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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS»

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

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



(підпис) Іван ОСТРОВСЬКИЙ (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Іван ОСТРОВСЬКИЙ

Керівник: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Рецензент: Оксана Тколенко

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

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

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Островському Івану Анатолійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS»,
керівник кваліфікаційної роботи Віталій СТРЕЛЬНІКОВ, доктор філософії
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
1. Стандарти мобільного зв'язку.
2. Технології модернізації базових станцій.
3. Розрахунок швидкості передачі даних LTE.
4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. Аналіз телекомунікаційного ринку, виявлення тенденцій зростання споживання послуг та способи забезпечення якості таких послуг в умовах постійного зростання.
2. Визначення показників якості послуг мобільного зв'язку та аналіз архітектури, технологій та ресурсів наявних мереж мобільного зв'язку.
3. Розроблення методу модернізації та розрахунок очікуваних значень показників якості сервісів, які можуть бути досягнуті в результаті застосування цього метода.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Стандарти мобільного зв'язку	31.10.23	Викон.
3.	Технології модернізації базових станцій	15.11.23	Викон.
4.	Розрахунок швидкості передачі даних LTE	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти Іван ОСТРОВСЬКИЙ

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 90 стор., 23 рис., 9 табл., 41 дж.

Мета роботи – розробка методу підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS.

Об'єкт дослідження – процеси пакетної передачі даних в телекомунікаційних мережах.

Предмет дослідження – методи модернізації базових станцій UMTS для впровадження технології LTE з метою забезпечення показників QoS для сервісів з пакетною передачею даних.

Короткий зміст роботи: У роботі досліджено питання та можливості модернізації базової станції типу NodeB. Описана функціональна схема переходу від радіопідсистеми UTRAN до E-UTRAN. Розглянуто можливості технічної модернізації базової станцій NodeB до рівня eNodeB. Проведено розрахунок швидкості передачі базової станції eNodeB.

Розроблено метод модернізації базових станцій NodeB до рівня eNodeB та можливостей впровадження нових функцій. Було здійснено порівняння технічних рішень модернізації базових станцій виробника Nokia та ZTE. Розраховані значення записано в таблицях, відображено на рисунках та побудованих графіках.

КЛЮЧОВІ СЛОВ: БАЗОВА СТАНЦІЯ NodeB; ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ QoS, РАДІОПІДСИСТЕМА UTRAN, LTE, ШВИДКІСТЬ, УНІВЕРСАЛЬНА МОБІЛЬНА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА (UMTS).

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 90 pages, 23 pictures, 9 table, 41 sources.

The purpose of the work – development of a method for improving the quality of telecommunication services by implementing LTE 2100 at UMTS base stations.

Object of research – processes of packet data transmission in telecommunication networks.

Subject of research – methods of modernization of UMTS base stations for the introduction of LTE technology in order to ensure QoS indicators for services with packet data transmission.

Summary of the work: The paper examines the issues and possibilities of modernization of the NodeB type base station. The functional scheme of the transition from the radio subsystem UTRAN to E-UTRAN is described. The possibilities of technical modernization of NodeB base stations to the eNodeB level are considered. The transmission rate of the eNodeB base station was calculated.

A method of upgrading NodeB base stations to the eNodeB level and the possibility of introducing new functions has been developed. A comparison was made of technical solutions for the modernization of base stations manufactured by Nokia and ZTE. Calculated values are recorded in tables, displayed in figures and graphs.

KEYWORDS: BASE STATION NodeB; QUALITY OF SERVICE QoS, UTRAN RADIO SUBSYSTEM, LTE, SPEED, UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM (UMTS).

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

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

Направляється здобувач Островський І.А. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

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

на тему: Метод підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

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

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

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

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Островського Івана Анатолійовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій СТРЕЛЬНІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Островський І.А.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

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

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Островського Івана Анатолійовича

на тему: «Метод підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS»

Актуальність:

Постійне зростання використання сервісів, заснованих на пакетній передачі даних, обумовлює необхідність впровадження технології LTE, що вимагає використання базових станцій eNodeB, поширеність яких у вітчизняних мережах мобільного зв'язку є недостатньою. Тому роботи, направлені на розроблення ефективних способів модернізації розповсюджених в вітчизняних мережах базових станцій NodeB з метою забезпечення умов впровадження технології LTE, є актуальними і важливими з огляду на необхідність забезпечувати затребуваний обсяг та якість обслуговування користувачів мобільних мереж.

Позитивні сторони:

1. До важливих переваг запропонованого в магістерській роботі методу підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS слід віднести повторне використання існуючого обладнання базових станцій NodeB та створення передумов для впровадження таких новітніх технологій, як MIMO та CA.
2. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показав високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.
3. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Широко використовується сучасна науково-технічна література, включаючи англомовні видання.

Недоліки:

1. В роботі недостатньо детально розглянуто технічне рішення ZTE UNI-RAN, що не дає можливості аргументовано підійти до вибору найкращого технічного рішення.

2. Нажаль в роботі відсутні розрахунки значень вибраних показників якості (PSNR та MOS) при умові застосування запропонованого методу.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач ОСТРОВСЬКИЙ Іван Анатолійович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к. т. н. доц. каф. ІПЗАС _____ Оксана ТКАЛЕНКО
(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 10

ВСТУП 11

1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ, ОРІЄНТОВАНИХ НА ПАКЕТНУ ПЕРЕДАЧУ ДАНИХ 14

1.1 Розвиток мобільного зв'язку 14

1.2 Сучасний стан мобільного зв'язку в Україні 18

1.3 Універсальна мобільна телекомунікаційна система (UMTS) 20

1.3.1 Наземна мережа радіодоступу UTRAN 26

1.3.2 Загальна архітектура протоколів UTRAN 29

1.4 Світова тенденція модернізації мереж UMTS 30

1.5 Якість надання телекомунікаційних послуг (QoS) 32

2. АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ АДАПТАЦІЇ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ ДО ВИМОГ QoS В ТЕХНОЛОГІЇ LTE 46

2.1 Розвиток та цілі LTE 46

2.2. Структура та побудова технології LTE 48

2.2.1 Архітектура LTE 48

2.2.2 Процедури Non Access Stratum 52

2.2.3 Мережа радіодоступу E-UTRAN 54

2.2.4 . Інтерфейс X2 мережі E-UTRAN 58

2.3 Критерії PSNR та MOS для оцінки якості передачі мультимедійної інформації в LTE 60

2.4 Забезпечення якості обслуговування в потоках ESP 62

3. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ NodeB ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE 67

3.1. Аналіз та вибір технічних рішень для модернізації базових станцій 69

3.2. Розроблення частотного плану для впровадження LTE 2100 74
ВИСНОВКИ 83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 85
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

LTE	Long Term Evolution, мобільний стандарт передавання даних
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Універсальна Мобільна Телекомунікаційна Система
GSM	Global System for Mobile Communications, Глобальна Система Мобільного зв'язку
3GPP	3rd Generation Partnership Project, партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, Європейський Інститут Телекомунікаційних Стандартів
KPI	Key Performance Indicators, ключові показники ефективності
QoS	Quality of service, якість обслуговування
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio, пікове співвідношення сигналу до шуму
MOS	Mean Opinion Score, метрика основана на споживацькому враженні
NodeB	Базова станція стандарта UMTS
eNodeB	Базова станція стандарта LTE
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network, радіопідсистема стандарту UMTS
EUTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, радіопідсистема стандарту LTE
EPC	Evolved Packet Core, ядро мережі LTE
RNC	Radio Network Controller, контролер радіомережі UMTS
RAN	Radio Access Network, мережа радіодоступу
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, квадратурно-амплітудна модуляція
MIMO	Multiple Input Multiple Output, система зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами
CA	Carrier Aggregation, агрегація несучої
ITU	International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, Міжнародного союзу електрозв'язку

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку міжнародного і вітчизняного ринку мобільного зв'язку полягають у постійному збільшенні використання сервісів, пов'язаних з пакетною передачею даних та зростання вимог до якості таких сервісів. В зв'язку з цим необхідно здійснювати контроль якості сервісів (Quality of Service, QoS) та адаптувати пакетну передачу даних до вимог, що висуваються користувачами в кожному конкретному випадку. Технологія Long Term Evolution (LTE), яка широко використовується мобільними операторами на рівні основної мережі (Core Network), має механізми контролю та управління адаптацією пакетної передачі даних під вимоги QoS. З іншого боку, ефективність використання технології LTE залежить від масовості використання базових станцій eNodeB, що, нажаль, не є притаманним сучасному стану вітчизняних мереж мобільного зв'язку. Тому підвищення показників QoS для вітчизняних мереж мобільного зв'язку є актуальним завданням.

Мета роботи полягає у підвищенні якості надання телекомунікаційних послуг у вітчизняних мережах мобільного зв'язку за рахунок розроблення та використання нового методу надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS. Для досягнення мети роботи необхідно: визначити показники якості послуг мобільного зв'язку, проаналізувати архітектуру, технології та ресурси наявних мереж мобільного зв'язку.

Об'єктом дослідження є процеси пакетної передачі даних в телекомунікаційних мережах.

Предметом дослідження є способи модернізації базових станцій UMTS для впровадження технології LTE з метою забезпечення показників QoS для сервісів з пакетною передачею даних.

Для досягнення мети магістерської роботи в ній вирішуються наступні завдання:

1. Аналіз телекомунікаційного ринку, зокрема споживання послуг, орієнтованих на пакетну передачу даних, з метою виявлення тенденцій зростання

споживання таких послуг та способів забезпечення якості таких послуг в умовах постійного зростання, як обсягів споживання, так і якості, що вимагається споживачами.

2. Визначення показників якості послуг мобільного зв'язку та аналіз архітектури, технологій та ресурсів наявних мереж мобільного зв'язку.

3. Розроблення методу модернізації та розрахунок очікуваних значень показників якості сервісів, яке може бути досягнуте в результаті застосування цього метода.

Структура магістерської роботи складається з вступу, трьох розділів, висновків по роботі та переліку з 41 посилань, викладених на 90 сторінках друкованого тексту, а також містить 23 рисунки та 9 таблиць.

В першому розділі встановлено, що конкурентоспроможність операторів мобільного зв'язку на теперішньому етапі все більше визначається якістю наданих ними послуг. Конкретний зміст показників якості визначається самими операторами мобільного зв'язку та умовами, які складаються на ринку послуг (вимоги користувачів та регуляторів ринку). Тенденція зростання споживання послуг та необхідність забезпечення при цьому конкурентноздатного рівня якості послуг вимагають необхідність модернізації мереж. Відомий успішний досвід модернізації мереж мобільними операторами з різних країн може бути врахований для підвищення якості надання телекомунікаційних послуг вітчизняними операторами.

В другому розділі в рамках вирішення другого завдання магістерської роботи встановлено, що для більшості сервісів, заснованих на пакетній передачі даних, комплексне використання таких показників QoS, як PSNR та MOS забезпечує можливість технічного контролю якості сервісів та врахування при цьому суб'єктивних очікувань користувачів. Ці дані можуть бути використані для адаптації системи передачі даних з метою забезпечення затребуваного рівня якості сервісів.

Третій розділ присвячено розробці методу підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях

UMTS. Запропоновано функціональну схему, яка відображає основну ідею підходу до модернізації базових станцій NodeB для впровадження технології LTE, яка полягає у повторному використанні підсистем і обладнання базових станцій.

У висновках до магістерської роботи проаналізовано ступінь досягнення мети роботи за рахунок розроблення методу підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS. Також зроблені пропозиції щодо подальшого вдосконалення розробленого методу.

1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ, ОРІЄНТОВАНИХ НА ПАКЕТНУ ПЕРЕДАЧУ ДАНИХ

1.1 Розвиток мобільного зв'язку

За останні кілька десятиліть мобільний зв'язок зазнав значного прогресу, змінюючи способи спілкування та доступу до інформації. Основи сучасних мобільних мереж були закладені ще в 1940-х роках, але знадобився деякий час, щоб сама технологія розвинулась для особистого використання. 1980-ті роки можна вважати першою реальною віхою в розвитку мобільних мереж, що використовуються сьогодні[1].

Ці ранні мобільні мережі, які ми зараз назвали б 1G (Мобільні мережі першого покоління) , використовували аналогові технології, а прикладами були AMPS (Advanced Mobile Phone System) у Сполучених Штатах та NMT (Nordic Mobile Telephone System) у Європі.

В першу чергу вона була розроблена для голосових дзвінків, а сама технологія була набагато простішою, якщо порівнювати з пізнішими поколіннями. Мережі першого покоління мали ряд недоліків, аналогова технологія забезпечувала обмежену пропускну здатність і відносно низьку якість зв'язку. Можливо, найбільшим недоліком цих ранніх мереж була повна відсутність безпеки, тобто дзвінки були сприйнятливі до прослуховування та перешкод.

У 1990-х роках з'явилися мобільні мережі 2G, які ознаменували значний стрибок вперед у порівнянні з обмеженнями своїх попередників 1G. Мережі 2G прийняли цифрові методи передачі, що призвело до певних вдосконалень, які зробили революцію в індустрії мобільного зв'язку. Використання цифрових сигналів зробило мережі 2G набагато ефективнішими, що дозволило збільшити кількість одночасних дзвінків і користувачів у мережі. Збільшення пропускної здатності, а також розвиток у зменшенні фізичного розміру та вартості мобільних

телефонів мали вирішальне значення для вибухового зростання попиту на послуги мобільного зв'язку.

Ще однією визначальною особливістю стало впровадження SMS (Short Message Service), що дозволяє користувачам вперше надсилати текстові повідомлення. Незважаючи на те, що ця функція була доступна з самого початку існування мережі GSM, вона стала популярною лише в 1990-х і 2000-х роках, коли її використання різко зросло, оскільки вона ставала все більш популярним і економічно ефективним способом зв'язку між користувачами.

У мережах 2G використовувалося кілька конкуруючих і несумісних між собою технологій: GSM, яка спочатку була розгорнута в Європі, але стала популярною в усьому світі, D-AMPS (цифрова еволюція більш ранньої технології AMPS) , cdmaOne (Code Division Multiple Access) в США та PDC (Personal Digital Cellular) в Японії.

На початку 2000-х років, з'явилися мережі третього покоління, які відкрили еру мобільного інтернету. Третє покоління мобільного зв'язку забезпечило вищу швидкість передачі даних, дозволивши користувачам переглядати веб-сторінки, надсилати електронні листи та отримувати доступ до основного мультимедійного контенту на своїх телефонах. Цей прорив заклав основу для різних мобільних додатків і сервісів, перетворивши мобільні пристрої в потужні інструменти для інформації та розваг.

Однією з визначальних характеристик 3G (Третє покоління зв'язку) було значне збільшення обсягів даних і нових можливостей, яким це сприяло. У перші дні 3G відеодзвінки між мобільними пристроями стали доступними, і очікувалося, що вони стануть значним фактором з точки зору використання пристроїв 3G. Ця рання технологія відеодзвінків використовувала комутацію ланцюгів і оплачувалася щохвилини, що робило її дорогим варіантом. Проблема також полягала в тому, що багато з цих ранніх мобільних пристроїв 3G були оснащені базовими камерами, а якість відео часто була низькою.

Друга половина 2000-х років ознаменувалася появою як смартфонів, так і додатків, які дозволяли користувачам завантажувати додатки для розширення функціональності своїх телефонів.

В 2010 році з'явилися перші мережі 4G (четверте покоління зв'язку), які, як видно з рис. 1.1, ознаменували значний стрибок вперед у мобільному зв'язку. 4G значно збільшив швидкість передачі даних і зменшив затримку, зробивши реальністю потокове відео в реальному часі, онлайн-ігри та високоякісні відеодзвінки. Підвищена швидкість передачі даних і низька затримка мереж 4G сильно вплинули на екосистему мобільних додатків. Культура, керована додатками, вибухнула зі сплеском мобільних додатків і послуг, що задовольняють різні потреби та інтереси. Магазини мобільних додатків розвивались, пропонуючи користувачам доступ, до величезного спектру додатків для продуктивності, розваг, соціальних мереж і багато іншого.

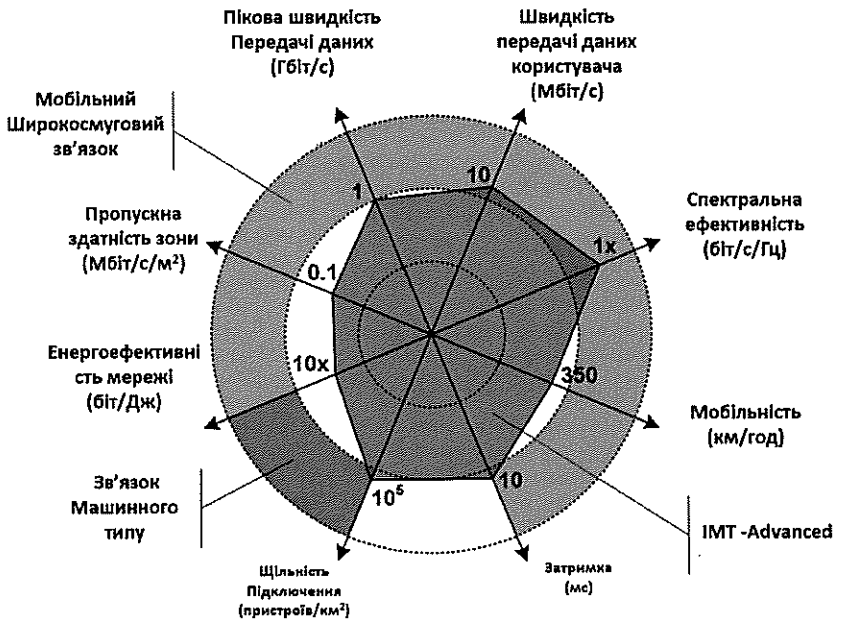


Рис. 1.1. Технічні вимоги до 4G [1].

Покращені можливості мереж 4G також стимулювали розвиток пристроїв і додатків Інтернету речей (IoT). Менша затримка та вища пропускна здатність дозволили обмінюватися даними в режимі реального часу між підключеними

пристроями, створюючи нові можливості для розумних будинків, носимих пристроїв та інших інновацій IoT.

5G – це наступний крок в еволюції мобільного зв'язку. Він був розроблений, щоб забезпечити більшу швидкість передачі даних, меншу затримку та підвищену надійність порівняно з попередніми поколіннями, забезпечуючи нові варіанти використання та трансформуючи широкий спектр галузей.

Мережі п'ятого покоління можуть підтримувати набагато більшу кількість пристроїв, ніж попередні покоління, а також можуть працювати з більш інтенсивними додатками такими, як віртуальна та доповнена реальність, автономні транспортні засоби та IoT. Завдяки 5G доступні нові інновації та можливості в різних ринкових вертикалях таких, як охорона здоров'я, виробництво, транспорт і розваги, також є ключовим драйвером для таких технологій, як периферійні обчислення та штучний інтелект. Існує ряд ключових технологій і особливостей, унікальних для 5G:

- Широке підключення до Інтернету речей завдяки 5G. Здатність нового покоління підключати величезну кількість пристроїв одночасно призведе до створення розумних міст, розумних будинків і взаємопов'язаної екосистеми, яка змінить те, як ми взаємодіємо з навколишнім середовищем. Від розумних приладів до автономних транспортних засобів 5G стане основою повністю підключеного світу.
- Критично важливі вимоги: Наднадійний зв'язок 5G з низькою затримкою (URLLC) відкриває можливості для критично важливих додатків як дистанційна хірургія, автономне водіння та промислова автоматизація. Ці програми вимагають оперативного реагування в режимі реального часу та максимальної надійності, а 5G забезпечує надійність, необхідну для їх підтримки.
- Розширені можливості для мобільних пристроїв. Оскільки доповнена реальність (AR) і віртуальна реальність (VR) стають все більш поширеними, 5G виведе досвід на нові висоти. Поєднання високошвидкісних даних і низької затримки дозволить без затримок

працювати з додатками AR/VR, трансформуючи розваги, освіту та різні галузі.

– Енергоефективність та сталий розвиток: Незважаючи на свої вражаючі можливості, 5G спроектований таким чином, щоб бути більш енергоефективним у порівнянні зі своїми попередниками. Ця енергетична оптимізація має важливе значення для майбутнього, оскільки вона узгоджується зі зростаючою увагою до сталого розвитку та зменшення впливу технологій на навколишнє середовище.

1.2 Сучасний стан мобільного зв'язку в Україні

Мобільний зв'язок є неодмінною частиною повсякденного життя в Україні, забезпечуючи голосовий зв'язок між людьми, доступ до мережі інтернет та інші комунікаційні послуги. На даний час в Україні є три великих оператори мобільного зв'язку (Київстар, Vodafone, Lifecell) всі вони використовують стандарти другого, третього та четвертого поколінь зв'язку, а саме[2]:

Стандарт 2G (GSM) використовується операторами для голосового зв'язку та текстових повідомлень. Для його роботи використовує частотний діапазон 900 МГц та 1800 МГц.

Стандарт 3G (UMTS) дозволяє використовувати мобільний інтернет та високу швидкість передачі даних. Працює в частотному діапазоні 2100 Мгц.

Стандарт 4G (LTE) надає вищу швидкість передачі данних та покращену якість зв'язку. LTE працює в частотному діапазоні 900 МГц, 1800 МГц та 2600 МГц.

За даним НКЕК (Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій), кількість активних ідентифікаційних телекомунікаційних карток мережі мобільного зв'язку станом на 31.12.2021 склала 55 926 тис. од., що на 3,6% або на 1 948 тис. од. більше, ніж станом на 31.12.2020 рис.1.2 [3].

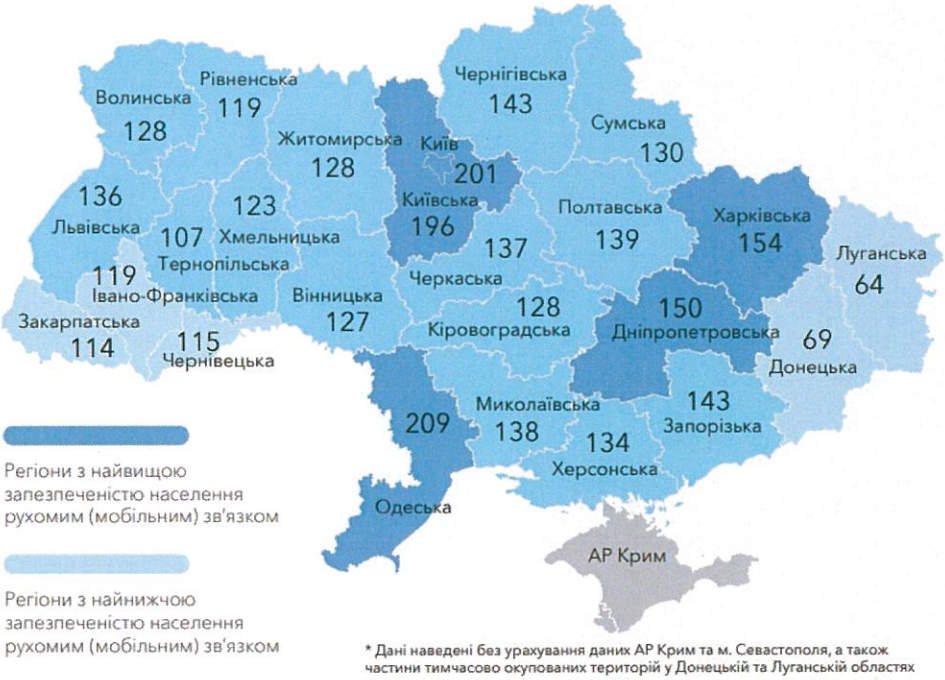


Рис. 1.2. Динаміка кількості активних ідентифікаційних телекомунікаційних карток мережі рухомого (мобільного) зв'язку у 2019-2021 рр., тис. од.[3].

Забезпеченість споживачів рухомим (мобільним) зв'язком на 100 жителів, за регіонами станом на 31.12.2021, в середньому по Україні 135,9 рис.1.3.

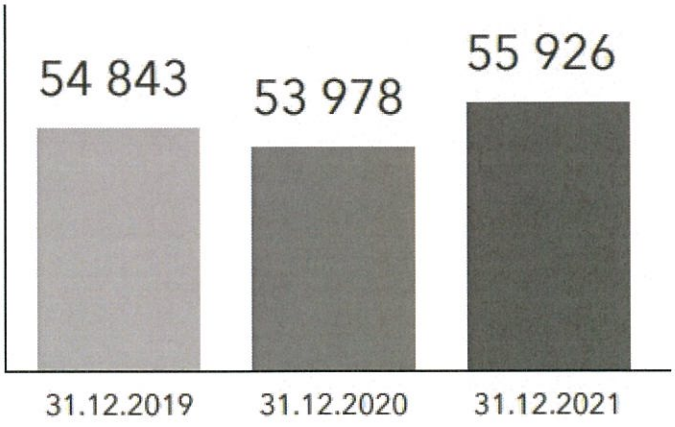


Рис.1.3. Забезпеченість споживачів рухомим (мобільним) зв'язком[3].

На початку 2022 року мобільний оператор «Київстар» забезпечував швидкісним інтернетом вже 90% населення країни, а більше 12 млн абонентів «Київстар» регулярно користувалися саме 4G. У середньому по 10 Гб інтернет-

трафіку щомісяця. Найбільший відсоток інтернет-користувачів 80% припадає на користувачів LTE, 20% на користувачів 3G. У 2023 році 4G все ще має великі перспективи в Україні, адже швидкісним інтернетом послуговується 80% інтернет-користувачів. При цьому, 95% смартфонів у мережі оператора підтримують цю технологію[4].

За даними компанії «Vodafone» активне будівництво мережі LTE вплинуло на кількість користувачів цифрових послуг – вона збільшилась до 71%. Зросли і обсяги користування дата-послугами. Так, на кінець 2022 року абонент «Vodafone» використовує в середньому 8,4ГБ мобільного інтернету на місяць, що майже в 1,5 рази більше, ніж роком раніше[5].

З наведених даних можна зробити висновок що мобільний інтернет відіграє ключову роль у повсякденному житті людей та бізнесу. Зі зростанням кількості смартфонів, планшетів, та інших пристроїв, які вимагають доступу до високошвидкісного інтернету, збільшується навантаження на мережі зв'язку. Це ставить питання ефективності мобільних мереж і необхідності модернізувати існуючі базові станції.

1.3 Універсальна мобільна телекомунікаційна система (UMTS)

Обмеження пропускної здатності систем мобільного зв'язку 2-го покоління, зростаючий попит на підтримку мультимедійних послуг (не головним чином голосових) і більш високі швидкості передачі даних, а також запит на всесвітню систему мобільного зв'язку спричинили запровадження 3-го покоління відповідно до вимог ITU-R (Міжнародного комітету електрозв'язку) під проектом IMT-2000 [6]. Серед наземних систем сімейства IMT-2000 найуспішніша технологія мобільного стільникового зв'язку 3-го покоління була розроблена 3GPP TM під назвою Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Є також інші назви, що використовувалися для цієї системи: універсальний наземний радіодоступ (UTRA), свобода мобільного мультимедійного доступу (FOMA), 3GSM.У другій половині 1990-х рр. різні регіональні пропозиції щодо 3-го покоління були

розроблені на основі CDMA (наприклад, в ETSI SMG); їхня гармонізація призвела до заснування Проекту партнерства третього покоління (3GPP) і, нарешті, до UMTS.

UMTS пропонує більшу спектральну ефективність, ніж GSM , і має 2 режими:

– режим FDD (дуплекс із частотним розподілом), де висхідна лінія зв'язку (від обладнання користувача UE до UTRAN) і низхідна лінія зв'язку (від UTRAN до UE) розділені в частотній області за допомогою різних діапазонів частот; цей режим також називають широкосмуговим CDMA (WCDMA) або прямим розповсюдженням CDMA;
– режим TDD (дуплекс із тимчасовим поділом), де висхідна лінія і низхідна лінія зв'язку розділені в частотній області за допомогою різних часових інтервалів; Варіант з 3,84 Мчіп/с також називався TD-CDMA.

Обидва режими використовують пряму послідовність CDMA (множинний доступ з кодовим розділенням) для розділення різних користувачів, тобто кожен символ одного користувача множиться на специфічний для користувача код розповсюдження. За допомогою цієї методики CDMA кілька користувачів можуть передавати в одному (ширшому) діапазоні, а декодер, знаючи код розширення користувача, може отримувати дані цього користувача. У цьому процесі декодування дані інших користувачів відображаються як шум. Використання широкого частотного діапазону робить систему за своєю суттю стійкою до багатьох аспектів радіозв'язку, які заважають вузькосмуговим системам, наприклад: вибуховий шум, багатопроменєве відображення та інші перешкоди передачі.

Обидва режими спочатку (у першому випуску: Release 99) були визначені з радіокадром 10 мс, розділеним на 15 слотів, чіпратом 3,84 Мчіп/с і інтервалом каналів 5 МГц (примітка: GSM має лише інтервал каналів 200 кГц).

З точки зору максимальної швидкості бітів користувача вимоги першого випуску UMTS були (відповідно до ETSI TR 101 111) [7]:

– За містом : принаймні 144 Кбіт/с (ціль досягти 384 Кбіт/с), макс. швидкість: 500 км/год

- В місті: принаймні 384 Кбіт/с (ціль досягти 512 Кбіт/с), макс. швидкість: 120 км/год
- У приміщенні/з низьким діапазоном на вулиці : принаймні 2 Мбіт/с, макс. швидкість: 10 км/год
- Бажано, щоб визначення UTRA допускало еволюцію до більш високих швидкостей передачі даних.

У 2-му випуску (Release 4) для Китаю був розроблений додатковий варіант TDD із 1,28 Мчіп/сек і інтервалом каналів 1,6 МГц (але може бути розгорнутий і в інших місцях), який називається TD-SCDMA або LCR (низька частота мікросхем) TDD. У Release 4 (5-й випуск) була розроблена додаткова опція TDD з 7,68 Мчіп/с і інтервалом каналів 10 МГц; називається VHCR (дуже висока частота мікросхем) TDD.

Максимальна спільність між варіантами FDD і TDD забезпечується єдиним набором протоколів вищого рівня та спільними параметрами фізичного рівня, наскільки це можливо. Гнучкий радіопротокол дозволяє мультиплексувати декілька послуг (мовлення, відео, дані.) на одній несучій. Послуги в режимі реального часу та не в режимі реального часу забезпечуються настроюваними параметрами якості обслуговування (затримка, ймовірність бітової помилки, коефіцієнт помилок кадру). Архітектура дозволяє використовувати послуги «точка-точка», а також «точка-багато точок» (широкомовлення, групова передача). Також забезпечується повна сумісність (наприклад, передача голосових викликів) із GSM/GERAN/EDGE .

UMTS спочатку був визначений для роботи в діапазонах у діапазоні 2 ГГц. Згодом його було розширено для роботи в ряді інших діапазонів, включаючи ті, які спочатку були зарезервовані для послуг 2-го покоління (2G). UMTS був і досі постійно вдосконалюється протягом кількох випусків (також паралельно з розробками 4-го покоління), наприклад:

- високошвидкісний пакетний доступ для завантаження (HSDPA) у Rel-5

- розширений висхідний канал для FDD (також називається HSUPA - високошвидкісний висхідний упакований доступ; або EDCH - розширений виділений канал) в Rel-6 та у поєднанні з 16QAM до 11 Мбіт/с
- модуляції вищого порядку (16QAM в UL в REL-7, 64QAM в DL в Rel-7, в UL в Rel-11)
- Антени з кількома входами та кількома виходами (MIMO) у Rel-7
- Робота Dual-Cell HSDPA (DC-HSDPA) на суміжних несучих Rel-8 у поєднанні з 64QAM: до 42 Мбіт/с; у поєднанні з MIMO: до 84 Мбіт/с;
- MIMO з 64QAM для HSUPA в Rel-11: до 34,5 Мбіт/с
- 4 несучі HSDPA в Rel-10 (несуміжні в Rel-11)
- 8 несучих HSDPA (8C-HSDPA) у Rel-11: до 336 Мбіт/с
- Подвійна HSUPA (DC-HSUPA) у Rel-13: до 23 Мбіт/с

Значення пікової швидкості передачі даних вище наведено в ITU-R M.1457 [8] для FDD.

Іншими областями вдосконалення були, наприклад, NodeB, зв'язок машинного типу (MTC), мережі самооптимізації (SON), взаємодія WLAN, позиціонування в приміщенні, системи активної антени (AAS), пом'якшення перешкод (деякі з них були звичайними WI для 4-го покоління в щоб забезпечити спільність і взаємодію).Архітектуру мережі UMTS можна розділити на три основні елементи (рис. 1.4.):

1. UE або мобільний термінал.

2. Наземна мережа радіодоступу UMTS (UTRAN): UTRAN забезпечує і керує радіоінтерфейсом для загальної мережі UMTS, яка складається з двох основних компонентів: контролер радіомережі (RNC) та базовою станцією NodeB.

Контролер радіомережі (RNC) - елемент підсистеми радіомережі контролює підключені до нього вузли NodeB. RNC бере на себе управління радіоресурсами та деякі функції управління мобільністю. Це також момент, у якому виконується

шифрування/дешифрування даних для захисту конфіденційності даних користувача.

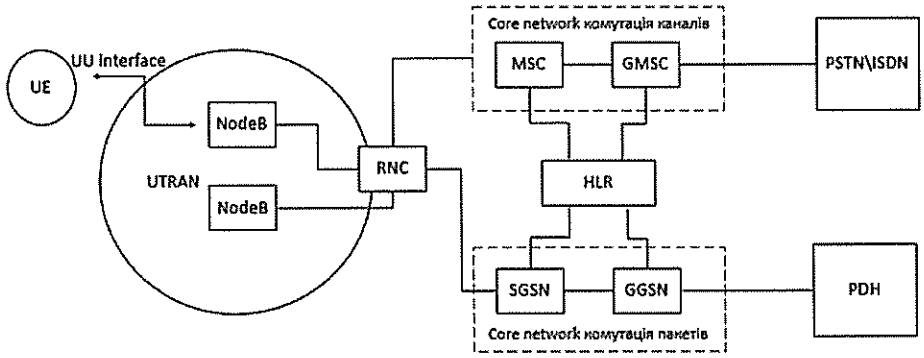


Рис. 1.4. Архітектуру мережі UMTS.

NodeB — це термін, який використовується в UMTS для позначення приймально-передавальної базової станції. Вона містить передавач і приймач для зв'язку з UE всередині комірки. Щоб сприяти ефективному НО (Хендовер) між NodeB під контролем різних RNC. RNC спілкується не лише з Core Network (Основна мережа), але й із сусідніми RNC.

3. Core Network: забезпечує централізовану обробку та керування системою, а також інтерфейс із зовнішніми мережами, включаючи телефонну мережу загального користування та інші стільникові мережі. UMTS Core Network можна розділити на дві різні області:

Елементи з комутацією каналів – це елементи в основному базуються на мережевих об'єктах GSM і передають дані в режимі комутації каналів; тобто виділений канал на час розмови та елементи з комутацією пакетів – ці об'єкти мережі призначені для передачі пакетних даних. Це дозволяє значно збільшити використання мережі, оскільки ємність може бути спільною, а дані передаються у вигляді пакетів, які маршрутизуються відповідно до місця призначення. Мережна архітектура UMTS була потрібна для забезпечення більш високого рівня продуктивності порівняно з мережею GSM. Однак, оскільки багато мереж перейшли на GPRS і EDGE, вони вже мали можливість передавати дані. Відповідно, багато елементів, необхідних для архітектури мережі UMTS,

розглядалися як міграція. Це значно зменшило витрати на впровадження мережі UMTS, оскільки багато елементів були на місці або потребували простої модернізації. Деякі мережеві елементи в UMTS Core Network, особливо ті, які пов'язані з реєстрацією, використовуються як доменами з комутацією каналів, так і доменами з комутацією пакетів і працюють так само, як і з GSM. На рис. 1.4 показана архітектура UMTS CN. Елементи з комутацією каналів архітектури UMTS CN включають такі мережеві об'єкти (див. рис.1.4.):

- MSC - ця сутність, по суті, така ж, як і в мережі GSM, і керує потоками викликів з комутацією каналів.
- Шлюз MSC (GMSC) - інтерфейс до зовнішніх мереж.

Елементи з комутацією пакетів архітектури UMTS CN включають такі мережеві об'єкти, як обслуговуючий вузол підтримки GPRS та шлюзовий вузол підтримки GPRS.

Обслуговуючий вузол підтримки GPRS (SGSN): Він був вперше розроблений, коли було представлено GPRS, і його використання було перенесено в архітектуру мережі UMTS. SGSN забезпечує низку функцій у межах архітектури мережі UMTS, зокрема:

Керування мобільністю, коли UE приєднується до домену з комутацією пакетів UMTS CN, а SGSN генерує інформацію про керування мобільністю на основі поточного розташування мобільного пристрою.

Керування сеансами - SGSN керує сеансами даних, забезпечуючи необхідний QoS, а також керуючи тим, що називається контекстами протоколу пакетних даних (PDP), тобто Потоки даних.

Взаємодія з іншими елементами мережі: SGSN здатний керувати своїми елементами в мережі, лише спілкуючись з іншими областями мережі; наприклад, MSC та інші зони з комутацією каналів.

SGSN також відповідає за виставлення рахунків. Це досягається шляхом моніторингу потоку даних користувача через мережу GPRS. Записи з деталями викликів генеруються SGSN перед передачею суб'єктам, що стягують плату.

Шлюзовий вузол підтримки GPRS (GGSN) був вперше представлений у мережі GPRS. GGSN є центральним елементом у мережі з комутацією пакетів UMTS. Цей вузол забезпечує взаємодію між мережею з комутацією пакетів UMTS і зовнішніми мережами з комутацією пакетів і може розглядатися як складний маршрутизатор. З точки зору роботи, коли GGSN отримує дані, адресовані конкретному користувачеві, він перевіряє, чи активний користувач, а потім пересилає дані до SGSN, що обслуговує це конкретне UE.

1.3.1 Наземна мережа радіодоступу UTRAN

Стандарт UMTS можна розглядати як розширення існуючих мереж. В UTRAN на рис. 1.5 представлено два нових елемента мережі: контролер радіомережі (RNC) і Node B. UTRAN підрозділяється на окремі системи радіомережі (RNS), де кожна RNS контролюється контролером радіомережі (RNC). RNC підключений до набору елементів Node B, кожен з яких може обслуговувати одну або кілька комірок[9].

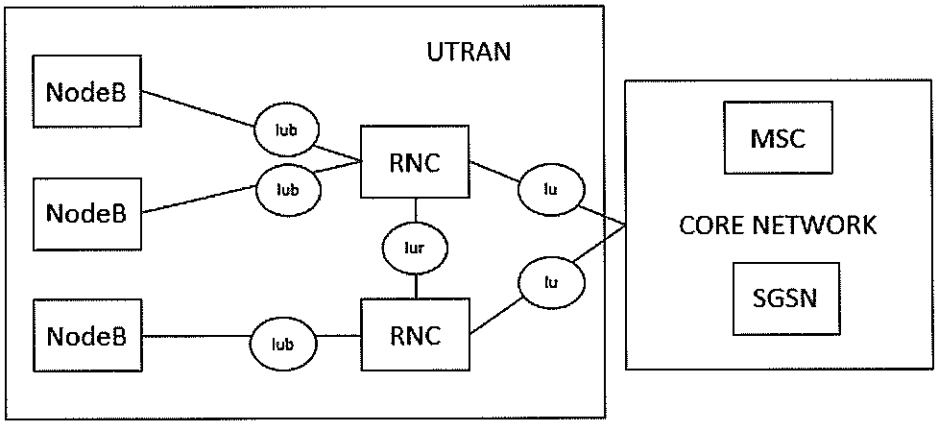


Рис. 1.5. Топологія UTRAN.

UMTS визначає чотири нові відкриті інтерфейси:

- Uu: Обладнання користувача (UE) до вузла B (UTRA, радіоінтерфейс UMTS WCDMA)
- Iu: Інтерфейс базової мережі RNC – GSM Phase 2+ (MSC/VLR або SGSN)
- Iu-CS: для даних з комутацією каналів
- Iu-PS: для даних з комутацією пакетів
- Iub: інтерфейс RNC до Node B
- Iur: інтерфейс RNC-RNC; не порівняти ні з одним інтерфейсом в GSM
- Інтерфейси Iu, Iub і Iur засновані на принципах передачі ATM.

Контролер радіомережі (RNC) забезпечує автономне керування радіоресурсами через UTRAN див. рис. 1.6. Він виконує ті ж функції, що й контролер базової станції GSM (BSC), забезпечуючи центральне керування елементами системи радіомережі (RNC і Node B).

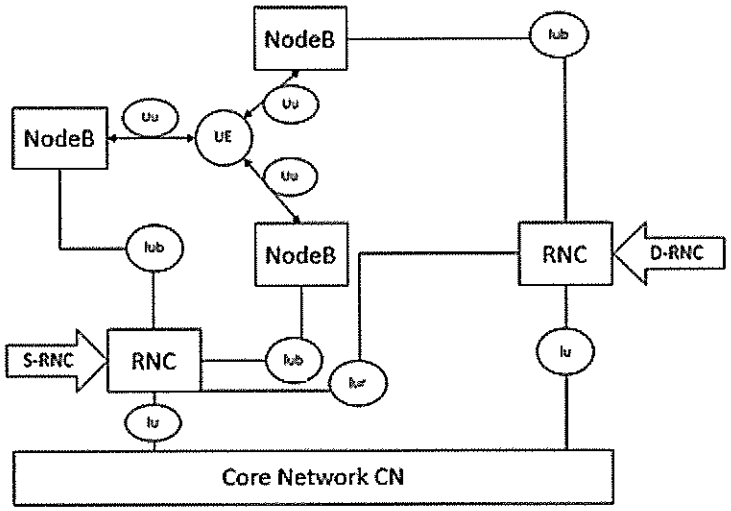


Рис. 1.6. Функції RNC.

RNC обробляє обмін протоколами між інтерфейсами Iu, Iur і Iub і відповідає за централізовану експлуатацію та технічне обслуговування всієї RNS з доступом до операційної підсистеми (OSS). Оскільки інтерфейси засновані на ATM - RNC перемикає комірки ATM між ними. Дані користувача з комутацією каналів і комутацією пакетів, що надходять від інтерфейсів Iu-CS і Iu-PS мультиплексуються разом для передачі мультимедіа через інтерфейси Iur, Iub і Uu до та з обладнання

користувача (UE). RNC використовує інтерфейс Iur, який не має еквівалента в GSM BSS, щоб автономно обробляти 100% управління радіоресурсами (RRM), усуваючи цей тягар з базової мережі. Функції керування обслуговуванням такі як, допуск підключення RRC до UE, перевантаження та передача/рознесення макросів, повністю управляються одним обслуговуючим RNC (SRNC). Якщо інший RNC бере участь в активному з'єднанні через програмну передачу між RNC, він оголошується дрейфуючим RNC (DRNC). DRNC відповідає лише за розподіл ресурсів Кодексу. Можливе перерозподіл функцій SRNC до колишнього DRNC (переміщення SRNS). Термін керуючий RNC (CRNC) використовується для визначення RNC, який контролює логічні ресурси своїх точок доступу UTRAN.

NodeB є фізичною одиницею для радіопередачі/прийому з осередками. Залежно від розбиття на сектори (комірок Omni-/Sector Cells) одна або кілька комірок можуть обслуговуватися Node B. Один Node B може підтримувати як режими FDD, так і TDD. Node B з'єднується з UE через радіоінтерфейс W-CDMA Uu та з RNC через інтерфейс на основі Iub ATM.

Основним завданням Node B є перетворення даних до/з радіоінтерфейсу Uu, включаючи FEC з прямим виправленням помилок, адаптацією швидкості, розширення/зменшення поширення W-CDMA та модуляцію QPSK на радіоінтерфейсі. Він вимірює якість і міцність з'єднання та визначає частоту помилок кадрів (FER), передаючи ці дані до RNC, як звіт про вимірювання для передачі даних і макрорознесення.

Комбінування. Node B також відповідає за м'яке перенесення FDD. Це об'єднання Micro Diversity здійснюється незалежно, усуваючи потребу в додатковій пропускній здатності передачі в Iub.

Node B також бере участь у контролі потужності, оскільки він дозволяє UE регулювати свою потужність за допомогою команд:

DL TPC через керування потужністю внутрішнього контуру на основі інформації

TPC керування потужністю передачі UL. Попередньо визначені значення для керування потужністю внутрішнього контуру отримують від RNC через керування потужністю зовнішнього контуру.

UMTS UE базується на тих самих принципах, що й GSM MS – розділення між ME та SIM-карткою UMTS (USIM).

1.3.2 Загальна архітектура протоколів UTRAN

Інтерфейс UTRAN складається з набору горизонтальних і вертикальних рівнів рис. 1.7.

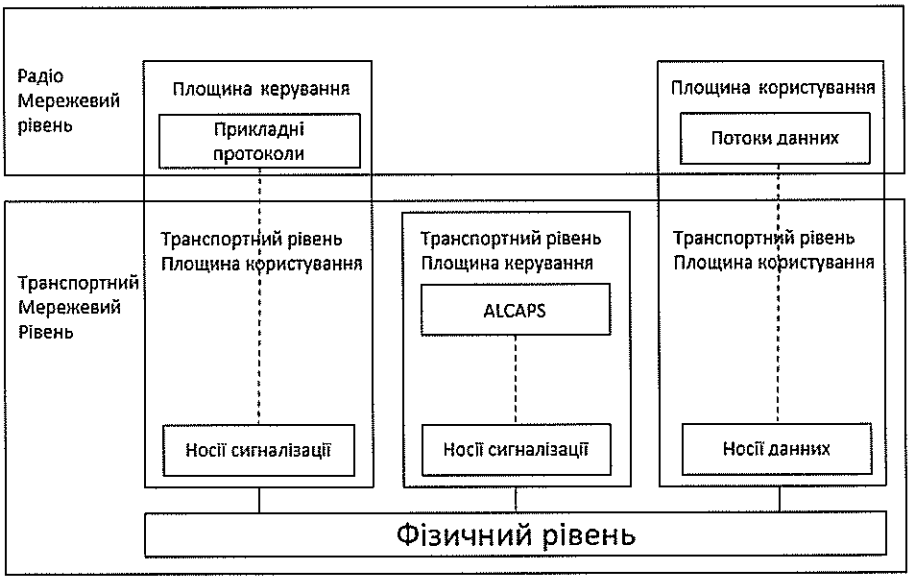


Рис. 1.7. Загальна модель протоколів UTRAN.

Вимоги UTRAN розглядаються на рівні горизонтальної радіомережі в різних типах керівних і користувацьких площин:

Площини керування - використовуються для керування лінком або з'єднанням;

Площини користувача використовуються для прозорої передачі даних користувача з вищих рівнів. Стандартні питання передачі, які не залежать від вимог UTRAN, застосовуються на горизонтальному рівні транспортної мережі .

П'ять основних блоків протоколу показані на рис. 1.7 :

Потоки сигналізації використовуються для передачі сигнальної та контрольної інформації вищих рівнів. Вони встановлюються діяльністю з експлуатації та обслуговування.

Потоки даних — це протоколи кадрів, які використовуються для передачі даних користувача (потоків даних). Площина керування транспортною мережею (ALCAP) встановлює їх.

Протоколи прикладних програм використовуються для забезпечення специфічної сигналізації та керування UMTS в межах UTRAN, наприклад, для встановлення каналів на рівні радіомережі.

Потоки даних містять дані користувача, які прозоро передаються між елементами мережі. Дані користувача містять персональні дані абонента та інформацію про керування мобільністю, якими обмінюються однорангові об'єкти MSC і UE.

Рівні протоколу ALCAP (Access Link Control Application Part) надаються в площині керування транспортною мережею. Вони реагують на вимоги Рівня радіомережі щодо встановлення, підтримки та випуску потоків даних. Основна мета впровадження площини керування транспортною мережею полягала в тому, щоб повністю відокремити вибір технології потік даних від площини керування (де розташовані спеціальні прикладні протоколи UTRAN). Площина керування транспортною мережею присутня в інтерфейсах Iu-CS, Iur та Iub. В решті інтерфейсів, де немає сигналізації ALCAP, активуються попередньо налаштовані потоки даних.

1.4 Світова тенденція модернізації мереж UMTS

З розвитком стандартів 4G(LTE) та 5G мобільні оператори інвестували в модернізацію мереж для забезпечення вищої швидкості передачі даних. Ці нові технологій надають значно кращу продуктивність порівняно з 3G. З метою збільшення ефективності мереж та зниження витрат оператори розглядають

відмову від старих 3G мереж у вигідніших регіонах, де попит на цей стандарт знижується.

Приклади країн, де відбулася модернізація мережі 3G (UMTS) на частотах 2100 МГц.

Мобільний оператор Нідерландів «KPN» використовує свою ліцензію в діапазоні 2100 МГц для агрегації несущих LTE (CA). Завдяки активації діапазону 2100 МГц, який раніше використовувався для 3G, і новітнім методам модуляції (256QAM) можлива швидкість завантаження до 500 Мбіт/с. «KPN» вже пропонує послуги 4G на частотах 800 МГц, 1800 МГц і 2600 МГц. Смартфони мають бути придатними для агрегування чотирьох несучих. Однак найновіші смартфони на ринку все більше підтримуватимуть це, повідомила «KPN». Використовуючи інший спектр, додаткову потужність можна розгорнути набагато легше, особливо тому, що базову станцію не потрібно адаптувати. Для 3G або 4G можна використовувати як пристрої основної смуги частот, так і антени[10].

За даними індійського телекомунікаційного оператора «Airtel», 15 травня 2019 р. один зі світових постачальників інтегрованих телекомунікаційних послуг – компанія «Airtel» заявила, що вона модернізувала мережу 4G у Хар'яні за допомогою технології LTE 2100, яка значно покращила роботу мережі для клієнтів смартфонів.

У зв'язку зі швидким скороченням кількості телефонів 3G і переходом клієнтів на смартфони 4G, розгортанням LTE у діапазоні спектру 2100 МГц, створило необхідність впровадити додаткову високошвидкісну ємність для передачі даних 4G, а також збільшити передачу голосового трафіку через VoLTE для обслуговування своїх клієнтів.

Зараз «Airtel» у Хар'яні має потужний банк спектру – 2300 МГц (TD LTE), 2100 МГц (LTE 2100) і 1800 МГц (FD LTE), щоб пропонувати клієнтам послуги 4G світового рівня. Враховуючи збільшення його пропускної здатності зі спектром 2100 МГц, клієнти смартфонів «Airtel» отримають покращену пропускну здатність 4G, що призведе до покращеного досвіду клієнтів.

LTE 2100 значно збільшила пропускну здатність мережі та покращила покриття поза межами міста, особливо під час міського/міжміського транспорту для користувачів смартфонів 4G». LTE 2100 також збільшила обсягу трафіку VoLTE завдяки кращому розповсюдженню[11].

У Японії модернізація 3G мереж на частотах 2100 МГц до 4G LTE була досить активною. На приклад, японський оператор «NTT DOCOMO» розпочав розгортання 4G мережі на цих частотах для забезпечення швидкості передачі даних для своїх абонентів[12].

В Німеччині багато операторів мобільного зв'язку проводили модернізацію мережі 3G на частотах 2100 МГц на користь технології 4G LTE. Це допомогло покращити можливості мережі та швидкість передачі даних для німецьких користувачів[13].

У Південній Кореї, модернізація 3G мереж також була дуже активною. Оператори, такі як «SK Telecom», «KT», і «LG Uplus», перетворювали свої мережі на частотах 2100 МГц, спрямовуючи їх на підтримку 4G LTE та навіть 5G[14].

В США багато операторів також провели модернізацію мережі 3G на частотах 2100 МГц до 4G LTE. Наприклад, «AT&T» та «Verizon» вдосконалили свої мережі для підвищення швидкості та якості зв'язку[15].

1.5 Якість надання телекомунікаційних послуг (QoS)

У загальних рисах якість обслуговування (QoS) означає здатність мережі або служби задовольняти кінцевого користувача. QoS визначено в Рекомендації ITU-T E.800, як сукупний ефект характеристик послуги, який визначає ступінь задоволеності користувача послугою[16]. Таким чином, QoS стосується аспектів послуг, з якими споживачі стикаються безпосередньо.

Останнім часом спостерігаються зростаючі занепокоєння щодо різних параметрів QoS, зокрема розриву виклику, якості виклику та пропускної здатності даних. Зі збільшенням абонентської бази зростає невдоволення клієнтів і скарг на мережу.

Щоб забезпечити рівні умови разом із конкурентним середовищем і задоволеністю абонентів, вимірювання продуктивності за загальним стандартом стосовно QoS є обов'язковим. Параметри QoS можна виміряти, як за допомогою терміналів моніторингу мережі, так і на місцях за допомогою вимірювальних пристроїв. У цьому плані також слід враховувати думку клієнтів.

Міжнародні організації стандартизації, такі як Міжнародний союз електрозв'язку (ITU), Міжнародна організація стандартизації (ISO) та Європейський інститут стандартів електрозв'язку (ETSI), визначають якість обслуговування як:

ITU-T Rec.E.800 : Сукупність характеристик телекомунікаційної послуги, які впливають на її здатність задовольняти заявлені та неявні потреби користувача послуги[16].

ETSI-TR102157 : Якість обслуговування (QoS), можливість сегментувати трафік або розрізняти типи трафіку, щоб мережа обробляла певний трафік інакше, ніж інші[17].

ISO 9000:2015: Сукупність характеристик суб'єкта, які впливають на його здатність задовольняти заявлені та неявні потреби[18].

Рекомендація ITU-T P.10/G.100 визначає якість досвіду (QoE) як «загальну прийнятність програми або послуги, що суб'єктивно сприймається кінцевим користувачем»[19]. У 2016 році це визначення було змінено 12-ю дослідницькою групою ITU-T, оскільки « Якість досвіду (QoE) — це ступінь задоволення або роздратування користувача додатком або послугою».

Продуктивність будь-якої мережі можна оцінити, вимірявши продуктивність її мережевих елементів по одному або шляхом вимірювання продуктивності всієї мережі, тобто комбінації продуктивності всіх окремих елементів. Насправді QoS складається з продуктивності мережі та продуктивності поза мережею.

Функції послуги залежать від продуктивності елементів мережі та продуктивності кінцевого обладнання користувача. QoS завжди наскрізний, тобто від користувача до користувача або від користувача до вмісту. Тому вимірювання QoS також виконуються наскрізно. QoS залежить від внесків, зроблених

компонентами, включаючи користувача, обладнання користувача, мережу доступу, транспорт IP, базову мережу та решту наскрізного шляху (наприклад, через Інтернет). QoE має ширший діапазон, оскільки на нього впливає QoS, а також очікування користувачів і контекст,

Регуляторна структура QoS починається з встановлення стандартів, визначених міжнародними організаціями стандартизації, такими як ITU-T, а також регіональними органами, наприклад ETSI в Європі. Ці стандарти можуть бути запроваджені як частина ліцензійних умов, а також як нормативні акти чи галузеві інструкції. QoS визначається заданим набором параметрів, які можна виміряти. Такі параметри якості, які визначаються для вимірювань QoS у певній країні (або в усьому світі), називаються ключовими показниками ефективності (KPI). KPI QoS можуть бути технічними та нетехнічними. Приклади технічних KPI включають частоту успішного встановлення виклику, частоту перерваних викликів і час встановлення виклику тощо. Нетехнічні KPI орієнтовані на клієнта та можуть містити такі параметри, як точність виставлення рахунків, відключення мережі тощо. Після визначення KPI QoS можна використовувати різні методи вимірювання, які можуть відрізнятися від однієї країни до іншої. Національні регуляторні органи (НКРЗІ), а також постачальники мережевих послуг.

Існують різні підходи до моніторингу технічних і клієнтоорієнтованих KPI. Технічний моніторинг ключових показників ефективності можна здійснювати за допомогою мережевого аудиту, тестування дисків, станцій зондування у вибраних місцях тощо. Контроль ключових показників ефективності, орієнтованих на клієнта, здійснюється за допомогою опитувань споживачів. Метою моніторингу значень визначених KPI є виявлення погіршення QoS, коли воно з'являється, і застосування відповідних дій для примусового забезпечення QoS. Таке забезпечення якості обслуговування може здійснюватися шляхом публікації результатів моніторингу KPI на загальнодоступному веб-сайті, у прес-релізах, через директиви тощо з метою інформування споживачів. Однак, якщо таких підходів до забезпечення недостатньо для забезпечення QoS, тоді слід вжити більш

рішучих заходів для забезпечення QoS через фінансові штрафи або через механізми вирішення спорів.

Узгоджений і загальний підхід до регулювання QoS необхідний, щоб забезпечити кращі перспективи якості для споживачів, незалежно від їх місцезнаходження. ITU-T Rec.G.1000 визначає терміни, які забезпечують загальну структуру QoS, розділену на сім критеріїв QoS, як зазначено нижче[20]:

- Швидкість (відноситься до всіх сервісних функцій);
- Точність (наприклад, якість мовлення, відсоток успішних викликів, правильність рахунку тощо);
- Доступність (наприклад, покриття, доступність послуг тощо);
- Надійність (наприклад, коефіцієнт пропущених викликів, кількість скарг на виставлення рахунків тощо);
- Безпека (наприклад, запобігання шахрайству);
- Простота (наприклад, легкість оновлення програмного забезпечення, легкість розірвання контракту тощо); і
- Гнучкість (наприклад, легкість зміни контракту, доступність різних методів виставлення рахунків, таких як виставлення рахунків онлайн тощо).

Ключові показники ефективності QoS (KPI) характеризують рівень якості обслуговування та задоволеності клієнтів. Параметри QoS представляють суб'єктивне та абстрактне сприйняття користувачем якості в термінах числових значень. Ключові показники ефективності якості обслуговування є важливими для ефективного управління якістю обслуговування. Вони мають бути простими у використанні, забезпечувати точне відображення сприйняття споживачів і бути загальноприйнятими як стандарти. Повинна бути можливість розрізняти параметри для конкретних типів послуг.

Цільові показники KPI встановлюються регулятором на основі консультацій, враховуючи поточні значення KPI, отримані шляхом моніторингу даних

операторів. Зведені цільові показники ефективності включають низку різних спостережень, які можна сформулювати двома різними способами:

Відсоток подій, які перевищують або не досягають цільового рівня продуктивності (наприклад, % викликів, здійснених менш ніж за (x) секунд). У цьому випадку (x) вказує на цільовий рівень.

Якщо (x) кількість годин, протягом яких було активовано 90 відсотків SIM-карт, то в цьому випадку цільовий рівень не вказано. Якщо буде надаватися компенсація, то вимірювання має мати простий критерій проходження чи не проходження для кожного окремого клієнта.

Розвиток архітектури мобільних мереж безпосередньо впливає на QoS у мережах мобільного зв'язку, що повністю підтримують протокол IP, таких як 4G. Причина полягає в тому, що в мережах мобільного зв'язку з комутацією каналів (CS) наскрізна затримка зазвичай обмежується затримкою поширення сигналів, які поширюються приблизно зі швидкістю світла, що забезпечує затримку до 100 мс між будь-якими двома точками Землі. Таким чином, вимога до наскрізної затримки для голосу менше 150 мс може бути задоволена в мобільних мережах CS. Проте мережеві принципи з комутацією пакетів (PS) призводять до збільшення загальної затримки та варіації затримки через пакетування, кодування/декодування, буферизацію на вузлах мережі. Тому архітектури мобільних мереж також розвинулися, щоб врахувати специфічні характеристики наскрізної передачі IP, які завжди вищі, ніж у мережах CS для тієї самої відстані.

Мобільний широкосмуговий доступ фактично почався з мобільних мереж 3G. Однак ці мережі базувалися на гібридному підході, тобто комутації каналів, що використовується для голосу, і комутації пакетів (IP-з'єднання) для послуги доступу до Інтернету. Однак головний представник мобільних мереж 3G, UMTS, з самого початку мав чітко визначену підтримку QoS. Для трафіку з комутацією пакетів (тобто IP-трафіку) у UMTS у таблиці 1 визначено чотири різні класи трафіку (тобто QoS).

Підтримка QoS у мобільних мережах, стандартизованих 3GPP, забезпечується визначенням каналів. Потік UMTS — це послуга, яка забезпечує

передачу інформаційних сигналів між заданими об'єктами в мережі з певними атрибутами QoS, пропускною здатністю (бітрейтом) і характеристиками потоку трафіку. У UMTS є три основні потоки:

- Радіопотік - послуга радіоканалу (RAB) між мобільними терміналами та NodeB (базові станції в UMTS), тобто UTRAN
- Iu потік - обслуговування каналу Iu між UTRAN і шлюзом базової мережі, яким є SGSN в UMTS.
- Основний потік - послуги опорного каналу між основними шлюзами базової мережі, тобто SGSN і GGSN.

Таблиця 1.1. Класи трафіку QoS.

Клас	Особливості
Розмовний	Характеризується малим часом передачі та збереженою варіацією часу між інформаційними об'єктами потоку. Найбільш відомим використанням цієї схеми є інструменти голосового зв'язку через IP (VoIP) і відеоконференції.
Потокове передавання	Характеризується збереженням коливань часу між інформаційними об'єктами в межах потоку, хоча він не має жодних вимог щодо низької затримки передачі. Він підходить для передачі потокового аудіо та відео.
Інтерактивний	Характеризується шаблоном відповіді на запит кінцевого користувача. Прикладами є: перегляд веб-сторінок, пошук бази даних, доступ до сервера, опитування для записів вимірювань і автоматичні запити до бази даних. Низький час затримки на передачу даних і низький рівень бітових помилок є одними з ключових атрибутів.
Фон	Прикладами є фонова доставка електронної пошти, служба коротких повідомлень (SMS), завантаження баз даних і отримання записів вимірювань. Схема є більш-менш нечутливою до часу доставки, але вимагає низького рівня помилок даних.

Потік встановлюється, коли програма в мобільному терміналі ініціює підключення. Коли потрібна підтримка QoS, з'єднання встановлюється між

мобільним терміналом і певним сервером додатків (AS) на стороні оператора. Основною метою встановлення та існування каналу-потоку є мінімізація знань і конфігурації QoS у мобільних терміналах. Стосовно ідентифікації QoS використовує ідентифікатори класу QoS (QCI), які базуються на трьох параметрах QoS: пріоритеті, ймовірності втрати та затримці. Кожному носію присвоюється скалярне значення, яке називається QCI зображено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Таблиця рівнів QCI.

QCI	Тип ресурсу	Пріоритет	Затримка бюджету	Показник втрат	Приклад застосування
1	GBR	2	100 мс	10^{-2}	VoIP
2		4	150 мс	10^{-3}	Відеодзвінок
3		6	300 мс	10^{-6}	Потокове відео
4		3	50 мс	10^{-3}	Ігри в реальному часі
5	Не GBR	1	100 мс	10^{-6}	Сигналізація IMS
6		7	100 мс	10^{-3}	Голос, живе відео, інтерактивні ігри
7		6	300 мс	10^{-6}	Програми TCP (веб, електронна пошта, спільний доступ до файлів P2P, відео, Http, чат, потокове передавання відео з буфером тощо)
8		8			
9		9			

Проект партнерства третього покоління (3GPP) об'єднує сім організацій із розробки телекомунікаційних стандартів (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), відомих як «Організаційні партнери», і надає своїм членам стабільне середовище для створення звітів і специфікацій, які визначають технології 3GPP. 3GPP визначив технічні специфікації щодо KPI QoS для UMTS і GSM у 3GPP TS 132 410 [21] та KPI QoS для вдосконаленої універсальної наземної мережі радіодоступу (E-UTRAN) у 3GPP TS 132.450[22], як специфікації визначення та 3GPP TS 132.451 вимог[23]. У цій технічній специфікації визначено шість основних категорій, а саме: 1) доступність, 2) можливість збереження, 3) цілісність, 4) доступність, 5) мобільність і 6) використання.

ETSI TS 128 554 представляє концепцію та огляд KPI 5G[24]. Він охоплює KPI QoS, тобто доступність, цілісність і використання. Тоді як майбутнє оновлення документа також включатиме решту KPI QoS, тобто збереження, доступність і мобільність. Крім того , нещодавно в 5G було прийнято ще один варіант: енергоефективність. Ключові показники ефективності, згадані в цих документах(TS 132 410, TS 132 410, TS 128 554)3G, 4G і 5G зведені в таблиці 1.3-1.5.

Таблиця 1.3. Ключові показники ефективності за стандартом TS 132 410[21].

Технологія	**Категорія**	**Ключові показники ефективності**
3G	Доступність	Коефіцієнт успішного створення RAB
		Рівень успіху створення RAB для виступу
		Рівень успіху встановлення RAB для відеотелефонії
2G		Рівень успішного встановлення підключення RRC
3G		Швидкість успішного доступу до служби UTRAN
2G		Рівень успішного доступу до служби GERAN для домену CS
3G		Показник успішної активації контексту UMTS PDP
3G		Коефіцієнт успішних комутованих викликів UMTS
3G	Збереженість	RAB Аномальна швидкість вивільнення
2G		Частота ненормального випуску служби GERAN

Продовження таблиці 1.3. Ключові показники ефективності за стандартом TS 132 410[21].

Технологія	Категорія	Ключові показники ефективності
2G/3G	Збереженість	Комбінований коефіцієнт переривання викликів 2G 3G
3G	Мобільність	Рівень успіху м'якої передачі
3G		Швидкість успішної вихідної внутрішньосистемної жорсткої передачі
2G/3G		Коефіцієнт успішності вихідної передачі Inter RAT для домену CS
2G/3G		Коефіцієнт успішних вихідних передач Inter RAT для домену PS
2G		Коефіцієнт успішної передачі (BSC і Cell)
3G	Утилізація	Відсоток встановлених RAB, виступ CS
3G		Відсоток встановлених RAB, CS 64kbps (відеотелефонія)
3G		Відсоток встановлених RAB, загальний PS
3G	Доступність	Доступність стільника UTRAN

Таблиця 1.4.Ключові показники ефективності за стандартом TS 132 450 [22].

Технологія	Категорія	Ключові показники ефективності
4G	Доступність	Доступність E-RAB
	Збереженість	E-RAB Retainability
	Цілісність	Пропускна здатність E-UTRAN IP
		Затримка IP E-UTRAN
	Доступність	Наявність стільника E-UTRAN
	Мобільність	Мобільність E-UTRAN

Таблиця 1.5. Ключові показники ефективності за стандартом TS 128 554 [24].

Технологія	Категорія	Ключові показники ефективності
5G	Доступність	TS 128 554 Зареєстровані абоненти мережі та екземпляра мережевого фрагмента через AMF" (поле керування автентифікацією).
		Зареєстровані передплатники екземпляра єдиного фрагмента мережі через UDM" (Уніфіковане керування даними)
		Частота успішної реєстрації одного екземпляра фрагмента мережі
	Цілісність	Наскрізна затримка мережі 5G
		Затримка низхідного каналу для IP-пакетів через gNB у сценарії розділення
		Вихідна пропускна здатність для мережі та екземпляра мережевого фрагмента
		Пропускна здатність низхідної мережі для екземпляра мережі та сегмента мережі
		Вихідна пропускна здатність GTP на інтерфейсі N3
		Пропускна здатність передачі даних GTP на інтерфейсі N3
		Пропускна здатність RAN UE
	Утилізація	Середня кількість сеансів PDU екземпляра одного зрізу мережі
		Віртуалізоване використання ресурсів окремого екземпляра зрізу мережі
5G	Енергоефективність	Дані E-UTRAN Енергоефективність

Оцінка продуктивності мережі – це єдиний показник, який характеризує її загальну продуктивність. NPS порівнює якість мобільних мереж і візуалізує The Quality of Experience (QoE), яку сприймають кінцеві користувачі під час використання звичайних програм. ETSI опублікував свій технічний звіт у серпні 2019 року, тобто TR 103 559 щодо NPS[25].

NPS розглядає та зважує ключові показники ефективності (KPI) для широкого спектру послуг, які мають важливе значення для якості послуг і є репрезентативними, і об'єднує їх у загальну оцінку ефективності. Цей бал можна розрахувати для окремих регіонів, таких як міста, селища та шосе. Оцінки окремих регіонів потім об'єднуються в загальну оцінку продуктивності мережі.

Структура оцінки продуктивності мережі є дуже прозорою та складається з різних рівнів зважування та накопичення. Оцінка NPS базується на підрахунках телефонії та послуг передачі даних, кожна з яких оцінюється окремо від 0 до 100 %. Кожна з цих двох підпоказників складається з набору комплексних KPI або учасників. Сьогодні підрахунки мають вагу 40 % телефонії та 60 % послуг передачі даних і утворюють повну оцінку мережі. Можна застосувати додатковий проміжний рівень зважування, який надає різні зважування для окремих регіонів і категорій, таких як міста, сполучні дороги, гарячі точки та сільські райони. Зважені та кумулятивні бали для субрегіону знову коливаються від 0 до 100 %.

Ключові показники ефективності NPS для голосових служб загалом класифікуються на доступність/стабільність, час налаштування та якість мовлення. Тоді як у випадку служб даних KPI вимірюються для передачі HTTP, потокового відео, перегляду та соціальних мереж. Усі KPI наведено в таблиці 1.6 -1.7.

Таблиця 1.6. Основні KPI голосу.

Оцінки продуктивності голосу інтегрованої мережі	
Доступність / Стійкість	Коефіцієнт успіху встановлення виклику – CSSR; Коефіцієнт переривання викликів.
Час встановлення виклику	Середній час встановлення виклику; Час встановлення виклику > 15 секунд; 10-процентний час встановлення виклику;
Якість мовлення	Average MOS – Super Wide Band MOS < 1,6; 90-процентів MOS – SWB.

Таблиця 1.7. Основні KPI даних.

Оцінки продуктивності голосу інтегрованої мережі	
Передача Http	Коефіцієнт успішного завантаження/завантаження одного файлу Пропускна здатність завантаження/завантаження кількох з'єднань
Потокове відео	Коефіцієнт успіху Час передати перше зображення Якість відео – MOS
Перегляд і соціальні мережі	Перегляд популярних веб-сайтів Публікація в соціальних мережах

Можна зробити висновок, що на якість надання телекомунікаційних послуг впливає не лише продуктивність та стан елементів мережі оператора зв'язку, а й комплекс технічних та нетехнічних факторів користувача. Також, треба зважати на те, що тенденція з споживання різноманітних мережевих послуг та сервісів зростає рис. 1.8 – 1.9[2].

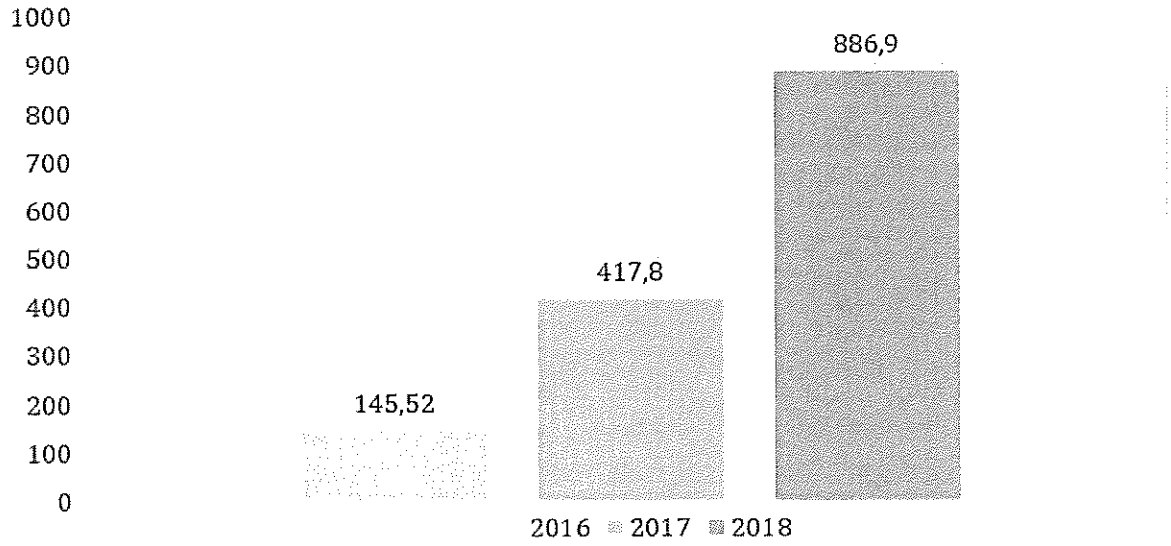


Рис.1.8 Структура доходів від надання електронних комунікаційних послуг млн. грн. 2016 – 2020 роки [2].

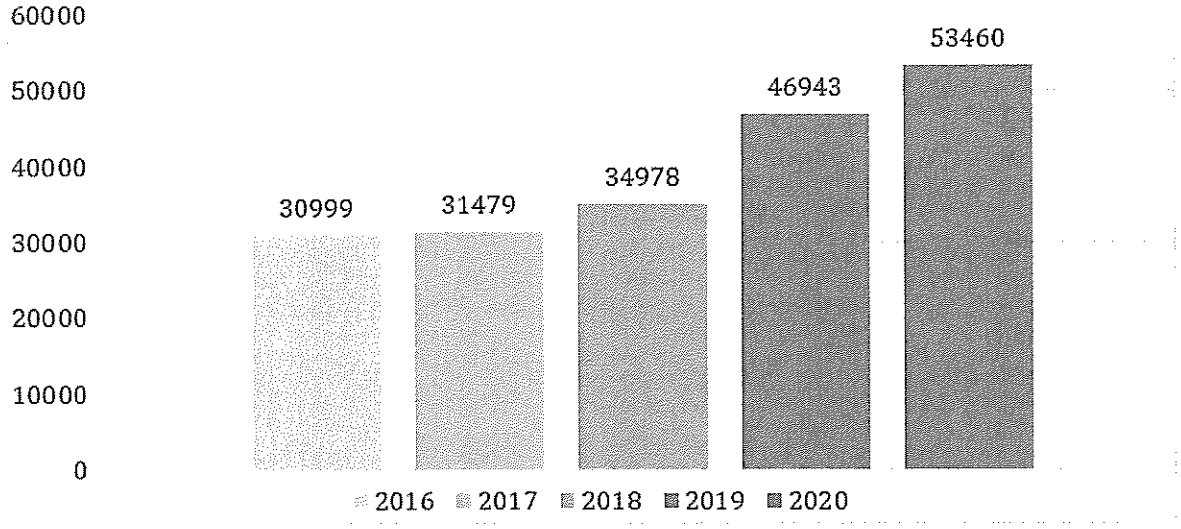


Рис. 1.9 Динаміка обсягів Інтернет трафіку на мережах рухомого (мобільного) зв'язку за 2016-2018 роки, PB (петабайт) [2].

Зрозуміло, що таке зростання при умові зберігання поточного стану факторів з боку оператора мобільного зв'язку може призвести до дефіциту сервісів, що буде відображене у зниженні якості послуг.

Висновки до першого розділу

Сучасні технології мобільного зв'язку починаючи з 80-х роках минулого століття пройшли велику еволюцію від 1 до 5 покоління. Від голосових викликів та SMS до мобільної передачі даних.

Сучасний стан ринку надання послуг мобільного зв'язку визначається широким застосуванням технологій 2-го, 3-го, 4-го поколінням зв'язку.

Конкурентоспроможність операторів мобільного зв'язку на теперішньому етапі все більше визначається якістю наданих ними послуг. Конкретний зміст показників якості визначається самими операторами мобільного зв'язку та

умовами, які складаються на ринку послуг (вимоги користувачів та регуляторів ринку).

Тенденція зростання споживання послуг та необхідність забезпечення при цьому конкурентноздатного рівня якості послуг вимагають необхідність модернізації мереж. Відомий успішний досвід модернізації мереж мобільними операторами з різних країн може бути врахований для підвищення якості надання телекомунікаційних послуг вітчизняними операторами.

Для з'ясування доцільності та можливості здійснення такої модернізації необхідно вирішити наступні завдання:

Визначити показники якості послуг мобільного зв'язку та проаналізувати архітектуру, технології та ресурси наявних мереж мобільного зв'язку.

Розробити метод модернізації та розрахувати очікувані значення показників якості сервісів, яке може бути досягнуте в результаті застосування запропонованого метода.

2. АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ АДАПТАЦІЇ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ ДО ВИМОГ QoS В ТЕХНОЛОГІЇ LTE

2.1 Розвиток та цілі LTE

Робота проектної групи 3GPP щодо Long Term Evolution (LTE) почалася в 2004 році з визначення цілей. Навіть незважаючи на те, що високошвидкісного пакетного доступу (HSDPA) ще не було, після розгортання було очевидно, що слід починати роботу над наступною радіосистемою [26]. Необхідно більше п'яти років від системних цільових налаштувань до комерційного розгортання з використанням сумісності стандартів, тому стандартизація системи повинна починатися досить рано, щоб бути готовою вчасно. Фактори, що стимулюють розвиток LTE:

- еволюція можливостей дротового зв'язку;
- необхідність в більшій ємності бездротового зв'язку;
- зменшення ціни бездротової доставки.

З удосконаленням дротової технології відбувається схожа еволюція необхідні в бездротовому домені, щоб гарантувати безперебійну роботу програм у в ньому.

LTE має бути в змозі забезпечити продуктивність, вищу за продуктивність існуючих мереж 3GPP на основі технології HSPA. Цілі продуктивності в 3GPP визначаються відносно HSPA у Release 6 вимоги E-UTRA/LTE, були задокументовані в Rel-7 3GPP TR 25.913 [27]:

- значно збільшена пікова швидкість передачі даних, наприклад 100 Мбіт/с у низхідній лінії зв'язку 50 Мбіт/с у висхідній лінії зв'язку;
- збільшені бітрейти на краю сот, припускаючи поточне розташування БС;
- зменшена затримка;
- масштабована смуга пропускання для більшої гнучкості розподілу частот;
- зменшення капітальних і операційних витрат, включаючи транспортні витрати;

- прийнятна складність системи і терміналу, вартість і енергоспоживання;
- підтримка взаємодії з існуючими системами 3G і системами, що не підтримують 3GPP;
- ефективна підтримка різних типів послуг, особливо з домену PS (наприклад, голосу VoIP);
- оптимізовано для низької мобільної швидкості, але підтримує високу мобільну швидкість (до 500 км/год).

Після визначення вимог E-UTRA/LTE те саме дослідження Rel-7 випустило 3GPP TR 25.912 « Техніко-економічне обгрунтування розширеного універсального наземного радіодоступу (UTRA) та універсальної наземної мережі радіодоступу (UTRAN)», щоб описати, як радіо частина системи може бути розроблена. З вересня 2006 р. до березня 2009 р. у специфікаціях Rel-8 виконувалася відповідна нормативна робота E-UTRA/LTE[28].

Паралельно з еволюцією архітектури радіо було проведено дослідження 3GPP щодо системи розвитку архітектури (SAE) з метою розробки основи для еволюції або переходу систем 3GPP до системи з вищою швидкістю передачі даних, меншою затримкою пакетів. Оптимізована система, яка підтримує кілька технологій радіодоступу. Ця робота була зосереджена на домені з комутацією пакетів (PS) з припущенням, що в цьому домені будуть підтримуватися голосові служби. Це дослідження призвело до Rel-8 3GPP TR 23.882 і супроводжувалося відповідною нормативною роботою Rel-8[29]. Хоча термін «Evolved UTRA» передбачає поступове вдосконалення існуючої системи UMTS 3-го покоління, нарешті вона стала іншою технологією радіодоступу. У той час як UMTS починався з фокусування на даних з комутацією каналів, які потім все більше і більше вдосконалювалися через спільні канали та HSPA в напрямку системи з комутацією пакетів, LTE є чистою системою з комутацією пакетів.

2.2. Структура та побудова технології LTE

2.2.1 Архітектура LTE

На відміну від моделі з комутацією каналів попередніх стільникових систем, Long Term Evolution (LTE) розроблено для підтримки лише послуг з комутацією пакетів[30]. Вона спрямована на забезпечення безперебійного з'єднання Інтернет-протоколу (IP) між обладнанням користувача (UE) і мережею пакетної передачі даних (PDN) без будь-яких збоїв у додатках кінцевих користувачів під час мобільності.

Хоча термін «LTE» охоплює еволюцію радіодоступу Універсальної мобільної телекомунікаційної системи (UMTS) та UTRAN (E-UTRAN), він також супроводжується еволюцією елементів не радіопідсистеми під терміном (SAE), яка включає мережу Evolved Packet Core (EPC). Разом LTE та SAE складають розвинену пакетну систему (EPS).

EPS використовує концепцію Потокив EPS для маршрутизації IP-трафіку від шлюзу в PDN до UE.

Потік — це потік IP-пакетів із визначеною якістю обслуговування (QoS) між шлюзом і UE. E-UTRAN і EPC разом встановлюють і випускають канали-потоки відповідно до вимог додатків.

EPS надає користувачеві IP-підключення до PDN для доступу до Інтернету, а також для запуску таких послуг, як голос через IP (VoIP). потік EPS зазвичай асоціюється з QoS. Для користувача можна встановити кілька потоків, щоб забезпечити різні потоки QoS або підключення до різних PDN. Наприклад, користувач може здійснювати голосовий (VoIP) дзвінок, одночасно здійснюючи перегляд веб-сторінок або завантажуючи FTP. Потік VoIP забезпечить необхідну якість обслуговування для голосового виклику, тоді як найкращий потік підійде для перегляду веб-сторінок або сеансу FTP. Також мережа повинна забезпечувати достатню безпеку та конфіденційність для користувача та захист мережі від шахрайського використання.

Це досягається за допомогою декількох елементів мережі EPS, які виконують різні ролі. На рис. 2.1 показана загальна архітектура мережі, включаючи елементи мережі та стандартизовані інтерфейси. На високому рівні мережа складається з CN (EPC) і мережі доступу E-UTRAN.

У той час як CN складається з багатьох логічних вузлів, мережа доступу складається по суті лише з одного вузла, вдосконаленого вузла NodeB (eNodeB), який підключається до UE.

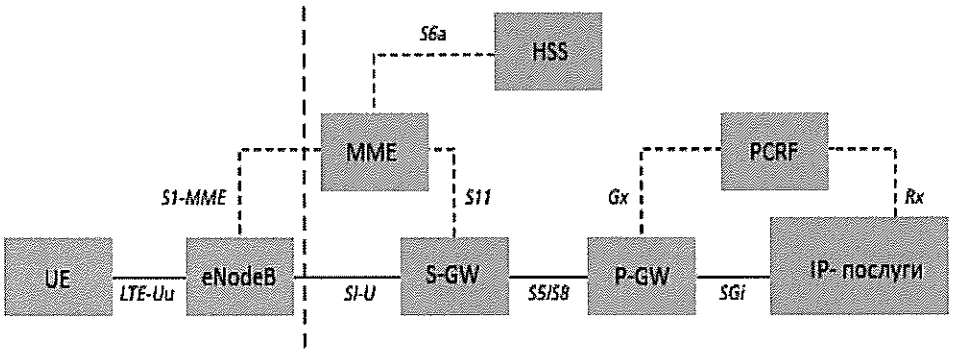


Рис. 2.1. Загальна архітектура мережі LTE.

Кожен із цих мережевих елементів з'єднаний між собою за допомогою стандартизованих інтерфейсів, що забезпечує взаємодію між різними постачальниками.

На високому рівні мережа складається з CN (EPC) і мережі доступу E-UTRAN.

У той час як CN складається з багатьох логічних вузлів, мережа доступу складається по суті лише з одного вузла, вдосконаленого вузла NodeB (eNodeB), який підключається до UE. Кожен із цих мережевих елементів з'єднаний між собою за допомогою стандартизованих інтерфейсів, що забезпечує взаємодію між різними постачальниками. Це дає операторам мереж можливість отримувати різні елементи мережі від різних постачальників. Фактично, мережеві оператори можуть вирішити у своїх фізичних реалізаціях розділити або об'єднати ці логічні елементи мережі залежно від комерційних міркувань. Функціональний розподіл між EPC і E-UTRAN показано на рис. 2.2 елементи мережі EPC і E-UTRAN описані більш детально нижче.

Core Network (називається EPC у SAE) відповідає за загальний контроль UE та встановлення каналів. Основними логічними вузлами EPC є:

- Шлюз PDN (P-GW);
- Обслуговуючий шлюз (S-GW);
- Організація управління мобільністю (MME).

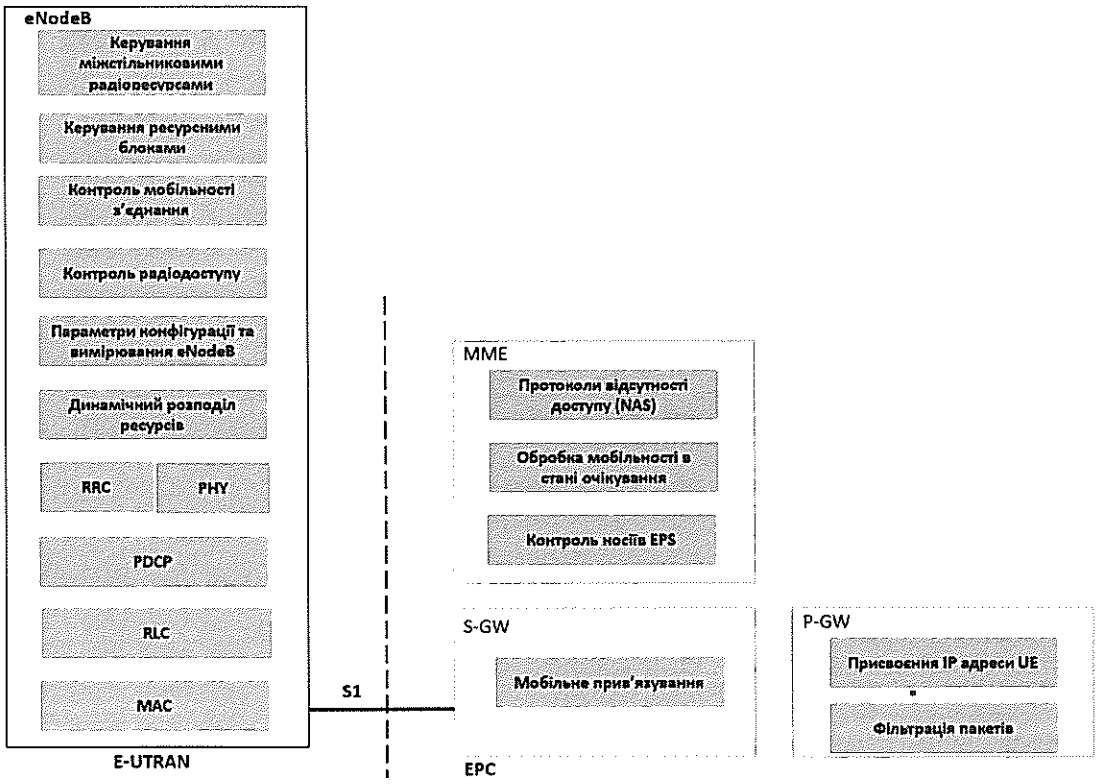


Рис. 2.2. Функціональний розподіл між EPC і E-UTRAN.

На додаток до цих вузлів, EPC також включає інші логічні вузли та функції, такі як домашній абонентський сервер (HSS) та функцію контролю політики та правил стягнення плати (PCRF). Оскільки EPS забезпечує лише канал-потік певного QoS, керування мультимедійними додатками, такими як VoIP, забезпечує IP-мультимедійна підсистема (IMS), яка вважається поза EPS.

Як видно на рис. 2.1. PCRF – це функція контролю політики та правил стягнення плати відповідає за прийняття рішень щодо контролю за політикою, а також за керування функціями нарахування плати на основі потоку у функції контролю за політикою (PCEF), яка знаходиться в P-GW. PCRF забезпечує

авторизацію, яка вирішує, як певний потік даних буде оброблятися в PCEF, і гарантує, що це відповідає профілю підписки користувача.

HSS – Домашній абонентський сервер містить дані підписки SAE користувачів, такі як профіль QoS, підписаний на EPS, і будь-які обмеження доступу для роумінгу. Він також містить інформацію про PDN, до яких користувач може підключитися. Це може бути у формі назви точки доступу (APN) (яке є міткою відповідно до домовленостей про іменування DNS, що описує точку доступу до PDN) або адреси PDN (вказує на передплачену IP-адресу). Крім того, HSS містить динамічну інформацію, таку як ідентичність MME, до якого в даний момент приєднаний або зареєстрований користувач. HSS може також інтегрувати центр автентифікації (AUC), який генерує вектори для автентифікації та ключів безпеки.

P-GW – шлюз PDN відповідає за розподіл IP-адрес для UE, а також за забезпечення якості обслуговування та тарифікацію на основі потоку відповідно до правил PCRF. Він відповідає за фільтрацію IP-пакетів користувача низхідної лінії зв'язку в різні канали на основі QoS. Це виконується на основі шаблонів трафіку (TFT). P-GW виконує контроль якості обслуговування для каналів з гарантованою швидкістю передачі даних (GBR). Він також служить опорою мобільності для взаємодії з технологіями, що не належать до 3GPP, такими як мережі CDMA2000 і WiMAX.

S-GW – усі IP-пакети користувача передаються через обслуговуючий шлюз, який служить мобільним вузлом для Потокив даних, коли UE переміщується між eNodeB. Він також зберігає інформацію про Потоки, коли UE знаходиться в стані очікування (відомому як «EPS Connection Management — IDLE») і тимчасово буферизує дані низхідної лінії зв'язку, поки MME ініціює моніторинг UE, щоб відновити канали. Крім того, S-GW виконує деякі адміністративні функції в відвіданій мережі, такі як збір інформації для стягнення плати (наприклад, обсяг даних, надісланих або отриманих від користувача) і законне перехоплення. Він також служить опорою мобільності для взаємодії з іншими технологіями 3GPP, такими як служба загальної пакетної радіопередачі (GPRS) і UMTS.

MME – Об'єкт керування мобільністю (MME) – це вузол керування, який обробляє сигналізацію між UE та CN. Протоколи, що працюють між UE та CN, відомі як протоколи Non Access Stratum (NAS).

Основні функції, які підтримує MME, можна класифікувати як:

- Функції, пов'язані з керуванням потоками –включають в себе встановлення, підтримку та звільнення каналів і обробляється рівнем керування сеансом у протоколі NAS.
- Функції, пов'язані з керуванням з'єднанням – це включає встановлення з'єднання та безпеки між мережею та UE і обробляється рівнем керування з'єднанням або мобільністю на рівні протоколу NAS.

Процедури контролю NAS описані і більш детально обговорюються в наступному розділі.

2.2.2 Процедури Non Access Stratum

Процедури NAS, особливо процедури керування підключенням, принципово подібні до UMTS. Основна зміна в порівнянні з UMTS полягає в тому, що EPS дозволяє об'єднувати деякі процедури для швидшого встановлення з'єднання та каналів.

MME створює контекст UE, коли UE увімкнено та приєднується до мережі. Він призначає UE унікальний короткий тимчасовий ідентифікатор, який називається SAE Temporary Mobile Subscriber Identity (S-TMSI), який ідентифікує контекст UE у MME. Цей контекст UE містить інформацію про підписку користувача, завантажену з HSS. Локальне зберігання даних про підписку в MME дозволяє швидше виконувати такі процедури, як встановлення потік, оскільки усуває необхідність щоразу звертатися до HSS. Крім того, контекст UE також містить динамічну інформацію, таку як список встановлених потоків і можливості терміналу.

Щоб зменшити накладні витрати в E-UTRAN і обробку в UE, уся пов'язана з UE інформація в мережі доступу, включаючи радіоканали, може бути видалена

протягом тривалих періодів бездіяльності даних. Це стан ECM-IDLE. MME зберігає контекст UE та інформацію про встановлені канали під час цих періодів простою.

Щоб дозволити мережі зв'язатися з UE ECM-IDLE, UE оновлює мережу щодо свого нового розташування щоразу, коли воно виходить із своєї поточної зони відстеження (TA), ця процедура називається оновленням області відстеження. MME відповідає за відстеження місцезнаходження користувача, поки UE знаходиться в ECM-IDLE.

Коли є потреба доставити дані низхідної лінії зв'язку до UE ECM-IDLE, MME надсилає повідомлення пейджингового виклику до всіх eNodeB у своєму поточному TA, а eNodeB пейджинговий виклик UE через радіоінтерфейс. Після отримання пейджингового повідомлення UE виконує процедуру запиту на обслуговування, яка призводить до переміщення UE у стан ECM-CONNECTED. Інформація, пов'язана з UE, таким чином створюється в E-UTRAN, і радіоканали відновлюються. MME відповідає за відновлення радіоканалів і оновлення контексту UE в eNodeB. Цей перехід між станами UE називається переходом з неактивного стану в активний. Щоб пришвидшити перехід із простою в активний і встановлення каналу-потоку, EPS підтримує конкатенацію процедур NAS і Access Stratum (AS) для активації каналу-потоку. Певний взаємозв'язок між протоколами NAS і AS навмисно використовується, щоб дозволити процедурам виконуватися одночасно, а не послідовно, як у UMTS. Наприклад, процедура встановлення потоку може бути виконана мережею без очікування завершення процедури захисту.

Функції безпеки є відповідальністю MME як за сигналізацію, так і за дані користувача. Коли UE приєднується до мережі, взаємна автентифікація UE та мережі виконується між UE та MME/HSS. Ця функція автентифікації також встановлює ключі безпеки, які використовуються для шифрування потоків.

2.2.3 Мережа радіодоступу E-UTRAN

Мережа радіодоступу LTE, E-UTRAN, просто складається з мережі eNodeB, як показано на рис. 2.3. Для звичайного трафіку користувача (на відміну від широкомовного) немає централізованого контролера в E-UTRAN, тому архітектуру E-UTRAN називають плоскою. eNodeB зазвичай з'єднані один з одним за допомогою інтерфейсу, відомого як «X2», і з MME за допомогою інтерфейсу S1-MME і з S-GW за допомогою засобами інтерфейсу S1-U. Протоколи, які працюють між eNodeB і UE, відомі як «Протоколи AS».

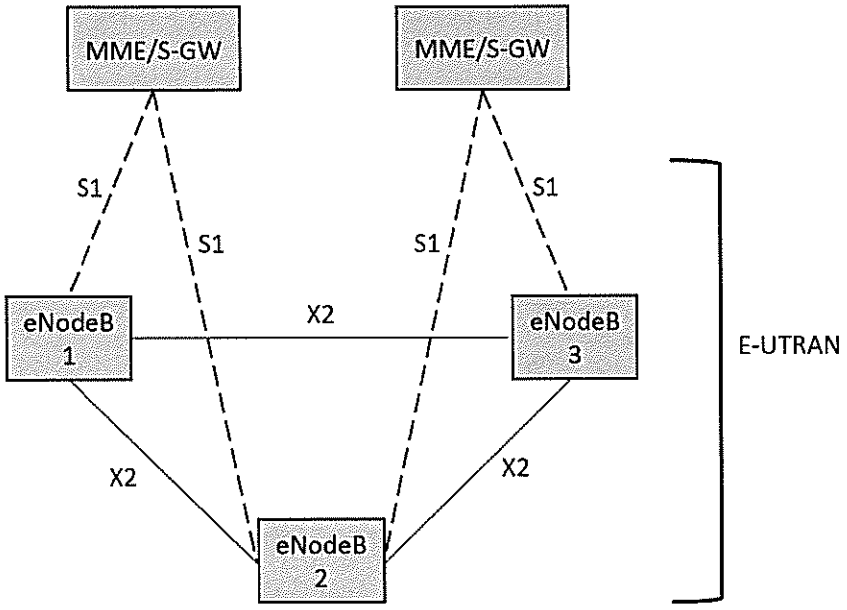


Рис. 2.3. Мережа радіодоступу E-UTRAN.

E-UTRAN відповідає за всі пов'язані з радіо функції, які можна коротко описати так:

– Керування радіоресурсами (RRM) – охоплює всі функції, пов'язані з однонаправленими радіозв'язками, такі як керування радіоканалом, керування допуском радіозв'язку, керування мобільністю радіозв'язку, планування та динамічний розподіл ресурсів для UE як у висхідній, так і в низхідній лінії зв'язку.

- Стиснення заголовків — допомагає забезпечити ефективне використання радіоінтерфейсу шляхом стиснення заголовків IP-пакетів, які в іншому випадку можуть спричинити значні накладні витрати, особливо для невеликих пакетів, таких як VoIP.
- Безпека – усі дані, що надсилаються через радіоінтерфейс, зашифровані.
- З'єднання з EPC – складається з сигналізації до MME та несучого шляху до S-GW.

На стороні мережі всі ці функції знаходяться в eNodeB, кожен з яких може відповідати за керування кількома осередками. На відміну від деяких попередніх технологій другого та третього поколінь, LTE інтегрує функцію радіоконтролера в eNodeB. Це забезпечує тісну взаємодію між різними рівнями протоколів мережі радіодоступу (RAN), таким чином зменшуючи затримку та підвищуючи ефективність. Таке розподілене керування усуває потребу в контролері з високою доступністю та інтенсивними обчислювальними операціями, що, у свою чергу, має потенціал для зниження витрат і уникнення «єдиних точок відмови». Крім того, оскільки LTE не підтримує м'яку передачу, немає потреби у функції централізованого об'єднання даних у мережі.

Одним із наслідків відсутності вузла централізованого контролера є те, що під час переміщення UE мережа повинна передавати всю інформацію, пов'язану з UE, тобто контекст UE, разом із будь-якими буферизованими даними, від одного eNodeB до іншого. Тому необхідні механізми, щоб уникнути втрати даних під час передачі.

Важлива функція інтерфейсу S1, що з'єднує мережу доступу з CN, відома як «S1-flex». Це концепція, згідно з якою кілька вузлів CN (MME/S-GW) можуть обслуговувати спільну географічну територію, будучи з'єднаними сітчастою мережею з набором eNodeB у цій області. Таким чином, eNodeB може обслуговуватися декількома MME/S-GW, як у випадку eNodeB №2 на рис.2.3. Набір вузлів MME/S-GW, який обслуговує загальну область, називається MME. Пул /S-GW, а область, охоплена таким пулом MME/S-GW, називається зоною пулу. Ця концепція дозволяє спільно використовувати UE у комірці або комірках,

керованих одним eNodeB, між декількома вузлами CN, забезпечуючи таким чином можливість розподілу навантаження, а також усуваючи окремі точки відмови для вузлів CN. Контекст UE зазвичай залишається з тим самим MME, доки UE знаходиться в зоні пулу.

2.2.4 . Інтерфейс S1 мережі E-UTRAN

Надання мереж з самооптимізацією (SON) є однією з ключових цілей LTE. Дійсно, самооптимізація мережі є високим пріоритетом для мережевих операторів, як інструмент для отримання найкращої продуктивності мережі економічно ефективним способом, особливо в мінливих середовищах розповсюдження радіохвиль. Тому SON з самого початку став наріжним каменем системи LTE і є концепцією, навколо якої були розроблені всі процедури S1 і X2.

Інтерфейс S1 підключає eNodeB до EPC. Він розділений на два інтерфейси, один для площини керування, а інший для площини користувача.

На рис. 2.5 показана структура протоколу площини керування S1, яка базується на добре відомому стеку протоколу передачі керування потоком / IP (SCTP/IP).

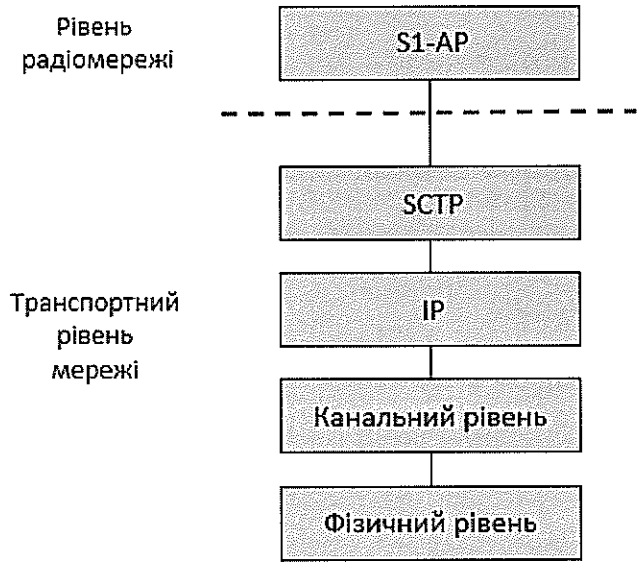


Рис. 2.5 Структура протоколу площини керування S1.

Протокол SCTP добре відомий своїми розширеними функціями, успадкованими від TCP, які забезпечують необхідну надійну доставку сигнальних повідомлень. Крім того, це дає змогу отримати вигоду від покращених функцій, таких як обробка кількох потоків, щоб легко реалізувати резервування транспортної мережі та уникнути блокування головної лінії або багатоадресної адресації.

Область спрощення в LTE (порівняно з інтерфейс UMTS Iu, наприклад) є прямим відображенням протоколу додатків S1 (S1-AP) поверх SCTP. Це призводить до спрощеного стеку протоколів без проміжного протоколу керування з'єднанням, оскільки індивідуальний підключення обробляються безпосередньо на прикладному рівні. Мультиплексування відбувається між S1-AP і SCTP, завдяки чому кожен потік асоціації SCTP мультиплексується з сигнальним трафіком кількох окремих з'єднань.

LTE також забезпечує гнучкість протоколів нижнього рівня, надаючи оператору повну можливість вибору версії IP і канального рівня. Наприклад, це дозволяє оператору розпочати розгортання за допомогою IPv4 із каналом передачі даних, адаптованим до сценарію розгортання мережі.

На рис. 2.6 представлена структура протоколу площини користувача S1 на основі стека GTP/UDP5/IP, який вже використовується в UMTS.

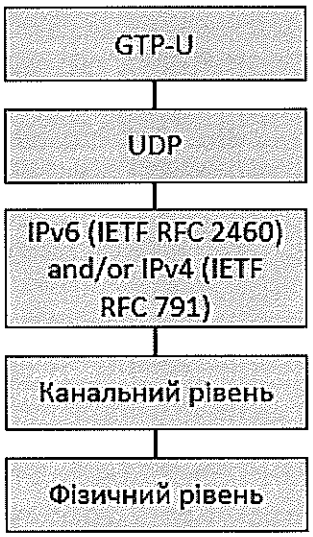


Рис. 2.6 Структура протоколу площини користувача S1.

Однією з переваг використання протоколу тунелювання GPRS є площина користувача (GTP-U) та властива йому функція ідентифікації тунелів і сприяння нмобільності всередині 3GPP. При цьому номер версії IP і рівень каналу передачі даних залишаються повністю необов'язковими, як і у випадку використання стека площини керування.

S1 ідентифікується кінцевими точками тунелю GTP та IP-адресою, S-GW надсилає пакети низхідної лінії зв'язку заданого каналу на IP-адресу eNodeB (отриману в S1-AP), пов'язані з цим конкретним потоком. Так само, eNodeB надсилає висхідні пакети певного каналу на IP-адресу EPC (отриману в S1-AP), пов'язану з цим конкретним каналом.

2.2.4 . Інтерфейс X2 мережі E-UTRAN

Інтерфейс X2 використовується для з'єднання eNodeB. Стеки протоколів рівня керування та користувача через інтерфейс X2, показані на рис 2.7 , такі ж, як і для інтерфейсу S1, за винятком того, що X2-AP замінено на S1-AP.

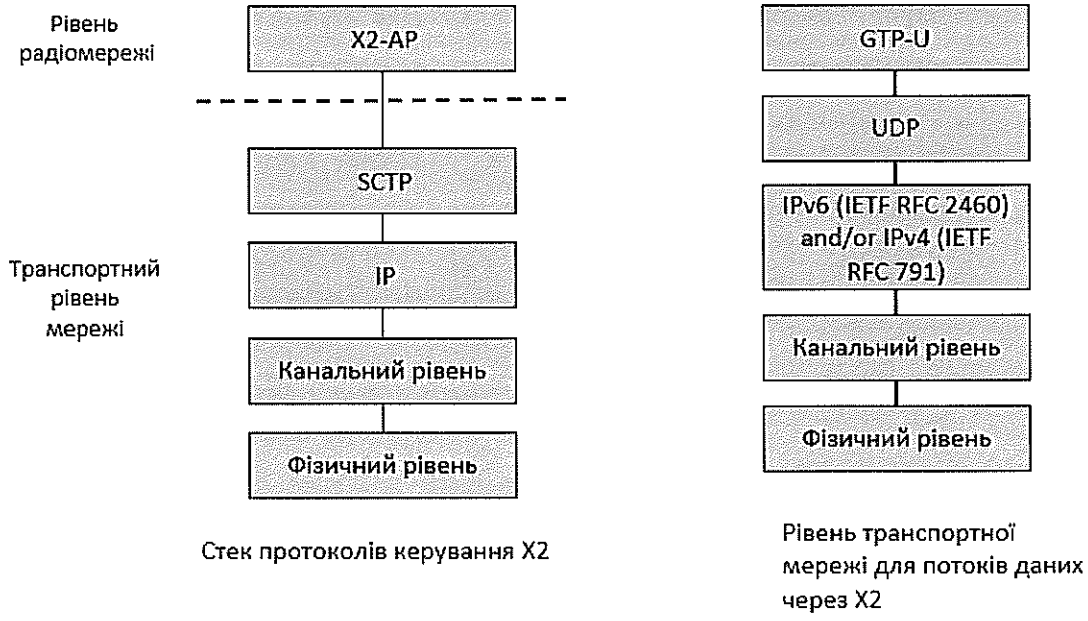


Рис 2.7. Стеки протоколів рівня керування та користувача через інтерфейс X2.

Використання однакової структури протоколу в обох інтерфейсах забезпечує такі переваги, як спрощення операції пересилання даних.

Інтерфейс X2 може бути встановлений між одним eNodeB і деякими з його сусідніх eNodeB для обміну інформацією сигналізації, коли це необхідно. Однак повна сітка не є обов'язковою в мережі E-UTRAN. Як правило, через X2 може знадобитися обмін двома типами інформації для встановлення інтерфейсу X2 між двома eNodeB: інформацією, пов'язаною з навантаженням або перешкодами та інформацією, пов'язаною з передачею.

Оскільки ці два типи інформації є повністю незалежними один від одного, можливо, що інтерфейс X2 може бути присутнім між двома eNodeB з метою обміну інформацією про навантаження або перешкоди, навіть якщо процедура передачі обслуговування X2 не використовується для передачі обслуговування UE між UE. ці eNodeB. У такому випадку замість цього використовується процедура передачі S1. Ініціалізація інтерфейсу X2 починається з ідентифікації відповідного сусіда з наступним налаштуванням TNL.

Ідентифікацію відповідного сусіда можна виконати за допомогою конфігурації або, альтернативно, за допомогою функції, відомої як функція автоматичного сусідства (ANRF). Ця функція використовує UE для ідентифікації корисних сусідніх вузлів eNodeB: eNodeB може попросити UE прочитати ідентифікатор глобальної комірки з широкомовної інформації іншого eNodeB, для якого UE ідентифікував ідентифікатор фізичної комірки (PCI) під час нової комірки. процедура ідентифікації. ANRF є ще одним прикладом процесу SON, успішно запровадженого в LTE. За допомогою цього процесу самооптимізації вимірювання UE та eNodeB використовуються для автоматичного налаштування мережі.

Після визначення відповідного сусіда eNodeB, що ініціює, може налаштувати TNL, використовуючи IP-адресу X2 цього сусіда, отриману з мережі або налаштовану локально. Зокрема, спеціальну процедуру конфігурації SON через S1, яка називається процедурою передачі конфігурації eNB, було розроблено, щоб дозволити ініціюючому eNodeB безпосередньо запитувати через інтерфейс S1 IP-

адресу X2 виявленого сусіднього eNodeB для використання для встановлення X2. Це мережеве рішення через інтерфейс S1 може уникнути необхідності використання оператором інших більш складних мережевих рішень, таких як розгортання серверів DNS.

Після налаштування TNL ініціюючий eNodeB повинен запустити процедуру налаштування X2. Ця процедура забезпечує автоматичний обмін даними конфігурації на рівні програми, що стосуються інтерфейсу X2, подібно до процедури налаштування S1. Наприклад, кожен eNodeB повідомляє сусідньому eNodeB, використовуючи повідомлення X2 Setup Request, інформацію про кожну комірку, якою він керує, таку як фізична ідентичність комірки, смуга частот, ідентичність зони відстеження та/або пов'язані PLMN.

Цей автоматичний обмін даними в процедурі встановлення X2 також є ядром іншої функції SON: автоматичної самоналаштування PCI. Згідно з цією новою функцією SON, система O&M може надавати eNodeB або список можливих значень PCI для використання, або конкретне значення PCI. У першому випадку, щоб уникнути зіткнень, eNodeB повинен використовувати PCI, який ще не використовується в його сусідстві. Оскільки інформація PCI включена в процедуру налаштування LTE X2, під час виявлення сусідньої комірки за допомогою функції ANR eNodeB також може виявити всі значення PCI, що використовуються поблизу цієї комірки, і, отже, виключити ці значення зі списку відповідних PCI.

2.3 Критерії PSNR та MOS для оцінки якості передачі мультимедійної інформації в LTE

Мультимедійна інформація, така як відео та аудіо, стає все більш популярною в мережах передачі даних, таких як LTE .Забезпечення високої якості передачі мультимедійних контентів є важливим завданням для операторів мереж і розробників мультимедійних додатків. Для оцінки якості передачі мультимедійної інформації в мережі LTE часто використовуються два основних критерії - PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) та MOS (Mean Opinion Score).

PSNR - це метрика, яка вимірює якість відео або зображення, порівнюючи оригінальний сигнал з прийнятим сигналом після компресії або передачі[31]. Вираз PSNR виглядає наступним чином:

$$PSNR = 10\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right),$$

де MAX – максимальне значення пікселя (зазвичай 255 для зображень з глибиною кольору 8 біт на канал), MSE- середньоквадратична помилка між оригінальним і прийнятим сигналами. Вище значення PSNR вказує на кращу якість передачі.

PSNR часто використовується в індустрії мультимедіа для оцінки якості стиснутих відео чи зображень, що передаються через мережі LTE. Він дозволяє операторам оцінювати вплив різних методів компресії та передачі на якість мультимедійних даних.

MOS – це метрика, яка базується на споживацькому враженні і відображає відчуття користувача щодо якості мультимедійного вмісту[31]. MOS оцінюється за допомогою опитувань, де користувачі визначають, наскільки задоволені якістю вмісту, виставляючи оцінки від 1 (найгірше) до 5 (найкраще).

MOS дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку, оскільки враховує враження користувачів. Це особливо важливо в мультимедійних додатках, де якість відео чи аудіо може впливати на задоволення користувачів і їхню відданість платформі.

Обидва критерії PSNR та MOS мають свої переваги та обмеження.

PSNR надає швидку оцінку якості, але він не завжди відображає реальні враження користувачів, оскільки не враховує їх суб'єктивне сприйняття якості сервісів.

MOS, навпаки, надає оцінку на основі вражень користувачів, але вимагає проведення опитувань, які, зазвичай, потребують великих витрат часу і ресурсів. Однак комбінування обох підходів може бути корисним для отримання більш повної оцінки якості передачі мультимедійної інформації в мережі LTE.

Таблиця 2.1, що містить значення PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) та MOS (Mean Opinion Score) для різних рівнів якості мультимедійної передачі, наведена нижче.

Таблиця 2.1. Відношення значень PSNR та MOS.

Рівень якості	**PSNR (дБ)**	**MOS**
Відмінний	> 45	5,00
Дуже хороший	40-45	4,50
Хороший	35-40	4,00
Прийнятний	30-35	3,50
Задовільний	25-30	3,00
Поганий	< 25	2,50

Наведені в таблиці 2.1. значення є загальними орієнтирами і можуть варіюватися в залежності від конкретного вимірювання, а також від суб'єктивного сприйняття якості сервісів користувачами. MOS є корисним у випадках, коли важливо враховувати враження користувачів, тоді як PSNR може бути корисним для технічного аналізу та моніторингу якості в мережі LTE.

2.4 Забезпечення якості обслуговування в потоках ESP

У типовому випадку кілька програм можуть працювати в UE в будь-який час, кожна з яких має різні вимоги до якості обслуговування. Наприклад, UE може здійснювати виклик VoIP, одночасно переглядаючи веб-сторінку або завантажуючи FTP-файл. VoIP має суворіші вимоги QoS щодо затримки та тремтіння затримки, ніж перегляд веб-сторінок і FTP, тоді як для останнього вимагається набагато нижчий рівень втрати пакетів. Щоб підтримувати численні вимоги QoS, у вдосконаленій пакетній системі встановлюються різні канали, кожен з яких пов'язаний із QoS.

Визначення потоку ESP

Загалом, потоки можна віднести до двох категорій залежно від характеру QoS, який вони забезпечують:

- Потоки з мінімальною гарантованою швидкістю передачі даних (GBR), які можна використовувати для таких програм, як VoIP. Вони мають асоційоване значення GBR, для якого виділені ресурси передачі постійно розподіляються (наприклад, функцією контролю доступу в eNodeB) під час встановлення або модифікації потоку. Швидкість передачі даних, що перевищує GBR, може бути дозволена для потоку GBR, якщо доступні ресурси. У таких випадках параметр максимальної швидкості передачі даних (MBR), який також може бути пов'язаний із каналом GBR, встановлює верхню межу швидкості передачі даних, яку можна очікувати від каналу GBR.
- Потоки без GBR, які не гарантують певну швидкість передачі даних. Їх можна використовувати для таких програм, як веб-перегляд або передача по FTP. Для цих каналів-потоків жодні ресурси пропускної здатності не виділяються на постійній основі.

У мережі доступу eNodeB відповідає за забезпечення необхідного рівня QoS для потік через радіоінтерфейс. Кожен потік має пов'язаний QCI та пріоритет розподілу та збереження (ARP).

Кожен QCI характеризується пріоритетом затримки пакетів і прийнятною швидкістю втрати пакетів. Мітка QCI для потік визначає, як він обробляється в eNodeB. Було стандартизовано лише десяток таких QCI, щоб усі постачальники могли однаково розуміти базові характеристики послуг і, таким чином, забезпечувати відповідне обслуговування пакетів, в тому числі керування чергами.

Це гарантує, що оператор LTE може розраховувати на однакову поведінку обробки трафіку в усій мережі незалежно від виробників обладнання eNodeB.

Пріоритет і затримка пакетів, відповідні мітці QCI, визначають конфігурацію режиму RLC і те, як планувальник у MAC реалізує політики планування, керування чергами та формування тарифів при обробці пакетів, надісланих через потік ESP. Тоді можна очікувати, що передачу пакету із вищим пріоритетом буде заплановано перед передачею пакета із нижчим пріоритетом.

ARP потоку каналу використовується для керування доступом до потоку, тобто для вирішення питання про те, чи потрібно встановити запитаний потік каналу у разі перевантаження радіозв'язку. Він також регулює пріоритетність потоків для запитів на їх встановлення . Після успішного встановлення потоку його ARP не впливає на обробку пересилання пакетів на рівні потоків (наприклад, для планування та керування швидкістю). Така обробка пересилання пакетів повинна визначатися виключно іншими параметрами QoS рівня потік, такими як QCI, GBR і MBR.

Потік EPS має перетинати кілька інтерфейсів, як показано на рис. 2.4 — інтерфейс S5/S8 від P-GW до S-GW, інтерфейс S1 від S-GW до eNodeB та радіоінтерфейс (також відомий як «інтерфейс LTE-Uu») від eNodeB до UE. У кожному інтерфейсі канал EPS відображається на каналі нижчого рівня, кожен з яких має власний ідентифікатор каналу. Кожен вузол повинен відстежувати зв'язки між ідентифікаторами каналів через різні інтерфейси.

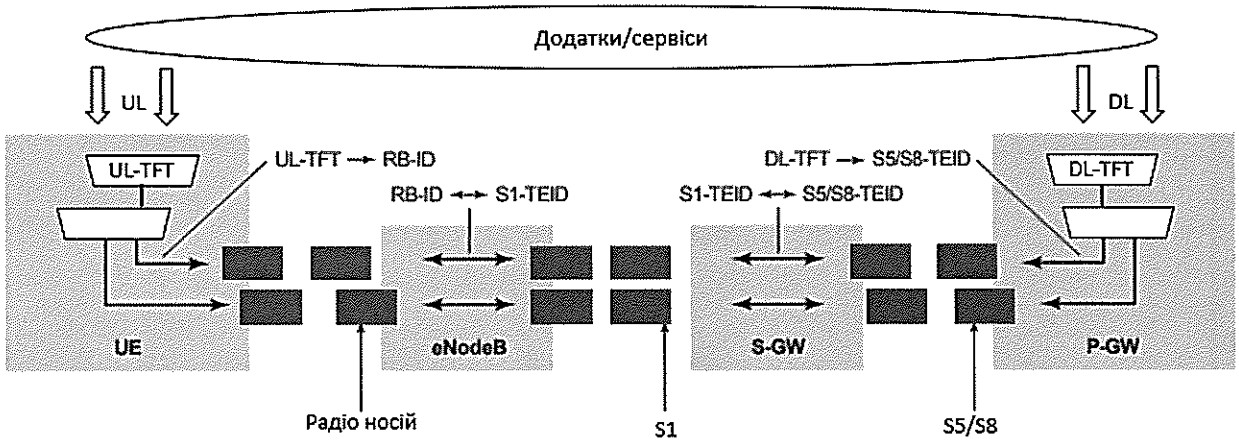


Рис. 2.4 Канал LTE/SAE через різні інтерфейси.

Канал S5/S8 транспортує пакети каналу EPS між P-GW і S-GW. S-GW зберігає відображення один-до-одного між каналом S1 і каналом S5/S8. Потік ідентифікується за ідентифікатором тунелю GTP на обох інтерфейсах. Пакети каналу EPS транспортуються каналом S1 між S-GW і eNodeB, а також радіоканалом між UE і eNodeB. eNodeB зберігає взаємне відображення між ідентифікатором радіоканалу та каналом S1 для створення відображення між ними.

IP-пакети, зіставлені з тим самим каналом EPS, отримують однакову обробку пересилання пакетів на рівні каналу.

У рамках процедури, за допомогою якої UE приєднується до мережі, UE призначається IP-адреса P-GW і встановлюється принаймні один потік. Це називається потоком за замовчуванням, який залишається встановленим протягом усього терміну служби з'єднання PDN, що забезпечує UE постійне IP-підключення до цього PDN.

Початкові значення параметрів QoS для потоку за замовчуванням призначаються MME на основі даних підписки, отриманих із HSS. PCEF може змінювати ці значення у взаємодії з PCRF або відповідно до локальної конфігурації. Додаткові потоки, які називаються виділеними, також можуть бути встановлені в будь-який час під час або після завершення процедури приєднання. Виділений потік може бути як GBR, так і не GBR (канал за замовчуванням завжди має бути не GBR, оскільки він встановлений постійно).

Для мережі доступу має бути прозорим розрізнення між потоками за замовчуванням і виділеними потоками. Кожен потік має асоційований рівень QoS, і якщо для даного UE встановлено більше ніж один канал, то кожен канал також повинен бути пов'язаний з відповідними TFT. Ці виділені канали можуть бути встановлені мережею на основі, наприклад, тригера з домену IMS, або вони можуть бути запрошені UE. Виділені канали для UE можуть надаватися одним або кількома P-GW.

Значення параметрів QoS на рівні потік для виділених каналів приймаються P-GW від PCRF і передаються до S-GW. MME лише прозоро передає ті значення, отримані від S-GW через контрольну точку S11 до E-UTRAN.

Висновки до другого розділу

Встановлено, що для більшості сервісів, заснованих на пакетній передачі даних, комплексне використання таких показників QoS, як PSNR та MOS забезпечує можливість технічного контролю якості сервісів та врахування при

цьому суб'єктивних очікувань користувачів. Ці дані можуть бути використані для адаптації системи передачі даних з метою забезпечення затребуваного рівня якості сервісів.

В технології LTE, широко впровадженої в вітчизняних мережах мобільного зв'язку, реалізовані алгоритми адаптації системи передачі даних до затребуваного рівня якості сервісів на основі використання міток QCI для визначення пріоритетів заявок і пакетів, а також перерозподілу ресурсів у підсистемі радіозв'язку (EUTRAN) та на рівнях потоків EPS.

З огляду на зростаючий обсяг використання сервісів, заснованих на передачі даних, та необхідність забезпечувати затребуваний рівень QoS доцільним є модифікація базових станцій технології UMTS та використання існуючих мереж LTE.

Слід зауважити, що в рамках архітектури UMTS неможливо модифікувати ядро мережі до рівня EPS LTE. Тому необхідно інтегрувати базові станції технології UMTS таким чином, щоб вони використовували EPS існуючої мережі LTE. Також це потребує модифікації радіопідсистеми з метою підтримки технології LTE.

Відмова від технології UMTS звільнює такий ресурс радіопідсистеми, як спектр частот, що може бути безпосередньо використаний для впровадження технології LTE без суттєвих витрат на інфраструктуру та нове обладнання радіопідсистеми.

3. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ NodeB ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

З огляду на зростаючий обсяг використання сервісів, заснованих на передачі даних та необхідності забезпечувати затребуваний рівень QoS, пропоную виконати вдосконалення базових станцій UMTS шляхом модернізації радіопідсистеми UTRAN, як показано на рис.3.1.

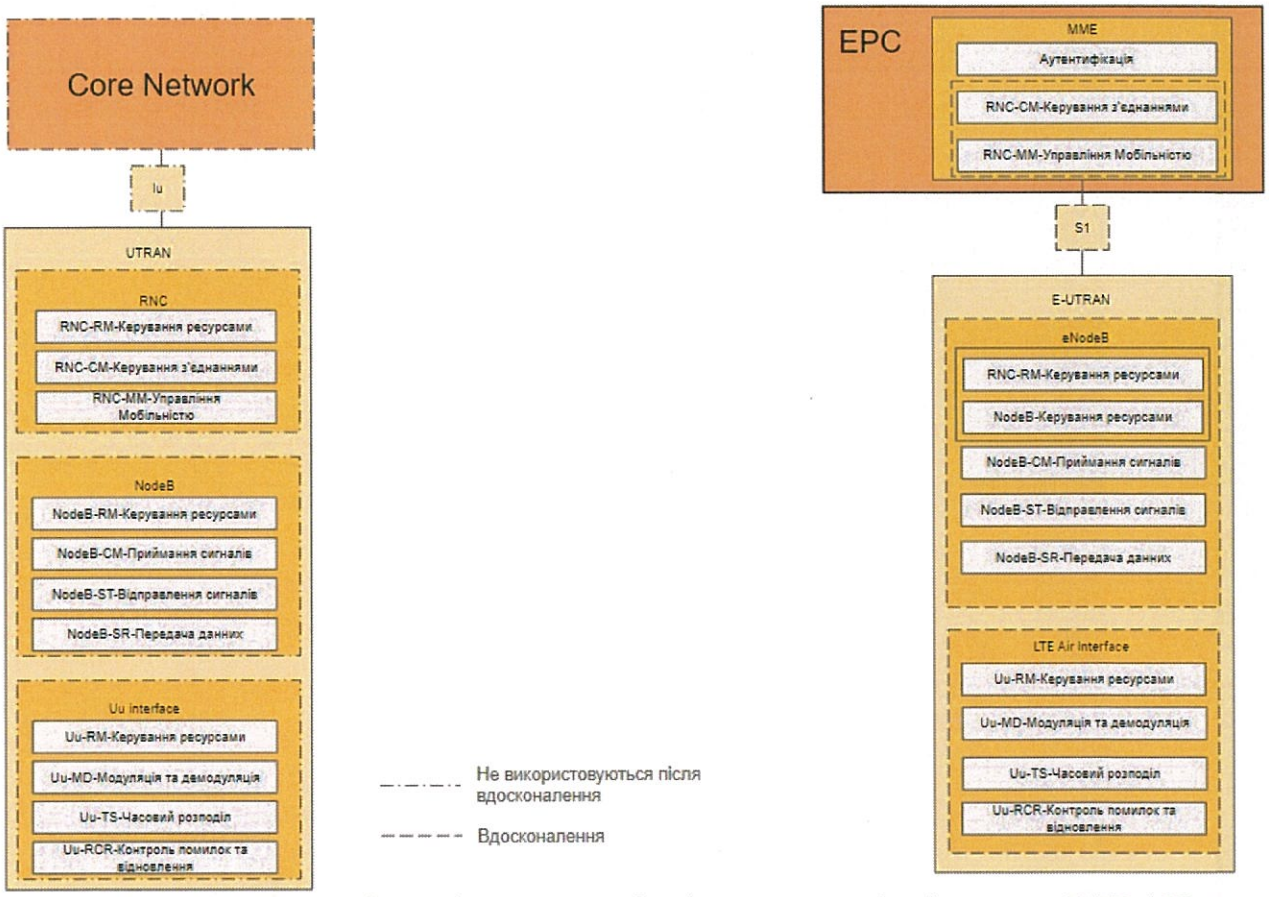


Рис.3.1. Схема функціональних відмінностей радіопідсистем UTRAN та EUTRAN.

Слід зауважити, що в рамках архітектури UMTS неможливо модифікувати ядро мережі до рівня EPS LTE. Тому, необхідно інтегрувати базові станції технології UMTS таким чином, щоб вони використовували EPS існуючої мережі LTE.

Розглянемо функціональні блоки UTRAN та визначимо, які блоки можна використати для модернізації до радіопідсистеми E-UTRAN, а також блоки, що потребують вдосконалення.

Для з'єднання підсистеми UTRAN з Core Network використовується Iu – інтерфейс, який, в свою чергу, розділяє інтерфейс на lu-CS для голосового обслуговування та lu-PS для пакетних даних.

Внаслідок модернізації інтерфейси lu-CS та lu-PS об'єднуються в єдиний інтерфейс S1, що одночасно підтримує голосове та пакетне обслуговування даних в єдиній плоскій архітектурі. В результаті цього вдосконалення S1 має кращу швидкість передачі даних та менші затримки, що робить його більш ефективним для передачі великого обсягу даних.

У мережі UMTS RNC виконує функції централізованого керування ресурсами, керування з'єднаннями та мобільністю. При переході до мережі LTE з плоскою архітектурою функціонально-централізована архітектура RNC змінюється розподіленими функціями. Функція керування ресурсами, яку виконував RNC, в результаті вдосконалення повинні виконуватися в eNodeB, що керують ресурсами на рівні базових станцій. Функцію керування з'єднанням необхідно розділити на функції керування на рівні базової станції, за який відповідає eNodeB, та функції встановлення з'єднань на рівні мережевого ядра, за яке відповідає MME. Функція управління мобільністю, що відповідає за обслуговування мобільних пристроїв під час руху, також переходить на рівень MME.

В результаті розглянутого розподілу функцій мережа отримає додаткову гнучкість та масштабованість, оскільки нові елементи мережі можуть бути додані без значних змін в самій мережі. Отже, RNC більше не є необхідним мережевим елементом.

При переході від NodeB до eNodeB багато функцій залишається, але також може відбутися розширення та вдосконалення існуючих сервісів.

Функції приймання та відправлення сигналів NodeB виконуються на рівні базової станції та в подальшому обробляються в RNC. На відміну від цього, eNodeB обробляє сигнали на рівні базових станцій.

Функція передачі даних NodeB відповідає за обробку голосу та пакетних даних, ця функція залишається в eNodeB, але є більш ефективною для обробки великого обсягу пакетних даних.

В результаті вдосконалення NodeB до рівня eNodeB також може бути впроваджена підтримка технологій MIMO, що дозволяє підвищити швидкість передачі даних та якість обслуговування користувачів.

3.1. Аналіз та вибір технічних рішень для модернізації базових станцій

Існує багато виробників телекомунікаційного обладнання, що мають в свої лінійках технічні концепції, які дозволяють об'єднувати різні системи радіодоступу в один єдиний елемент RAN. Є сенс в тому, щоб взяти за основу ці рішення, при цьому необхідно розглянути їх можливості в модернізації.

Концепція єдиної мережі радіодоступу існує вже кілька років, при цьому потенціал відповідної технології такий, що вона швидко розвивається та задовольняє зростаючі потреби мобільного широкосмугового зв'язку.

Компанія «Nokia» у 2008 році представила технологію Single RAN, засновану на реалізації різних радіотехнологій в одній багатоцільовій апаратній платформі[32]. У своїй найбільш розвиненій формі Single RAN складається з однієї радіоустановки із загальною транспортною та операційно-управлінською системою та інтегрованою в неї єдиною підсистемою безпеки радіодоступу (RAT). Крім того, це забезпечує єдину координацію та роботу різних RAT, а також можливість використовувати існуючі RAT для досягнення найкращої продуктивності шляхом координації їхніх переваг.

Незважаючи на широке поширення Single RAN, концепція єдиної мережі радіодоступу не стандартизована галузевою організацією. Тому постачальники обладнання пропонують різні рішення в рамках концепції єдиної мережі, деякі з

них базуються на стандартах 3GPP, а інші є інтелектуальною власністю виробника. Оператори мобільного зв'язку зазвичай очікують, що використання цієї концепції забезпечить:

– ефективне використання (в тому числі рефармінг) спектру частот;
– ефективне спільне використання обладнання;
– плавну еволюцію GSM, HSPA та LTE;
– спрощення архітектури мережі;
– зниження енергоспоживання;
– спрощення IP-транспорту;
– автоматизацію безпеки радіодоступу, сумісну з стандартами 3GPP;
– зниження експлуатаційних витрат.

Усі ці переваги можливі завдяки регенеруванню, спільному використанню та модернізації обладнання та програмного забезпечення.

Технологія Single RAN, запропонована компанією «Nokia», усуває складність такої модернізації обладнання за рахунок реалізації різних технологій на одній апаратній платформі. Це дозволяє перейти від інсталяцій обладнання для кожної радіотехнології з власними транспортними та операційними потребами до інсталяцій із спільною транспортною та операційною системою та системою управління.

Уніфікована радіопідсистема, яка пропонується в рамках рішення Single RAN, може змінювати свою функціональність від підсилювачів потужності з однією несучою (SCPA) у GSM до підсилювачів потужності з кількома несучими (MCPA), які використовуються в мережах LTE та HSPA, що здійснюється за рахунок за допомогою простого оновлення програмного забезпечення. Таке спільне використання радіочастот забезпечує можливість використання існуючих базових станцій одночасно для GSM і LTE, або GSM і HSPA, залежно від частотного діапазону.

Коли один і той самий спектр використовується спільно, радіочастотна потужність і передній транспорт можуть спільно використовуватися різними радіочастотними технологіями, і ми можемо очікувати, що ці можливості розвиватимуться далі в майбутніх поколіннях продуктів рис.3.2.

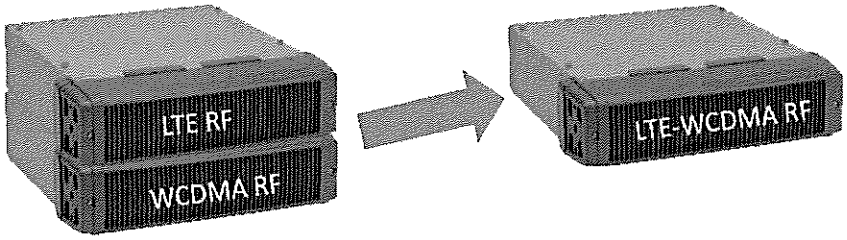


Рис.3.2. Оптимізація радіомодулів шляхом оновлення програмного забезпечення.

Модульна конструкція базової станції дозволяє оператору починати з невеликих конфігурацій (покриття) і розширювати їх у міру зростання потреб. Кількість підтримуваних смуг частот базової станції можна розширити шляхом віддаленого оновлення програмного забезпечення та додавання процесорних підмодулів, а також каскадування основних модулів.

Наприклад, технологія Single RAN дозволяє, замість підключення одного або двох системних модулів різних стандартів, збільшити кількість підтримуваних смуг частот у два-три рази та об'єднати три стандарти в один без необхідності встановлення нового системного блоку та обмежитись встановленням додаткових підмодулів FBBA або FBBC, як показано на рис.3.3.

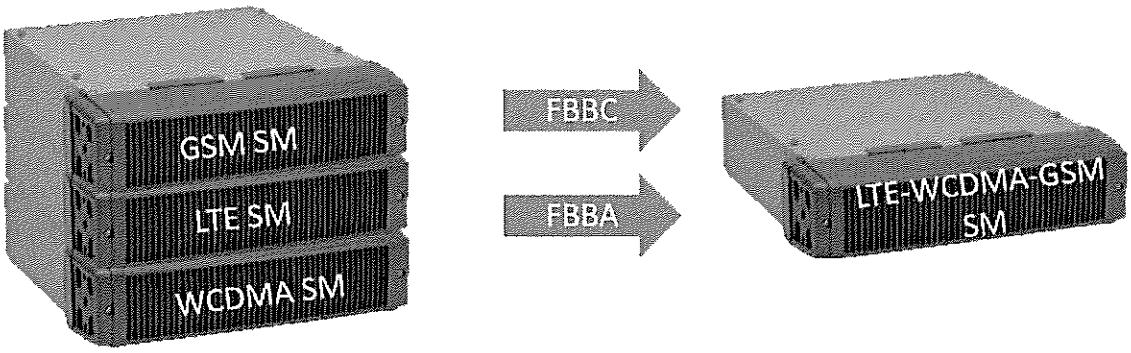


Рис. 3.3. Оптимізація системних модулів.

Оператори, які додають нові сайти базових станцій LTE, помітили, що споживання енергії базовими станціями зазвичай збільшується на 20%. З базовими станціями з підтримкою Single RAN зростання споживання енергії, спричинене розгортанням LTE, можна зменшити шляхом модернізації старих компонентів базових станцій GSM і HSPA. Наприклад, базова станція Single RAN споживає на 60% менше енергії порівняно з традиційними базовими станціями з однією технологією.

Відомо про успішне практичне впровадження цієї технології [33]: оператор із Саудівської Аравії «Zain KSA» та компанія «Nokia» заявили, що завершили перше випробування агрегації несучих операторів LTE у близькосхідній країні в рамках проекту оновлення мережі. Пілотна агрегація несучих, проведена в західній Саудівській Аравії, успішно поєднала діапазони FDD-LTE на частотах 1800 МГц і 2100 МГц. Компанія «Nokia» заявила, що це випробування було першим, проведеним у країні, і воно підвищило швидкість мережі «Zain» до 150 Мбіт/с.

Також відомо про тестування південнокорейським оператором мобільного зв'язку «SK Telecom» агрегації десяти діапазонів спектру 20 МГц[34]. У тесті використовувалося рішення «Nokia» Single RAN, включаючи базову станцію Flexi Multiradio 10, доповнену програмним забезпеченням для агрегування несучих у спектрі TDD і FDD LTE та для реалізації технології LTE-Advanced. Що, в свою чергу, призвело для досягнення рекордної швидкості пропускання LTE 3,78 Гбіт/с.

Компанія NOKIA відзначила, що їхня демонстрація рекордної продуктивності вдвічі перевищила кількість несучих і пропускну здатність, визначену 3GPP, яка передбачає об'єднання 5 несучих із загальною смугою пропускання 100 МГц. «Це значне досягнення пропускної здатності ґрунтується на нашій довгостроковій співпраці з «Nokia», щоб максимально використати конвергентні технології TDD-FDD. Це також є доказом нашого незмінного лідерства у забезпеченні найшвидших з'єднань і найвищої якості для абонентів, які користуються розширеними послугами передачі даних», – сказав Алекс Джінсун Чой, виконавчий віце-президент і керівник відділу досліджень і розробок ІКТ у «SK Telecom». [34].

Технічне рішення Uni-RAN від компанії «ZTE» відповідає всім «передбачуваним основним потребам із зниженням загальної вартості володіння, захищаючи інвестиції клієнтів у технології майбутнього» [36].

Uni-RAN дає змогу одному радіоблоку підтримувати декілька режимів радіозв'язку в межах одного діапазону частот. У різних частотних діапазонах багаторежимна гібридна мережа організується шляхом спільного використання однієї базової смуги декількома радіочастотними блоками, що ефективно об'єднує багаточастотну та багаторежимну мережі, значно знижуючи експлуатаційні витрати.

NodeB Uni-RAN є уніфікованою платформою , яка мінімізує розміри базової станції та оптимізує її продуктивність. Пропускна здатність кожного модуля Uni-RAN для DL досягає 130 Мбіт/с, а для UL — 35 Мбіт/с, що не тільки відповідає вимогам багаторежимної мережі, але й є достатнім для плавного переходу в майбутньому до мережі HSPA+/LTE.

Оновлення програмного забезпечення, плавна еволюція LTE Evolution на базі Uni-RAN NodeB дозволяє перейти до використання LTE, просто додавши плату обробки основної смуги LTE та відповідні радіочастотні модулі. В цьому випадку (разом із оновленням програмного забезпечення) досягається пропускна здатність мережі DL 150 Мбіт/с/UL 75 Мбіт/с на комірку.

Рішення «ZTE» Uni-RAN допомагає операторам здійснити перехід до уніфікованого управління та обслуговування, а також до спільного використання ресурсів різних систем і, як наслідок, заощадити понад 30% витрат на розбудову мережі. Використання та впровадження Uni-RAN спрощує процес оновлення мережі та реалізує справжню плавну еволюцію, що подовжує термін служби обладнання, забезпечуючи стабільність і надійність мережі.

З відкритих джерел відомо, що мобільний оператор «Digicel» використовує обладнання від «ZTE» для розширення своїх мереж 4G LTE на 26 ринках Карибського басейну та Центральної Америки[35].

Рішення «ZTE» 4G LTE, включаючи Uni-RAN, допомагають «Digicel» оновити та оптимізувати свою інфраструктуру в рамках поточної програми трансформації мережі, забезпечуючи абонентам чудове мобільне підключення до Інтернету та покриття. Рішення «ZTE» Uni-RAN підтримуватимуть еволюцію мережі «Digicel», забезпечуючи розгортання цифрових послуг наступного покоління та бізнес-інновацій.

Розглянувши технічні варіанти щодо модернізації базових станцій, можна зробити висновок, що обидва варіанти підходять для вирішення наших завдань. Але спираючись на дані з відкритих джерел, мною не було знайдено підтвердження щодо інтеграції LTE 2100 Мгц на базі технології Uni-RAN від компанії «ZTE». Оскільки є практичне підтвердження впровадження компанією NOKIA LTE 2100 Мгц та реалізації технології CA, то за основу для технічної модернізації NodeB слід вибрати рішення Single-RAN від компанії «Nokia»

3.2. Розроблення частотного плану для впровадження LTE 2100

Для впровадження LTE після здійснення запропонованої модернізації базових станцій необхідно використати наявний діапазон частот без вдосконалення антенно-фідерних пристроїв . Для цього необхідно розглянути частотні діапазони, використовувані в Україні операторами мобільного зв'язку в рамках технології

UMTS, та можливі варіанти реалізації з використанням нових технологій, таких як: MIMO (Multiple Input Multiple Output) та CA (Carrier aggregation).

План радіочастотного ресурсу в Україні передбачає використання частот діапазоні від 9 кГц до 250 ГГц (250000000 кГц), однак для надання телекомунікаційних послуг передбачено значно менше діапазонів[37].

Для технології GSM передбачено такі частотні діапазони:

- 900 МГц: 50 МГц на відрізку від 890 МГц до 960 МГц;
- 1800 МГц: 150 МГц на відрізку від 1710 МГц до 1880 МГц;
- E-GSM: 20 МГц на відрізку від 880 МГц до 935 МГц;
- R-GSM: 8 МГц на відрізку від 876 МГц до 925 МГц.

Для технології UMTS передбачено 135 МГц на відрізку від 1900 МГц до 2170 МГц.

Для технології LTE передбачено діапазони:

- 1800 МГц: 150 МГц на відрізку від 1710 МГц до 1880 МГц;
- 2600 МГц: 80 МГц на відрізку від 2510 МГц до 2690 МГц;

Для технології CDMA-800 37.78 МГц на відрізку від 824 МГц до 887.97 МГц та 6 МГц на відрізку від 450 МГц до 463 МГц для CDMA-450.

Розглянемо розподіл радіочастот між операторами телекомунікацій і технологіями, які зображено на рис. 3.4.[37].

Технологія (частота, МГц)	Київстар	Водафон	Лайфселл	Інтертеле-ком	Тримоб	Всього, МГц
GSM (900)	533.4	269	200			**1 002.4**
E – GSM (900)	100.8					**100.8**
UMTS (2000)	810	810	810		810	**3 240**
LTE (2600)	810	540	810			**2 160**
LTE/GSM (1800)	1 890	1 350	810			**4 050**
CDMA (800-900)			135.0	740.3		**885.3**
Всього	**4 144.2**	**2 969**	**2 626.6**	**740.3**	**810**	**11 300.1**

Рис. 3.4. Розподіл радіочастот між операторами[37].

Як видно з рис. 3.4, частоти у діапазонах 1800-2600 МГц розподілені таким чином, що дозволяють надавати повний спектр послуг за наявними технологіями всім операторам. У діапазоні 2600 МГц, який використовується для LTE, оператор «Vodafone» має дещо менший діапазон у користуванні (20 МГц по всій території України порівняно з 30 МГц), однак усі мобільні оператори мають достатні смуги для використання наявних технологій.

Діапазон 2100 МГц використовується для технологій UMTS і рівномірно розподілений між чотирма операторами (смуги шириною 30 МГц). У діапазоні 1800 МГц спостерігається концентрація спектру у користуванні «Київстар» (47%), тоді як «Lifecell» має меншу частку (20%), однак, цієї смуги (30 МГц) все одно достатньо для надання послуг LTE.

Частоти у діапазоні 900 МГц мають вкрай нерівномірний розподіл між операторами. Ліцензії у цьому діапазоні видані переважно для застосування двох технологій: GSM-900 та E-GSM.

Також незначну смугу у діапазоні 880-890 МГц займають компанії з ліцензіями на технологію CDMA. Визначити їхню частку, на жаль, за доступними джерелами неможливо. Серед мобільних операторів 58% спектру зосереджено у «Київстар», 24% знаходиться у користуванні «Vodafone», і лише 18% — у «Lifecell». Такий розподіл дозволяє всім компаніям надавати якісні послуги за технологіями GSM. Однак можливість теоретично застосовувати сучасні технології, які потребують ширшої смуги частот, є лише у компанії «Київстар». Діапазон 800 МГц є надважливим для забезпечення 4G в регіонах і не має альтернативи [37].

Оператори мобільного зв'язку в Україні в мережах третього покоління використовують технологію HSPA+ (High-Speed Packet Access). Ця технологія стала еволюцією класичної технології UMTS та забезпечує вищі швидкості для сервісів з використанням пакетної передачі даних, як видно з рис. 3.5.



	WCDMA	HSDPA	HSUPA	HSPA+	LTE	LTE-Advanced	LTE-Advanced-Pro
Downlink, Мбіт/с	2	14,4	14,4	42,5	100	300	300
Uplink, Мбіт/с	2	2	5,8	11,5	50	50	100

Рис. 3.5. Еволюція пікової швидкості передачі даних технології 3GPP.

Визначення швидкостей передачі даних при модернізації базової станції та можливих варіантів впровадження нових технологій, таких як: CA та MIMO буде здійснено з урахуванням впровадження технології LTE-Advanced-Pro 3GPP release 14, оскільки цей реліз має найбільшу швидкість передачі даних, як видно з рис.3.3, та підтримку таких технологій, як: MIMO 4×4, адаптивну модуляцію 256 QAM та

агрегацію відразу п'яти несучих зі смугою пропускання 20 МГц, як видно на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Еволюція 4G LTE згідно стандартів 3GPP[38].

Для визначення швидкості передачі даних при модернізації базової станції, буде використано онлайн калькулятор пропускної здатності LTE компанії «CellMapper Serviced Limited»[39].

Згідно з даними частотного розподілу мобільних операторів вони мають в своєму володінні частотний ресурс смугою в 30 МГц в діапазоні від 1900 МГц до 2170 МГц, тому пропоную взяти для розрахунку за основу смугу шириною 20 МГц. За еталонні характеристики для технології UMTS пропоную взяти Release 10 3GPP, оскільки в ньому є впровадження технології HSPA+, яку використовують оператори зв'язку та підтримка об'єднання 4 несучих в смугу 20 МГц[40]. Оскільки, за основу модернізації NodeB було прийняте рішення Single RAN компанії «Nokia», тому виконувати розрахунок будемо спираючись на його можливості технології.

З відкритих джерел відомо про підтримку цією технологічною платформою технології агрегації відразу 10 несучих зі смугою пропускання 20 МГц. Тому будемо також проводити розрахунок сценаріїв з урахуванням агрегації несучих зі смугами в діапазонах:

- 900 МГц: смуга 5 МГц на відрізку від 890 МГц до 960 МГц;
- 1800 МГц: смуга 20 МГц на відрізку від 1710 МГц до 1880 МГц;
- 2600 МГц: смуга 20 МГц на відрізку від 2510 МГц до 2690 МГц.

Результати обчислень занесено до зведеної таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Порівнянь швидкостей передачі даних LTE та UMTS [37].

Параметр	UMTS	LTE		LTE		LTE		LTE	
Діапазон, МГц	2100	2100		2100 +1800		2100+1800+2600		900+2100+1800+2600	
Реліз	10	14		14		14		14	
Смуга, МГц	20	20		2×20		3×20		3×20, 1×5	
Затримка, мс	50 – 100	9 - 15		9 - 15		9 - 15		9 - 15	
QAM (DL) / (UL)	64 / 16	256 / 64		256 / 64		256 / 64		256 / 64	
MIMO	2 × 2	2 × 2	4 × 4	2 × 2	4 × 4	2 × 2	4 × 4	2 × 2	4 × 4
Швидкість передачі (DL), Мбіт/с	168	195,8	391,6	391,6	783,2	587,4	1174,8	636,35	1272,7
Швидкість передачі (UL), Мбіт/с	23	75	75	75	150	225	225	243,75	243,75

Спираючись на розрахунки, які внесені до таблиці 3.1, можна зробити висновок, що якщо взяти за одиницю виміру дані параметрів технології UMTS відносно технології LTE 2100, то можна отримати збільшення швидкостей передачі даних в (DL) на 133% та зменшення затримки на 85%.

3.3. Визначення та оцінювання переваги впровадження технології LTE

Як було описано вище, впровадження технології LTE в мобільних мережах повинно відповідати певним очікуванням операторів, про які йшлося у розділі 3.2, але безпосереднє їх оцінювання не можливе. Тому нижче вибрані і оцінені (в різний спосіб) показники, які підтверджують ці очікування.

При переході від UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) до LTE (Long-Term Evolution) були визначені основні переваги, а саме (рис.3.7.):

1. Швидкість передачі даних. Завдяки впровадженню LTE 2100 швидкість передачі даних може бути збільшена на 133% , а також завдяки підтримці технологій CA та MIMO 4×4 вона може бути збільшена на 657% (див. таблицю 3.1).

2. Зменшення затримки передачі даних. Завдяки підвищенню швидкості передачі даних, використанню технологій MIMO и CA вдається зменшити затримку передачі даних на 40%(див. таблицю 3.1).

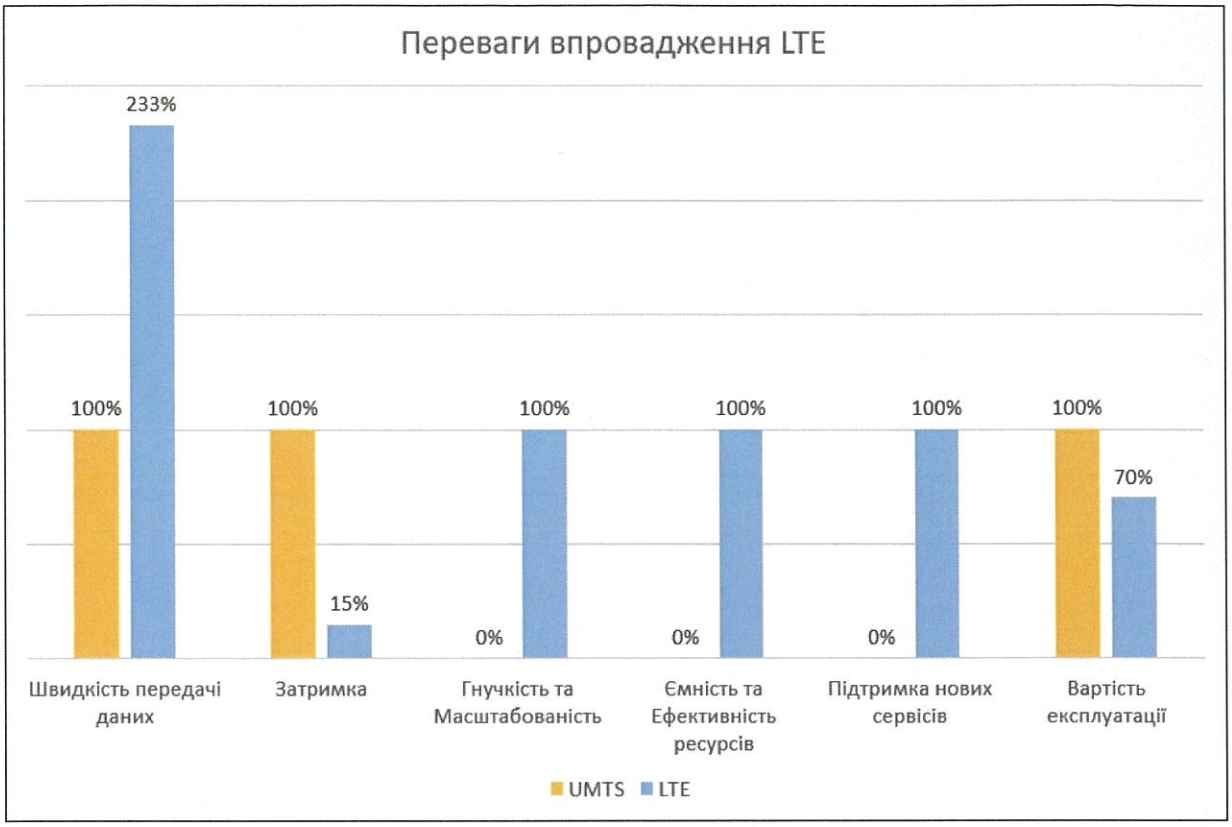


Рис. 3.7. Переваги впровадження LTE.

3. Збільшення гнучкості та масштабованості. Завдяки переходу до технології LTE виконання функцій, які були покладені на RNC, стають розподілені між іншими мережевими елементами, що призводить до спрощення. Таким чином, оператори мобільного зв'язку можуть швидше розбудовувати власну мережу. Появу такої можливості (якісної) можна оцінити у 100%.

4. Ємність та ефективність ресурсів. Завдяки реалізації концепції Єдиної RAN, яка передбачає реконфігурацію обладнання базових станцій програмним шляхом, та можливість встановлення додаткових підмодулів, з'являється можливість швидкої модернізації базових станцій з метою підтримки зростаючої кількості підключених пристроїв та обсягів трафіку. Появу такої можливості (якісної) можна оцінити у 100%.

5. Зменшення експлуатаційних витрат. Концепція Єдиної RAN допомагає операторам здійснити перехід до уніфікованого управління та обслуговування

мережі, а також до спільного використання ресурсів різних систем, внаслідок чого, за даними компанії ZTE [36], вдається заощадити понад 30% витрат на розбудову мережі.

6. Підтримка нових сервісів та технологій. LTE забезпечує підтримку низки нових і затребуваних з боку користувачів технологій та послуг, зокрема таких, як MIMO, CA, LTE-Advanced-Pro, високоякісна передача голосу через LTE (VoLTE) та ін.

7. Покращена QoS. Збільшення швидкості та зменшення затримки передачі даних, що забезпечуваються впровадженням технології LTE, дозволяють операторам використовувати методів компресії мультимедійних даних без втрат, що суттєво підвищує показник PSNR. З іншого боку, різноманіття наданих в рамках технології LTE вбудованих сервісів та технологій позитивно впливає на споживацьку оцінку якості сервісів (MOS).

Висновки третього розділу

Запропоновано функціональну схему, яка відображає основну ідею підходу до модернізації базових станцій NodeB для впровадження технології LTE, яка полягає у повторному використанні підсистем і обладнання базових станцій.

Розглянуто та проаналізовано переваги та недоліки технічних рішень щодо модернізації базових станцій. Зроблений висновок про доцільність реалізації концепції Єдиної RAN за допомогою платформи Single RAN від компанії «Nokia».

З урахуванням існуючого розподілу частотного ресурсу на ринку вітчизняного мобільного зв'язку та можливості платформи Single RAN розроблено план розподілу та використання смуг частот для впровадження LTE 2100.

Визначені та оцінені показники, що характеризують переваги, отримані операторами мобільного зв'язку, від впровадження технології LTE. Показано, що впровадження технології LTE дозволяє покращити показники швидкодії мобільної мережі (швидкість передачі даних зростає на 133%, а затримка зменшується на 85%) при умові зменшення експлуатаційних витрат (30%). Також впровадження

цієї технології забезпечує доступність для користувачів нових вбудованих сервісів та технологій, що, безумовно, призводить до підвищення якості сервісів, орієнтованих на пакетну передачу даних.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі розроблено новий метод надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS, який базується на концепції Єдиної RAN та враховує особливості архітектури та обладнання базових станцій, широко використаних в вітчизняних мобільних мережах. Його використання дозволяє підвищити якість надання телекомунікаційних послуг у вітчизняних мережах мобільного зв'язку.

Конкурентоспроможність операторів мобільного зв'язку на теперішньому етапі все більше визначається якістю наданих ними послуг. Конкретний зміст показників якості визначається самими операторами мобільного зв'язку та умовами, які складаються на ринку послуг (вимоги користувачів та регуляторів ринку). Тенденція зростання споживання послуг та необхідність забезпечення при цьому конкурентноздатного рівня якості послуг вимагають необхідність модернізації мереж. Відомий успішний досвід модернізації мереж мобільними операторами з різних країн може бути врахований для підвищення якості надання телекомунікаційних послуг вітчизняними операторами.

Встановлено, що для більшості сервісів, заснованих на пакетній передачі даних, комплексне використання таких показників QoS, як PSNR та MOS забезпечує можливість технічного контролю якості сервісів та врахування при цьому суб'єктивних очікувань користувачів. Ці дані можуть бути використані для адаптації системи передачі даних з метою забезпечення затребуваного рівня якості сервісів.

Запропоновано функціональну схему, яка відображає основну ідею підходу до модернізації базових станцій NodeB, заснованій на повторному використанні підсистем і обладнання базових станцій.

На основі аналізу технічних рішень щодо модернізації базових станцій NodeB встановлено, що реалізація концепції Єдиної RAN з урахуванням особливостей архітектури і обладнання базових станцій, що експлуатуються у

вітчизняних мобільних мережах, найбільш доцільна за допомогою платформи Single RAN від компанії «Nokia».

З урахуванням існуючого розподілу частотного ресурсу на ринку вітчизняного мобільного зв'язку та можливості платформи Single RAN розроблено план розподілу та використання смуг частот для впровадження LTE 2100.

Визначені та оцінені показники, що характеризують переваги, отримані операторами мобільного зв'язку, від впровадження технології LTE. Показано, що впровадження технології LTE дозволяє покращити показники швидкодії мобільної мережі (швидкість передачі даних зростає на 133%, а затримка зменшується на 85%) при умові зменшення експлуатаційних витрат (30%). Також впровадження цієї технології забезпечує доступність для користувачів нових вбудованих сервісів та технологій, що, безумовно, призводить до підвищення якості сервісів, орієнтованих на пакетну передачу даних.

В технології LTE, широко впровадженої в вітчизняних мережах мобільного зв'язку, реалізовані алгоритми адаптації системи передачі даних до затребуваного рівня якості сервісів на основі використання міток QCI для визначення пріоритетів заявок і пакетів, а також перерозподілу ресурсів у підсистемі радіозв'язку (EUTRAN) та на рівнях потоків EPS.

Впровадження цього методу дозволяє виконувати подальшу модернізацію базових станцій та забезпечити можливість використання технологій MIMO та CA, що підвищить швидкість передачі даних (відносно UMTS) на 657%.

Основні результати магістерської роботи доповідались на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і Світу» у листопаді 2023 р. [41].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. From 1G to 5G: the evolution of mobile communications - mpirical. Mpirical. URL: https://www.mpirical.com/blog/the-evolution-of-mobile-communication (дата звернення: 01.10.2023).

2. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв`язку. URL: https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=1& (дата звернення: 04.10.2023).

3. Звіт про діяльність НКЕК за 2021 рік. URL: https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=34&id=10078&language=uk (дата звернення: 04.10.2023).

4. Як розвивався 4G в Україні: статистика Київстар за п'ять років. URL: https://kyivstar.ua/uk/mm/news-and-promotions/yak-rozvyvavsya-4g-v-ukrayini-statystyka-kyyivstar-za-pyat-rokiv (дата звернення: 08.10.2023).

5. Vodafone в 2022 році: вплив війни, відбудова мережі та стрімка цифровізація абонентів. URL: https://www.vodafone.ua/news/vodafone-v-2022-roci-vpliv-viyni-vidbudova-merezhi-ta-strimka-cifrovizaciya-abonentiv (дата звернення: 08.10.2023).

6. European telecommunications standards institute. ETSI. URL: https://www.etsi.org/technologies/mobile/3g (дата звернення: 10.10.2023).

7. Universal mobile telecommunications system (UMTS). Вид. офіц. 1997. URL:https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101100_101199/101111/03.00.01_60/tr_101111v030001p.pdf (дата звернення: 14.10.2023).

8. M.1457 : Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of IMT-2000. URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1457 (дата звернення: 15.10.2023).

9. UMTS protocols and protocol testing. URL: https://www.tek.com/en/documents/primer/umts-protocols-and-protocol-testing (дата звернення: 15.10.2023).

10. KPN to use 2,100 MHz band for higher 4G speeds. URL: https://www.telecompaper.com/news/kpn-to-use-2-100-mhz-band-for-higher-4g-speeds--1232972 (дата звернення: 19.10.2023).

11. Airtel розширює мережу 4G у Хар'яні за допомогою технології LTE 2100. URL: https://www.airtel.in/press-release/05-2019/airtel-augments-4g-network-in-haryana-with-lte-2100-technology (дата звернення: 19.10.2023).

12. Ministry of internal affairs and communications. URL: https://www.soumu.go.jp/english/ (дата звернення: 21.10.2023).

13. Регулятор мережі в Німеччині: Bundesnetzagenturhttps://www.bundesnetzagentur.de/EN/Homepage/homepage_node.html (дата звернення: 18.03.2019).

14. Комісія зв'язку Кореї (South Korea). URL: https://www.kcc.go.kr/user.do (дата звернення: 21.10.2023).

15. Federal Communications Commission (FCC) (США). URL: https://www.fcc.gov/ (дата звернення: 22.10.2023).

16. ITU-T E.800 Quality of telecommunication services, concepts, models, objectives and dependability planning. URL: https://www.itu.int/ITU-T/recommendations (дата звернення: 22.10.2023).

17. ETSI TR 102 157 V1.1.1. Вид. офіц. 2003. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102100_102199/102157/01.01.01_60/tr_102157v010101p.pdf (дата звернення: 25.10.2023).

18. ISO 9000:2015 Системи менеджменту якості: URL:https://www.iso.org/standard/45481.html (дата звернення: 25.10.2023).

19. Рекомендація ITU-T P.10/G.100 Vocabulary for performance, quality of service and quality of experience. URL: https://www.itu.int/rec/T-REC-P.10 (дата звернення: 28.10.2023).

20. Communications Quality of Service: a framework and definitions. URL: https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1000/en (дата звернення: 28.10.2023).

21. ETSI 3GPP TS 132 410. Вид. офіц. 2022. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/132400_132499/132410/17.00.00_60/ts_132410v170000p.pdf (дата звернення: 29.10.2023).

22. 3GPP TS 132.450 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): Definitions (3GPP TS 32.450 version 15.0.0 Release 15). URL: https://www.etsi.org (дата звернення: 29.10.2023).

23. 3GPP TS 132.451Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). URL: https://www.etsi.org (дата звернення: 29.10.2023).

24. ETSI TS 128 554 V17.11.0. Вид. офіц. 2023. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/128500_128599/128554/17.11.00_60/ts_128554v171100p.pdf (дата звернення: 01.11.2023).

25. ETSI TR 103 559. Вид. офіц. 2023. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103559/01.02.01_60/tr_103559v010201p.pdf (дата звернення: 01.11.2023).

26. 4th generation (LTE). ETSI. URL: https://www.etsi.org/technologies/mobile/4g?highlight=WyJsb25nIiwidGVybSIsImV2b2x1dGlvbiIsImV2b2x1dGlvbiciLCJsdGUiLCInbHRlIiwibG9uZyB0ZXJtIiwibG9uZyB0ZXJtIGV2b2x1dGlvbiIsInRlcm0gZXZvbHV0aW9uIiwidGVybSBldm9sdXRpb24gbHRlIiwiZXZvbHV0aW9uIGx0ZSJd (дата звернення: 04.11.2023).

27. 3GPP TR 25.913 Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN). URL: https://portal.3gpp.org (дата звернення: 04.11.2023).

28. 3GPP TR 25.912 Техніко-економічне обґрунтування вдосконаленої мережі універсального наземного радіодоступу (UTRA) та універсальної наземної мережі радіодоступу (UTRAN). URL: https://portal.3gpp.org (дата звернення: 04.11.2023).

29. 3GPP TR 23.882 Еволюція системної архітектури 3GPP (SAE): Звіт про технічні параметри та висновки). URL: https://portal.3gpp.org (дата звернення: 04.11.2023).

30. Alcatel-Lucent «The LTE Network Architecture A comprehensive tutorial». URL:https://rintintin.colorado.edu/~gifford/5830-AWL/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf (дата звернення: 15.11.2023).

31. ITU-T.P910 Методи оцінки якості відео для мультимедійних програм. URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-P.910-202207-I!!PDF-E&type=items (дата звернення: 15.11.2023).

32. Nokia single ran advanced evolution white paper. URL: https://www.academia.edu/35687675/Nokia_single_ran_advanced_evolution_white_paper (дата звернення: 15.11.2023).

33. Nokia Networks, Zain KSA complete Saudi Arabia's first LTE carrier aggregation trial. URL: https://www.fiercewireless.com/europe/nokia-networks-zain-ksa-complete-saudi-arabia-s-first-lte-carrier-aggregation-trial (дата звернення: 15.11.2023).

34. Nokia tests. URL: https://convergedigest.com/nokia-tests-10-channel-tdd-fdd-lte/ (дата звернення: 18.11.2023).

35. Digicel and ZTE expanding LTE networks in Caribbean and Central America. URL: https://developingtelecoms.com/telecom-technology/wireless-networks/7001-digicel-and-zte-expanding-lte-networks-in-caribbean-and-central-america.html (дата звернення: 18.11.2023).

36. Uni-RAN: a perfect way to modernize mobile networks. URL: https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2011/5/en_548/252190.html (дата звернення: 19.11.2023).

37. Як використовувати радіочастотний ресурс для забезпечення якісного зв'язку в україні? : Зел. кн. / М. Кольцов та ін. ; ред.: Д. Горюнов, О. Кубраков. Київ. 52 с. URL: https://cdn.regulation.gov.ua/cb/93/4a/bd/regulation.gov.ua_Як%20використовувати%

20радіочастотний%20ресурс_БЕЗ%20ДОДАТКІВ.pdf (дата звернення: 19.11.2023).

38. How to pick the right 4G LTE technology for your business needs and applications. URL: https://www.digi.com/blog/post/2018/how-to-pick-the-right-4g-lte-technology (дата звернення: 22.11.2023).

39. 4G/LTE throughput calculator. URL: https://www.cellmapper.net/4G-speed (дата звернення: 23.12.2023).

40. 3GPP description document. URL: https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-10 (дата звернення: 25.11.2023).

41. Островський І. А. Метод підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE2100 на базових станціях UMTS. «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і Світу» : матеріали Всеукр. науково-техн. конф., м. Київ, 28 листоп. 2023 р. Київ, 2023. С. 300–302.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Магістерська робота на тему,

«Метод підвищення якості надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS»



Виконав: студент 6 курсу, групи АРДМ-61

Іван ОСТРОВСЬКИЙ

Керівник роботи

Віталій СТРЕЛЬНІКОВ, доктор філософії

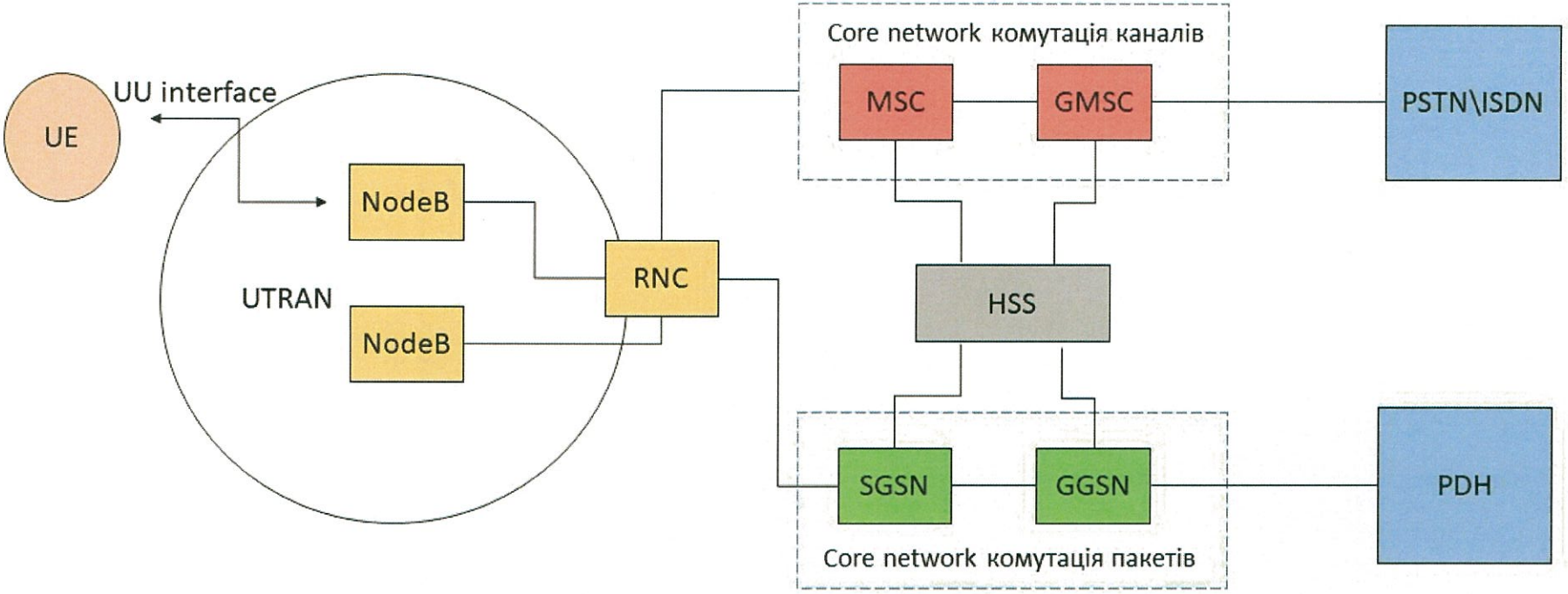
Актуальність сучасні тенденції розвитку міжнародного і вітчизняного ринку мобільного зв'язку полягають у постійному збільшенні використання сервісів, пов'язаних з пакетною передачею даних та зростання вимог до якості таких сервісів. В зв'язку з цим необхідно здійснювати контроль якості сервісів (Quality of Service, QoS) та адаптувати пакетну передачу даних до вимог, що висуваються користувачами в кожному конкретному випадку. Технологія Long Term Evolution (LTE) , яка широко використовується мобільними операторами на рівні основної мережі (Core Network), має механізми контролю та управління адаптацією пакетної передачі даних під вимоги QoS. З іншого боку, ефективність використання технології LTE залежить від масовості використання базових станцій eNodeB, що, нажаль, не є притаманним сучасному стану вітчизняних мереж мобільного зв'язку. Тому підвищення показників QoS для вітчизняних мереж мобільного зв'язку є актуальним завданням.

Об'єкт дослідження процеси пакетної передачі даних в телекомунікаційних мережах.

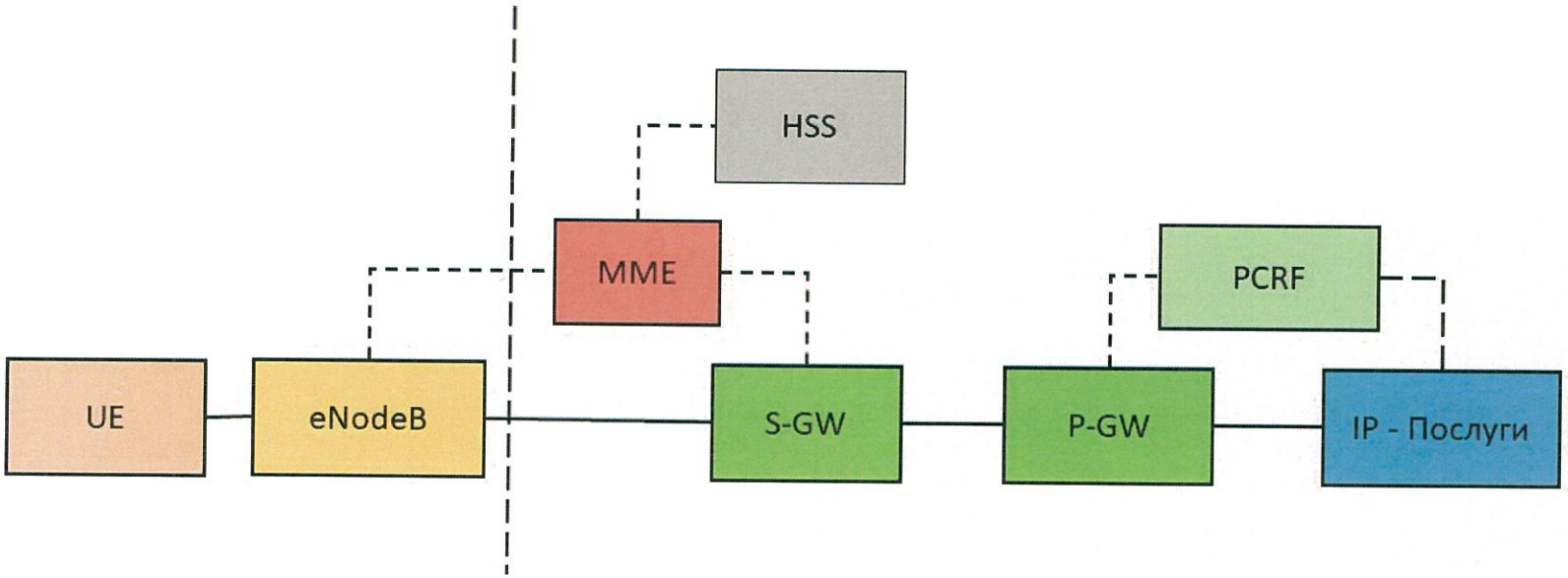
Предмет дослідження методи модернізації базових станцій UMTS для впровадження технології LTE з метою забезпечення показників QoS для сервісів з пакетною передачею даних.

Мета роботи полягає у підвищенні якості надання телекомунікаційних послуг у вітчизняних мережах мобільного зв'язку за рахунок розроблення та використання нового методу надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS. Для досягнення мети роботи необхідно: визначити показники якості послуг мобільного зв'язку, проаналізувати архітектуру, технології та ресурси наявних мереж мобільного зв'язку.

Архітектура UMTS



Архітектура LTE



Канал LTE/SAE через різні інтерфейси

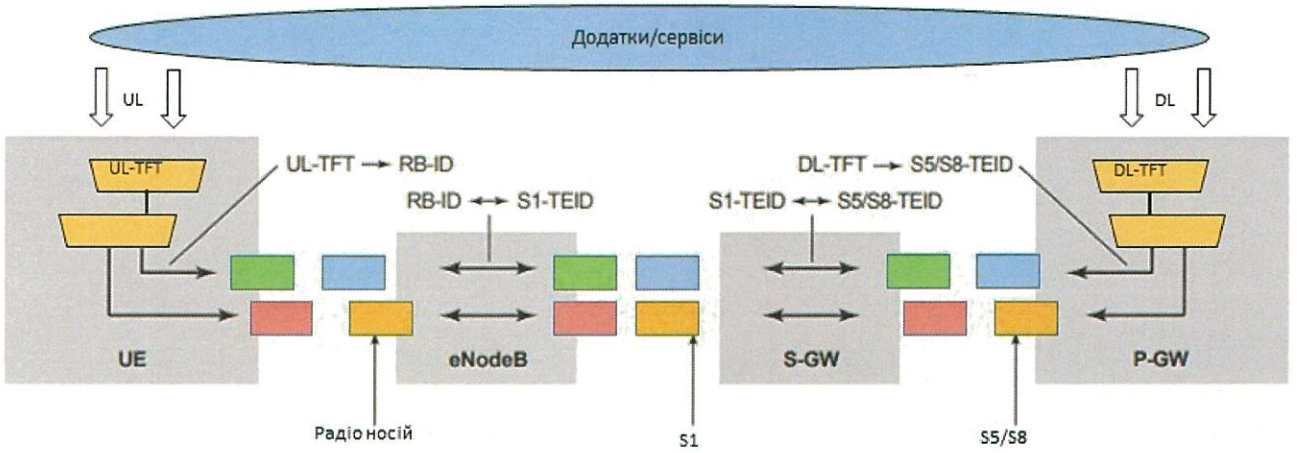
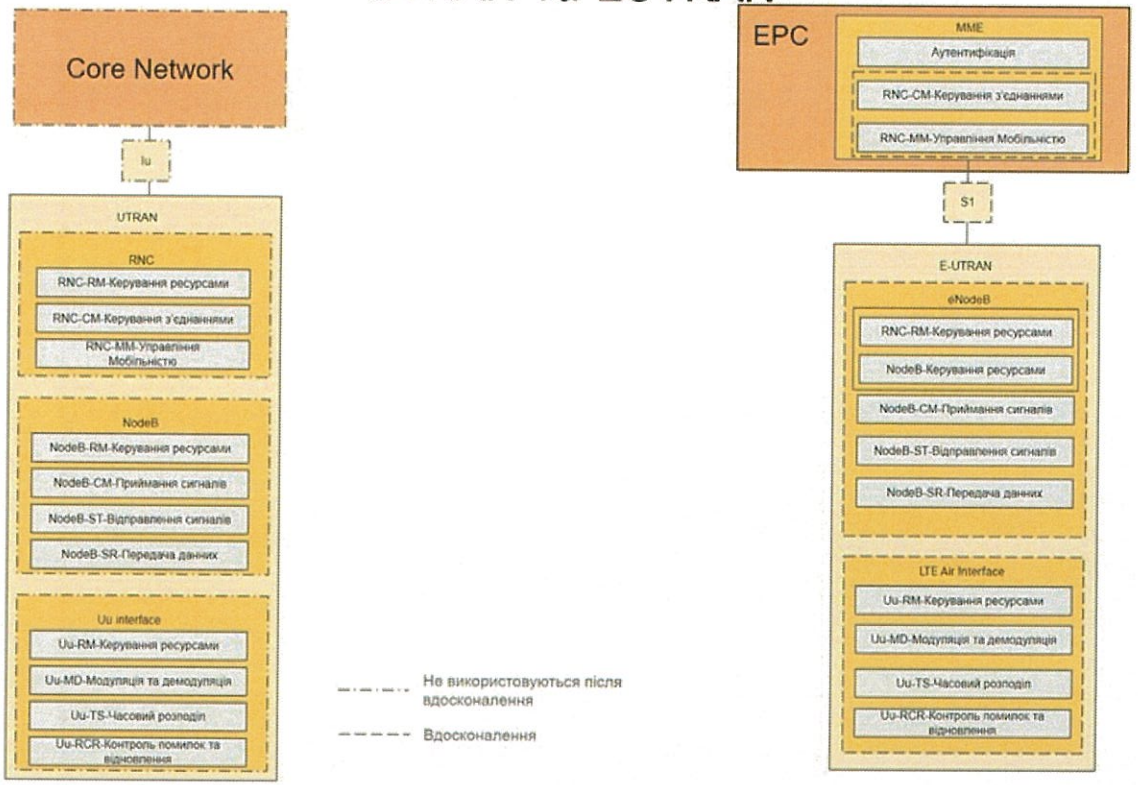
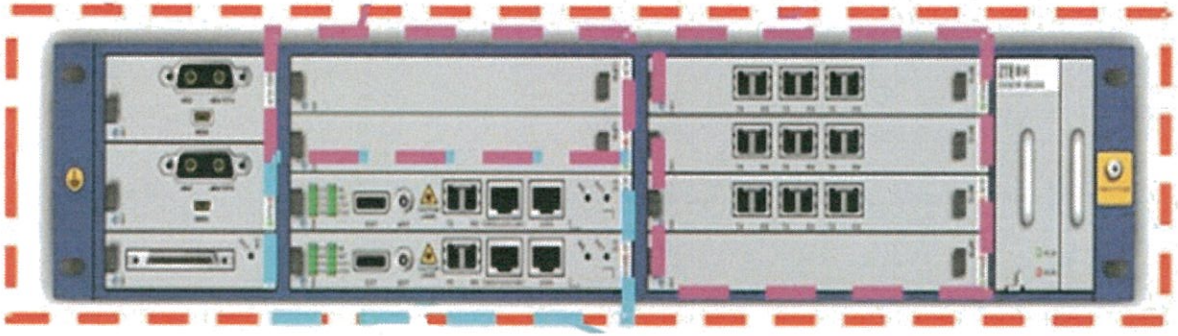


Схема функціональних відмінностей радіопідсистем UTRAN та EUTRAN

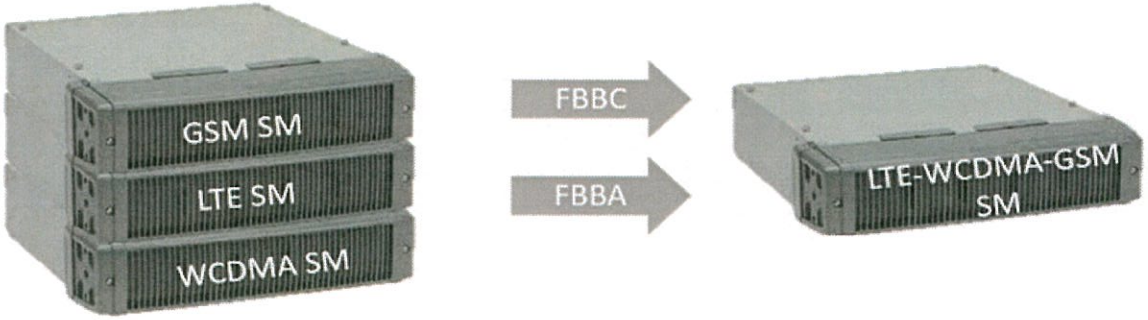


Варіанти технічного рішення для реалізації концепції Єдиної RAN

ZTE UNI-RAN



NOKIA Single RAN



Розроблення частотного плану для впровадження LTE 2100

Розподіл радіочастот між операторами

Технологія (частота, МГц)	Київстар	Водафон	Лайфселл	Інтертелеком	Тримоб	Всього, МГц
GSM (900)	533.4	269	200			**1 002.4**
E – GSM (900)	100.8					**100.8**
UMTS (2000)	810	810	810		810	**3 240**
LTE (2600)	810	540	810			**2 160**
LTE/GSM (1800)	1 890	1 350	810			**4 050**
CDMA (800-900)			135.0	740.3		**885.3**
Всього	**4 144.2**	**2 969**	**2 626.6**	**740.3**	**810**	**11 300.1**



	WCDMA	HSDPA	HSUPA	HSPA+	LTE	LTE-Advanced	LTE-Advanced-Pro
Downlink, Мбіт/с2	2	14,4	14,4	42,5	100	300	300
Uplink, Мбіт/с	2	2	5,8	11,5	50	50	100

Порівняння швидкостей передачі даних LTE та UMTS

Параметр	UMTS	LTE		LTE		LTE		LTE	
Діапазон, МГц	2100	2100		2100 +1800		2100+1800+2600		900+2100+1800+2600	
Реліз	10	14		14		14		14	
Смуга, МГц	20	20		2×20		3×20		3×20, 1×5	
Затримка, мс	50 – 100	9 - 15		9 - 15		9 - 15		9 - 15	
QAM (DL) / (UL)	64 / 16	256 / 64		256 / 64		256 / 64		256 / 64	
MIMO	2 × 2	2 × 2	4 × 4	2 × 2	4 × 4	2 × 2	4 × 4	2 × 2	4 × 4
Швидкість передачі (DL), Мбіт/с	168	195,8	391,6	391,6	783,2	587,4	1174,8	636,35	1272,7
Швидкість передачі (UL), Мбіт/с	23	75	75	75	150	225	225	243,75	243,75


Переваги впровадження LTE
233%
100%
100%
15%
100%
0%
100%
0%
100%
0%
100%
100%
70%
Швидкість передачі даних
Затримка
Гнучкість та Масштабованість
Ємність та Ефективність ресурсів
Підтримка нових сервісів
Вартість експлуатації
UMTS
LTE

Висновки

В магістерській роботі розроблено новий метод надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS, який базується на концепції Єдиної RAN та враховує особливості архітектури та обладнання базових станцій, широко використаних в вітчизняних мобільних мережах. Його використання дозволяє підвищити якість надання телекомунікаційних послуг у вітчизняних мережах мобільного зв'язку.

Визначені та оцінені показники, що характеризують переваги, отримані операторами мобільного зв'язку, від впровадження технології LTE.

Показано, що впровадження технології LTE дозволяє покращити показники швидкодії мобільної мережі (швидкість передачі даних зростає на 133%, а затримка зменшується на 85%) при умові зменшення експлуатаційних витрат (30%). Також впровадження цієї технології забезпечує доступність для користувачів нових вбудованих сервісів та технологій, що, безумовно, призводить до підвищення якості сервісів, орієнтованих на пакетну передачу даних.

Впровадження цього методу дозволяє виконувати подальшу модернізацію базових станцій та забезпечити можливість використання технологій MIMO та CA, що підвищить швидкість передачі даних (відносно UMTS) на 657%.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідались на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і Світу», Київ: ДУІКТ, 28 листопада 2023 р.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

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

Автор: Іван ОСТРОВСЬКИЙ

Назва: Методи підвищення надання телекомунікаційних послуг шляхом впровадження LTE 2100 на базових станціях UMTS

Координатор: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:3.4

Коефіцієнт подібності 2:2.2

Тривога: 7

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*