексуванням та частотним рознесенням передачі на одній несучій. Схема передачі даних технології SC-FDMA зазначена на рисунку 2.2.

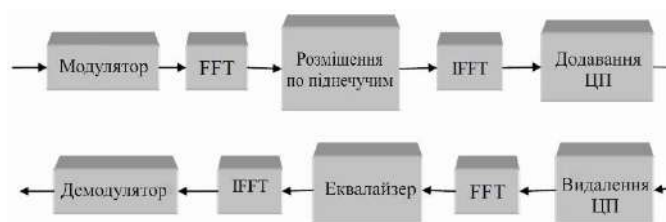


Рисунок 2.2 – Схема передачі за допомогою технології SC-FDMA

Для виключення зустрічного впливу абонентів по лінії «вгору» мережі E-UTRAN вводяться циклічні префікси, і навіть використовуються ефективні еквалайзери в терміналах.

Поділ частотного ресурсу між користувачами виконується ресурсними блоками, кожному з яких підходить смуга частот 180 кГц. Найбільша чисельність доступних ресурсних блоків залежить від системи діапазону частот, значення якого найчастіше сягає 20 МГц.

Для смуги «вгору» мережі LTEE-UTRAN віднесено три фізичні та два транспортні канали:- фізичний канал самостійного доступу – PRACH (Physical Random Access Channel);- фізичний канал керування «вгору» – PUCCH (Physical Uplink Control Channel);- фізичний розподільний транспортний канал лінії «вгору» – PUSCH (PhysicalUplinkSharedChannel);- транспортний канал самостійного доступу – RACH (Random Access Channel);- сполучений канал лінії «вгору» – UL-SCH (Uplink Shared Channel).

2.2 Взаємодія стандарту LTE з UMTS/GSM та стандартами не-3GPP

Користь мобільності терміналу користувача при його русі із зони сервісу однієї мережі в зону сервісу іншої – вважається принциповим завданням, що утворюється за сприяння мережі LTE з мережами мобільного зв'язку технологій 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). Взаємодія мережі LTE з мережами 3GPP міститься у протекції дискретної мобільності (роумінгу) та надання постійного, безперервного мобільного зв'язку (хендовера).

Головними інтерфейсами взаємодії мережі LTE із мережами 3GPP вважаються інтерфейси S3, S4 і S12. Ці інтерфейси гарантують взаємодію закономірного елемента керування мобільністю MME (Mobility Management Entity) та шлюзу S-GW мережі LTE з гарантійним вузлом SGSN мереж 3G із підтримкою тунельного протоколу GTP (GPRSTunnellingProtocol). Протокол GTP спеціалізований передачі даних площині керування (протокол GTP-C) і передачі даних площини абонента (протокол GTP-U). В умовах роумінгу шлюз

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S-GW візитної мережі взаємодіє зі шлюзом P-GW (шлюз взаємодії з пакетними мережами) домашньої мережі [13].

Співпраця мережі LTE з іншими 3GPP для пропозиції звичайних сервісів телефонії здійснюється за допомогою як класичної технології комутації каналів (TDM), так і технології комутації пакетів на основі сервісної системи IMS.

Хендовер між мережею LTE та мережею 3GPP, при здійсненні голосового виклику, відтворюється за допомогою взаємодії закономірного елемента MME з сервером MSC за інтерфейсом Sv у разі виклику з мережі LTE у звичайний домен комутації каналів (CS-домен); а також за допомогою узгодження закономірного елемента MME з вузлом SGSN за інтерфейсом S3 в епізоді голосового виклику з мережі LTE домен комутації пакетів (PS-домен).

Узгодження мережі LTE з мережами не-3GPP ділиться на співпрацю з мережами з гарантованою безпекою – «надійними» та співробітництво з мережами з негарантованою безпекою – «ненадійними». Як «достовірних» мереж можуть виступати приєднані мережі інших стандартів (cdma2000, WiMAX), в якості тих «що не вселяють довіру» – публічні IP-мережі Інтернету. Узгодження мережі LTE з «достовірними» мережами стереотипів не-3GPP здійснюється за допомогою шлюзу P-GW, а співпраця з мережами, що «не вселяють довіру», – за допомогою шлюзу ePDG.

При створенні базової мережі EPS «все через IP» переносимість терміналу користувача за сприяння мережі LTE з мережами не-3GPP базована на протоколах керування мобільністю в IP-мережах, таких як:- протокол керування мобільністю на базі хоста – НВМ (Host Based Mobility) – MIPv4, DSMIPv6;- протокол керування мобільністю на базі мережі – NBM (Network Based Mobility) – PMIPv6. Розпізнавання терміналу по IP-адресі і маршрутизація здійснюється так само як в IP-мережах.

2.3 Керування мобільністю абонентських терміналів

У мережах LTE для кожного абонентського терміналу встановлено два стани по відношенню до RRC-підрівню: з'єднання (RRC CONNECTED) та

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

очікування (RRC IDLE). Працюючи абонентський термінал переходить зі стану «очікування» у стан «з'єднання», і коли з'єднання пройшло успішно; далі, абонентський термінал повертається назад у стан «очікування», розірвавши з'єднання на RRC-підрівні. Зміна станів вказано на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Зміна станів абонентського терміналу

У стані RRC-очікування, абонентський термінал має можливість проводити моніторинг каналу для виклику, знаходити мовленнєву інформацію, проводити вимірювання, що відносяться до обслуговуючої соти, та виконувати її модифікування. Крім того, у цьому стані можлива установка конкретного циклу переривчастої передачі задля економії випромінюваної потужності абонентського термінала. У цьому стані керування мобільністю виконується особисто абонентським терміналом.

У стані RRC-з'єднання можливе надання окремої інформації, що має відношення до конкретного абонентського терміналу, у двох напрямках, а також мовної (пакетної) інформації в низхідному напрямку, встановлення циклу переривчастої передачі. Абонентський термінал виконує прогноз керуючих каналів, пов'язаних із спільними транспортними каналами, щоб знайти графік спрямування пакетів даних. Для цієї мети гарантується зворотна асоціація, яка дає інформацію про поточну якість каналу, виконуються необхідні дослідження, які можна віднести до обслуговуючої соті, а також надсилаються до мережі звіти про всі модифікації. На відміну від RRC-очікування, у стані RRC-з'єднання керування маневреністю проводиться за допомогою мережі.

На рисунку 2.4 представлений приклад хендвера активного абонентського терміналу, що переміщується із стільниці БС1 в соту БС2. Важливою індивідуальністю всіх мобільних мереж стільникового зв'язку, у тому

числі мереж LTE, вважається підтримка «безшовної» мобільності користувача по відношенню до заміни різних базових станцій, які обслуговують вузли та мережі (тобто мережевих шлюзів). Запити до результативності мобільності ще більше підвищуються при застосуванні сприйнятливих до затримок пакетів сервісів, як VoIP. Як відомо, в основі безшовної мобільності лежать різні вправи хендовера – естафетне надання активного (тобто перебуває в режимі сеансу взаємозв'язку або з'єднання) користувача при пересуванні різних зон.

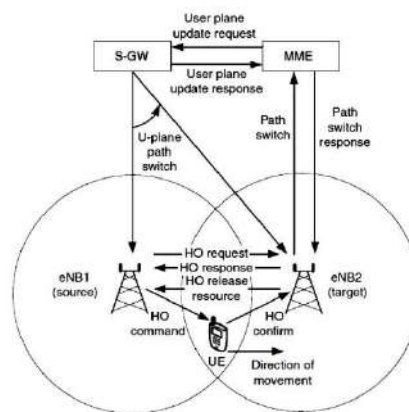


Рисунок 2.4 – Активний хендовер

Зрозуміло, що для абонента заміна сотів (БС) проходить набагато частіше, ніж заміна шлюзу і, тим більше, самої базової мережі. Тому для підготовки до виконання хендовера використовується сигналізація по інтерфейсу X2, діяльному між різними БС.

Ефективність виконання хендовера вважається однією з найважливіших параметрів якості роботи мереж; не до кінця відрегульовані хендоверні параметри (ступінь прийняття рішення, гістерезис та ін) можуть призвести до надмірного завантаження службових каналів, у тому числі і до втрат сеансів зв'язку, обумовлених поганими хендоверами. Опис алгоритмів хендовера, що виконуються в різних мережах, присвячено величезну чисельність специфікацій (зокрема, операція хендовера досить докладно написана в специфікації TS 36.413). Далі як приклад, без скарг на якість глибоке дослідження, оглянуто простий образ LTE-хендовера при заміні стільниці в межах одних і тих же блоків керування мобільністю та обслуговуючих вузлів.

На відміну, наприклад, від мереж GSM, де аналіз навколишнього середовища та вибір стільника-кандидата на хендовер здійснюється контролером базових станцій, в мережах LTE подібні дії довірені самому абонентському терміналу, хоча, звичайно, остаточне рішення про хендовері приймається мережею.

У міру руху зазначеного напрямку абонентський термінал відправляє запит про дослідження обслуговуючої базової станції BC1, з чого випливає, що якість сигналу, який приймається від сусідньої базової станції BC2, стала кращою, ніж від BC1. Готовий хендовер BC1 за інтерфейсом X2 відправляє в BC2, що називається в цьому випадку цільовою, запит на хендовер:

HO REQUEST.

При цьому на остаточну відповідь про хендовері може вплинути поточний пріоритет абонента, інформації про якого передається по EPS-каналі.

Цільова BC2 конфігурує необхідні ресурси відповідно до прийнятої за EPS-каналом інформації QoS і резервує для користувача мобільний ідентифікатор C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier), а також преамбулу каналу випадкового доступу. Зрозуміло, ідентифікатор C-RNTI є унікальним для кожного АТ у межах стільника.

Після того, як цільова BC2 відповідає BC1, що ще обслуговує, про готовність виконати хендовер:

HO RESPONSE,

BC1 видає команду АТ:

HO COMMAND.

про зміну радіоканалу, в якій містяться необхідні параметри: новий тимчасовий ідентифікатор C-RNTI (той, що був зарезервований), преамбула каналу випадкового доступу та час існування та ін.

Після отримання команди на хендовер АТ синхронізується в новій соті, і здійснює доступ до мережі через канал RACH; мережа, своєю чергою, виділяє АТ необхідні ресурси та встановлює необхідний час попередження. Здійснивши таким чином, доступ до мережі, АТ відсилає своєю новою обслуговуючою BC2 повідомлення, що підтверджує виконання хендовера:

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

NO CONFIRM,

BC2 повідомляє про це блок керування мобільністю:

PATH SWITCH,

а той – обслуговуючий вузол повідомленням:

USER PLANE UPDATE REQUEST,

у якому АТ тепер позначається як обслуговується BC2.

Далі обслуговуючий вузол перемикає керування АТ на BC2, відсилаючи туди через блок керування мобільністю відповідні команди:

USER PLANE UPDATE RESPONSE,

А також:

PATH SWITCH RESPONSE.

Після отримання команди:

PATH SWITCH RESPONSE,

BC2 інформує BC1 про успішний хендовер, надсилаючи їй повідомлення про вивільнення ресурсів:

NO RELEASE RESOURCE.

які раніше були зарезервовані для АТ. На цьому процедура хендовера вважається виконаною.

У процесі підготовки і виконання хендовера між базовими станціями BC1 і BC2 можуть встановлюватися тунелі: один – для передачі даних по висхідному напрямку, інший – передачі даних по низхідному напрямку. Це робиться у разі переповнення буферів, щоб забезпечити передачу довгих пакетів.

Як було зазначено вище, під час виконання процедури хендоверу користувачеві присвоюється тимчасовий ідентифікатор C-RNTI. Типові ідентифікатори присвоюються користувачеві, абонентському та мережному обладнанню також і при виконанні різних аналогічних процедур, пов'язаних і з мережею доступу, і з базовою мережею.

Також, у механізмах керування потужністю TPC (Transmit Power Control) по фізичних висхідних каналах PUSCH та PUCCH використовуються відповідні ідентифікатори TPC-PUSCH та TPC-PUCCH. Для глобальної розшифровки блоку керування мобільністю використовується ідентифікатор GUMMEI

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(Globally Unique MME Identity), який конфігурується з ідентифікатора мережі стільникового зв'язку шляхом додавання коду групи блоків і коду самого блоку керування мобільністю.

Всесвітня ідентифікація мобільних мереж LTE відбувається за допомогою стільникового глобального ідентифікатора ECGI (E-UTRAN Cell Global Identifier), який формується додаванням до мережного ідентифікатора локального (тобто використовуваного в межах однієї мережі) стільникового ідентифікатора CI (Cell Identity). Типово відбувається повсюдна ідентифікація базових станцій.

На рисунку 2.5 вказано керування мобільністю абонентського терміналу, що перебуває у стані очікування. Для цього ввели поняття зони відстеження (TA, Tracking Area) площа, що покриває зону обслуговування кількох базових станцій. З кожною зоною відстеження пов'язаний аналогічний ідентифікатор ТАІ (Tracking Area Identity). АТ може одночасно зареєстрований відразу в декількох зонах відстеження, це дозволяє заощаджувати енергію в умовах високої мобільності, і тому відпадає необхідність постійного оновлення місця розташування.

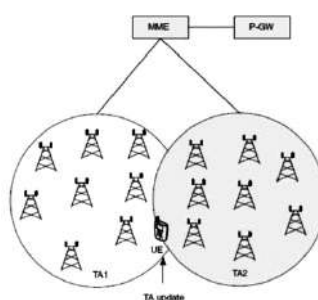


Рисунок 2.5 – Зона відстеження

2.4 Послуги, що надаються мережами LTE

Сервіси, що надаються мережами LTE, мають найширший діапазон у порівнянні з мережами 2G/3G [14]. Першочергово, це пов'язано з найбільш високою пропускнуою здатністю мережі та збільшенням швидкості передачі даних, а також із переходом на стандарти IP. Головні пропозиції мережі LTE

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

вважаються наступні: - передача Інтернет-файлів;- передача мови;- передача мультимедійних повідомлень;- доставка електронної пошти;- мультимедійне мовлення, що включає в себе потокові послуги, послуги із завантаження файлів, телевізійні послуги;- VoIP та відеоконференції;- потокове відео;- онлайн-ігри через мобільні термінали різних типів;- мобільні платежі з високою безпекою та ідентифікаційною інформацією.

2.5 Мультимедійні повідомлення

Мультимедійні повідомлення розглядають як оновлення коротких повідомлень (SMS, Short Message Service), коли нарівні з текстом передається звук і зображення. Відмінними рисами таких послуг є обмежений обсяг даних (на відміну, від поточкових послуг) і те, що вона виробляється над режимі реального часу.

Можна коротко розглянути основні параметри організації мережі LTE із сервісом мультимедійних повідомлень. На рисунку 2.6 вказано структурну схему організації різних мереж у загальну мережу з підтримкою сервісу мультимедійних повідомлень, для якої було введено ряд базових понять.

MMS-оточення – це оточення мультимедійних сервісів (MMSE, Multimedia Messaging Service Environment) або сукупність мережевих частин, які відповідають за передачу мультимедійних повідомлень і знаходяться під керуванням одного вузла. У разі роумінгу гостьова мережа розглядається як дріб MMS-оточення, хоча домашні абоненти цієї мережі розглядаються як частина іншого MMS-оточення.

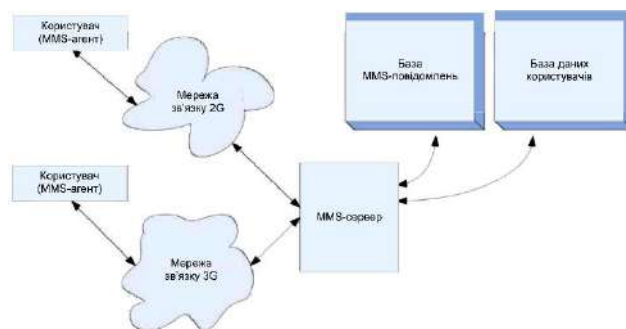


Рисунок 2.6 – Структурна схема мультимедійних повідомлень мережі LTE

MMS-сервер необхідна для зберігання та керування вхідними та вихідними повідомленнями, а також їх пересиланням між різними вузлами – в даному випадку його називають транзитним MMS-сервером.

Залежно від потреб та марки виробника транзитний сервер може бути реалізований разом з базовим MMS-сервером, або окремо від нього. А також на MMS-сервер покладено прямі обов'язки тарифікації мультимедійних сервісів та складання звітів (CDR, Charging Data Record).

Абонентська база даних, в якій зберігається вся персональна інформація про передплатників на мультимедійні сервери.

Абонентський MMS-агент – програмний продукт, який знаходиться в АТ або в іншому підключеному до нього пристрої, забезпечує можливість створювати, переглядати та керувати (приймати, надсилати, видаляти) мультимедійними повідомленнями.

2.6 Оптимізація мережі

Крім традиційних послуг за визначенням розташування, дані розташування можуть використовуватися при проектуванні для оптимізації продуктивності мережі, при взаємодії радіоресурсами, мобільністю та експлуатацією мережі. Це дозволяє операторам під час планування та обслуговування мережі модифікувати мережу за інформацією про місцезнаходження мобільних терміналів.

Інформація про розташування користувачів має цінність при оцінці розмірів мережі, конфігурації політик тарифікації та оптимізації системи керування мережею (наприклад, із втратою викликів, блокуванням та видаленням відмов). Крім цього, вся інформація може використовуватися як вихідні дані для моніторингу потужності передавача базової станції та створення діаграми спрямованості при адаптивному радіопокритті. Ці послуги не вимагають точності інформації про розташування, яка може використовуватись для інших послуг.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Моніторинг режиму передачі обслуговування (хендовера) дає аналогічний приклад розширення мережі з використанням інформації про місцезнаходження. Наприклад, на рисунку 2.7, мобільний термінал перебуває усередині мікросоти, а макросота покриває кластер мікросот. Припустимо, що мобільний абонент швидко рухаючись, перетинає мікростільники. Мобільний термінал, що швидко рухається, повинен знову вибирати мікросоту найчастіше, створюючи небажане навантаження в мережі.



Рисунок 2.7 – Приклад передачі обслуговування (хендовера) з використанням інформації про місцезнаходження

Інформація про стан передає операторам багато нових можливостей з погляду розширення мережі та систем керування мережею. Головне завдання вимірювань, заснованих на розташування, для оптимізації мережі може підвищитись, якщо їх застосовувати разом з функціями керування мережею, розширюючи інтелектуальність радіомережі. У цьому відношенні, швидше за все, велику проблему потребує забезпечення конфіденційності абонентського терміналу.

2.7 Якість обслуговування мереж LTE

Концепція системи QoS для мереж UMTS мобільного зв'язку 3-го покоління визначена специфікацією TS 23.107, і використовується також для мереж LTE 4-го покоління.

При розробці та впровадженні системи якості обслуговування до атрибутів такої системи висуваються такі загальні вимоги.

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість та значення атрибутів мають бути такими, щоб забезпечити можливість багаторівневої градації користувачів.

Використання механізму QoS не повинно заважати політиці ефективного використання радіоресурсів, незалежному розвитку базової мережі та мережі радіодоступу. Всі атрибути та їх комбінації повинні мати однозначно визначені значення.

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

Механізми QoS функціонують у рамках однорангової (peer to peer) моделі організації зв'язку в межах «пользовательский термінал — мережевий шлюз», забезпечуючи взаємно-однозначне відображення між мережними послугами та зовнішніми програмами.

Керування якістю обслуговування здійснюється на основі кінцевого, по можливості мінімального набору параметрів QoS, що підтримують ефективне використання радіоресурсів, а також асиметричне функціонування наскрізних каналів.

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

Мережеві погіршення та ускладнення, спричинені впровадженням системи якості обслуговування, повинні бути по можливості мінімізовані, так само, як і кількість додаткової інформації, що зберігається та передається в мережі. Програми користувача повинні мати можливість індикації значень QoS при передачі даних у різних мережевих вузлах.

Система якості обслуговування має бути динамічною, що дозволяє змінювати параметри QoS протягом активної сесії.

На рисунку 2.8 розглянемо архітектуру системи якості обслуговування та передачу послуг у рамках такої системи, розглядаючи, для певності, випадок, коли зв'язок здійснюється між кінцевим обладнанням (КО), підключеним до

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

терміналу користувача мобільної мережі, і термінальним обладнанням, розташованим у зовнішній пакетній мережі

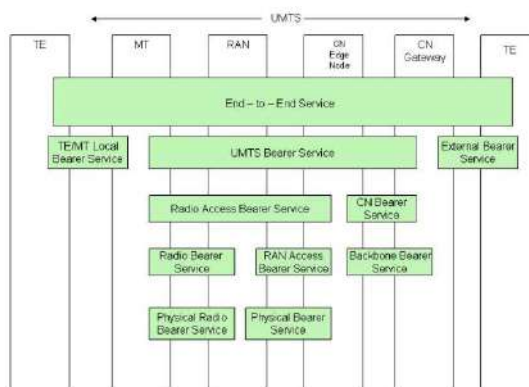


Рисунок 2.8 – Архітектура системи якості обслуговування

Аналогічно поняття 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 певних мережевих складових: у локальному каналі «кінцеве обладнання – термінал користувача» (Terminal Equipment / Mobile Terminal local Bearer Service), у каналі мережі LTE (LTE Bearer Service), у зовнішньому каналі (External Bearer Service). Таким чином, виникає багаторівнева взаємодія при передачі послуги у різних мережевих вузлах та на різних рівнях.

Передача послуги по мережі LTE розглядається, відповідно до мережевої архітектури, окремо в мережі радіодоступу (Radio Access Bearer Service), де забезпечується конфіденційна передача даних або заздалегідь вибраним або встановленим за умовчанням рівнем якості обслуговування, і в базовій пакетній мережі (Core Network) Bearer Service), яка також може підтримувати різну якість обслуговування.

Послугу в мережі радіодоступу реалізують двома частинами: у радіоканалі (Radio Bearer Service) та у механізмі радіодоступу (Access Bearer Service). Реалізація послуги в радіоканалі містить усі аспекти, що стосуються передачі даних по радіоінтерфейсу, включаючи сегментацію та повторне складання користувачьких пакетів. Крім того, фізично (Physical Radio Bearer Service) проводиться керування підпотокм даних користувача. Механізм радіодоступу

забезпечує на фізичному рівні (Physical Bearer Service) передачу даних між мережею радіодоступу та базовою мережею. Нарешті, проходження послуги в «магістральному» каналі (Backbone Network Bearer Service) розглядається у функціональній сукупності рівнів 1 та 2 та призначеними вимогами якості обслуговування.

Перерахуємо та коротко опишемо основні функції мережі LTE, що стосуються керування якістю обслуговування. У площині користувача такі функції спрямовані на підтримку користувальницького трафіку і сигналізації з певними обмеженнями, встановленими параметрами QoS.

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

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

- Функція керування 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 даних користувача і встановленим рівнем якості обслуговування. Ті пакети даних, які не відповідають виставленим параметрам QoS, будуть відкинуті або помічені як такі, що не відповідають для подальшого відкидання після накопичення.

Функція класифікації, реалізована в ПТ та СШ, призначає пакети даних, отриманих із зовнішнього (або локального) каналу послугу мережі LTE з відповідними параметрами QoS. Функція узгодження трафіку, при необхідності, забезпечує узгодження потоку користувача у висхідному (в ПТ) і низхідному (в СШ) напрямках з встановленими параметрами QoS. Далі, функція відображення забезпечує кожен пакет даних спеціальним QoS-індикатором, відправляючи того в дорогу по мережі, що вимагає виділення відповідних ресурсів – за це відповідальна функція керування ресурсами, реалізована в кожному мережевому вузлі.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

У площині керування, як завжди, зосереджені функції, необхідні реалізації механізмів керування та контролю.

Функція керування послугами (SMF, Service Manager Function) є координуючою функцією при встановленні, модифікуванні та керуванні послугами, а також керуючою для функцій керування якістю обслуговування в площині користувача.

Трансляційна функція (TF, Translation Function) перетворює внутрішні примітиви послуг мережі LTE на модулі різних протоколів взаємодіючих зовнішніх мереж, включаючи перетворення атрибутів послуг мережі LTE на параметри QoS протоколів зовнішніх мереж.

Функція керування можливостями (A/CCF, Admission / Capability Control Function) забезпечує інформацією про всі можливі ресурси мережевих вузлів, визначаючи при кожному запиті (або модифікуванні) послуги, чи можуть мережні вузли забезпечити потрібні ресурси. Ця функція контролює можливість надання самої послуги, тобто. чи реалізована в мережі запитувана послуга.

Функція керування підпискою (SCF, Subscription Control Function) забезпечує контроль доступності абонентів користування різними послугами з необхідними параметрами QoS.

Трансляційна функція, що діє у ПТ та СШ, перетворює службову інформацію, пов'язану із зовнішньою послугою, у примітиви внутрішньої послуги, включаючи і атрибути послуги.

Функція керування послугою, локалізована в ПТ, СШ та базовій мережі (тобто відповідний підфункції), за допомогою трансляційної функції встановлює або модифікує послугу, використовуючи при цьому пов'язані з нею функцію керування можливостями, з метою з'ясування наявності необхідних для цієї послуги ресурсів, та функцію керування підпискою, щоб визначити права користувача на цю послугу.

Концепція надання послуг передбачає наявність чотирьох класів якості обслуговування, які називаються також трафіковими класами:

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

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Найчастіше використовуваним видом послуг голосового класу є телефонна мова, причому, якщо в стандартах першого та другого покоління, наприклад, традиційних мережах GSM, передача мови здійснювалася за допомогою каналної комутації, то, як уже говорилося вище, у сучасних системах стільникового зв'язку мова передається пакетним способом (VoIP, Voice over IP), у тому числі як складова відеоспілкування. При цьому трафік є симетричним (або майже симетричним). Особливості людського слуху та зору при здійсненні сеансу зв'язку в реальному часі висувають досить жорсткі вимоги до якості мовного потоку. Фундаментальними характеристиками QoS в даному випадку є фіксована, по можливості мінімальна тимчасова затримка між окремими мовними пакетами в загальному мовному потоці, а також жорстко фіксована структура мовних пакетів. Суб'єктивні оцінки сприйняття мови показують, що наскрізна затримка мови не повинна перевищувати 400 мс – інакше розмова стає практично неможливою.

Основним мовним кодеком, що використовується для передачі мови у мережах 3-го покоління, є AMR (Adaptive Multi Rate) кодек; мабуть, він же, або ж його модифікації, буде використовуватися і в мережах LTE.

AMR кодек – це єдиний інтегрований мовний кодек з вісьмома вихідними швидкостями: 12,2 (GSM-EFR); 10,2; 7,40 (IS-641); 6,70 (PDS-EFR); 5,90; 5,15 та 4,75 Кбіт/с. Швидкості передачі керуються мережею радіодоступу і залежить від мовної активності. Для полегшення сумісності з існуючими стільниковими системами деякі режими вибрані такими ж, що й у існуючих стільникових мереж. Мовний кодек AMR зі швидкістю передачі 12,2 Кбіт/с відповідає кодеку EFR

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

GSM, зі швидкістю передачі 7,4 Кбіт/с – кодеку US-TDMA, а зі швидкістю передачі 6,7 Кбіт/с – кодеку PDS. Мовний кодер AMR може по команді перемикає швидкість передачі в кожному мовному кадрі тривалістю 20 мс, що відповідає 160 відлікам при частоті дискретизації 8 кГц. Для перемикавання режиму AMR вибрано два способи: керування каналами мережі або з використанням виділеного каналу.

Схема режимів багатошвидкісного кодування є так званий алгебраїчний метод кодування та лінійного передбачення (ACELP, Algebraic Code Excited Linear Prediction). Багатошвидкісний кодек ACELP позначається MR-ACELP. За кожні 20 мс мовний сигнал аналізується для отримання параметрів моделі CELP (коефіцієнтів фільтра з лінійним передбаченням, адаптивних і фіксованих складових вектора збудження та їх коефіцієнтів). Біти з параметрами мови, передані кодуючим пристроєм мови, перерозподіляються відповідно до їх суб'єктивної важливості перед тим, як вони передаються через мережу. Перерозподілені біти потім сортуються з урахуванням їх сприйнятливості до помилок і діляться на три класи за їх важливості: А, В і С. Клас А є найбільш уразливим, і в радіоінтерфейсі використовується найпотужніше каналне кодування для бітів класу А.

Зазначимо, деякі параметри QoS взаємно суперечливі, наприклад, затримка і рівень помилок у прийнятих пакетах, тобто, власне, надійність. Так, під час передачі голосового трафіку наскрізна затримка має перевищувати 150 мс при допустимій втраті інформаційних пакетів трохи більше 3%. Якщо розглядати потоковий трафік, то в цьому випадку допустимі втрати інформаційних пакетів не більше 1%, а для інтерактивного трафіку втрати інформаційних пакетів взагалі неприпустимі – його послуги (як і послуги фоновому трафіку) передаються в режимі з підтвердженням та необхідність повторної передачі прийнятих з помилками пакетів не дозволяє виміряти величину затримки.

В якості ілюстрації вкажемо типові значення параметрів передачі даних, коли забезпечується медіапослуга (звук+відео) у потоковому класі при

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанні AMR (Adaptive Multi Rate) мовного кодека та MPEG-4 відеокодека, що є типовим для мереж мобільного зв'язку 3-го та 4-го поколінь.

AMR кодек:

- швидкість передачі 4,75... 12,2 Кбіт/с;
- тривалість кодованих мовних кадрів 20 мс;
- затримка вбирається у 100 мс;
- відносний рівень бітових помилок 10 .. .10 .
- відносний рівень кадрових помилок 10;

MPEG-4 відеокодек:

- швидкість передачі 24,0.128,0 Кбіт/с;
- затримка 150.400 мс загальна (між кінцевими вузлами), з них затримка відеокодека близько 200 мс;

2.8 Передача даних користувача у висхідному напрямку

У висхідному напрямку дані користувача передаються по фізичному спільному каналу PUSCH. Передача сигналу каналу PUSCH здійснюється кадрами, кожен із яких у часовій області має тривалість 10 мс. Розподіл частотно-часових ресурсів між абонентами здійснюється ресурсними блоками, кожен з яких, як згадувалося вище, в частотній області займає діапазон 180 кГц, а в часовій області має тривалість 1 мс, еквівалентну одному підкадру радіосигналу. Виділений абоненту ресурс може бути безперервний у частотній області; у будь-який фіксований момент часу абонент може передавати лише один SC-FDMA-символ. На рисунку 1.18 вказано розподіл частотно-часових ресурсів, що здійснюється на базовій станції пристроєм частотно-часового планування (scheduler).

Таким чином, передача даних ПТ неможлива без попереднього запиту виділення ресурсів. Попередні запити здійснюються фізичним каналом випадкового доступу PRACH, про який буде сказано пізніше.

Максимальне значення швидкості передачі у висхідному напрямку залежить від кількох параметрів. До них належать схема маніпуляції (КАМ-4,

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

КАМ-16, КАМ-64), кількість виділених у частотній області ресурсних блоків, кількість службової інформації, яку необхідно передати разом з даними користувача, а також схема завадостійкого кодування. Так, максимальна швидкість передачі може приймати значення діапазону від 700 Кбіт/с до 86 Мбіт/с.

Перед розміщенням по ЧВР каналу PUSCH дані проходять наступні процедури.

Розрахунок CRC. Контрольна сума розраховується для шкірного транспортного блоку та додається до нього за допомогою одного з поліномів.

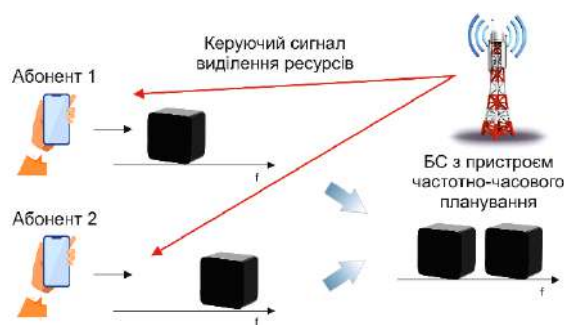


Рисунок 2.9 – Розподіл частотно-часових ресурсів

Сегментація за кодовими блоками. Ця процедура має місце якщо розмір транспортного блоку перевищує максимально допустимий розмір кодового блоку. Тоді транспортний блок розбивається на кодові блоки і до кожного кодового блоку додається поле контрольної суми довжиною 24 біта. Максимальний розмір кодового блоку становить 6144 біта. Якщо розмір транспортного блоку менше або дорівнює максимальному розміру кодового блоку, дана процедура не виконується.

Завадостійке кодування. У висхідному та низхідному спільних каналах (UL-PUSCH, DL-PDSCH) використовується турбокодування зі швидкістю 1/3.

Вирівнювання швидкостей передачі. Суть цієї процедури полягає в тому, щоб виключити або повторити деякі біти кодового блоку, отриманого на попередньому кроці, і, таким чином, узгодити швидкість передачі даних, необхідну транспортним каналом, та швидкість передачі даних, яку може

забезпечити фізичний канал. Як буде показано нижче, в результаті каналного кодування утворюються три потоки даних $d_k^{(1)}$, $d_k^{(2)}$, $d_k^{(3)}$. На рисунку 1.18 бітові потоки спочатку надходять на блокові перемножувачі, після чого поєднуються в блоці бітового накопичувача, після чого проводиться процедура повторення або проріджування.

Процедури вирівнювання швидкостей різні для каналів, що використовують надточне завадостійке кодування та турбокодування.

Конкатенація кодових блоків Ця процедура полягає в послідовному об'єднанні кодових блоків, що пройшли процедури вирівнювання швидкостей передачі даних та формування єдиного потоку даних.

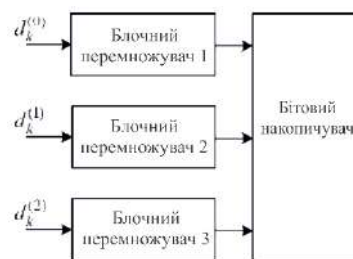


Рисунок 2.10 – Структурна схема процедури вирівнювання

Службові дані, на відміну від користувача, проходять лише процедуру каналного кодування. Після цього здійснюється мультиплексування користувальницьких та службових даних, перемежування, модуляція та розміщення їх по ЧВР каналу PUSCH.

2.9 Передача даних у низхідному напрямку

У низхідному напрямку ці дані передаються в низхідному фізичному груповому каналі PDSCH. БС проводить оцінку якості каналу між користувачем і БС на основі індикаторів CQI, що передаються користувальницькими терміналами, і відповідно до результату виділяє користувачам ті чи інші ресурсні блоки. Зрозуміло, якщо користувачеві необхідно передавати дані на вищій

швидкості, то йому має бути виділено більше ресурсних блоків. Також, як і у випадку висхідного каналу, положення та параметри ресурсів, що виділяються користувачеві, можуть змінюватися з часом. Перерозподіл ЧВР між користувачами вказано на рисунку 1.19.

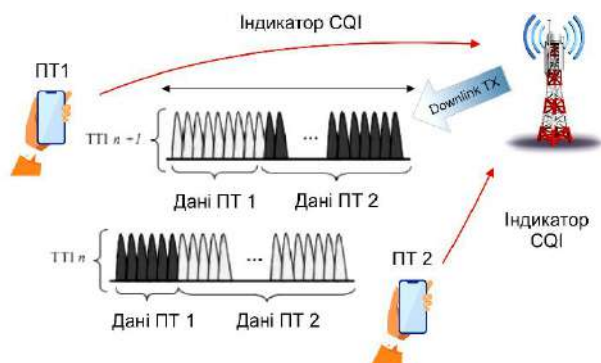


Рисунок 2.11 – Перерозподіл ЧВР між користувачами

Службові повідомлення про те, які ресурсні блоки призначаються даному користувачеві, передаються у фізичному низхідному керуючому каналі PDCCH. Дані каналу PDSCH можуть займати від трьох до шести символів OFDMA в слоті в залежності від конфігурації каналу PDSCH і від використовуваного циклічного префікса (нормальний або розширений). У кожному підкадрі дані каналу PDCCH можуть міститися тільки в першому слоті підкадра, тоді як другий слот підкадра містить дані PDSCH. У першому слоті підкадра каналу PDCCH виділено 3 OFDMA-символу, але у випадку дані цього каналу можуть займати від однієї до трьох OFDMA-символів. У режимі роботи, при якому системі виділений діапазон частот шириною 1,4 МГц, у першому слоті підкадра радіосигналу каналу PDCCH може виділятися від двох до чотирьох символів OFDMA.

Разом з даними каналів PDCCH і PDSCH сигналі низхідного каналу необхідно розміщення пілотних сигналів і даних широкомовного каналу PDSCH. Для більш ефективної оцінки передавальної характеристики каналу символи пілотної послідовності розподіляються рівномірно по ЧВР підкадра, як частотного діапазону, так і в часі (по OFDMA-символам).

В якості схеми завадостійкого кодування даних використовується турбокодування зі швидкістю $1/3$, яка докладно розглядалася для випадку висхідних каналів. Максимальний розмір блоку даних, який може подаватися на кодер турбокода, становить 6144 біти. Структурна схема процедури кодування даних представлена на рис. 1.20. Звернемо увагу, що на відміну від схеми кодування даних для висхідного каналу PDSCH в даній схемі відсутня процедура їх мультиплексування зі службовими даними, так як службові дані займають інші OFDMA-символи.

Як показано на рисунку 2,11, всі процедури, що йдуть після конкатенації кодових блоків, можуть виконуватися паралельно для декількох кодових блоків (двох або чотирьох). Це необхідно для багатоантенних систем (Multiple In Multiple Out, MIMO), побудованих за принципом просторового ущільнення. Принципи побудови систем MIMO будуть описані нижче.



Рисунок 2.12 – Структурна схема кодування даних каналу PDSCH

Суть процедури розміщення за рівнями полягає у формуванні та паралельних потоків комплексних символів, кожен з яких буде використовуватися при формуванні сигналу на окремій антени, причому кількість антен може бути меншою або дорівнює кількості рівнів.

Режим роботи з великою кількістю передаючих антен може будуватися за двома принципами: просторове ущільнення (Spatial Multiplexing, SM) та просторово-часове кодування (Transmit Diversity, TD).

Припустимо, що багатоантена система, побудована за принципом просторового ущільнення, має P антен, причому кількість антен може бути менше або дорівнює кількості сформованих рівнів. Суть принципу просторового ущільнення у тому, різні блоки інформаційних символів чи символи одного блоку будуть передаватися різними антенами.

У багатоантенних системах, побудованих за принципом TD, число антен завжди еквівалентно числу рівнів, і всі антени передають частини одного і того ж блоку інформаційних символів, тобто в даному випадку швидкість передачі між ПТ і БС не змінюється.

Для багатоантенних систем, побудованих за принципом просторового ущільнення, передбачено два способи попереднього кодування: кодування без циклічної затримки та кодування із циклічною затримкою.

2.10 Прийом та обробка сигналів мереж LTE

Цей розділ присвячений розгляду алгоритмів первинної обробки сигналів мереж LTE, яку виробляють АТ під час пошуку сигналу мережі.

При виготовленні АТ в його пам'ять закладаються значення частот, які відповідно до специфікацій можуть бути обрані центральними частоти для сигналів мереж LTE. З метою прискорення процедури пошуку сигналу домашньої мережі в SIM-карті (видається оператором зв'язку) крім ідентифікаторів мережі MCC (Mobile Country Code) та MNC (Mobile Network Code) може бути передбачено встановлення значень частот, виділених домашньої мережі. Тим не менш, у разі виходу з території обслуговування домашньої мережі ПТ буде змушений проводити перебір усіх можливих частот для пошуку сигналу дружньої мережі (що має договір роумінгового обслуговування з домашньою мережею). Таким чином, актуальним є питання розробки наскільки можна простого та ефективного алгоритму пошуку сигналу БС мережі LTE та отримання даних про оператора.

Враховуючи, що обробка OFDM-сигналів ведеться в частотній області, на трудомісткість алгоритму обробки, зокрема, впливає розмір блоку перетворення

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Фур'є (РБПФ). Розрахуємо РБПФ для LTE сигналів. Враховуючи, що частота дискретизації дорівнює

$$F_d = 1/T_s = 30,72 \text{ МГц},$$

а рознесення між піднесучими $A = 15 \text{ кГц}$, отримаємо розмір блоку перетворення Фур'є

$$N_{FT} = F_d / A = 2048.$$

Звернемо тепер увагу на те, скільки фактично може бути використане піднесе, і яку смугу частот вони займатимуть.

Таблиця 2.1 – Частотні ресурси сигналів LTE

Кількість ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100
Кількість піднесучих	72	180	300	600	900	1200
Займана смуга частот, МГц	1,08	2,7	4,5	9,0	13,5	18,0

З представлених даних у таблиці 2.1, частота дискретизації $F_d = 30,72 \text{ МГц}$ є надмірною всім випадків вибору числа ресурсних блоків. Таким чином, є можливість зменшення частоти дискретизації та, отже, РБПФ. У цьому необхідно лише дбати у тому, щоб одержуваний РБПФ перевищував число використовуваних піднесучих.

Враховуючи, що ПТ обов'язково має бути передбачена можливість роботи АЦП з частотою дискретизації $30,72 \text{ МГц}$, зрозуміло, що найпростішим способом зниження частоти дискретизації є рівномірне проріджування з певним коефіцієнтом КП. Наприклад, вибираючи з виходу АЦП лише кожен третій відлік, тобто використовуючи $\text{КП} = 3$, отримаємо триразове зниження частоти дискретизації. Зазначимо, що важливою умовою проріджування є попередня фільтрація послідовності вихідної частоти дискретизації $F_d = 30,72 \text{ МГц}$. З одного боку, фільтрація необхідна для усунення можливих завад, а з іншого – навіть високочастотні шумові (щодо смуги фільтра) складові, не будучи відфільтрованими, призведуть до сильного спотворення спектра прорідженого сигналу.

Отже, проріджуючи послідовність відліків з виходу АЦП, можна зменшити частоту дискретизації i , отже, РБПФ. Тепер звернемо увагу на те, що, по-перше, алгоритм швидкого перетворення Фур'є розрахований на РБПФ, рівний цілого ступеня двійки, по-друге, тривалості OFDM-символу та ЦП після зниження частоти дискретизації повинні бути кратні часовим інтервалам між відліками прорідженого сигналу.

Неважко бачити, що зазначені обмеження призводять до відмови від проріджування в число разів, не рівне цілого ступеня двійки.

Враховуючи, що визначені в LTE для синхронізації первинний і вторинний синхросигнали, а також сигнали фізичного мовного каналу передаються в шести центральних ресурсних блоках, тобто на 72-х піднесучих, процедуру синхронізації незалежно від кількості ресурсних блоків, що використовуються раціонально проводити на прорідженій в 16 послідовності відліків з виходу АЦП.

Зчитування даних логічного широкомовного каналу, що передаються у фізичному широкомовному каналі. Як і в більшості інших систем, що використовують OFDM, в мережах LTE первинну грубу тимчасову синхронізацію доцільно проводити за кореляційною кривою ЦП. Враховуючи неоднаковість тривалості ЦП для різних OFDM-символів у слоті, побудуємо періодичну кореляційну криву ЦП першого (тобто з номером нуль) OFDM-символу в слоті. Нагадаємо, що його тривалість для $F_d = 1,92$ МГц становить 10 відліків проти 9 для ЦП решти OFDM-символів у слоті. Зрозуміло, що така крива кореляційна повинна містити 7 піків за кількістю OFDM-символів в слоті. При цьому якщо амплітуда максимального з них дорівнює MAX, то, по-перше, при побудові нормованої кореляційної кривої і достатньому відношенні сигнал/шум $MAX \sim 1$, а по-друге, амплітуди інших піків повинні бути $\sim 0,9$ MAX.

Тепер, маючи в розпорядженні грубу тимчасову та точну частотну синхронізацію, можна переходити до наступного етапу – зчитування даних, переданих у фізичному мовному каналі РВСН, сигнал якого передається в перших чотирьох OFDM-символах другого слота кожного кожного кадру. Один блок даних передається у чотирьох кадрах, у своїй вся інформація передається у кожному кадрі. Для демодуляції необхідно виконати вирівнювання АЧХ каналу.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи значну завадозахищеність даних каналу РВСН, на цьому етапі можна скористатися найпростішим лінійним еквалайзером, і у разі великого відношення сигнал/шум у прийнятому сигналі декодування блоку даних можна зробити лише по одному кадру.

Після зчитування мовного повідомлення стає відомим кількість ресурсних блоків, виділених системі, кількість антен, що використовуються для передачі низхідного сигналу (1, 2 або 4), номер кадру системи та інформація про конфігурацію каналу підтвердження успішного прийому базовою станцією пакетів, переданих абонентом у висхідному напрямку.

2.11 Оцінка обладнання базової станції

При впровадженні мереж LTE з'являються нові послуги, які розвиваються швидкими темпами. Проблема полягає в тому, що оператори та провайдери послуг не можуть підібрати відповідне обладнання базової станції та забезпечувати потрібні показники якості обслуговування користувачів. Як результат – збільшується потреба у технічному обслуговуванні дедалі більшої кількості базових станцій для вирішення більшої кількості завдань за короткий час. Внутрішньосистемні завади є основними недоліками, які мінімізуються завдяки координації завад між стільниками, гнучкому частотному плану. У цьому випадку застосовуються аналізатори та скануючі приймачі мережі.

В якості ефективного вирішення проблеми обрано аналізатор базових станцій Anritsu BTS Master [15], що призначений для оцінки продуктивності ділянки мережі (кластера), після передачі мережі в експлуатацію. А також для оперативного тестування та пошуку несправностей інфраструктури мережі, перевірки якості монтажу та обстеження базового обладнання сайтів з метою підтримки продуктивності бездротової системи зв'язку на оптимальному рівні, збільшення тривалості термінів експлуатації. За допомогою аналізатора проведений експеримент у зоні покриття БС. У порівнянні з аналогічними приладами аналізатор має високу завадостійкість при вимірюванні в складній

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

радіообстановці, а також підвищеної вихідної потужності для перевірки компонентів.

Обладнання базових станцій слід вибирати насамперед, керуючись особливостями технології LTE. а так само, щоб це обладнання відповідало вимогам надійності, відрізнялося ефективністю, гнучкістю, мало широкий набір функцій.

В експерименті досліджуються характеристики базових станцій та показники ефективності. Для порівняння взяті базові станції Flexi Multiradio від Nokia Siemens Networks і Light Radio від Alcatel-Lucent [16]. У процесі експерименту обладнання вимірювального комплексу налаштовано для генерації тривалих, коротких і пакетних викликів, а також для сканування ефіру в смузі частот LTE. Схема підключення обладнання зазначена на рисунку 2.1.

Перелік обладнання для проведення експерименту:

1. Ноутбук із програмним забезпеченням та можливістю вимірювань для технології LTE.
2. Антена.
3. Мобільний термінал, з тестовою SIM картою, зареєстрована у мережі 4G.
4. Скануючий приймач – Anritsu BTS Master для сканування каналів.
5. USB-модем ZTE MF91D E589.

Перелік основних робіт:

- проведення та аналіз експерименту в зоні покриття БС;
- аналіз даних експерименту у динамічному режимі.

Однією з важливих вимог у процесі експерименту мережі LTE є те, що вся територія обслуговування радіомережі поділена на менші за розмірами ділянки так звані кластери. Такий поділ радіомережі дозволить ефективно провести драйв-тест кожного кластера. На досліджуваному ділянці мережі здійснюється безперервний прийом радіосигналу щодо тесту. Вимірювання отримані шляхом проведення експерименту з використанням скануючого приймача – аналізатора Anritsu BTS Master.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.13 – Схема підключення обладнання

2.12 Порівняння базових станцій та дослідження характеристик

Обов'язкова умова для проведення експерименту – це швидкість руху автомобіля при проведенні драйв тесту повинна бути рівномірною протягом усього шляху і не перевищувати 60 км/год.

Мобільний термінал під час початкового налаштування радіомережі LTE повинен робити: пакетні виклики необхідні для оцінки пропускної спроможності FTP (File Transfer Protocol — протокол передачі файлів) та якісних показників послуг, що надаються цим сервісом. Скануючий приймач використовується для вимірювання рівня потужності сигналу, що приймається, а також для отримання значень ключових показників ефективності (KPI) не гірше, ніж зазначено на основі статистичних даних в таблиці 2.2. Ключові показники ефективності базуються на основі проведеного експерименту, а також на основі статистичних даних роботи секторів базових станцій кластера. На основі статистичних даних показники якості визначаються агрегуванням їх значень на рівні стільника за час проведення експерименту.

В експерименті було досліджено порівняння БС, коли відбувається включення нових сайтів на основі динамічного режиму та статистики експлуатаційної підтримки. Порівняльний аналіз наведено у таблиці 2.3. За результатами досліджень, проведених у роботі, можна відзначити, що скануючий приймач реалізує критично важливі аспекти атестації мереж LTE: моделювання дій користувачів та роботи мережевих сервісів, відмінну

						КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
							48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

масштабованість тестового середовища. На рисунку 2.2 представлено схему порівняння БС:

Таблиця 2.2 – Показники якості послуг, обумовлені в статичному режимі

№	Показники	Цільове значення
1	Відсоток успішного приєднання до мережі (Attach Success Rate), %	98,5%
2	Відсоток успішного запиту сервісу (Service Request (EPS) Success Rate), %	98%
3	Норма помилок у виділеній пакетній системі (EPS Drop Rate), %	1%
4	Успішність хендовера всередині LTE, (E-UTRAN HO Success Ratio), %	98,5%
5	Швидкість передачі даних на соту лінії «вгору» (Змінюється на користувача при можливості розрахунку) (Cell Throughput UL) ширина смуги: 5 МГц	4 Мбіт/с
6	Швидкість передачі даних на соту лінії «вниз» (Змінюється на користувача при можливості розрахунку) (Cell Throughput DL) ширина смуги: 5 МГц	10Мбіт/с

Таблиця 2.3 – Показники якості послуг їх значення в динамічному режимі, визначені в результатах порівняльного польового тестування БС.

№	Показник	Flexi Multiradio	Light Radio
1	Відсоток успішного приєднання до мережі (Attach Success Rate) [%]	84%	96,5%
2	Відсоток успішного запиту сервісу (Service Request (EPS) Success Rate) [%]	92%	98%
3	Оцінка втрати пакету при нормі помилок (Packet Loss Rate Service Drop Rate [%])	3%	1%
4	Успішність хендовера всередині LTE, (E-UTRAN HO Success Ratio), %	88,5 %	98 %
5	Середня швидкість ПД 1 користувача на лінії «вгору», ширина смуги:5 МГц (LTE Average SingleUser UL Data Rate [Mbps] BW: 5MHz)	4 Мбіт/с	8 Мбіт/с
6	Середня швидкість ПД 1 користувача на лінії «вниз», ширина смуги 5 МГц (LTE Average SingleUser DL Data Rate [Mbps] BW:5MHz)	7 Мбіт/с	10 Мбіт/с
7	Виграш в районі з щільною міською забудовою	3 dB	10 dB

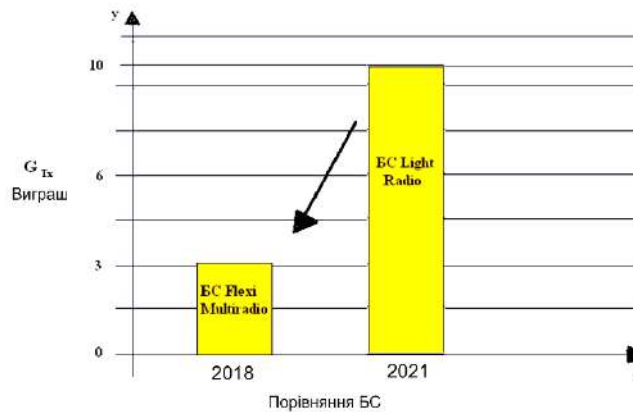


Рисунок 2.14 – Порівняння покоління базових станцій

З рисунка 2.14 видно, що у порівнянні виграшу у районі із щільною забудовою базових станцій можна зробити вибір на користь обладнання Light Radio, що взаємодіє з мережами GSM, WCDMA [17]. За допомогою аналізатора Anritsu BTS Master представлені зведені результати та характеристики базових станцій. Порівняння яких показало нам найкращий варіант вибору базової станції Light Radio, яка є універсальною.

Висновки до 2 розділу

В даному розділі відображено результати проведення експериментальних досліджень показників базових станцій, і навіть їх порівняння.

Експерименти проводилися за допомогою використання аналізатора базових станцій Anritsu BTS Master, а також були взяті базові станції Flexi Multiradio від Nokia Siemens Networks і Light Radio від Alcatel-Lucent.

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок пропускної спроможності мережі. Розрахунок кількості потенційних абонентів

Пропускнз здатність, або ємність, мережі оцінюють, базуючись на середніх значеннях спектральної ефективності стільники за певних умов.

Спектральна ефективність систем мобільного зв'язку є показником, що обчислюється як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц використовуваної смуги частот (біт/с/Гц). Спектральна ефективність є показником ефективності використання частотного ресурсу, а також характеризує швидкість передачі в заданій смузі частот.

Спектральна ефективність може розраховуватися як відношення швидкості передачі всіх абонентів мережі в певній географічній області (стіні, зоні) на 1 Гц смуги частот (біт/с/Гц/сота), а також як відношення максимальної пропускної здатності мережі до ширини смуги одного частотного каналу.

Середня спектральна ефективність для мережі LTE, ширина лінії частот якої дорівнює 20 МГц, для частотного типу дуплексу FDD на підставі 3GPP Release 9 для різних конфігурацій MIMO, представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Середня спектральна ефективність мережі LTE.

Лінія (біт/с/Гц)	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність
UL	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Для системи FDD середня пропускна здатність 1 сектора eNB може бути отримана шляхом прямого множення ширини каналу спектральну ефективність каналу:

$$R = S \cdot W, \quad (3.1)$$

де S – середня спектральна ефективність (біт/с/Гц);

W – ширина каналу (МГц); $W = 10$ МГц.

Для лінії DL:

$$RDL = 3,43 \cdot 10 = 34,3 \text{ Мбіт/с}$$

Для лінії UL:

$$RUL = 1,829 \cdot 10 = 18,29 \text{ Мбіт/с}$$

Середня пропускна здатність базової станції ReNB обчислюється шляхом множення пропускної спроможності одного сектора кількістю секторів базової станції; число секторів eNB приймемо рівне 3, тоді:

$$ReNB = RDL / UK \cdot 3, \quad (3.2)$$

Для лінії DL:

$$ReNB.DL = 34,3 \cdot 3 = 102,9 \text{ Мбіт/с}$$

Для лінії UL:

$$ReNB.UL = 18,29 \cdot 3 = 54,87 \text{ Мбіт/с}$$

Наступним етапом буде визначення кількості сотів у планованій мережі LTE. Для розрахунку кількості сотень у мережі необхідно визначити загальну кількість каналів, що виділяються для розгортання проектованої мережі LTE. Загальна кількість каналів N_k розраховується за такою формулою:

$$N_k = \Delta f \sum \Delta f_k, \quad (3.3)$$

де $\Delta f \Sigma$ – смуга частот, виділена для роботи мережі та дорівнює 71 МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу; під радіоканалом у мережах LTE визначається таке поняття як ресурсний блок РБ, що має ширину 180 кГц, $\Delta f_k = 180$ кГц.

$$N_k = 71 \sum 180 \approx 395 \text{ (каналів).}$$

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі визначимо число каналів $N_{к.сек}$, яке необхідно використовувати для обслуговування абонентів в одному секторі однієї стільники:

$$N_{к.сек} = N_{к} / N_{кл} / M_{сек}, \quad (3.4)$$

де $N_{к}$ – загальна кількість каналів;

$N_{кл}$ – розмірність кластера, що вибирається з урахуванням кількості секторів eNB, прийmemo рівним 3;

$M_{сек}$ – кількість секторів eNB, прийmemo рівним 3.

$$N_{к.сек} = 395/3/3 \text{ (каналу).}$$

Далі визначимо кількість каналів трафіку в одному секторі однієї стільники $N_{кт.сек}$. Число каналів трафіку розраховується за такою формулою:

$$N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{к.сек}, \quad (3.5)$$

де $N_{кт1}$ – число каналів трафіку в одному радіоканалі, що визначається стандартом радіодоступу (для OFDMA $N_{кт1} = 1 \dots 3$);

для мережі LTE виберемо $N_{кт1} = 1$.

$$N_{кт.сек} = 1 \cdot 43 \approx 43 \text{ канали.}$$

Відповідно до моделі Ерланга, визначимо допустиме навантаження в секторі однієї стільники $A_{сек}$ при допустимому значенні ймовірності блокування рівної 1% і розрахованим вище значенні $N_{кт.сек}$. Визначимо, що $A_{сек} = 50$ Ерл.

Число абонентів, яке обслуговуватиметься однією eNB, визначається за формулою:

$$N_{аб.eNB} = M_{сек} \cdot A_{сек} A1, \quad (3.6)$$

де $A1$ – середнє за всіма видами трафіку абонентське навантаження від одного абонента; значення $A1$ може становити (0,04...0,2) Ерл. Оскільки мережа

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

планується використовуватися для високошвидкісного обміну інформацією, то значення $A1$ приймемо рівним 0,2 Ерл. Таким чином:

$$N_{аб.eNB} = 3 \cdot 249,6 \approx 750 \text{ абонентів.}$$

Число базових станцій eNB у проєктованій мережі LTE знайдемо за формулою:

$$N_{eNB} = N_{аб} / N_{аб.eNB} + 1, \quad (3.7)$$

де $N_{аб}$ – кількість потенційних абонентів. Кількість потенційних абонентів визначимо як 20% від загальної кількості мешканців. Загальна кількість жителів міста Старокостянтинів (Хмельницька область) становить 24500 осіб. Таким чином, кількість потенційних абонентів становитиме 4900 осіб, тоді:

$$N_{eNB} = 4900 / 750 + 1 \approx 7 \text{ eNB.}$$

Середню заплановану пропускну здатність RN проєктованої мережі визначимо шляхом множення кількості eNB на середню пропускну здатність eNB. Формула набуде вигляду:

$$R_N = R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL} \cdot N_{eNB}, \quad (3.8)$$

$$R_N = (102,9 + 54,87) \cdot 7 = 1104,39 \text{ (Мбіт/с)}$$

Далі дамо перевірку оцінку ємності досліджуваної мережі та порівняємо з розрахованою. Визначимо усереднений трафік одного абонента в ПНН:

$$R_{m.ЧНН} = T_m \cdot q / N_{ЧНН} / N_d, \quad (3.9)$$

де T_m – середній трафік одного абонента на місяць, $T_m = 30$ Гбайт/міс; q – коефіцієнт місцевості, $q = 2$; $N_{ЧНН}$ – число ЧНН на день, $N_{ЧНН} = 7$; N_d – число днів на місяці, $N_d = 30$.

$$R_{m.ЧНН} = 30 \cdot 2 / 7 / 30 = 0,28 \text{ (Мбіт/с)}$$

Визначимо загальний трафік проєктованої мережі в ЧНН Робщ./ЧНН за формулою:

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{заг.ЧНН} = R_{т.ЧНН} \cdot N_{акт.аб}, \quad (3.10)$$

де $N_{акт.аб}$ – кількість активних абонентів у мережі; визначимо кількість активних абонентів у мережі як 80% від загальної кількості потенційних абонентів $N_{аб}$, тобто $N_{акт.аб} = 3920$ абонентів.

$$R_{заг.ЧНН} = 0,28 \cdot 3920 = 1097,6 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Таким чином, $R_N > R_{заг.ЧНН}$. Ця умова показує, що досліджувана мережа не зазнаватиме перевантажень у ЧНН.

3.2 Аналіз покриття

Аналіз покриття мережі почнемо з обчислення максимально допустимих втрат лінії (МДВ). МДВ розраховується як різницю між еквівалентною ізотропною випромінюваною потужністю передавача (ЕІВП) та мінімально необхідною потужністю сигналу на вході приймача сполученої сторони, при якій з урахуванням усіх втрат у каналі зв'язку забезпечується нормальна демодуляція сигналу в приймачі. Принцип розрахунку МДВ показаний на рисунку 3.1.

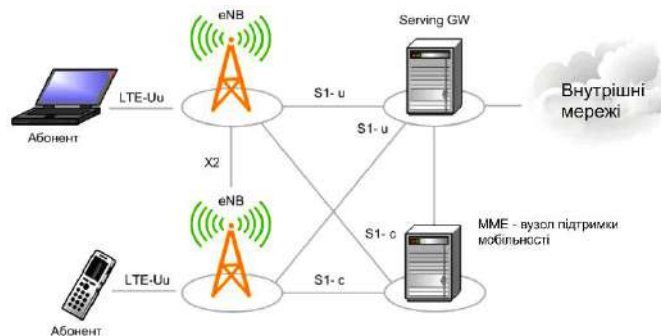


Рисунок 3.1 – Принцип розрахунку МДП

При розрахунках будемо використовувати такі параметри:

- Системна смуга: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- eNB – на кожному секторі один TRX, вихідна потужність TRX = 40 Вт (46 дБм); працює на лінії DL у режимі MIMO 2×2;

- UE – абонентський термінал – USB-модем,

- клас 4 - EIBП 33 дБм;

співвідношення тривалості кадрів DL/UL: 100%/100%.

Розрахунок максимально допустимих втрат провадиться за формулою:

$$L_{МДВ} = P_{EIBП.нр\delta} - S_{ч.нр} + G_{A.нр} - L_{\Phi.нр} - M_{прон} - M_{зав} - M_{затен} + G_{хо}, \quad (3.11)$$

де $P_{EIBП.нр\delta}$ – еквівалентна випромінювана потужність передавача;

$S_{ч.нр}$ – чутливість приймача; $G_{A.нр\delta}$ – коефіцієнт підсилення антени передавача, $G_{A.нр\delta}$: DL = 18 дБі, UL = 0 дБі;

$L_{\Phi.нр\delta}$ – втрати у фідерному тракті передавача, $L_{\Phi.нр\delta}$: DL = 0,3 дБ;

$M_{прон}$ – запас на проникнення сигналу в приміщення для сільської місцевості, $M_{прон} = 12$ дБ; $M_{зав}$ – запас на завади. $M_{зав}$ визначається за результатами моделювання системного рівня залежно від навантаження у сусідніх стільниках; значення $M_{пом}$ відповідає навантаженню в сусідніх стільниках 70%. $M_{зав}$: DL = 6,4 дБ; UL = 2,8 дБ;

$G_{хо}$ – вигреш від хендовера. Значення виграшу від хендовера – результат того, що при виникненні глибоких завмирань в соті, абонентський термінал може здійснити хендовер в соту з кращими характеристиками прийому.

$$G_{хо} = 1,7 \text{ дБ.}$$

$P_{EIBП.нр\delta}$ розраховується за формулою:

$$P_{EIBП.нр\delta} = P_{вих.нр\delta} + G_{A.нр\delta} - L_{\Phi.нр\delta}, \quad (3.12)$$

де $P_{вих.нр\delta}$ – вихідна потужність передавача.

$P_{вих.нр\delta}$ у лінії «вниз» (DL) у LTE залежить від ширини смуги частот сайту, яка може коливатися від 1,4 до 20 МГц. У межах до 5 МГц оптимально вибрати передавачі TRX потужністю 20 Вт (43 дБм), а понад 5 МГц – 40 Вт (46 дБм).

$$P_{вих.нр\delta}: \text{DL} = 46 \text{ дБм, UL} = 33 \text{ дБм.}$$

Для лінії DL:

$$P_{EIBП.нр\delta} = 46 + 18 - 0,3 = 63,7 \text{ (дБм),}$$

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Для лінії UL:

$$P_{EIVП.нр\delta} = 33 \text{ (дБм)}$$

Сч.пр розраховується за такою формулою:

$$S_{ч.нр} = P_{тш.нр} + M_{відн.нр} + L_{нр}, \quad (3.13)$$

де $P_{тш.нр}$ – потужність теплового шуму приймача,

$$P_{тш.нр}: \text{DL} = -174,4 \text{ дБм}; \text{UL} = -104,4 \text{ дБм};$$

$M_{відн.нр}$ – необхідне відношення сигнал/шум приймача.

Значення $M_{відн.нр}$ взято для моделі каналу EnhancedPedestrianA5.

$$M_{відн.нр}: \text{DL} = -0,24 \text{ дБ}; \text{UL} = 0,61 \text{ дБ};$$

$L_{нр}$ – коефіцієнт шуму приймача,

$$L_{нр}: \text{DL} = 7 \text{ дБ}, \text{UL} = 2,5 \text{ дБ};$$

Для лінії DL:

$$S_{ч.нр} = -174,4 + (-0,24) + 7 = -167,64 \text{ (дБм)}.$$

Для лінії UL:

$$S_{ч.нр} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ (дБм)}.$$

З урахуванням отриманих результатів за формулами (3.12) та (3.13), розрахуємо значення МДП:

Для лінії DL:

$$L_{МДВ} = 63,7 - (-167,64) - 12 - 6,4 - 8,7 - 1,7 = 205,94 \text{ (дБ)},$$

Для лінії UL:

$$L_{МДВ} = 33 - (-101,29) + 18 - 0,4 - 12 - 6,4 - 8,7 + 1,7 = 126,5 \text{ (дБ)}.$$

З двох значень МДВ, отриманих для ліній DL та UL вибираємо мінімальне, щоб вести наступні розрахунки дальності зв'язку та радіусу стільники. Обмежувальною лінією за дальністю зв'язку, як правило, є лінія вгору.

Для розрахунку дальності зв'язку скористаємося емпіричною моделлю поширення радіохвиль Okumura - Hata. Дана модель є узагальненням досвідчених фактів, у якому враховано багато умов та видів середовищ. У моделі

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Okumura – Hata пропонується такий вираз визначення середнього згасання радіосигналу в міських умовах:

$$L_r = 69,5 + 26,16 \cdot \lg f_c - 13,82 \cdot \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d, \quad (3.14)$$

Для досліджуваної місцевості вираз набуде вигляду з поправкою:

$$L_c = L_r - 4,78(\lg f_c)^2 + 17,33 \cdot \lg f_c - 40,94, \quad (3.15)$$

де f_c – частота від 150 до 1500 МГц;

h_t – висота передавальної антени (підвісу eNB) від 30 до 300 метрів;

h_r – висота приймаючої антени (антени мобільного пристрою) від 1 до 10 метрів;

d – радіус стільники від 1 до 20 км;

$A(h_r)$ – поправочний коефіцієнт для висоти антени рухомого об'єкта, який залежить від типу місцевості.

Зробимо вибір параметрів для розрахунків:

$f_c = 800$ МГц; $h_t = 72$ метри; $h_r = 3$ метри. Знайдемо поправний коефіцієнт $A(h_r)$ для сільської місцевості за такою формулою:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_c - (1,56 \cdot \lg f_c - 0,8), \quad (3.16)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 800 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \cdot \lg 800 - 0,8) = 3,751$$

Обчисливши з формул (3.14) та (3.15) радіус стільники, отримаємо, що $d \approx 9$ км.

Розрахуємо площу S_{eNB} покриття трисекторного сайту за формулою:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \quad (3.17)$$

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 9^2 = 157,86 \text{ (км}^2\text{)}.$$

3.3 Оцінка допустимої швидкості передачі в каналі мережі LTE для близьких та далеких користувачів.

Швидкість передачі в каналі LTE для близьких (в центрі стільника) користувачів (Мбіт/с)

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2(1 + \eta1(u)), \quad (3.18)$$

для «далеких» (на межі стільника) користувачів

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2(1 + \eta2(u)), \quad (3.19)$$

де W – смуга системи, МГц, $W = 10$ МГц

$\eta1(u)$ – SINR для центру стільника, $\eta1(u) = 5$,

$\eta2(u)$ – SINR для межі стільника, $\eta2(u) = 0,34$.

Швидкість передачі для користувачів у центрі стільника

$$R1(u) = \frac{4}{7} 10 \log_2(1 + 5) = \frac{4}{7} 10 \cdot 2,59 = 14,8/$$

Швидкість передачі для користувачів на межі стільника

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2(1 + 0,34) = 2,5/$$

3.4 Розрахунок чутливості приймача БС

Мінімально допустимий рівень сигналу на вході приймача БС визначається як:

$$P_{пр} (\text{дБмВт}) = P_{ш} (\text{дБмВт}) + (E_b / N_0)_{необх} (\text{дБ}) - G_{обр} (\text{дБ}), \quad (3.20)$$

де $(E_b/N_0)_{необх}$ – необхідне значення E_b/N_0 , $G_{обр}$ – виграш від обробки,

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_{ш}$ – потужність власних шумів приймача,

Основні параметри, що використовуються в розрахунку:

E_b/N_0 – відношення середньої енергії бита до спектральної густини шуму.

Потрібне відношення E_b/N_0 залежить від типу сервісу, швидкості пересування абонента та радіоканалу.

Мінімально допустимий рівень сигналу на вході приймача залежить від необхідного відношення E_b/N_0 , швидкості передачі даних користувача, якості аналогових компонентів приймача, рівня завад. Завади можуть створювати різні джерела: абоненти з обслуговуючої стільниці, абоненти, що обслуговуються іншими сотами, а також інші джерела, що створюють діючі в діапазоні частотного каналу, що використовується.

Потужність власних шумів приймача

$$P_{ш} = N + K_{ш} (\text{дБмВт}), \quad (3.21)$$

де N – потужність теплового шуму у приймачі, 2,5 дБмВт.

$$N = k \cdot T \cdot B, \quad (3.22)$$

де k – постійна Больцмана ($1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T – температура провідника.

Потужність теплового шуму у приймачі залежить від смуги пропускання фільтра. Для стандарту UMTS смугу узгодженого фільтра можна прийняти 3.84 МГц.

Коефіцієнт шуму приймача $K_{ш} = 7$ дБ для лінії DL,

$K_{ш} = 2,5$ дБ для лінії UL.

Тип лінії - UL, $T = 20$ °, $B = 3,84$ МГц, $K_{ш} = 2,5$ дБ, $G_{обр} = 4$ дБ.

Послуга – телефонія, швидкість абонента – 3 км/година.

Визначаємо значення $E_b/N_0 = 7,9$ дБ.

$$N = k \cdot T \cdot B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3,84 \cdot 10^6 = 1,55 \cdot 10^{-14}, \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \log(1,55 \cdot 10^{-14} / 0,001) = -108,2 \text{ дБмВт}.$$

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Потужність власних шумів приймача

$$P_{u} = N + K_{u} = -108,2 + 2,5 = -105,7 \text{ дБ.}$$

Чутливість приймача

$$P_{np} = -105,7 + 7,9 - 4 = -101,8 \text{ дБ.}$$

3.5 Розрахунок максимально допустимих втрат мережі LTE.

Максимально допустимі втрати можна розрахувати за такою формулою:

$$L_{MARL} = P_{EIRP} - S_{Rx} - G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}, \quad (3.23)$$

де P_{EIRP} – ЕІВП передавача, =70 дБ; S_{Rx} – чутливість приймача, =-97,6 дБ; G_{RxA} – коефіцієнт посилення антени, = 12 дБ; L_{RxF} – втрати у фідерному тракті, = 03 дБ; M_{Build} – запас на проникнення в приміщення, = 17 дБ; M_{Int} – запас на внутрішньосистемні завади, дБ; M_{Shade} – запас на затінення, = 9 дБ; G_{HO} – виграш від хендовера, = 3 дБ.

При розрахунку використовується величина запасу на внутрішньосистемні завади, яка характеризує зростання потужності шуму на вході приймача. Для розрахунку, прийнято що запас на внутрішньосистемні завади дорівнює:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \quad (3.24)$$

де η – відносне завантаження стільники у висхідній або низхідній лінії.

Як видно, запас на внутрішньосистемні завади, це функція від завантаження стільники, чим більше дозволене навантаження в соті, тим більшу величину запасу необхідно врахувати у розрахунку. При зростанні навантаження до 100% запас на завади прагне нескінченності і зона обслуговування стільники зменшується до нуля. Залежність значення цієї величини від завантаження стільники представлена на рисунку 3.2.

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

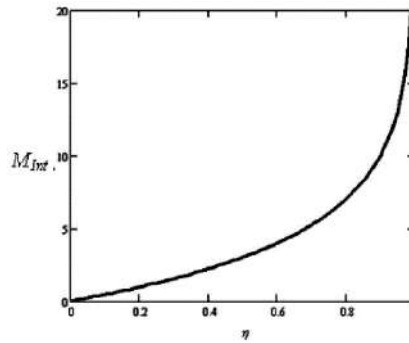


Рисунок 3.2 – Залежність значення запасу на внутрішньосистемні завади від значення відносного завантаження стільника.

Виграш за рахунок м'якого хендовера.

М'який хендовер має місце у тому випадку, коли мобільна станція з'єднана як мінімум з двома стільниками одночасно. Якщо ці стільники належать двом різним базовим станціям (Node B), то об'єднання двох висхідних каналів здійснюється контролером радіомережі (RNC). У разі, якщо стільники належать одній базовій станції, об'єднання сигналів здійснюється базовою станцією. У низхідній лінії об'єднання двох каналів здійснюється RAKE-приймачем мобільної станції методом оптимального складання. Можна розглядати, як метод рознесеного прийому, при використанні якого сигнали різних каналів складаються з урахуванням їх вагових коефіцієнтів, а коефіцієнти посилення в кожному каналі прямо пропорційні середньоквадратичному значенню потужності сигналу і пропорційні назад середньоквадратичному значенню потужності шуму в цих каналах. При оптимальному додаванні відношення сигнал/шум на виході максимальна. Виграш від м'якого хендовера досягається за рахунок макро-рознесеного прийому, отже зменшує негативні ефекти від тінювих зон та завмирань. У реальній мережі, зони обслуговування більшості сот перетинаються. На межі стільника мобільна станція може вибрати найкращу соту з доступних в даний момент, тобто мобільна станція не обмежена одним з'єднанням. Це веде до того, що запас на завмирання може бути знижений при розрахунку бюджету радіолінії, відбувається зменшення необхідного значення E_b/N_0 . Виграш від м'якого хендовера залежить від умов поширення радіохвиль.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У містах, де завмирання сигналів дуже суттєві, кореляція між сигналами, що прийшли від різних джерел мала, як наслідок зростає виграш від використання м'якого хендовера. І навпаки в сільській місцевості, коли сигнали незначно схильні до завмирань, кореляція між сигналами від різних джерел зростає, і виграш зменшується. Величина виграшу може змінюватись у межах 2-5 дБ. Типова величина виграшу для розрахунку бюджету радіолінії становить 2-3 дБ.

Обмеження керування потужністю або запас на швидкі завмирання.

Алгоритм швидкого керування потужністю введений в UMTS для того, щоб підтримувати необхідне значення E_b/N_0 на вході приймача постійним під час швидких замирань, зумовлених багатопроменевістю. Глибина завмирань може сягати 30 дБ.

Швидке керування потужністю особливо важливо для абонентів, які мають малу швидкість пересування, тому що вони не можуть швидко змінити своє положення для компенсації глибоких завмирань. На межі стільника потужність передавача мобільної станції максимальна, таким чином, не залишається запасу на керування потужністю для компенсації швидких завмирань.

Визначимо запас на завади M_{Int} , дБ

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) = -10 \cdot \lg(1 - \eta) = -10 \cdot \lg 0,2 = 6,9 \text{ дБ.}$$

Максимально допустимі втрати

$$L_{MARL} = 70 + 97,6 + 12 - 0,3 - 6,9 - 17 - 9 + 3 = 149,4 \text{ дБ}$$

3.6 Розрахунок мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача базової станції.

Мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача БС визначається за формулою:

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{np}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b / N_0)_{необх}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}), \quad (3.25)$$

де $(E_b/N_0)_{необх}$ – необхідне значення E_b/N_0 ,

$G_{обр}$ – виграш від обробки,

$P_{ш}$ – потужність власних шумів приймача,

Для аналізу вибрано тип обладнання БС Nokia Flexi WCDMA BTS. Коефіцієнт шуму приймача цієї базової станції менше 3 дБ. Для розрахунку приймемо $K_{ш} = 3$ дБ. Потужність шумів приймача БС визначимо із формули:

$$P_{ш} = N + K_{ш}(\text{дБмВт}), \quad (3.26)$$

Мінімально допустиме значення E_b/N_0 на вході приймача для цього типу сервісу становить 1.7 дБ при швидкості абонента 3 км/год.

Виграш від обробки складає:

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чин} / R_{кор}), \quad (3.27)$$

де $R_{чин}$ – чіпова швидкість стандарту UMTS, чіп/с,

$R_{кор}$ – швидкість передачі даних користувача, кбіт/с.

Також необхідно врахувати виграш за рахунок м'якого хендовера та запас на внутрішньосистемні завади. Величину виграшу приймемо рівною $G_{хо} = 2$ дБ. Величину запасу на внутрішньосистемні завади визначимо пізніше. Величину відносного завантаження стільниці для початкового розрахунку приймемо 50%.

Допустимим значенням величини відносного завантаження стільниці вважається 50%.

Запас на внутрішньосистемні завади дорівнює:

$$M_{int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \quad (3.28)$$

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на вищевказані фактори, мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача БС дорівнює:

$$P_{np} = P_{ш} + (E_b / N_0)_{необх} - G_{обр} + L_n - G_{хо}, \text{ (дБмВт)} \quad (3.29)$$

де $K_{ш} = 3$ дБ, $E_b/N_0 = 1.7$ дБ, $R_{чин} = 3,84 \cdot 10^6$ чіп/с, $R_{кор} = 384$ кбіт/с, $\eta = 0,5$.

Потужність теплового шуму в приймачі:

$$N = k \cdot T \cdot B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3,84 \cdot 10^6 = 1,55 \cdot 10^{-14}, \text{ Вт,}$$

$$N = 10 \cdot \log(1,55 \cdot 10^{-14} / 0,001) = -108,2 \text{ дБмВт.}$$

Потужність шумів приймача БС (2.2):

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -108,2 + 3 = -105,2 \text{ дБ.}$$

Виграш від обробки складає:

$$G_{обр} = 10 \cdot \log(R_{чин} / R_{кор}) = 10 \cdot \log(3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 10, \text{ дБ}$$

Запас на внутрішньосистемні завади дорівнює:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - 0,5) = 3 \text{ дБ.}$$

Мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача БС дорівнює:

$$\begin{aligned} P_{np} &= P_{ш} + (E_b / N_0)_{необх} - G_{обр} + L_n - G_{хо} = \\ &= -105,2 + 1,7 - 10 + 3 - 2 = -112,5 \text{ дБмВт} \end{aligned}$$

Висновки до 3 розділу

В даному розділі досліджено внутрішньосистемні завади, за допомогою аналізатора базових станцій. Внутрішньосистемні завади є основними недоліками, які мінімізуються завдяки координації завад між стільниками, гнучкому частотному плану.

Також розраховано частину Старокостянтинівського району зі щільною забудовою. Для цільової мережі було обрано частотну смугу 1800 МГц, а ширину каналу – 20 МГц.

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У цій кваліфікаційній роботі досліджувалися характеристики мобільної передачі даних стандарту LTE. В процесі розгляду основних особливостей мережі було розглянуто архітектуру мережі, її основні компоненти та їх функції.

В експериментальній частині було досліджено порівняння базові станції, коли відбувається включення нових сайтів на основі динамічного режиму та статистичної експлуатаційної підтримки. Було досліджено внутрішньосистемні завади, за допомогою аналізатора базових станцій. Внутрішньосистемні завади є основними недоліками, які мінімізуються завдяки координації завад між стільниками, гнучкому частотному плану. В цій роботі для дослідження було обрано частину Старокостянтинівського району зі щільною забудовою. Для цільової мережі було обрано частотну смугу 1800 МГц, а ширину каналу – 20 МГц.

За результатами досліджень, проведених у роботі, можна відзначити, що скануючий приймач реалізує критично важливі аспекти атестації мереж LTE: моделювання дій користувачів та роботи мережевих сервісів, відмінну масштабованість тестового середовища.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буров Є. В. Комп'ютерні мережі: Підручник. – Львів: “Магнолія 2006”, 2008. – 262 с.
2. Жураковський Б. Ю., Коршун Н. В. Основи інфокомунікаційних технологій: навчальний посібник. – 2015.
3. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, Техніка, 2001р – 526 с.
4. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. Транспортні телекомунікаційні технології : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 162 с.
5. Г.Г.Швачич, В.В.Толстой, Л.М.Петречук, Ю.С.Іващенко, О.А.Гуляєва, Соболенко О.В. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2017. –230 с.
6. Інформаційне забезпечення систем прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах: Колективна монографія; під заг. ред. Л.М. Савчук. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2013. – 592 с.
7. Бакушевич Я. М. Інформатика та комп'ютерна техніка: навчальний посібник / Я. М. Бакушевич, Ю. Б. Капаціла. – Л.:«Магнолія», – 2009, – 312 с.
8. Глинський Я.М. “Комп’ютер у кожен дім: Самовчитель” – Л.: СПД Глинський, 2008, – 256 с.
9. Глинський Я.М. “Практикум з інформатики”: Навч. Посіб. – 9-те вид., оновл. – Л.: СПД Глинський, 2006, – 296с.
10. Дибкова Л. М. Інформатика і комп'ютерна техніка: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. 3-є вид., доповнене, К., Академвидав, 2011, – 464 с.
11. Коваль Т.І. Підготовка викладачів вищої школи: інформаційні технології у педагогічній діяльності : навч.-метод. посіб. / Т.І. Коваль. – К. : Вид. центр НЛУ, 2009. – 380 с.

					КвРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

12. Козлакова Г.О. Теоретичні і методичні основи застосування інформаційних технологій у вищій технічній освіті: Монографія. – К. : ІЗМН, ВПОЛ, 1997. –180 с.

13. Козяр М.М. Віртуальний університет : навч.-метод. посіб. / [М.М. Козяр, О.Б. Зачко, Т.Є. Рак]. – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2009. – 168 с.

14. Mathy Vanhoef and Frank Piessens. Predicting, decrypting, and abusing wpa2/802.11 group keys. In 25th USENIX Security Symposium, USENIX Security 16, 2016 – 673с.

15. Tanenbaum A. Computer Networks / A. Tanenbaum, D. Wetherall. – New 92

16. Стандарт локальних мереж іеее 802.11 wi fi. [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://beloshop.ru/uk/ethernet-standard-ieee-80211-wi-fi/>

17. Some WLAN Network Topologies – BSS, IBSS, Mesh BSS and P2P [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.hitchhikersguidetolearning.com/2017/09/17/some-wlan-network-topologies-bss-ibss-mesh-bss-and-p2p/>

18. Wireless LAN (WLAN) [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до мережі: <http://www.hitchhikersguidetolearning.com/wireless-lan-wlan-articles/>

19. Wi-Fi [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.

20. Wi-Fi сети: проникновение и защита. 3) WPA. OpenCL/CUDA.

21. Статистика подбора [Електронний ресурс]. - 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://m.habr.com/ua/post/226431/ersey>; Pearson, 2012. – 959 с.

					КВРТР.2019026.01.06 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE

Виконав:
студент групи ТР1с-19-1

Ліпінський Б.О.

Науковий керівник:
кандидат військових наук, доцент

Лужанський В.І.



Технічне завдання

Мета роботи: дослідження характеристик мобільної передачі даних технології LTE.

Технічне завдання:

- провести аналіз основних параметрів, характеристик та архітектур мереж LTE та 4G;
- провести порівняльний аналіз мереж LTE та 4G;
- дослідити порівняння базових станцій;
- дослідити внутрішньосистемні завади, за допомогою аналізатора базових станцій



3

Аналіз технології та архітектура мережі 4G

4G LTE

4G (4th Generation) – четверте покоління мобільного зв'язку.

1G 2G GSM 2.5G EDGE 3G UMTS 3.5G HSPA 4G LTE

VOIP

4G

4

Що таке LTE?

Основні параметри технології LTE

LTE – Long-Term Evolution)
E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

- LTE – довготривала еволюція
- Еволюційний етап від GSM до UMTS
- Стандарт стільникової технології 4-го покоління від 3-го Generation Partnership Project (3GPP)
- Розгорнуто по всьому світу, і кількість установок швидко збільшується
- LTE повністю комутується пакетами
- Технологія, яка забезпечує підвищену швидкість передачі даних

Технологія множинного доступу:	<ul style="list-style-type: none"> • прямий канал (Downlink - DL) - OFDMA; • зворотний канал (Uplink - UL) - SC-FDMA;
Робочий діапазон частот:	<ul style="list-style-type: none"> • 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; • 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 – 2,5 ГГц; 2,6 – 2,7 ГГц.
Бітова швидкість:	<ul style="list-style-type: none"> • прямий канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбіт/с; • зворотний канал (UL): 50 - 172,8 Мбіт/с.
Ширина лінії радіоканалу:	<ul style="list-style-type: none"> • 1,4 - 20 МГц.
Радіус осередку:	<ul style="list-style-type: none"> • 5 – 30 км.
Ємність осередку (к-ть абонентів, що обслуговуються):	<ul style="list-style-type: none"> • понад 200 користувачів при смузі 5 МГц; • більше 400 користувачів при смузі понад 5 МГц.
Мобільність:	<ul style="list-style-type: none"> • швидкість переміщення до 250 км/год.
Параметри MIMO:	<ul style="list-style-type: none"> • прямий канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX; • зворотний канал (UL): 2TX×2RX.
Зазначення затримки (latency):	<ul style="list-style-type: none"> • 5мс.
Спектральна ефективність:	<ul style="list-style-type: none"> • 5 біт/сек/Гц.
Підтримувані типи модуляції:	<ul style="list-style-type: none"> • прямий канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM. • зворотний канал (UL): QPSK, 16 QAM.
Дуплексний поділ каналів:	<ul style="list-style-type: none"> • FDD, TDD.

Планування мереж LTE

Найменування	Відмінності в плануванні мереж мобільного зв'язку різних поколінь		
	LTE	GSM	WCDMA
Планування частотного ресурсу	Розподіл фрагментів смуги системи між користувачами базових станцій	Розподіл частотних каналів між базовими станціями	Не потрібно
Наявність регулярної методики планування	Немає	Є	Є
Комутація	Пакетів (все через IP)	Каналів, пакетів	Каналів, пакетів
Передача інформації	OFDM	Вузькосмуговий сигнал	Широкосмуговий сигнал
Профіль трафіку	VoIP, потокове відео, мобільний інтернет, фоновий трафік	Мова, мобільний інтернет, фоновий трафік	Мова, потокове відео, мобільний інтернет, фоновий трафік
Дисципліна обслуговування	VoIP - система масового обслуговування (СМО) з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами. Потокове відео - СМО без затримок	Мова - СМО з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами.	Мова - СМО з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами. Потокове відео - СМО без затримок

Метод множинного доступу

- OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access
- SC-FDMA - Single Carrier Frequency Division Multiple Access



Рис. 2 - OFDM vs OFDMA технології

Оцінка пропускнуої здатності мережі стандарту LTE

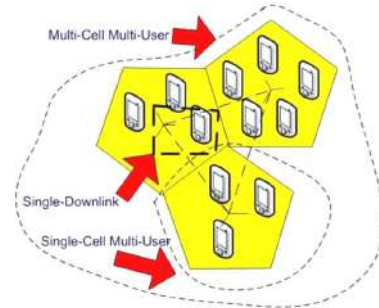


Рис. 1 - Сценарії для оцінки параметрів мережі стандарту LTE

Single-Downlink - сценарій, в якому оцінюються тільки одне спадне з'єднання між базовою станцією і абонентським обладнанням одного користувача

Single-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються з'єднання з потенційно активними користувачами в межах однієї соти.

Multi-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються основні параметри мережі

MIMO - багатоантенні технології в LTE

MIMO – Multiple Input Multiple Output – метод просторового кодування сигналу.

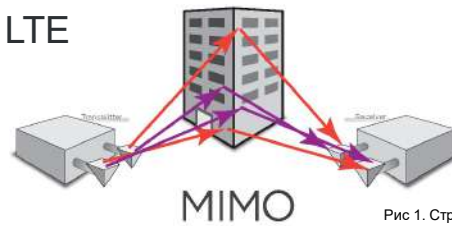
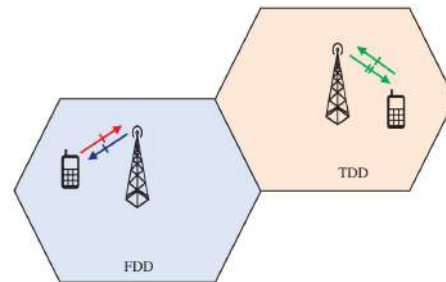


Рис. 1. Структура MIMO

Частотне планування

Режими:

- FDD – Frequency Division Duplex
- TDD – Time Division Duplex



Мережева архітектура LTE

- **UE** - устаткування користувача
- **E-UTRAN** - розвинена наземна мережа радіодоступу UMTS
- **EPC** - Evolved Packet Core - еволюційне пакетне ядро

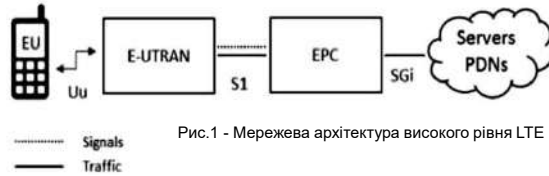


Рис.1 - Мережева архітектура високого рівня LTE

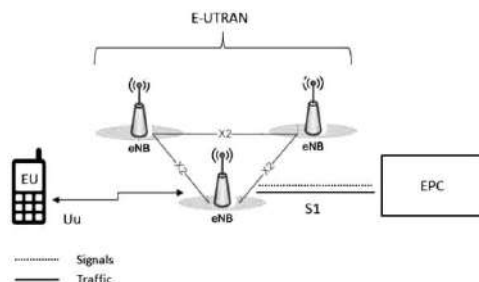


Рис.2 - Архітектура розвиненої наземної мережі радіодоступу E-UTRAN

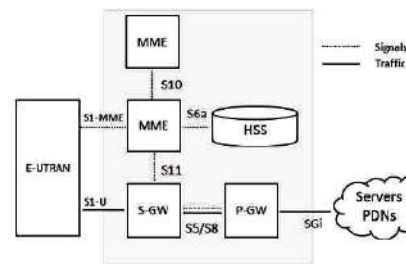


Рис.3 - Архітектура EPC



Переваги та недоліки 4G

Переваги

- **Висока пропускна здатність:** висока швидкість передачі даних може бути досягнута як в низхідній лінії зв'язку, так і в висхідній лінії зв'язку. Це викликає високу пропускну здатність.
- **Низька затримка:** час, необхідний для підключення до мережі, знаходиться в діапазоні декількох сотень мілісекунд, і тепер стану енергозбереження можна вводити і виходити дуже швидко.
- **FDD і TDD на одній платформі:** дуплекс з частотним поділом (FDD) і дуплекс з тимчасовим поділом (TDD), обидві схеми можуть використовуватися на одній платформі.
- **Чудова взаємодія з кінцевим користувачем:** Оптимізована сигналізація для встановлення з'єднання і інших процедур радіоінтерфейсу і управління мобільністю ще більше поліпшила взаємодія з користувачем. Зменшена затримка (до 10 мс) для кращої взаємодії з користувачем.
- **Безшовне з'єднання:** LTE також буде підтримувати безшовне з'єднання з існуючими мережами, такими як GSM, CDMA і WCDMA.
- **Підключи і грай:** користувачеві не потрібно вручну встановлювати драйвери для пристроїв. Замість цього система автоматично розпізнає пристрій, завантажує нові драйвери для обладнання, якщо це необхідно, і починає працювати знову підключеним пристроєм.
- Проста архітектура: через простий архітектури низькі експлуатаційні витрати (OPEX).

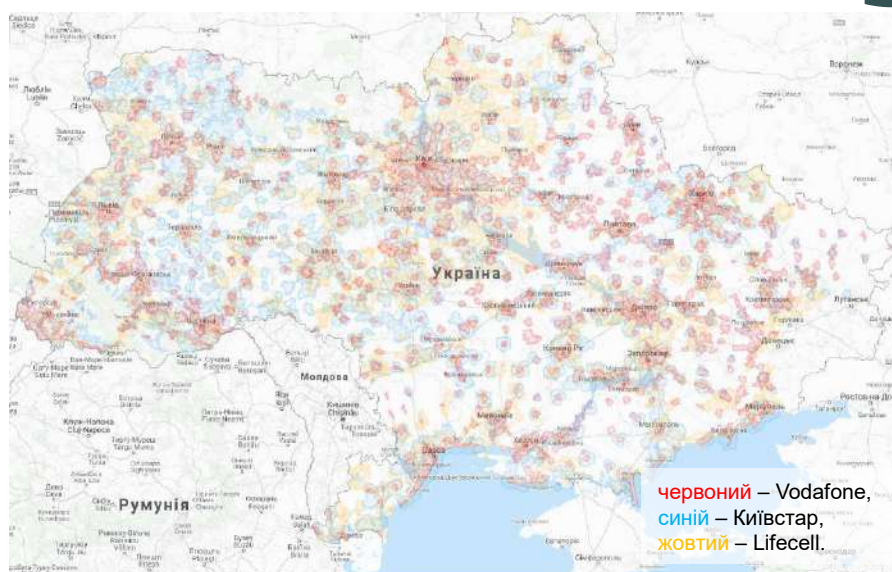
Недоліки

- відсутність наступності до технології UMTS / HSPA.
- необхідність модернізації транспортної мережі оператора зв'язку, для якісного надання послуг.



9

LTE в Україні



червоний – Vodafone,
синій – Київстар,
жовтий – Lifecell.

Рис. 1 - Покриття операторів України, технологія UMTS.

10

Експериментальна частина. Оцінка обладнання базової станції

Перелік обладнання для проведення експерименту :

- ноутбук із програмним забезпеченням та можливістю вимірювань для технології LTE;
- антена;
- мобільний термінал, з тестовою SIM картою, зареєстрована у мережі 4G;
- скануючий приймач – Anritsu BTS Master для сканування каналів;
- USB-модем ZTE MF91D E589.

Перелік основних робіт:

- проведення та аналіз експерименту в зоні покриття БС;
- аналіз даних експерименту у динамічному режимі.



Рис. 1 – Схема підключення обладнання

Порівняння базових станцій та дослідження характеристик

Обов'язкова умова для проведення експерименту – це швидкість руху автомобіля при проведенні драйв тесту повинна бути рівномірною протягом усього шляху і не перевищувати 60 км/год.

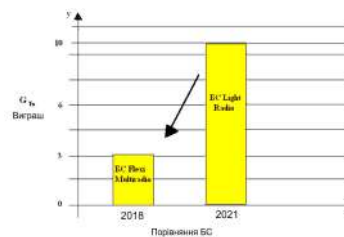


Рис. 1 – Порівняння покоління базових станцій

Таблиця 1 – Показники якості послуг, обумовлені в статичному режимі.

№	Показники	Цільове значення
1	Відсоток успішного приєднання до мережі (Attach Success Rate), %	98,5%
2	Відсоток успішного запиту сервісу (Service Request (EPS) Success Rate), %	98%
3	Норма помилок у виділеній пакетної системи (EPS Drop Rate), %	1%
4	Успішність хендвера всередині LTE, (E-UTRAN HO Success Ratio), %	98,5%
5	Швидкість передачі даних на соту лінії «вгору» (Змінюється на користувача при можливості розрахунку) (Cell Throughput UL) ширина смуги: 5 МГц	4 Мбіт/с
6	Швидкість передачі даних на соту лінії «вниз» (Змінюється на користувача при можливості розрахунку) (Cell Throughput DL) ширина смуги: 5 МГц	10 Мбіт/с

Таблиця 2 – Показники якості послуг, їх значення в динамічному режимі, визначені в результатах порівняльного польового тестування БС.

№	Показник	Flexi Multiradio	Light Radio
1	Відсоток успішного приєднання до мережі (Attach Success Rate) [%]	84%	96,5%
2	Відсоток успішного запиту сервісу (Service Request (EPS) Success Rate) [%]	92%	98%
3	Оцінка втрати пакету при нормі помилок (Packet Loss Rate Service Drop Rate [%])	3%	1%
4	Успішність хендвера всередині LTE, (E-UTRAN HO Success Ratio), %	88,5 %	98 %
5	Середня швидкість ПД 1 користувача на лінії «вгору», ширина смуги: 5 МГц (LTE Average Single User UL Data Rate [Mbps] BW: 5MHz)	4 Мбіт/с	8 Мбіт/с
6	Середня швидкість ПД 1 користувача на лінії «вниз», ширина смуги 5 МГц (LTE Average Single User DL Data Rate [Mbps] BW: 5MHz)	7 Мбіт/с	10 Мбіт/с
7	Виграш в районі з щільною міською забудовою	3 dB	10 dB

Розрахунок пропускної спроможності мережі

Таблиця 1 – Середня спектральна ефективність мережі LTE

Лінія (біт/с/Гц)	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність
UL	1x2	1,254
	1x4	1,829
DL	2x2	2,93
	4x2	3,43
	4x4	4,48

Для системи FDD середня пропускна здатність 1 сектора eNB може бути отримана шляхом прямого множення ширини каналу спектральну ефективність каналу:

$$R = S \cdot W \quad (1)$$

Для лінії DL: $R_{DL} = 3,43 \cdot 10 = 34,3$ Мбіт/с

Для лінії UL: $R_{UL} = 1,829 \cdot 10 = 18,29$ Мбіт/с

Середня пропускна здатність базової станції R_{eNB} обчислюється шляхом множення пропускної спроможності одного сектора кількості секторів базової станції; число секторів eNB прийемо рівне 3, тоді:

$$R_{eNB} = R_{DL} / UK \cdot 3 \quad (2)$$

Для лінії DL: $R_{eNB,DL} = 34,3 \cdot 3 = 102,9$ Мбіт/с

Для лінії UL: $R_{eNB,UL} = 18,29 \cdot 3 = 54,87$ Мбіт/с

Загальна кількість каналів N_k розраховується за формулою:

$$N_k = \Delta f \sum \Delta f_k \quad N_k = 71 \sum 180 \approx 395 \text{ каналів} \quad (3)$$

Число каналів $N_{k,сек}$ яке необхідно використовувати для обслуговування абонентів в одному секторі однієї стільниці:

$$N_{k,сек} = N_k / N_{кл} / M_{сек} \quad N_{k,сек} = 395 / 3 / 3 = 43 \text{ каналів} \quad (4)$$

Число каналів трафіку в одному секторі однієї стільниці $N_{кт,сек}$:

$$N_{кт,сек} = N_{км1} \cdot N_{k,сек} \quad N_{кт,сек} = 1 \cdot 43 \approx 43 \text{ каналів} \quad (5)$$

Число абонентів, яке обслуговуватиметься однією eNB

$$N_{аб,eNB} = M_{сек} \cdot A_{сек} \cdot A1 \quad N_{аб,eNB} = 3 \cdot 249,6 \approx 750 \text{ абонентів}$$

Число базових станцій eNB у проєктованій мережі LTE:

Кількість потенційних абонентів визначимо як 20% від загальної кількості мешканців міста Старокостянтинів, Хмельницької обл.

$$N_{eNB} = N_{аб} / N_{аб,eNB} + 1 \quad N_{eNB} = 4900 / 750 + 1 \approx 7 \text{ eNB} \quad (7)$$

Середня запланована пропускна здатність RN проєктованої мережі визначимо шляхом множення кількості eNB на середню пропуску здатність eNB.

$$R_N = R_{eNB,DL} + R_{eNB,UL} \cdot N_{eNB} \quad R_N = (102,9 + 54,87) \cdot 7 = 1104,39 \text{ Мбіт/с} \quad (8)$$

Усереднений трафік одного абонента в ПНН:

$$R_{м,чНН} = T_m \cdot q / N_{чНН} / N_{\phi} \quad R_{м,чНН} = 30 \cdot 2 / 7 / 30 = 0,28 \text{ Мбіт/с} \quad (9)$$

Загальний трафік проєктованої мережі в ЧНН $R_{заг,чНН}$

$$R_{заг,чНН} = R_{м,чНН} \cdot N_{акт,аб} \quad R_{заг,чНН} = 0,28 \cdot 3920 = 1097,6 \text{ Мбіт/с} \quad (10)$$

$R_N > R_{заг,чНН}$ показує, що досліджувана мережа не зазнаватиме перевантажень у ЧНН.



Аналіз покриття

Розрахункові параметри :

- системна смуга: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- eNB – на кожному секторі один TRX, вихідна потужність TRX = 40 Вт (46 дБм);
- працює на лінії DL у режимі MIMO 2x2;
- UE – абонентський термінал – USB-модем, клас 4 - EIBП 33 дБм;
- співвідношення тривалості кадрів DL/UL: 100%/100%.

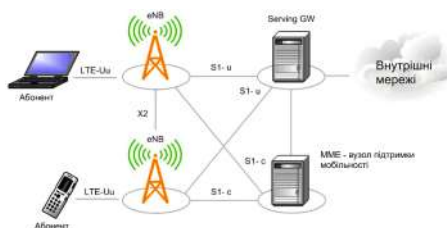


Рис. 1 – Принцип розрахунку максимально допустимих втрат лінії

Максимально допустимі втрати:

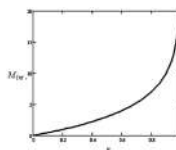
$$L_{МДВ} = P_{EIBПпрод} - S_{д,пр} + G_{А,пр} - L_{Ф,пр} - M_{прон} - M_{зав} - M_{затен} + G_{х0} \quad (1)$$

$$L_{МАРЛ} = 70 + 97,6 + 12 - 0,3 - 6,9 - 17 - 9 + 3 = 149,4$$

де $P_{EIBП}$ – EIBП передавача, =70 дБ;
 S_{Rx} – чутливість приймача, =-97,6 дБ;
 G_{RxA} – коефіцієнт посилення антени, = 12 дБ;
 L_{RxF} – втрати у фідерному тракті, = 03 дБ;
 M_{Build} – запас на проникнення в приміщення, = 17 дБ;
 M_{Int} – запас на внутрішньосистемні завади, дБ;
 M_{Shade} – запас на затінення, = 9 дБ;
 G_{HO} – вигравш від хендовера, = 3 дБ.

Запас на завади M_{Int} , дБ

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) = -10 \cdot \lg(1 - \eta) = -10 \cdot \lg 0,2 = 6,9 \text{ дБ} \quad (2)$$



При зростанні навантаження до 100% запас на завади прагне нескінченності і зона обслуговування стільника зменшується до нуля.

Рис. 2 – Залежність значення запасу на внутрішньосистемні завади від значення відносного завантаження стільника.

Розрахунок мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача базової станції:

$$P_{пр} = P_{ш} + (E_b / N_0)_{необх} - G_{обр} + L_n - G_{х0} = -105,2 + 1,7 - 10 + 3 - 2 = -112,5 \text{ дБмВт} \quad (3)$$

ВИСНОВКИ

У процесі виконання випускного кваліфікаційного проєкту відповідно до технічного завдання:

- проведено аналіз основних параметрів, характеристик та архітектур мереж LTE та 4G.
- проведено порівняльний аналіз мереж LTE та 4G;
- досліджено порівняння базових станцій;
- досліджено внутрішньосистемні завади, за допомогою аналізатора базових станцій

У роботі також було проведено експериментальні дослідження та розрахункова частина



ДЯКУЮ
ЗА УВАГУ!



Завідувачу кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
д.т.н., професору Мартинюку В.В,
здобувача вищої освіти
Ліпінського Б.О.
ФІТ, гр. ТР1с-19-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 травня 2022 р.
дата


підпис

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1011528515

Дата перевірки:
09.06.2022 22:46:17 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
09.06.2022 22:50:21 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: КвРТР_Ліпінський_ТР1с-19-1

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 12890 Кількість символів: 95420 Розмір файлу: 2.26 MB ID файлу: 1011401733

18.3% Схожість

Найбільша схожість: 4.18% з Інтернет-джерелом (<https://knowledge.allbest.ru/radio/2c0b65635b3bc78a5c43a88421216c3>).

18.3% Джерела з Інтернету

77

Сторінка 68

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

186

Fri Jun 10 12:16:37 EEST 2022, Федун Микола Васильович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 2.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибка в документах: 11%

ID: 104994 Назва: Бакалаврська кваліфікаційна робота Добавлено в БД: 2022-06-10 Автор: Ліпінський В. Руководитель: Лужанський В.І. Консультант: Оценитель:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	88045	685	3477 (4%)	46 (7%)

Источник плагиата

ID	Описание	Найдены плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

РІШЕННЯ

кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE

Автор: Ліпінський Богдан Олександрович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.в.н., доцент Лужанський Віктор Ігорович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	відповідає
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 18,3% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«09» червня 2022 р.

Науковий керівник

Завідувач кафедрою АКІТ



Лужанський В.І.

Мартинюк В.В.

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу

студента групи ТР1с-19-1 Ліпінського Б.О.

«ОЦІНКА ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ РАДІОДОСТУПУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE»

На сьогоднішній день мережі на базі технології LTE в світі отримали розвиток, з'являються перші практичні реалізації невеликих мереж. Мета даного кваліфікаційного проекту – дослідження характеристик мобільної передачі даних технології LTE.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження параметрів мобільної передачі даних за технологією LTE. Ця технологія є масштабованою, найбільш ефективною з точки зору питомих витрат на абонента та використання доступного частотного діапазону, а також здатна запропонувати високі якісні параметри для розвитку сервісів – високу смугу пропускання (до 450 Мбіт/с на базову станцію) та низький рівень затримок (до 20 мс).

У роботі проведені експериментальні дослідження, та представлена розрахункова частина. Під час роботи над кваліфікаційною роботою Ліпінський Б.О. виконав детальний аналіз вітчизняної, закордонної технічної літератури та патентних матеріалів, що дозволило прийняти оптимальні рішення під час виконання роботи.

Під час виконання роботи Ліпінський Б.О проявив креативність, ініціативність, старанність, наполегливість, здатність та вміння застосовувати набуті знання для вирішення складних завдань, обізнаність у сучасних системних та інформаційних технологіях.

Кваліфікаційну роботу виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студент Ліпінський Б.О заслуговує оцінки *«добре»*.

Керівник:
к.в.н., доцент



Лужанський В.І.

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ліпінський Богдан Олександрович

Тема роботи: Оцінка основних параметрів якості радіодоступу на базі технології LTE

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 0 Кількість сторінок записки 68

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження Метою кваліфікаційної роботи є дослідження характеристик мобільної передачі даних технології LTE У даній кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження параметрів мобільної передачі даних за технологією LTE. Ця технологія є масштабованою, найбільш ефективною з точки зору питомих витрат на абонента та використання доступного частотного діапазону, а також здатна запропонувати високі якісні параметри для розвитку сервісів – високу смугу пропускання (до 450 Мбіт/с на базову станцію) та низький рівень затримок (до 20 мс). У роботі проведені експериментальні дослідження, та представлена розрахункова частина.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи: У першому розділі розглянуто історію виникнення четвертого покоління бездротового зв'язку стандарту LTE, показано основні особливості цієї технології, проведено порівняння з технологією третього покоління UMTS, в тому числі реальним тестуванням. Було розглянуто архітектуру мережі, коротко показано функції кожного елемента, особливості частотного спектру, що використовується для роботи мережі та організацію фізичного каналу. В другому розділі відображено результати проведення експериментальних досліджень показників базових станцій, і навіть їх порівняння. Експерименти проводилися за допомогою використання аналізатора базових станцій Anritsu BTS Master, а також були взяті базові станції Flexi Multiradio від Nokia Siemens Networks і Light Radio від Alcatel-Lucent. В третьому розділі досліджено внутрішньосистемні завади, за допомогою аналізатора базових станцій. Внутрішньосистемні завади є основними недоліками, які мінімізуються завдяки координації завод між стільниками, гнучкому частотному плану. Також розраховано частину

Старокостянтинівського району зі щільною забудовою. Для цільової мережі було обрано частотну смугу 1800 МГц, а ширину каналу – 20 МГц.

4. Позитивні сторони роботи: За результатами досліджень, проведених у роботі, можна відзначити, що скануючий приймач реалізує критично важливі аспекти атестації мереж LTE: моделювання дій користувачів та роботи мережевих сервісів, відмінну масштабованість тестового середовища.

5. Негативні сторони роботи: У роботі бажано було б більш детально розглянути питання експериментального дослідження. Присутні невеликі граматичні помилки. Однак, ці недоліки не мають принципового значення, суттєво не впливають на кінцевий результат і не знижують загального враження від проведеної роботи

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: немає

7. Відгук про роботу в цілому: В цілому кваліфікаційно робота виконано на високому технічному рівні, вона має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій

8. Інші зауваження: немає

9. Оцінка кваліфікаційної роботи: Кваліфікаційна робота відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки добре (4,0/С), а її автору Ліпінський Б.О., присвоєння кваліфікації бакалавра зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка»

10. Рецензент Бойко Юлій Миколайович – д.т.н., професор кафедри ТМІТ

«07» червня 2022р.


підпис