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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління»

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) Данило ЖУРБА (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Данило ЖУРБА

Керівник: Анатолій МАКАРЕНКО

Рецензент: К. Лаврінець

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

Журбі Данилу Віталійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління»,
керівник кваліфікаційної роботи Анатолій МАКАРЕНКО, д.т.н., професор,
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. LTE-мережі четвертого покоління.
   2. Методи організації передачі голосу VoLTE.
   3. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Аналіз архітектурних складових технології LTE;
   2. Методи організації передачі голосу через телекомунікаційні мережі;
   3. Розробка рекомендацій по забезпеченню якості надання послуг VoLTE.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Аналіз архітектурних складових технології LTE	31.10.23	Викон.
3.	Методи організації передачі голосу через телекомунікаційні мережі	15.11.23	Викон.
4.	Розробка рекомендацій по забезпеченню якості надання послуг VoLTE	29.11.23	Викон.
5.	Рекомендації щодо моніторингу та діагностики QoS	07.12.23	Викон.
6.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
7.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Данило ЖУРБА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 92 стор., 36 рис., 2 табл., 47 дж.

Мета роботи – дослідження методів використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління.

Об'єкт дослідження – процес голосового доступу в LTE-мережах.

Предмет дослідження – методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління.

Короткий зміст роботи: У 1 розділі досліджено основні аспекти та виклики, пов'язані з розгортанням та оптимізацією мереж мобільного зв'язку LTE. Було показано, як передові технології, такі як IMS і VoLTE, можуть покращити якість і надійність голосових послуг у пакетних мережах.

У 2 розділі досліджено процедури та принципи надання голосових послуг у мережах LTE з використанням технології VoLTE, яка дозволяє передачу голосу на основі IP-протоколу. Запропоновано також процедуру SRVCC, яка забезпечує безперервність голосового виклику при втраті покриття LTE, дозволяючи гладку міграцію в мережі попереднього покоління. Підкреслено важливість протоколу SIP для організації управління дзвінками та ідентифікації абонентів, а також наведено приклади базового потоку викликів (Call Flow) у SIP та визначення типів адресації.

У 3 розділі проводився ряд досліджень пов'язаних з ключовими аспектами забезпечення якості надання послуг телефонії в мережах LTE. Було визначено механізми забезпечення QoS в мережі LTE, виконано аналіз KPI QoS VoLTE. На основі експериментальних досліджень затримки та коефіцієнту втрат пакетів були виконані розрахунки MOS в умовах хорошого та поганого радіопокриття. Також розглянуто лічильники статистики QoS для передачі голосу, проаналізовано належні індикатори й цільові показники якості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АРХІТЕКТУРА LTE, СТІЛЬНИКОВА МЕРЕЖА, VOLTE, IMS, QUALITY OF SERVICE, ENHANCED VOICE SERVICES (EVS), MOS

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 92 pages, 36 pictures, 2 table, 47 sources.

The purpose of the work – study of methods of using VoLTE in mobile networks of the fourth generation.

Object of research – process of voice access in LTE networks.

Subject of research – methods of using VoLTE in mobile networks of the fourth generation.

Summary of the work: Chapter 1 explores the main aspects and challenges associated with the deployment and optimization of LTE mobile networks. It was shown how advanced technologies such as IMS and VoLTE can improve the quality and reliability of voice services in packet networks.

Chapter 2 explores the procedures and principles of providing voice services in LTE networks using VoLTE technology, which allows voice over IP. The SRVCC procedure is also proposed, which ensures the continuity of the voice call in case of loss of LTE coverage, allowing a smooth migration in the previous generation network. The importance of the SIP protocol for the organization of call management and subscriber identification is emphasized, as well as examples of the basic call flow (Call Flow) in SIP and the definition of addressing types are given.

In Chapter 3, a number of studies related to the key aspects of ensuring the quality of telephony services in LTE networks were conducted. Mechanisms for ensuring QoS in the LTE network were defined, analysis of VoLTE QoS KPIs was performed. Based on experimental studies of delay and packet loss ratio, MOS calculations were performed in conditions of good and poor radio coverage. QoS statistics counters for voice transmission are also considered, relevant indicators and quality targets are analyzed.

KEYWORDS: LTE ARCHITECTURE, CELL NETWORK, VOLTE, IMS, QUALITY OF SERVICE, ENHANCED VOICE SERVICES (EVS), MOS

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

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

Направляється здобувач Журба Д.В. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

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

на тему: Методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

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

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Журба Данило Віталійович 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 Журби Данила Віталійовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Журба Д.В.
(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 Журби Данила Віталійовича

на тему: «Методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління»

Актуальність:

Актуальність теми роботи полягає в тому, що VoLTE (Voice over LTE) є передовою технологією, яка забезпечує передачу голосу через мережі 4G з високою якістю. Технологія важлива для операторів мобільного зв'язку, оскільки дозволяє зменшити витрати на інфраструктуру та покращити якість послуг для користувачів. Розвиток та впровадження VoLTE відповідають потребам ринку в більш ефективному використанні спектру, наданні послуг HD-якості голосу та інтеграції з широким спектром IP-орієнтованих сервісів, що є ключовими для переходу до мереж 5G.

Тому, тема магістерської роботи, є актуальною. Запропонована тема має практичне значення та є доцільною і своєчасною.

Позитивні сторони:

Робота дозволяє досить повно оцінити загальну характеристику, сутність та структуру поставленої проблеми. Дається чітке визначення мети роботи, об'єкту та предмету дослідження. Сформульовано наукові проблеми і представлено використані методи дослідження.

Недоліки:

1. У розділі 2, зауваження стосуються потреби у більш глибокому аналізі реального впливу цих технологій на якість голосового зв'язку, включаючи зіткнення з можливими проблемами та їх вирішення в умовах змінюваного радіопокриття.

2. У третьому розділі, незважаючи на детальний аналіз критеріїв QoS та параметрів передачі, слід було б звернути більше уваги на практичні методи оцінки цих параметрів в реальних умовах експлуатації мережі. Зокрема, корисним було б включення розділу, що описує методологію проведення польових випробувань та аналізу даних.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Журба Данило Віталійович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: КТН, доцент _____ К. Лаврінець

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1. АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ТЕХНОЛОГІЇ LTE 13
1.1. Аналіз етапів розвитку та особливостей технології LTE 13
1.2. Використання LTE для побудови "розумних міст" 20
1.3. Аналіз архітектурних складових технології LTE 22
1.4. Мережева архітектура LTE 28
1.5. Роумінгова архітектура LTE 31
1.6. Переваги та недоліки 4G 33
1.7. LTE в Україні 34
2. МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕДАЧІ ГОЛОСУ ЧЕРЕЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ 35
2.1. Технологія передачі медіа-даних у реальному часі за допомогою сімейства протоколів TCP/IP 35
2.2. IP Multimedia Subsystem - технологія передачі голосу по мережі LTE 41
2.3. Процедури та принцип надання голосових послуг 51
2.4. Критерії QoS та параметри передачі, що впливають на якість голосового трафіку 56
3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ VOLTE 64
3.1. Проблеми, що зустрічаються у системах та трафіку VoLTE 64
3.2. Визначення ефективності аудіокодеку Enhanced Voice Services (EVS) 70
3.3. Рекомендації щодо моніторингу та діагностики QoS 74
ВИСНОВКИ 84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 87
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3GPP	3rd Generation Partnership Project - партнерська організація, котра розробляє специфікації для мобільної телефонії
AAA	Authentication, Authorization, Accounting - функціональний блок автентифікації, авторизації та обліку
A-BG	Access Border Gateway - шлюз доступу
ABR	Answer Bid Ratio - параметр статистики, що визначає зайнятість абонентів
AF	Application Function - прикладні функції
AMR	Adaptive Multi-Rate - стиснення звуку
CDR	Call Detail Records - детальні записи викликів
CP	Control Plane - площина управління
E2E	End-to-End - наскрізне з'єднання
eNB	Evolved NodeB (eNodeB) - модернізована базова станція E.164
EPC	Evolved Packet Core - модернізоване пакетне ядро
ePDG	evolved P-GW - модернізований шлюз пакетної мережі
EPS	Evolved Packet System - модернізована пакетна система
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network - модернізована підсистема мережі радіодоступу
GPRS	General Packet Radio Service - сервіс пакетної радіопередачі
GSM	Global System for Mobile Communications - глобальний стандарт цифрового мобільного зв'язку
IMS	IP Multimedia Subsystem - IP-мультимедійна підсистема
IMSI	International Mobile Subscriber Identity - постійний ідентифікатор абонента
KPI	Key Performance Indicator - ключовий показник продуктивності
LTE	Long Term Evolution - довготривалий розвиток
MGCF	Media Gateways Control Function - функція управління медіашлюзами

MRFP	Multimedia Resource Function Processor - процесор функцій мультимедійних ресурсів
MOS	Mean Opinion score - середня експертна оцінка
MT	Mobile Terminated - вхідний виклик
QCI	QoS Class Identifier - ідентифікатор класу QoS
QoS	Quality of Service - якість обслуговування
RFC	Request For Comment - запит на коментарі
RNC	Radio Network Controller - контролер радіомережі в UMTS
RoHC	Robust Header Compression - протокол/алгоритм стиснення заголовка
RRC	Radio Resource Control - протокол управління радіоресурсами
RTP	Real-Time Transport Protocol - протокол транспортування медіапотоків у реальному часі
SBC	Session Border Control - прикордонний контролер сесій
S-CSCF	Serving CSCF - обслуговуючий CSCF
SCTP	Stream Control Transmission Protocol - це протокол передачі управління потоком
UDP	User Datagram Protocol - протокол користувацьких датаграм
UE	User Equipment - користувацьке обладнання
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System - універсальна мобільна телекомунікаційна система
VoLTE	Voice over LTE - технологія передачі голосу в мережі LTE

ВСТУП

Сучасні тенденції в розвитку мереж мобільного зв'язку LTE накладають певні вимоги на якість та надійність телекомунікацій. Серед них виокремлюються не тільки надійність та доступність послуг, але й активне впровадження інноваційних технологій, як-от передача голосових даних через IP-протоколи. Це забезпечує значне поліпшення якості зв'язку та розширення функціоналу мобільних мереж.

IP-мультимедійна підсистема (IMS) відіграє ключову роль у цьому процесі, надаючи можливості для реалізації широкого спектру телекомунікаційних сервісів. Зокрема, IMS виступає як основа для реалізації голосових сесій у мережах четвертого покоління (4G), а також для забезпечення послуг абонентам мобільних операторів.

Розглядаючи майбутнє телекомунікацій, не можна ігнорувати значення IMS як фундаментальної технології для мереж 5G. Це підкреслює актуальність досліджень та аналізу цієї підсистеми, яка буде інтегрована у майбутні телекомунікаційні системи.

У зв'язку з цим, інженерам-телекомунікаторам важливо зосередитись на ефективному впровадженні технології VoLTE за допомогою IMS, забезпечуючи плавний перехід абонентів до повністю IP-орієнтованих мереж, мінімізуючи при цьому будь-які можливі складнощі або перешкоди для користувачів.

Детальне дослідження процесів передачі голосу через VoLTE відкриває перед дослідниками технічні особливості імплементації цієї технології, критерії якості надання голосових послуг у пакетних мережах, а також вимоги до розробки та впровадження IMS. Окрім того, аналізується потенціал для розвитку та ефективного використання IMS у сучасних та майбутніх мережах.

Відмова від аналогового TDM трафіку на користь цифрового IP зв'язку є стратегічним напрямком у розвитку телекомунікацій. Така трансформація є вкрай необхідною для забезпечення сучасних вимог до якості та швидкості обміну даними.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є не тільки аналіз ключових аспектів забезпечення високоякісної телефонії, але й дослідження технічних нюансів впровадження технології VoLTE в мережі LTE. Це включає в себе визначення критеріїв для побудови та ефективної реалізації IMS, а також дослідження оптимальних методів для організації надання голосових послуг у цифровому середовищі.

Мета роботи – дослідження методів використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління.

Об'єкт дослідження - є процес голосового доступу в LTE-мережах.

Предмет дослідження - методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління.

1. АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

1.1. Аналіз етапів розвитку та особливостей технології LTE

4G (LTE) — це високошвидкісний мобільний інтернет четвертого покоління. 4G (The Fourth Generation) — наступник 3G і 2G, стандарт мобільної ультрашвидкої передачі даних для ваших пристроїв: смартфонів, планшетів або модемів. 4G-мережа забезпечує швидкість завантаження даних до 700 Мбіт/с та передавання — до 90 Мбіт/с.

Абревіатура LTE розшифровується як «Long Term Evolution» і в перекладі означає «довгостроковий розвиток». Цей термін використовують, щоб позначити безпроводову мережу з підвищеними вимогами та пропускною спроможністю від 10 Мбіт/с. Спочатку стандарт LTE не належав до четвертого покоління мобільного зв'язку 4G і розроблявся як поліпшена версія 3G, а саме 3GPP (The Third Generation Partnership Project — «партнерський проєкт третього покоління»). Але після виконаної роботи та тестування Міжнародний союз електрозв'язку в 2012 році офіційно визнав LTE технологією, яка відповідає всім вимогам безпроводового з'єднання четвертого покоління. Цей стандарт набув великої популярності в операторів стільникового зв'язку завдяки можливості реалізації на наявних стільникових мережах [1, 2].

Коли довгострокова еволюція (LTE) була вперше представлена в 2008 році, вона визначила нову мережу стільникового доступу з високою спектральною ефективністю, високою піковою швидкістю передачі даних, коротким часом проходження в обидві сторони, а також гнучкістю частоти та пропускної здатності. Це означає зростаючий рівень продуктивності, оскільки можливості стільникового обладнання, програмного забезпечення та мережевих технологій, такі як швидкість, затримка, використання акумулятора та економічна ефективність, оптимізуються та покращуються з часом. Як зазначив один галузевий спостерігач про LTE: «Це не стільки технологія, скільки шлях до досягнення швидкості 4G» .

Важливо знати, що з впровадженням наступних поколінь стільникових технологій попереднє покоління залишатиметься в експлуатації, часто співіснуючи протягом десятиліття чи більше з новішою технологією.

Що LTE означає для тих, хто купує та розгортає технологію LTE сьогодні, це те, що вони можуть розгортати широкий спектр пристроїв у мережі LTE з упевненістю, що їх розгортання залишатиметься життєздатним протягом багатьох років. Це особливо важливо, оскільки старі мережі 2G і 3G припиняють роботу, щоб цей спектр міг використовуватися більш ефективно. Дивлячись на порівняння LTE проти 3G, ті, хто розгортає пристрої на основі мереж до 4G, повинні без затримки перейти на 4G або 5G. Якщо у вас уже є 4G, ви готові до майбутнього через корисний термін служби ваших продуктів.

Технологія LTE принесла багато переваг у всьому світі:

Підключення LTE майже повсюдно доступне в усьому світі як для споживачів, так і для комерційних/промислових застосувань.

LTE забезпечує довгострокову безперервну роботу мережі, як і старі мережі, такі як 2G і 3G.

У регіонах, де 5G буде недоступний деякий час, технології 4G LTE, 4G LTE Advanced і 4G LTE Advanced Pro підтримуватимуть потреби переходу з 2G/3G на довгі роки.

LTE пропонує вищі швидкості, а також значні переваги для додатків з низьким енергоспоживанням і простіших недорогих пристроїв, забезпечуючи єдину технологічну основу для широкого спектру випадків використання.

LTE покращує функціональність і продуктивність старих мереж.

LTE – це модернізація стандарту 3G, щоб задовольнити попит на передачу даних із низькою затримкою. Редизайн включає:

- Базова мережа на основі IP-адреси;
- Спрощена архітектура мережі;
- Новий інтерфейс радіо;
- Новий метод модуляції;
- Радіо з кількома входами та кількома виходами (MIMO) для всіх пристроїв.

Ось кілька важливих фактів про те, як LTE працює на високому рівні:

LTE пропонує меншу затримку та підвищену пропускну здатність по всій мережі, значно покращуючи продуктивність мережі 3G.

LTE працює на окремому спектрі від мереж 3G і вимагає нового обладнання.

LTE забезпечує високу швидкість завантаження даних у кілька стільників мегабіт на секунду (Мбіт/с) у порівнянні з кількома 10-ми Мбіт/с для 3G, тобто LTE у 5–10 разів швидший за 3G.

LTE може підтримувати дані, голос (VoLTE), обмін миттєвими повідомленнями та відео на смартфонах і планшетах через єдиний інтерфейс. У 3G це робилося через різні системи, і в деяких мережах голос і дані були взаємовиключними.

Коли 4G розвинувся від свого попередника 3G, фактична архітектура мережі передбачала невеликі поступові зміни. Наступна схема з про мережеву архітектуру 5G показує, як працює LTE з точки зору архітектури (рис. 1.1).

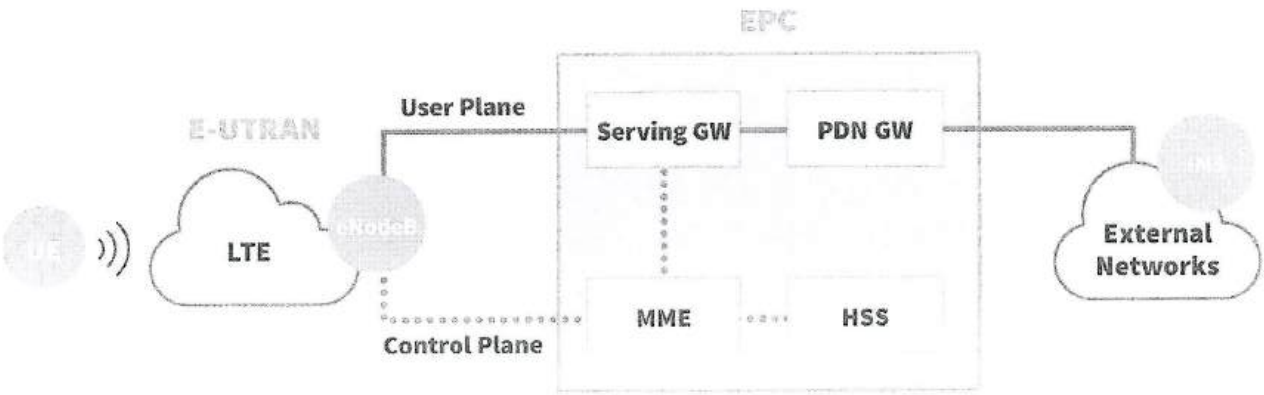


Рис. 1.1. Архітектура мобільних мереж E-UTRAN

У 4G LTE користувальницьке обладнання (UE), як-от смартфони або стільникові пристрої, підключається через мережу радіодоступу LTE (E-UTRAN) до розширеного пакетного ядра (EPC), а потім до зовнішніх мереж, як-от Інтернет. Розширений вузол B (eNodeB) відокремлює трафік даних користувача (площина

користувача) від трафіку даних керування мережею (площина керування) і подає обидва окремо в EPC.

Приблизно кожне десятиліття Сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-R) та його партнери визначають нове покоління вимог до швидкості, зв'язку та спектру для всесвітніх систем мобільного зв'язку. Технології старих поколінь періодично припиняються або припиняються, щоб більше даних можна було передавати через той самий спектр і більше пристроїв могли спільно використовувати доступний спектр (рис. 1.2).

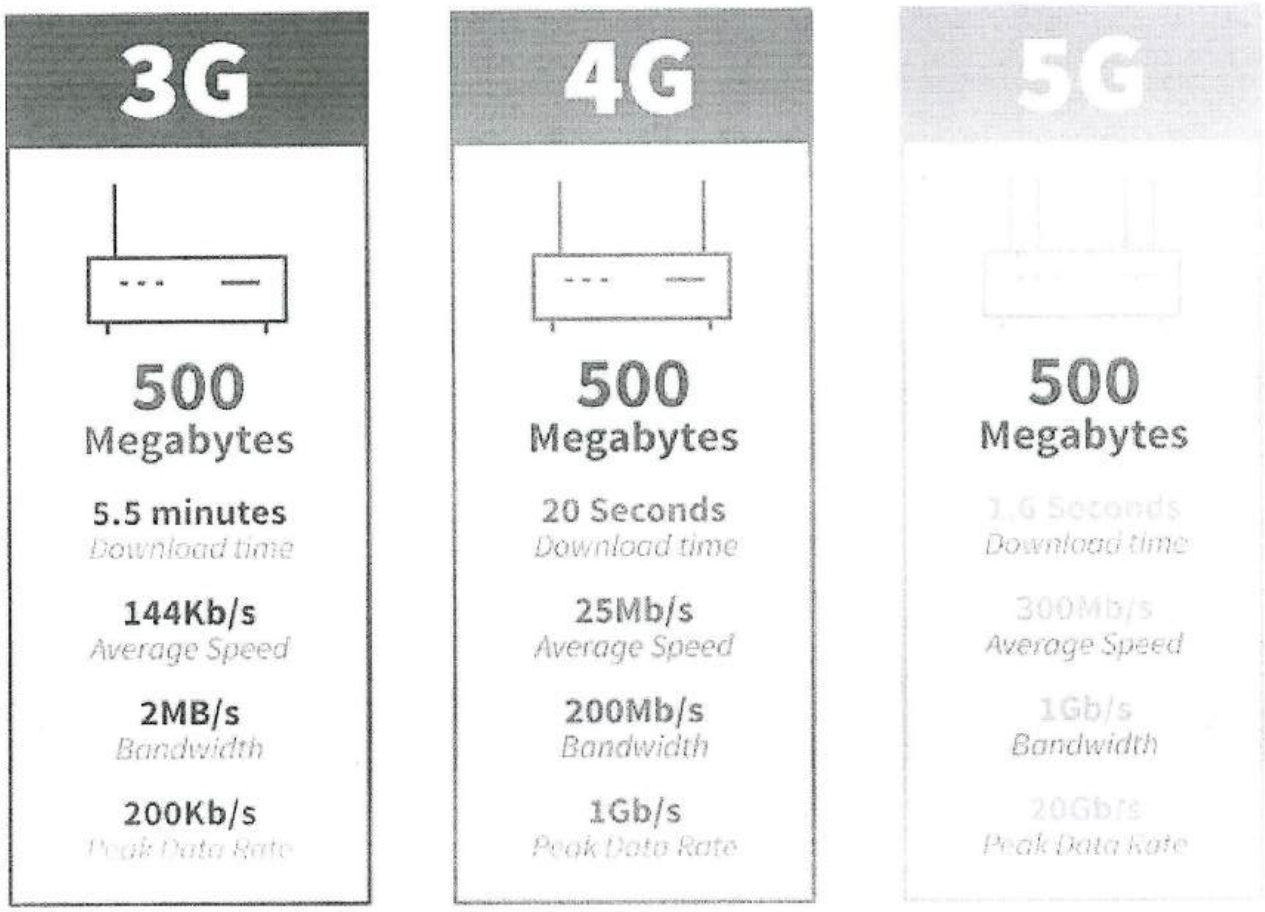


Рис. 1.2. Еволюція поколінь мобільного зв'язку

Стандарти ITU-R відображають прогрес у технології, а терміни їх прийняття встановлюються відповідно до потреб нових застосувань і галузі. Інша організація під назвою «Проект партнерства третього покоління» (3GPP) приймає вимоги ITU-R і пише технічні специфікації, які об'єднуються в серію випусків (рис. 1.3).

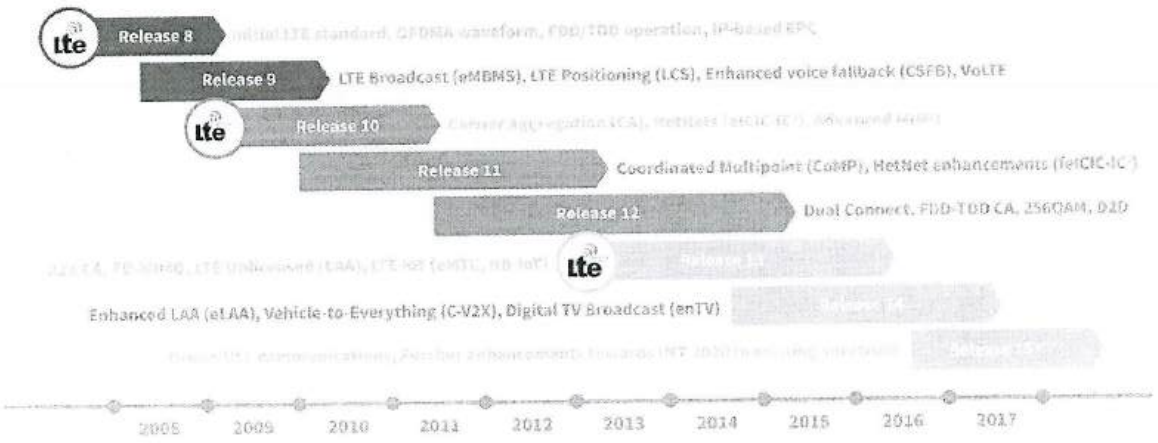


Рис. 1.3. Хронологія випусків 3GPP показує ключові етапи в еволюції технології LTE

Ось коротка хронологія ключових віх розвитку LTE та пов'язаної технології LTE:

3G був представлений у 1998 році та може вважатися технологічною основою для LTE, оскільки LTE конкретно стосується можливостей продуктивності, які перевищують 3G. 3G була першою технологією зі швидкістю передачі даних у діапазоні Мбіт/с.

Стандарти швидкості та з'єднання 4G були встановлені ITU-R у березні 2008 року. Стандарт 4G для мобільних пристроїв, включаючи смартфони та планшети, визначає, що будь-який продукт або послуга, яка називає себе 4G, повинна мати швидкість з'єднання з піком принаймні 100 Мбіт/с, і принаймні 1 гігабіт на секунду (Гбіт/с) для стаціонарного використання. Однак коли стандарти були вперше встановлені, ці швидкості ще були неможливі. У відповідь ITU-R дозволив продукти та технології позначати як «4G LTE», якщо вони забезпечують суттєве покращення в порівнянні з технологією 3G.

LTE Advanced (LTE-A) – це вдосконалена версія LTE, яка пропонує вищу швидкість і більшу стабільність, ніж звичайний LTE, але все ще не така швидка, як «справжній» 4G. Він був стандартизований у 2011 році. LTE-A досягає вищої

швидкості за рахунок агрегування каналів, тому користувачі можуть завантажувати дані з кількох джерел одночасно.

LTE Advanced Pro (LTE-AP) були випущені в 2016 і 2017 роках. LTE Advanced Pro містить три основні технічні нововведення: 1) агрегація несучих, яка використовує спектр з різних діапазонів несучих LTE, 2) модуляція вищого порядку, яка використовує доступний спектр більш ефективно, переносячи більше бітів даних, і 3) антени з декількома входами та множинними виходами (MIMO), які передають і приймають дані паралельно на вищих швидкостях. Технологія MIMO покращує покриття мережі та пропускну здатність, особливо в міських районах. LTE гігабітного класу, різновид LTE Advanced Pro, теоретично здатний забезпечити швидкість завантаження понад 1 Гбіт/с, хоча більшість користувачів не відчує такої швидкості. LTE гігабітного класу є привабливим вибором для роздрібної торгівлі, транспорту та інших галузей, яким потрібні високошвидкісні рішення з високою пропускною здатністю.

5G – це найновіший стандарт, випущений у 2019 та 2020 роках. Зараз 5G поширюється по всьому світу. Після повного впровадження мережі 5G запропонують швидкість до 10 Гбіт/с, а також меншу затримку, менші потреби в електроенергії та практично необмежену ємність даних [3].

Тут також важливо згадати «Приватний LTE» або «Приватні мобільні мережі», які пропонують варіант розгортання технології LTE. У той час як LTE в основному використовується в публічних мережах, приватні мережі LTE – це невеликі безпроводові мережі, які працюють з використанням тих самих протоколів і технологій, що й загальнодоступний LTE, використовуючи ліцензований, неліцензований або спільний спектр для забезпечення покриття для мобільних телефонів та інших пристроїв. Оператори мобільних мереж (MNO) можуть ліцензувати спектр, а потім розгортати ізольовану приватну мережу LTE на цьому спектрі .

Приватні мережі LTE є доступним рішенням для географічно визначених об'єктів, таких як віддалені нафтові родовища чи гірничодобувні об'єкти, або для обмежених територій, таких як великі заводи чи морські порти. Приватний LTE

також можна побачити в аеропортах, на спортивних стадіонах і в університетських чи корпоративних містечках. Ці різні випадки використання виграють від майже постійного часу безвідмовної роботи, який можливий за допомогою Private LTE.

Citizens Broadband Radio Service (CBRS) — це версія приватного LTE у США, яка використовує спільний спектр у діапазоні 3,5 ГГц (B48). CBRS, який працює в аналогічних випадках використання, ніж Wi-Fi, стає все більш популярним серед корпоративних і промислових клієнтів, які хочуть більше контролювати свою безпроводову мережу. Він пропонує економічно ефективний варіант мережі для віддалених робочих місць і сільських районів із поганим прийомом громадського стільникового зв'язку або без нього.

Мережі 3G почали комерційно розгортати в 2002 році, поступово розширюючи та замінюючи попередній протокол мережі 2G. Функціональність LTE базується на деяких основних технологіях 3G і функціонує як вдосконалення 3G.

Ось деякі основні відмінності між 3G і LTE:

Швидкість: 3G повільніше, швидкість передачі даних вимірюється в кілобітах на секунду (кбіт/с), а не в мегабітах на секунду.

Затримка: затримка 3G (проміжок часу між надсиланням і отриманням даних) набагато більша.

Енергоспоживання: пристрої LTE передають більший обсяг даних і, отже, можуть використовувати батареї швидше, ніж 3G, що має наслідки для витрат і керування живленням, які розробники та менеджери мереж повинні враховувати.

Доступність і надійність: мережі 3G донедавна були більш доступними. Сьогодні мережі 4G доступні майже повсюдно, і відмінності в надійності майже зникли.

Терміни «4G» і «LTE» часто використовуються як синоніми, а «4G LTE» часто зустрічається в галузевій літературі. У той час як маркетинг операторів інколи припускає, що 4G LTE є вдосконаленою версією 4G, насправді 4G LTE відноситься до пристроїв і мереж, які розвиваються від повільнішого стандарту 3G

до повної швидкості та пропускної здатності 4G. 4G LTE охоплює весь діапазон швидкостей завантаження від 10 Мбіт/с у 3G до 100 Мбіт /с у 4G .

«4G» відноситься до покоління технологій, тоді як «LTE» — це методологія розвитку цього покоління протягом кількох випусків 3GPP, які чітко встановлюють технічні кроки, які забезпечують кращу продуктивність і більше функціональності. Цей поетапний процес забезпечує сумісність пристроїв і забезпечує плавний перехід технологій від одного покоління до наступного.

1.2. Використання LTE для побудови “розумних міст”

Чому мережі LTE важливі для IoT. Мережі LTE активно використовуються рішеннями Інтернету речей (IoT) для підключення машин і обладнання та надання їм можливості надсилати й отримувати дані. Хоча IoT існував до впровадження підключення на рівні LTE, вища швидкість і пропускна здатність LTE дозволили системам IoT контролювати більші та складніші системи з більшою точністю .

Рішення IoT використовуються практично в усіх галузях. Нижче наведено деякі з найпоширеніших прикладів IoT із підтримкою LTE:

Громадський транспорт: автобуси, приміська залізниця та інші види громадського транспорту залежать від даних і зв’язку LTE, щоб надавати диспетчерам і системним адміністраторам інформацію про характеристики транспортних засобів, кількість пасажирів і Wi-Fi для пасажирів.

Розумні міста: численні додатки IoT, що використовують LTE, забезпечують економічну функціональність для муніципалітетів, включаючи інтелектуальні контролери освітлення для вулиць і громадських місць, зарядні станції для електромобілів і високошвидкісні мережі LTE для підключення сигналів світлофора для адаптивного керування трафіком у реальному часі.

Промислове застосування: IoT відіграє важливу роль у фабричних і промислових операціях, включаючи моніторинг і контроль процесів, автоматизацію виробництва та прогнозне обслуговування.

Точне землеробство: іригаційні системи та інша сільськогосподарська інфраструктура, створена за допомогою LTE, може забезпечити значну економію праці та коштів для фермерів.

Управління водою/стічними водами : додатки IoT із підключенням LTE забезпечують цілодобовий безпроводовий моніторинг колодязів, насосних станцій, каналізації та інших компонентів систем водопостачання та водовідведення.

Роздрібна торгівля та цифрові вивіски : рішення Інтернету речей для додатків роздрібної торгівлі та цифрових вивісок використовуються в різних випадках, від інформаційних вивісок і зовнішньої реклами до систем торгових точок, банкоматів, касових систем самообслуговування тощо.

Постійне підключення LTE має важливе значення для плавного розгортання мереж 5G. Мережі LTE та 5G співіснуватимуть принаймні десятиліття, доки не буде створено повну інфраструктуру 5G, і LTE матиме вирішальне значення для забезпечення резервного підключення в районах з обмеженим покриттям 5G. На початку LTE також буде значно дешевшим, ніж 5G, для більшості програм .

З точки зору інфраструктури, майже всі мережі 5G спочатку будуть розгорнуті в режимі «5G non-standalone» (5G NSA). Початкові пристрої 5G мають вбудоване радіо, яке підтримує як 4G LTE, так і 5G. Пристрій спочатку підключатиметься до мережі 4G LTE та використовуватиме мережу 5G для додаткової пропускної здатності, якщо така доступна. Згодом ролі поміняються, оскільки мережі 5G розвиваються, і пристрої підключатимуться до мережі 5G лише в режимі «автономного 5G» (5G SA), а потім зможуть повною мірою скористатися перевагами технології 5G.

Для 5G потрібне нове обладнання як для операторів мереж, так і для їхніх клієнтів. Оператори мереж повинні встановити нове обладнання на всіх своїх опорах електропередачі, що буде тривалим і трудомістким процесом. Проте хороша новина полягає в тому, що мережеві оператори почали розгортати нову інфраструктуру 5G кілька років тому, коли 5G ще був у своєму остаточному визначенні. Завдяки простому оновленню програмного забезпечення інфраструктура тепер може підтримувати 5G і 4G LTE одночасно.

Служба LTE надає послугу LTE кінцевим пристроям 4G LTE, таким як маршрутизатори, шлюзи, телефони та планшети.

5G може використовувати той самий спектр, що й 4G LTE, використовуючи підхід під назвою Dynamic Spectrum Sharing (DSS). DSS дозволяє нам швидше використовувати 5G і подовжує термін служби мереж 4G LTE і, таким чином, термін служби пристроїв 4G LTE. Однак 5G також використовує «свіжий» спектр, такий як 5G mmWave, який є ексклюзивним для 5G.

Крім того, LTE забезпечує необхідну фізичну мережеву інфраструктуру для 5G. Один галузевий експерт зазначив, що «першим мережам 5G потрібна площина управління 4G LTE [елемент мережі, відповідальний за маршрутизацію трафіку] для керування сеансами даних 5G».

LTE є ключовим кроком у розвитку безпроводового зв'язку як для споживачів, так і для комерційних і промислових застосувань. Навіть коли індустрії та розробники Інтернету речей відкривають надзвичайні можливості, які надає 5G, приємно знати, що технологія LTE забезпечує перевірений — і часто дешевший — міст у це майбутнє.

Digi пропонує комплексні рішення стільникового зв'язку з використанням технологій 4G LTE, LTE Advanced і 5G, щоб підтримати вашу організацію в майбутньому для перевірки розгортання підключених пристроїв, з надійною інтегрованою безпекою, складним програмним забезпеченням і провідними в галузі інструментами хмарного та периферійного керування.

1.3 Аналіз архітектурних складових технології LTE

1.3.1 Оцінка пропускної здатності мережі стандарту LTE

Технологія LTE в низхідних і висхідних каналах може забезпечити різні швидкості, які залежать від багатьох важливих параметрів - дуплексування каналів, існуючий діапазон частот, модуляція піднесучих та її вид, метод завадостійкого кодування даних, технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output), керування

ресурсами управління та інші. На рис. 1.4. показано три сценарії, в яких можуть проводитись попередні оцінки параметрів мережі технології LTE, а саме: окреме з'єднання (Single-Downlink), окрема стільниківа з багатьма користувачами (Single-Cell Multi-User), багато стільників з багатьма користувачами (Multi-Cell Multi-User).

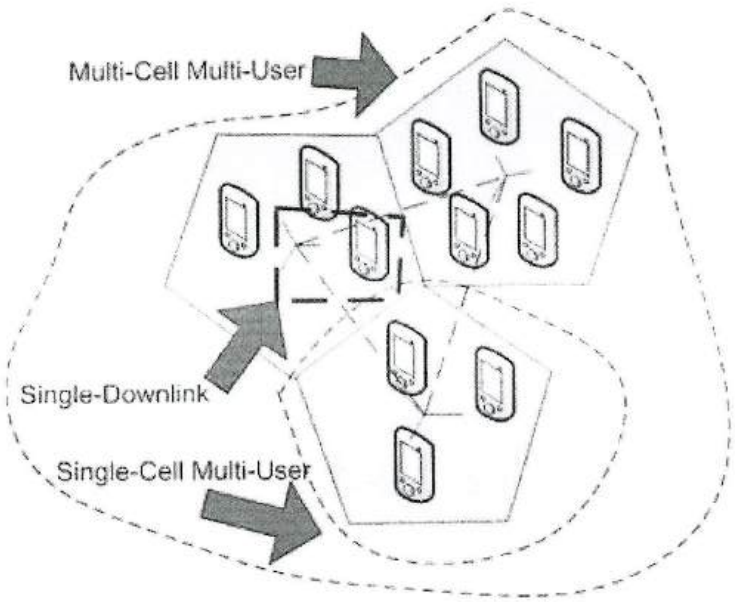


Рис. 1.4. Сценарії для оцінки параметрів мережі стандарту LTE

Single-Downlink - сценарій, в якому оцінюється тільки одне спадне з'єднання між базовою станцією і абонентським обладнанням одного користувача. Зі сторони планування таким чином можна досліджувати параметри службових і призначених для користувача каналів, а також ефективність алгоритмів роботи MIMO.

Single-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються з'єднання з потенційно активними користувачами в межах одного стільника. Також дозволяє додатково досліджувати параметри радіомережі з урахуванням всередині стільникового завантаження і процедур планування радіо ресурсів, а також ефективність багатокористувацьких режимів MIMO.

Multi-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються основні параметри мережі. Дозволяє досліджувати всі параметри реальної радіомережі з урахуванням внутрішньосистемних перешкод від суміжних стільників.

Технічно новим рішенням для радіоінтерфейсу LTE стало використання

нових методів множинного доступу - OFDMA в низхідному каналі (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) і SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) - у висхідному. Також важливо відмітити, що весь наявний спектр розбивається на ортогональніпіднесучі по 15 кГц (в низхідному каналі).

Таблиця 1.1

Відмінності в плануванні мереж мобільного зв'язку різних поколінь

Найменування	LTE (4G)	GSM (2G)	WCDMA (3G)
Планування частотного ресурсу	Розподіл фрагментів смуги системи між користувачами базових станцій	Розподіл частотних каналів між базовими станціями	Не потрібно
Наявність регулярної методики планування	Немає	Є	Є
Комутація	Пакетів (все через IP)	Каналів, пакетів	Каналів, пакетів
Передача інформації	OFDM	Вузькосмуговий сигнал	Широкосмуговий сигнал
Профіль трафіку	VoIP, потокове відео, мобільний інтернет, фоновий трафік	Мова, мобільний інтернет, фоновий трафік	Мова, потокове відео, мобільний інтернет, фоновий трафік
Дисципліна обслуговування	VoIP - система масового обслуговування (СМО) з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами. Потокове відео - СМО без затримок	Мова - СМО з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами.	Мова - СМО з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами. Потокове відео - СМО без затримок

Кожна з них модулюється певним видом модуляції (від QPSK до QAM64). 12 піднесучих - мінімальна смуга, що виділяється для одного абонента. Використання багатопозиційних методів модуляції вимагає каналів з високим рівнем відношення сигнал/шум, погіршення же радіоумов призведе до зниження порядку модуляції, а, відповідно, і швидкості передачі даних. Таким чином, при поганих радіоумовах максимальні швидкості передачі даних в низхідному каналі можна сміливо розділити на 3 (при QPSK одночасно передаються 2 біти інформації, при QAM64 - 6 біт). Крім порядку модуляції важливо брати до уваги і схему завадостійкого кодування. Наприклад, кодування зі швидкістю 0.5 ще в 2 рази знижує швидкості передачі даних. Також треба відмітити, що саме масштабованість є найважливішою особливістю технології LTE. Займаний ним частотний спектр від 1.4 до 20 МГц сприяє швидкому впровадженню мережі в умовах обмеженості ресурсів. Можливі також смуги 3, 5, 10 і 15 МГц. Ширші смуги дорівнюють більшій швидкості.

1.3.2 MIMO - багатоантенні технології в LTE

MIMO (англ. Multiple Input Multiple Output) - метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, при якому передача даних здійснюється за допомогою N антен і їх прийому M антенами. Передаючі і приймаючі антени рознесені настільки між собою, аби досягти слабкої кореляції між сусідніми антенами. У різних реалізаціях MIMO мається на увазі одночасна передача в одному фізичному каналі кількох незалежних повідомлень. З метою реалізації дії MIMO застосовують багатоантенні системи: на передавальній стороні є Nt передавальних антен, а на приймальній стороні Nr приймальних. Дана структура приведена на рис. 1.5.

Існують кілька варіантів застосування MIMO - для збільшення абонентської ємності, при цьому з різних антен передається різна інформація, і для поліпшення покриття. В останньому випадку з декількох антен передається одна і та ж інформація, що дозволяє абонентському пристрою комбінувати сигнал з різних антен, покращуючи його якість.

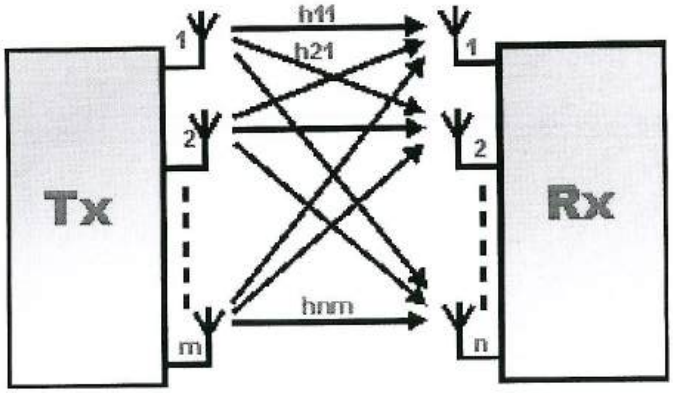


Рис. 1.5. Структура MIMO

1.3.3 Частотне планування

На сьогоднішній день більша частина мереж LTE працює в парному спектрі в режимі FDD (Frequency Division Duplex) - частотний рознос вхідного і вихідного каналу, при якому прийом і передача сигналу відбуваються на різних частотах), але інтерес до мереж LTE TDD продовжує зростати -так, все більше країн, які впроваджують технологію LTE, які підтримують режим TDD (Time Division Duplex) - прийом і передачі сигналу відбуваються на одній частоті, але з поділом за часом. Технологія найкраще підходить для додатків, що мають несиметричний трафік.

Всього під технологію LTE виділено понад 40 діапазонів частот (bands), при цьому використання спектра для LTE має регіональні особливості. Наприклад, в США найбільш популярними є діапазони 700 МГц (в основному, band 13 і band 17) і AWS (AWS band (Advanced Wireless Services band) - парні частоти в діапазонах 1710- 1755 МГц (передача) і 2110-2155 МГц (прийом) (1,7 / 2,1 ГГц), в Європі - діапазони 1800 МГц (band 3) і 2600 МГц (band 7), в перспективі - 800 МГц (band 20). В Японії перші запуски LTE відбулися в діапазоні 800/850 МГц; 1,5 ГГц; 1,7 ГГц і 2,1 ГГц (в залежності від оператора). Великий інтерес в світі пов'язаний з рефармінгом частот GSM для їх використання в мережах LTE. Особливо це стосується діапазону 1800 МГц, а в деяких випадках - 900 МГц. При цьому більшість регуляторів схвалює технологічно нейтральний підхід, при якому оператори можуть використовувати наявні у них частоти незалежно від конкретної

технології.

Розвиток LTE на частоті 1800 МГц в середньому на 60% економічніше, ніж будівництво мереж в високочастотних діапазонах. Використання цього діапазону дозволяє скоротити час виходу технології LTE на ринок і прискорити його розвиток. У більш вигідному становищі опиняться ті компанії, які зможуть провести рефармінг для нижніх частот 800-900 МГц, де розгортання мереж LTE в кілька разів дешевше, ніж в діапазонах вище 2 ГГц.

Розгортання мереж в низькочастотній області спектра більш привабливо з точки зору витрат і оптимально підходить для покриття районів з низькою щільністю населення (передмістя і сільські райони). Низькі частоти, в порівнянні з високими, забезпечують істотно краще проникнення всередині будівель і велику площу покриття, що, з одного боку, дозволяє забезпечити зв'язком великі території, а з іншого - серйозно обмежує щільність базових станцій і загострює проблему внутрісистемної інтерференції.

Високі частоти відмінно підходять для побудови систем LTE в регіонах з високою щільністю населення, де потрібні високі швидкості передачі даних. Однак якщо працювати тільки в високочастотному діапазоні, то неминуче виникають проблеми з радіопокриттям. Фемтостільники, встановлені в місцях з високою концентрацією абонентів (трафіку) і в приміщеннях, допомагають зменшити «тіньові» зони в покритті. Фемтостільники необхідні для поліпшення покриття мережі на перших поверхах будівель, в підвальних приміщеннях і на складах, а також для вирішення абонентських проблем, пов'язаних з перевантаженням мережі в години пік.

Можливість використовувати комбінацію з двох діапазонів (високого і низького) - запорука об'ємного покриття і забезпечення необхідної ємності в 63 місцях, де трафік особливо затребуваний. Для поліпшення покриття усередині будівель рекомендується використовувати фемтостільники [3].

1.4 Мережева архітектура LTE

Мережева архітектура високого рівня LTE складається з наступних трьох основних компонентів:

- Устаткування користувача (UE).
- Розвинена наземна мережа радіодоступу UMTS (E-UTRAN).
- Еволюційне пакетне ядро (EPC)

Вдосконалене пакетне ядро зв'язується з мережами пакетної передачі даних в зовнішньому світі, такими як Інтернет, приватні корпоративні мережі або мультимедійна IP-підсистема. Інтерфейси між різними частинами системи позначені як Uu, S1 і SGi, як показано на рис. 1.6.

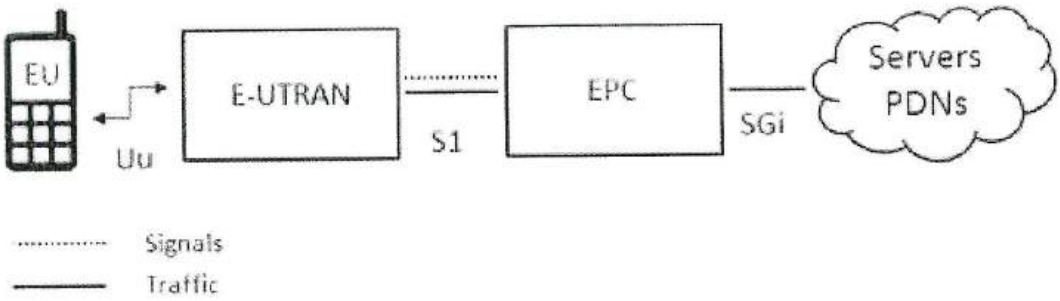


Рис. 1.6. Мережева архітектура високого рівня LTE

1.4.1 Користувацьке обладнання (UE)

Внутрішня архітектура призначеного для користувача устаткування для LTE ідентична архітектурі, використовуваної UMTS і GSM, яка фактично є мобільним обладнанням (ME). Мобільне обладнання складалося з таких важливих модулів:

– Мобільне завершення (MT): обробляє всі функції зв'язку.

– Термінальне обладнання (TE): завершує потоки даних.

– Універсальна карта з інтегральною мікросхемою (UICC): вона також відома як SIM-карта для обладнання LTE. Вона запускає додаток, відомий як універсальний модуль ідентифікації абонента (USIM).

1.4.2 E-UTRAN (мережа доступу)

Архітектура розвиненої наземної мережі радіодоступу UMTS (E-UTRAN) проілюстрована на рис. 1.7.

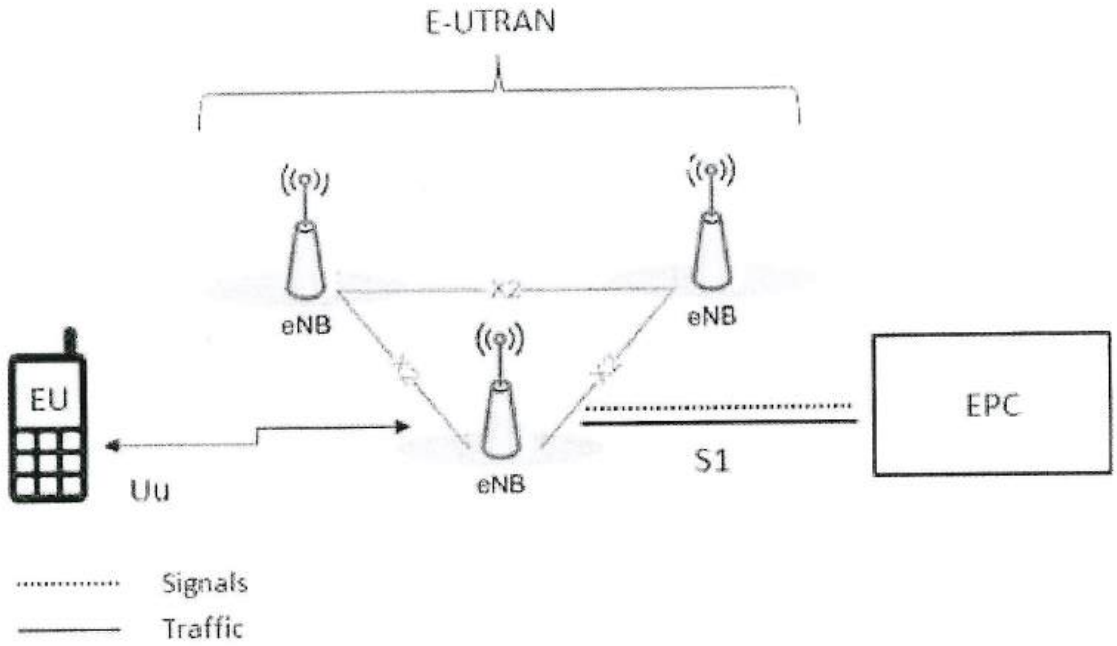


Рис. 1.5. Архітектура розвиненої наземної мережі радіодоступу E-UTRAN

E-UTRAN здійснює радіозв'язок між мобільним пристроєм і розвиненим пакетним ядром і має тільки один компонент - розвинені базові станції, так звані eNodeB або eNB. Кожен eNB є базовою станцією, яка управляє мобільними телефонами в одній або декількох стільниках. Базова станція, яка обмінюється даними з мобільним пристроєм, називається його обслуговуючим eNB. LTE Mobile зв'язується тільки з однією базовою станцією і одним стільником за раз, і eNB підтримує наступні дві основні функції:

– ENB відправляє і приймає радіопередачі на всі мобільні пристрої, використовуючи функції обробки аналогового і цифрового сигналів радіоінтерфейсу LTE.

– ENB управляє роботою на всіх своїх мобільних пристроях низького рівня, відправляючи їм сигнальні повідомлення, такі як команди передачі обслуговування.

Кожен eNB з'єднується з EPC за допомогою інтерфейсу S1, і він також може бути підключений до сусідніх базових станцій через інтерфейс X2, який в основному використовується для сигналізації та пересилання пакетів під час передачі обслуговування.

Домашній eNB (HeNB) - це базова станція, яка була придбана користувачем для забезпечення покриття фемтостільників всередині будинку. Домашній eNB належить до закритої групи абонентів (CSG) і може бути доступний тільки з мобільних телефонів з USIM, який також належить до закритої групи абонентів.

1.4.3 Evolved Packet Core (EPC) (Базова мережа)

Архітектура Evolved Packet Core (EPC) проілюстрована на рис. 1.8.

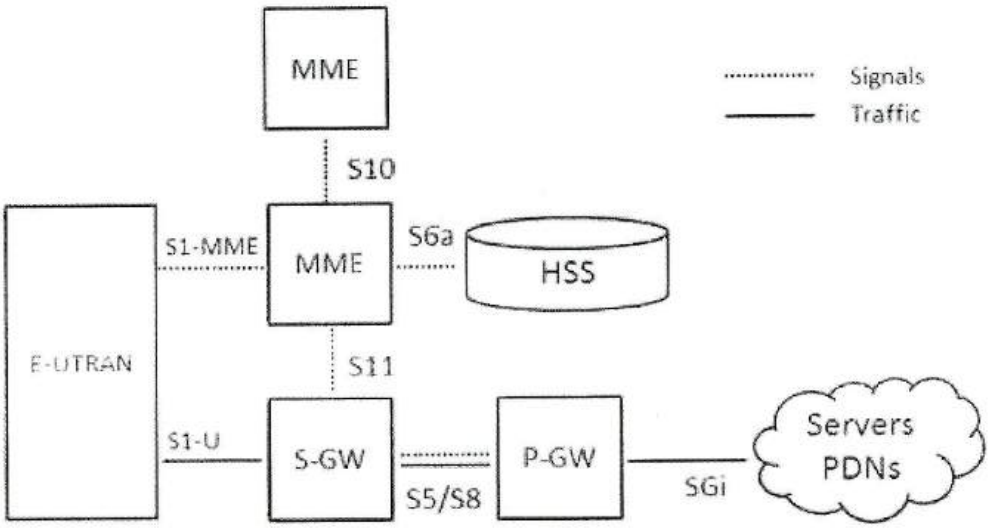


Рис. 1.8. Архітектура EPC

– Компонент Домашній абонентський сервер (HSS) перенесений з UMTS і GSM і являє собою центральну базу даних, яка містить інформацію про всіх абонентів оператора мережі.

– Шлюз мережі пакетної передачі даних (PDN) (P-GW) зв'язується із зовнішнім світом, тобто з мережею пакетних даних PDN, що використовують інтерфейс SGi. Кожна мережа пакетної передачі даних ідентифікується ім'ям точки

доступу (APN). Шлюз PDN виконує ту ж роль, що і вузол підтримки GPRS (GGSN) і обслуговуючий вузол підтримки GPRS (SGSN) з UMTS та GSM.

– Обслуговуючий шлюз (S-GW) діє як маршрутизатор і передає дані між базовою станцією і шлюзом PDN.

– Об'єкт управління мобільністю (MME) управляє роботою мобільного рівня високого рівня за допомогою сигнальних повідомлень та домашнього абонентського сервера (HSS) [4].

1.5 Роумінгова архітектура LTE

Мережа, керована одним оператором в одній країні, відома як наземна мобільна мережа загального користування (PLMN), і коли підписаний користувач використовує PLMN свого оператора, тоді говорять Home-PLMN, але роумінг дозволяє користувачам виходити за межі своєї домашньої мережі та використовувати ресурси з мережі іншого оператора. Ця інша мережа називається Visited-PLMN. Користувач в роумінгу підключений до E-UTRAN, MME і S-GW відвідуваною мережею LTE. Однак LTE / SAE дозволяє використовувати P-GW як гостьової, так і домашньої мережі, як показано нижче (рис. 1.9).

P-GW домашньої мережі дозволяє користувачеві отримувати доступ до послуг домашнього оператора, навіть перебуваючи в гостьовій мережі. P-GW в відвідуваною мережі дозволяє здійснювати «локальний прорив» в Інтернет в відвідуваною мережі. Інтерфейс між обслуговуючим і шлюзами PDN відомий як S5 / S8. Це має дві злегка відрізняючих між собою реалізації, а саме S5, якщо два пристрої знаходяться в одній мережі, і S8, якщо вони знаходяться в різних мережах. Для мобільних телефонів, які не перебувають у роумінгу, обслуговуючий і PDN-шлюзи можуть бути інтегровані в один пристрій, так що інтерфейс S5 / S8 повністю зникає. Складнощі нових механізмів зарядки, необхідних для підтримки роумінгу 4G, набагато більш поширені, ніж в середовищі 3G. Кілька слів про передплатної і постоплатной оплаті за роумінг LTE наведені нижче:

– Передоплата - стандарт CAMEL, який забезпечує передоплату в 3G, яку

не підтримується в LTE; отже, передплачений інформація про клієнта повинна спрямовуватися назад в домашню мережу, а не оброблятися локальної відвідуваною мережею. В результаті оператори повинні покладатися на нові облікові потоки для доступу до передплачених даними клієнтів, наприклад, через свої P-шлюзи в середовищах IMS і не-IMS або через свої CSCF в середовищі IMS.

– Постоплатна зарядка - Постоплатна зарядка за використання даних працює в LTE так само, як і в 3G, використовуючи версії TAP 3.11 або 3.12. При локальному відключенні служб IMS потрібний TAP 3.12.

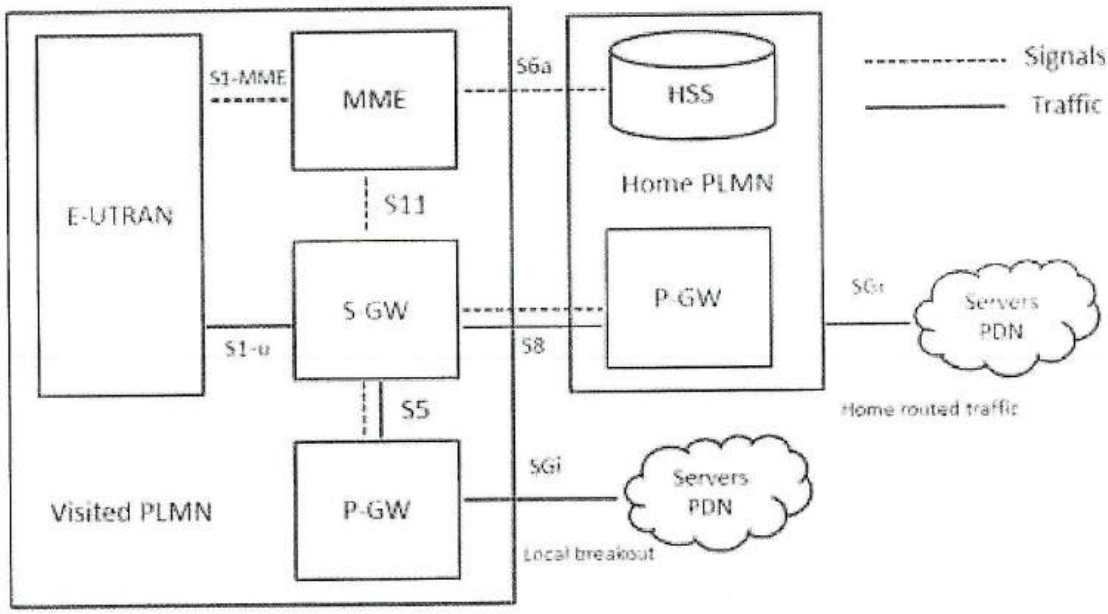


Рис. 1.9. Роумінгова архітектура

Оператори не мають такої ж міри видимості дій абонентів, як в сценарії домашньої маршрутизації в разі локальних сценаріїв прориву, оскільки сеанси даних абонента зберігаються в відвідуваною мережі; тому, щоб домашній оператор міг збирати інформацію в режимі реального часу як про клієнтів з передоплатою, так і з післяплатою, він повинен встановити інтерфейс Diameter між системами нарахування плати і P-шлюзом відвідуваною мережі.

У разі локального прориву сценарію служб ims, відвідувана мережу створює докладні записи викликів (CDR) з S-шлюзу, однак ці CDR не містять всієї інформації, необхідної для створення мобільного сеансу TAP 3.12 або обміну

повідомленнями запис події для використання сервісу. В результаті оператори повинні корелювати CDR базової мережі передачі даних з CDR IMS для створення записів TAP [5].

1.6 Переваги та недоліки 4G

Переваги LTE:

– Висока пропускна здатність: висока швидкість передачі даних може бути досягнута як в низхідній лінії зв'язку, так і в висхідній лінії зв'язку. Це викликає високу пропускну здатність.

– Низька затримка: час, необхідний для підключення до мережі, знаходиться в діапазоні декількох стільниківень мілісекунд, і тепер стану енергозбереження можна вводити і виходити дуже швидко.

– FDD і TDD на одній платформі: дуплекс з частотним поділом (FDD) і дуплекс з тимчасовим поділом (TDD), обидві схеми можуть використовуватися на одній платформі.

– Чудова взаємодія з кінцевим користувачем: Оптимізована сигналізація для встановлення з'єднання і інших процедур радіоінтерфейсу і управління мобільністю ще більше поліпшила взаємодія з користувачем. Зменшена затримка (до 10 мс) для кращої взаємодії з користувачем.

– Безшовне з'єднання: LTE також буде підтримувати безшовне з'єднання з існуючими мережами, такими як GSM, CDMA і WCDMA.

– Підключи і грай: користувачеві не потрібно вручну встановлювати драйвери для пристрої. Замість цього система автоматично розпізнає пристрій, завантажує нові драйвери для обладнання, якщо це необхідно, і починає працювати з знову підключеним пристроєм.

– Проста архітектура: через простий архітектури низькі експлуатаційні витрати (OPEX).

Недоліки LTE:

– відсутність наступності до технології UMTS / HSPA.

– необхідність модернізації транспортної мережі оператора зв'язку, для якісного надання послуг.

1.7 LTE в Україні

Починаючи з 30 березня 2018 року на території України впроваджується 4G мережа в діапазоні 2600 МГц, а 1 липня 2018 року в діапазоні 1800 МГц. Технологію почали розвивати та використовувати оператори "Великої трійки" - Vodafone, Kyivstar, Lifecell. Станом на кінець 2023 року Київстар має найбільшу кількість базових станцій в Україні - 15.2 тисяч, Водафон - 11.8 тисяч, Лайфселл - 7.2 тисяч.

Тестування мереж українських операторів показало, що найвища швидкість мобільного інтернету доступна клієнтам Vodafone. Дослідження проводилося французькою компанією nPerf, одним з лідерів тестування телекомунікаційних мереж з метою оцінки швидкості і якості доступу до мережі інтернет. Дослідження засноване на даних з призначених для користувача пристроїв при замірах швидкості в додатку nPerf. Оцінка включає результати тестів швидкості завантаження і вивантаження, затримки, веб-серфінгу і переглядів потокового відео. Лідером за швидкістю серед цієї трійки є саме "червоний оператор": середня швидкість завантаження становить 19 Мбіт/с, швидкість вивантаження - близько 9 Мбіт/с. Vodafone також продемонстрував кращі результати перегляду веб-сторінок. Для порівняння, "блакитний" і "жовтий" оператори мають швидкість завантаження 17 Мбіт/с і 14 Мбіт/с, а вивантаження - 7.8 Мбіт/с і 8.2 Мбіт/с відповідно. Також компанія Ookla, яка володіє додатком Speedtest підвела підсумки конкурсу Speedtest Awards в Україні за 2020 рік і так само визнала Vodafone, як оператора з найбільшою швидкістю, за що й була отримана відповідна відзнака. Слід також зазначити, що мережа 4G доступна і в усіх станціях метро міста Києва станом на 2023 рік.

2. МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕДАЧІ ГОЛОСУ ЧЕРЕЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ

2.1. Технологія передачі медіа-даних у реальному часі за допомогою сімейства протоколів TCP/IP

Session Initiation Protocol (SIP). Протокол сигналізації, присутності та обміну миттєвими повідомленнями, розроблений для налаштування, зміни та припинення мультимедійних сеансів, а також для того, аби надсилати, й отримувати миттєві повідомлення [1].

Те, що SIP є інтернет протоколом означає набагато більше, ніж що він працює через Інтернет. Це означає, що SIP використовує архітектуру та набір протоколів Інтернету. SIP, як і багато інших Інтернет протоколів був розроблений Інженерною групою Internet Engineering Task Force (IETF).

Як зрозуміло з назви, протокол дозволяє двом кінцевим точкам встановити медіа-сеанси один з одним. Основними сигнальними фукціями протоколу є:

1. Розташування кінцевої точки;
2. Зв'язок з кінцевою точкою, для визначення бажання встановити сеанс;
3. Обмін медіа-інформацією для створення сесії;
4. Зміна існуючих медіа-сесій;
5. Припинення існуючих медіа-сесій.

SIP був також розширений для запиту та доставки інформації про присутність (до прикладу, інформація про статус онлайн/офлайн, а також, місцезнаходження) і сеанси миттєвих повідомлень. Попри те, що SIP частіше обговорюють з точки зору телефонії, у нього є і багато нетелефонних застосувань. Так, SIP використовується для встановлення набору сеансів, які мало схожі на телефонний дзвінок.

То чому ж саме UDP ідеально підходить для VoIP? Протоколи UDP і TCP є важливими компонентами мереж VoIP, оскільки вони контролюють обмін даними через Інтернет. Однак середовища VoIP також використовують протокол SIP (Session Initiation Protocol) для встановлення з'єднань з іншими пристроями SIP

(майже всі пристрої використовують SIP для зв'язку). Тому важливо розглянути, як працюють традиційні транспортні протоколи в середовищі VoIP (на рис. 2.1 схематично зображено, як працює кожен із вказаних протоколів).

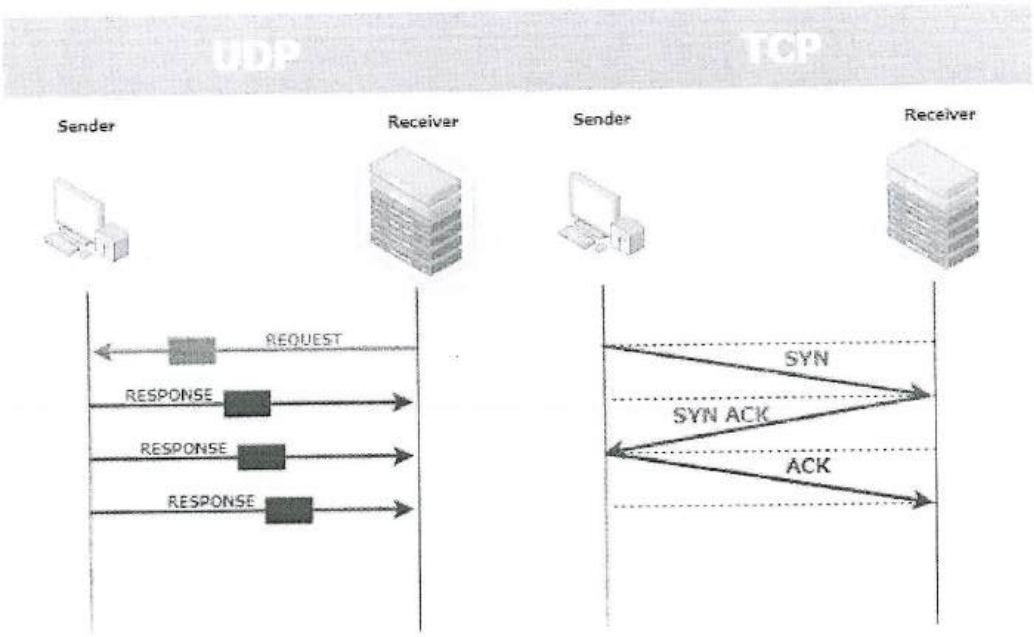


Рис. 2.1. Схема роботи UDP та TCP

Реєстрація пристрою. Мережі TCP можна використовувати для реєстрації пристроїв у невеликому масштабі (тобто мережа LAN). Однак у комплексній мережі VoIP є тисячі пристроїв, які намагаються підключитися до мереж VoIP.

Ці пристрої можуть варіюватися від окремих телефонів SIP, пристроїв SIP до інших мереж АТС. В результаті більшість цих з'єднань є простими реєстраціями SIP. Реєстрація SIP відбувається, коли пристрій SIP (тобто IP-телефон) підключається до SIP-сервера і передає свою доступність для отримання дзвінків разом зі своєю IP-адресою [6, 7].

Не варто забувати, що мережі SIP повинні робити це щохвилини для підтримки належного зв'язку. Однак, якщо ми використовуємо протокол TCP, він повинен буде проходити тристороннє рукостискання кожного разу, коли телефон хоче передати свою доступність.

Це призведе до величезних витрат на інформацію для оператора VoIP. Це правда, що ви можете дозволити собі це в середовищі локальної мережі. Але VoIP

може мати тисячі окремих пристроїв, які щосекунди намагаються зареєструватися. Реалізація протоколу TCP для реєстрації пристроїв зрештою призведе до зупинки SIP-серверів.

Проте протокол UDP не потребує постійних підтверджень і не створює додаткового навантаження на сервери.

Якість дзвінків. Після того, як телефони будуть зареєстровані в мережі VoIP, вам потрібен транспортний протокол, який забезпечує швидку передачу даних. Голосовий дзвінок — це розмова, яка містить потоки пакетів. Усі ці пакети необхідно створювати, передавати та приймати в режимі реального часу.

У TCP повторні передачі та підтвердження створюватимуть затримки голосового виклику. Затримки в голосовому дзвінку погіршують якість дзвінків. Наприклад, якщо людина щось каже під час телефонного дзвінка, людина на стороні, яка приймає, почує те, що було сказано через кілька секунд.

Хоча це може бути доступним у неформальному спілкуванні, але організації не можуть витримати це в бізнес-середовищі. Протокол UDP вирішує цю проблему, відкидаючи відсутній пакет замість того, щоб створити затримку телефонного дзвінка. Один відсутній пакет не має серйозного впливу на якість дзвінків в цілому, і люди можуть продовжувати спілкування в режимі реального часу.

Voice over IP. VoIP (протокол передачі голосу через Інтернет) — це передача голосового та мультимедійного вмісту через Інтернет-з'єднання. VoIP дозволяє користувачам здійснювати голосові дзвінки з комп'ютера, смартфона, інших мобільних пристроїв, спеціальних VoIP-телефонів і браузерів із підтримкою WebRTC. VoIP – це технологія, корисна як для споживачів, так і для бізнесу (рис. 2.2 показує схему роботи VoIP для бізнесу), оскільки зазвичай включає інші функції, які не можна знайти в звичайних телефонних службах. Ці функції можуть включати запис дзвінків, індивідуальний ID абонента або голосову пошту для електронної пошти. Це також корисно для організацій як спосіб уніфікувати комунікації.

Процес працює подібно до звичайного телефону, приклад, але VoIP використовує підключення до Інтернету замість проводки телефонної компанії.

VoIP забезпечується за допомогою групи технологій і методологій, що використовуються для надання голосового зв'язку через Інтернет, включаючи корпоративні локальні мережі або глобальні мережі.

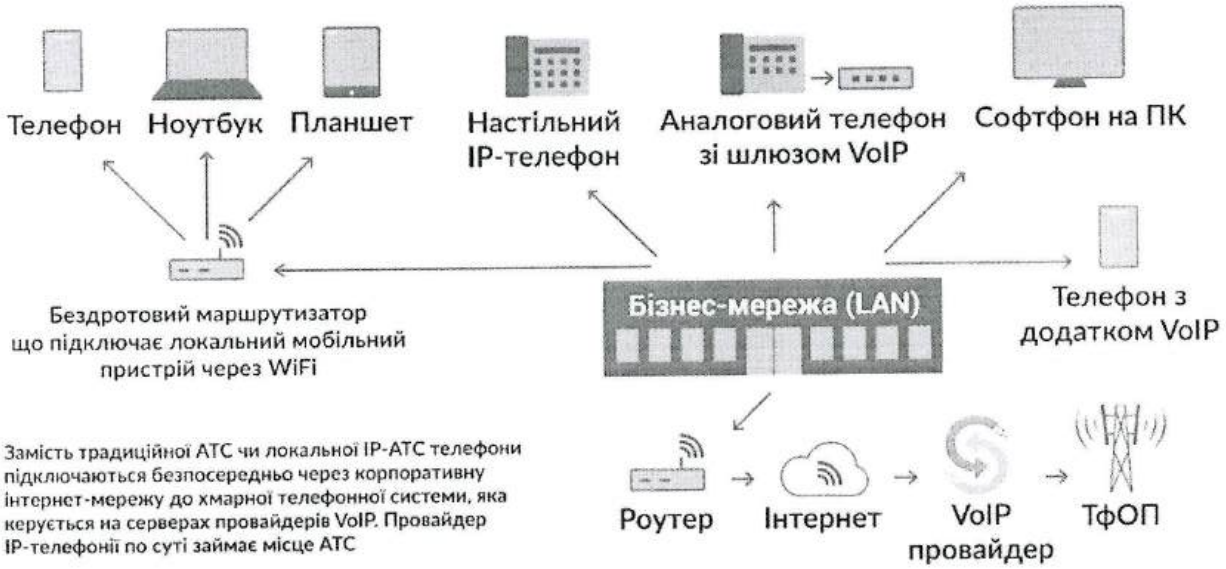


Рис. 2.2. Загальна схема VoIP телефонії в бізнес структурі

Служба VoIP перетворює голос користувача з аудіосигналів у цифрові дані, а потім надсилає ці дані через Інтернет. Якщо інший користувач дзвонить зі звичайного телефонного номера, сигнал перетворюється назад у телефонний, перш ніж він досягне цього користувача.

VoIP також може виконувати маршрутизацію вхідних і вихідних дзвінків через існуючі телефонні мережі. Однак деякі служби VoIP можуть працювати лише через комп'ютер або телефон VoIP [8].

Послуги VoIP перетворюють голос користувача з аудіосигналів у цифрові дані (див. рис. 2.3), в яких ці дані потім надсилаються іншому користувачеві - або групі користувачів – через Ethernet або Wi-Fi. Для цього VoIP використовуватиме кодеки.



Рис. 2.3. Загальна спрощена схема роботи VoIP

Кодеки — це апаратний або програмний процес, який стискає та розпаковує великі обсяги даних VoIP. Якість голосу може погіршитися, якщо використовується стиснення, але стиснення зменшує вимоги до пропускної здатності. Постачальники обладнання також використовуватимуть власні кодеки.

Процес надсилання даних іншим користувачам включає інкапсуляцію аудіо в пакети даних, передачу пакетів через IP-мережу та деінкапсуляцію пакетів назад у аудіо на іншому кінці з'єднання.

У корпоративних або приватних мережах якість обслуговування (QoS) зазвичай використовується для визначення пріоритету голосового трафіку над додатками, які не чутливі до затримок, щоб забезпечити прийнятну якість голосу.

Додаткові компоненти типової системи VoIP включають наступне: IP-АТС для керування телефонними номерами користувачів, пристроями, функціями та клієнтами; шлюзи для з'єднання мереж і забезпечення перемикання збоїв або локальної живучості в разі відключення мережі; і прикордонні контролери сеансу для забезпечення безпеки, керування політикою викликів та мережевих з'єднань.

Система VoIP також може включати бази даних відстеження місцезнаходження для платформ маршрутизації викликів та керування E911 (розширений 911). Це може збирати статистику продуктивності дзвінків для реактивного та проактивного керування якістю голосу [9 - 11].

Виключаючи голосові мережі з комутацією каналів, VoIP зменшує витрати на мережеву інфраструктуру та дає змогу провайдерам надавати голосові послуги через широкосмугові та приватні мережі. Це також повинно дозволити підприємствам керувати єдиною мережею голосу та даних.

VoIP також підтримує стійкість мереж на основі IP, забезпечуючи швидке перемикання збоїв після збоїв і резервного зв'язку між кінцевими точками та мережами.

Переваги VoIP включають:

Нижча вартість. Ціна нижча за звичайні телефонні рахунки.

Більш якісний звук. З нестиснутими даними звук стає менш приглушеним або нечітким.

Доступ для віддалених працівників. Підходить для співробітників, які працюють віддалено, оскільки у них є кілька варіантів, щоб телефонувати на зустрічі або спілкуватися з іншими товаришами по команді.

Додані функції. Ці функції включають запис дзвінків, черги, індивідуальний ідентифікатор абонента або голосову пошту для електронної пошти.

Низькі міжнародні ставки. Коли стаціонарний телефон здійснює міжнародний дзвінок, він орендує дротовий канал для переадресації дзвінка за кордон. VoIP не потребує дротової лінії та використовує Інтернет для здійснення дзвінків, що означає, що він розглядається як звичайний трафік і є менш дорогим.

Незважаючи на ці переваги, послуги VoIP можуть мати **деякі недоліки.** Ці недоліки включають:

Не всі ці служби можуть підключатися безпосередньо до служб екстреної допомоги.

VoIP потрібне високошвидкісне підключення до Інтернету.

Послуги не працюватимуть під час відключення електроенергії.

Залежно від послуги VoIP може не виникати довідника.

Чим трафік голосових повідомлень відрізняється від трафіку даних?

Передача голосу має інші проблеми, ніж передача даних, оскільки голосовий трафік не можна повторно надіслати, якщо він втрачений. Три унікальні проблеми, які впливають на якість дзвінків: затримка, тремтіння та втрата пакетів.

Крім того, голосовий трафік може мати проблеми з роумінгом, оскільки люди більше схильні пересуватись з телефонами, аніж з комп'ютерами.

Втрата пакетів відбувається, коли перевищено максимальну затримку, зазначену в буфері тремтіння. Мережі мають тенденцію або час від часу викидати окремі пакети (так звані прогалини у втраті пакетів), або велику кількість суміжних пакетів у пакеті. Втрата пакетів понад 5% вважається неприйнятною при використанні кодека G.711 — постійні сплески втрати пакетів викликають найбільше проблем.

2.2. IP Multimedia Subsystem - технологія передачі голосу по мережі LTE

Vo – скорочення від Voice over (голос по). Таким чином, VoLTE – це технологія передачі голосу по LTE, яка з'явилася в епоху розвитку 4G. Вона передає голос як потік даних, що робить звук чіткішим, але при цьому витрачається пакет хвилин, а не трафік. Плюс до всього без VoLTE не можна використовувати 4G під час дзвінка: мережа автоматично перемикається на 3G або 2G залежно від якості покриття. Отже, плюси передачі голосу по LTE очевидні.

Голос через LTE (VoLTE) — це стандарт високошвидкісного бездротового зв'язку LTE для голосових дзвінків за допомогою мобільних телефонів і терміналів передачі даних. VoLTE має до трьох разів більшу ємність голосу та даних, ніж старіший 3G UMTS, і майже в шість разів більше, ніж 2G GSM. Він використовує меншу пропускну здатність, оскільки заголовки пакетів VoLTE менші, ніж заголовки пакетів неоптимізованого VoIP/LTE. Виклики VoLTE зазвичай оплачуються за тією ж ціною, що й інші дзвінки.

Щоб мати можливість здійснювати дзвінки VoLTE, пристрій, його мікропрограмне забезпечення та постачальники мобільного зв'язку на кожному кінці, а також з'єднання між операторами повинні запроваджувати послугу в зоні та мати можливість працювати разом. Деякі оператори продають VoLTE як «HD Voice», але це ширше поняття. Крім того, HD+ (EVS) використовується тільки в LTE; HD Voice також був доступний у 3G.

VoLTE базується на архітектурній структурі IP-мультимедійної підсистеми (IMS) із спеціальними профілями для контрольної та медіа-площини голосової служби. Це полегшує VoLTE у бездротовій широкосмуговій службі LTE, визначеній GSMA у PRD IR.92 [11]. Результатом цього підходу є те, що голосові послуги (площини керування та медіа) надаються як потоки даних у межах носія даних LTE, без залежності (або, зрештою, вимоги для) голосової мережі з комутацією каналів, щоб бути на шляху виклику.

Для забезпечення сумісності 3GPP вимагає принаймні кодек AMR-NB (вузька смуга), але рекомендованим мовним кодеком для VoLTE є Adaptive Multi-Rate

Wideband (AMR-WB), також відомий під торговою маркою HD Voice після програми сертифікації GSMA. Цей кодек є обов'язковим для мереж 3GPP, які підтримують вибірку 16 кГц [16].

Крім того, багато операторів і пристроїв можуть використовувати Enhanced Voice Services (EVS). Це надширокосмуговий (50–14 000Гц) або повносмуговий (20–20 000Гц) кодек, сумісний із AMR-WB [17]. Цей кодек також відомий під торговою маркою HD Voice+, після програми сертифікації GSMA. GSMA запропонувала зробити EVS обов'язковим, як і AMR-WB. Обидва оператори, будь-яке з'єднання та два телефонні пристрої повинні мати можливість використовувати кодек для його використання. Кодек AMR-WB+ має широкий діапазон швидкості передачі даних від 5,2 до 48 кбіт/с. EVS пропонує широкий діапазон швидкості передачі даних від 5,9 кбіт/с до 128 кбіт/с, що дозволяє постачальникам послуг оптимізувати пропускну здатність мережі та якість зв'язку за бажанням для своїх послуг.

Архітектура підсистеми IMS. Підсистема IMS створена щоб надавати IP-мультимедійні послуги. Її розробка належить партнерській організації 3GPP. Архітектура та технічні принципи функціонування IMS описані в специфікаціях TS 23.417 [12] і TS 23.467 [13].

IMS - це мультимедійна підсистема мереж четвертого та наступних за нею поколінь, котра дозволяє організовувати голосові виклики, відеоконференції та інші сервіси, зокрема в LTE. Основними сигнальними протоколами в ній є SIP (Session Initiation Protocol) та SDP (Session Description Protocol). Передача медіапотоків здійснюється за допомогою протоколу RTP (Real-Time Transport Protocol).

На рис. 2.4 зображено модель взаємодії підсистеми IMS з пакетним ядром EPC.

Основним функціональним елементом IMS є функція управління сеансом зв'язку (Call Session Control Function, CSCF). В свою чергу CSCF поділяється на чотири типи:

- P-CSCF (Proxy CSCF), проксі CSCF;
- S-CSCF (Serving CSCF), обслуговуючий CSCF;

- I-CSCF (Interrogating CSCF), запитуючий CSCF;

- E-CSCF (Emergency CSCF), екстрених служб CSCF.

Кожен CSCF виконує свої спеціалізовані задачі. В загальному, елементи CSCF відповідають за SIP-сесію, реєстрацію абонентського терміналу, забезпечують механізм SIP-маршрутизації і реалізують логіку для наступних функцій:

- автентифікація користувача;

- маршрутизація виклику;

- управління створенням детальних записів викликів (Call Detail Records, CDR) в цілях обліку і тарифікації.

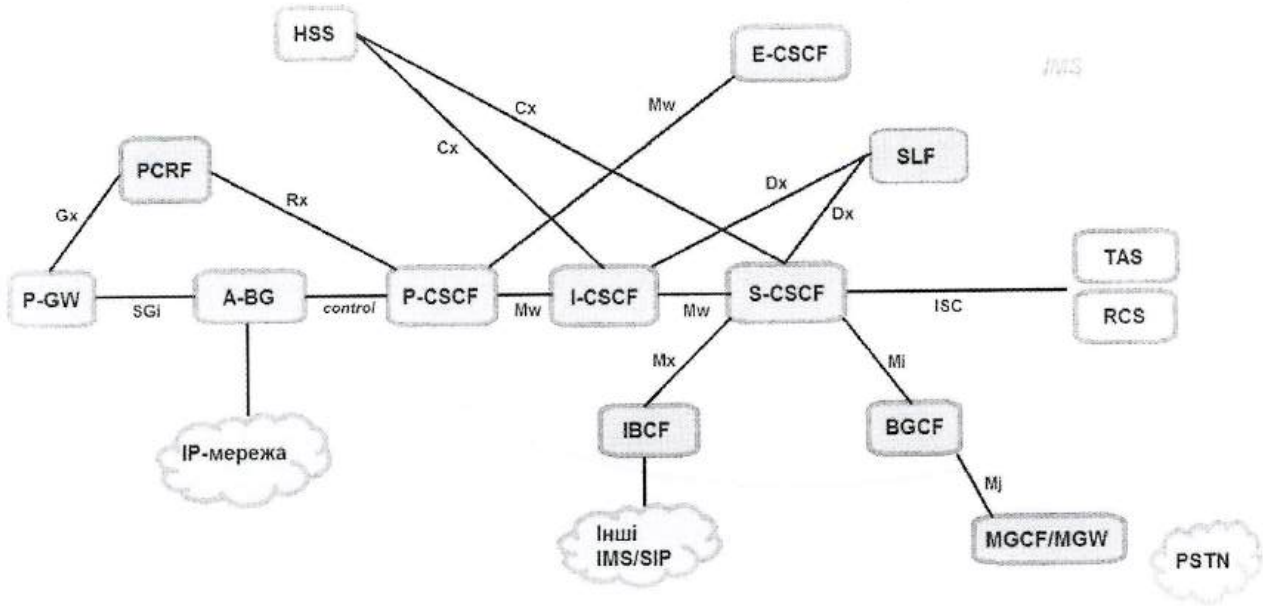


Рис. 2.4. Модель взаємодії підсистеми IMS з пакетним ядром EPC

Розділення CSCF на окремі функціональні блоки забезпечує розподіл навантаження і надає підвищену надійність за рахунок використання серверів резервного копіювання. В якості протоколу сигналізації використовується SIP, а інтерфейсом підключення між ними виступає Mw. Взаємодія з іншими доменами, використовуючи різні протоколи, здійснюється виділеними елементами, котрі забезпечують трансляцію протоколів. Розглянемо детальніше елементи CSCF.

Першою точкою з'єднання мобільного терміналу в IMS, що зареєстрований в пакетній мережі EPC, є P-CSCF. Вона може знаходитись як у домашній, так і візитній мережі. До основних функцій та задач даного елементу можна віднести:

- SIP компресія, для пришвидшення процедури встановлення сесій;
- контроль цілісності та захист конфіденційності SIP сигналізації завдяки використанню протоколів IPsec і TLS (Transport Layer Security);
- маршрутизація запитів на реєстрацію, отриманих від UE, в I-CSCF;
- маршрутизація SIP повідомлень в S-CSCF;
- маршрутизація запитів та відповідей в UE;
- взаємодія з PCRF;
- виявлення екстреного виклику та передача його на відповідний E-CSCF;
- управління QoS та виділення ресурсів через Rx інтерфейс.

I-CSCF є точкою в мережі оператора для всіх вхідних з'єднань до абонентів даного оператора, а також являється посередником для взаємодії із зовнішніми мережами. До основних функцій та задач даного елементу можна віднести:

- призначення користувачу відповідного S-CSCF, ґрунтуючись на даних, отриманих від HSS;
- забезпечення алгоритму балансування для вибору S-CSCF, використовується у випадку початкової реєстрації користувача;
- маршрутизація SIP повідомлень до S-CSCF;
- трансляція адреси абонента з телефонного формату в SIP URI (SIP Uniform Resource Identifier) з використанням сервера ENUM (E.164 Number Mapping).

S-CSCF є центральною точкою сигнальної площини в домені IMS. Для того, щоб розподілити навантаження і забезпечити високу доступність, в мережі може бути декілька таких елементів. Мобільний термінал, надсилаючи запит на реєстрацію, в підсумку маршрутизується на S-CSCF, котрий у свою чергу ініціює процедуру автентифікації і завантажує профіль користувача з HSS. Після верифікації даних, S-CSCF підтверджує реєстрацію в IMS. До основних функцій та задач даного елементу можна віднести:

- управління сесіями абонентів;

- автентифікація абонентів;

- отримання профайла абонента і початкових критеріїв фільтрації (Initial Filter Criteria, IFC) від HSS та подальше їх зберігання;

- трансляція адреси абонента з телефонного формату в SIP URI з використанням сервера ENUM;

- взаємодія з програмними серверами (Application server, AS);

- застосування політик оператора;

- маршрутизація викликів у зовнішні мережі, а саме, телефонні (Public Switched Telephone Network, PSTN) та SIP домени.

E-CSCF - це виділений елемент для обробки екстрених викликів (виклики поліції, пожежної служби, швидкої допомоги та інших). Основними задачами є: вибір екстрених контакт-центрів, котрі приймуть виклик, та оптимальна маршрутизація виклику [14].

Шлюз доступу (Access Border Gateway, A-BG) - це компонент, що розмежовує домени EPC та IMS. Таким чином, він для користувачів EPC приховує топологію, адреси і порти, що знаходяться в IMS, такі ж дії виконуються і для користувачів зі сторони IMS. До основних функцій та задач даного елементу можна віднести:

- приховання деталей топології;

- можливість встановлення IPsec/TLS тунеля з IMS клієнтом;

- забезпечення гарантованого проходження користувацького трафіку через IMS ядро;

- забезпечення зручності реалізації тарифікації абонентів.

Домашній сервер абонентів HSS, що є одним з головних вузлів пакетного ядра, виконує схожі функції для мультимедійної підсистеми IMS. Перш за все, HSS виступає, як база даних, де зберігається вся інформація про абонентів. Він взаємодіє з I/S-CSCF через інтерфейс Cx. В базі даних HSS може міститись наступна інформація:

- сервісні профайли з параметрами підписки;

- інформація для ідентифікації та авторизації абонента ;

- інформація про місцезнаходження та IP адреси користувача;

- інформація про логіку обробки викликів з використанням початкових критеріїв фільтрації IFC.

У випадку, коли в підсистемі IMS використовується декілька серверів HSS, потрібно додатково вводити функціональний елемент SLF (Subscription Locator Function). Він займається пошуком відповідного HSS з даними про конкретного користувача. SLF взаємодіє з I/S-CSCF через інтерфейс Dx, що є аналогом Cx для домашнього серверу користувачів. Функція визначення місцезнаходження підписки SLF не виконує жодної логіки на своїх інтерфейсах, але відповідає запитувачу (requestor) повідомленням REDIRECT (переадресація), вказуючи адресу HSS, що містить відповідь на отриманий запит. Обидва мережеві вузли працюють по протоколу DIAMETER.

TAS (Telephony Application Server) - сервер телефонних додатків, котрий приймає та обробляє повідомлення протоколу SIP, а також визначає яким чином має бути ініційований вихідний виклик. Сервісна логіка TAS забезпечує базові сервіси обробки викликів, а саме: маршрутизацію, встановлення, очікування та перенаправлення, конференц-зв'язок та інші. Він також забезпечує сервісну логіку для звернення до медіасерверів при необхідності відтворення оповіщення та сигналів проходження виклику. Сервер додатків TAS може розміщуватись, або в оператора домашньої мережі користувача, або у сервісного провайдера. До основних функцій TAS можна віднести:

- можливість обробки SIP сесій, отриманих від IMS;
- можливість створення вихідного SIP запиту;
- можливість генерації тарифікаційних даних.

RCS (Rich Communication Services) - це система передачі коротких повідомлень та контактних даних між абонентами мобільного зв'язку. Таким чином, RCS дозволяє здійснювати передачу повідомлень через домен мультимедійної підсистеми IMS за допомогою IP протоколу [15].

BGCF (Breakout Gateway Control Function) - це функція управління шлюзами переривання, що знаходиться на кордоні ядра IMS. Вона забезпечує маршрутизацію викликів між доменом комутації каналів PSTN та мережею

IMS. BGCF приховує порти, що знаходяться в IMS, здійснює маршрутизацію по телефонному номеру, а також обирає відповідний шлюз в домені комутації каналів, через котрий здійснюватиметься взаємодія IP мультимедійної підсистеми та PSTN.

MGCF (Media Gateways Control Function) - функція управління медіашлюзами, котра дозволяє перетворювати кодеки, що використовуються в різних мережах. У випадку, коли MGCF знаходиться в голосовому домені (CS Network), вона може перетворювати сигнальні повідомлення, що передаються по протоколу SIP, у відповідні повідомлення протоколу ISUP (ISDN User Part), котрий використовується в традиційних системах.

MGW (Media Gateway) - медіашлюз, що знаходиться на кордоні між мережею IMS, котра працює на основі протоколу SIP та традиційною мережею PSTN. Він здійснює трансляцію даних між різними мережами використовуючи узгоджені кодеки [16].

IBCF (Interconnect Border Control Function) - функція контролю з'єднань між різними мережами, що забезпечує безпеку сигнальної інформації [17]. Детальні принципи побудови IBCF були розроблені партнерською організацією 3GPP та описані в технічній специфікації TS 29.238 [18].

До головних переваг IP мультимедійної підсистеми IMS можна віднести:

- забезпечення взаємодії різних типів мереж;
- забезпечення якості надання послуг (QoS);
- можливість розробки та впровадження нових послуг;
- висока масштабованість;
- забезпечення точної тарифікації;
- низькі витрати на експлуатацію.

Архітектура IMS поділяється на три горизонтальні рівні, а саме:

- транспортний рівень, котрий організовує сеанс зв'язку за допомогою протоколу SIP та забезпечує транспортні послуги з

конвертацією голосу із аналогового або цифрового сигналу в IP- пакети, використовуючи протокол RTP;

- рівень управління викликами та сеансами зв'язку;
- прикладний рівень або рівень послуг, що містить набір серверів додатків (Application Servers, AS). [2]"

На рис. 2.5 зображено розподіл архітектури IMS на горизонтальні рівні.

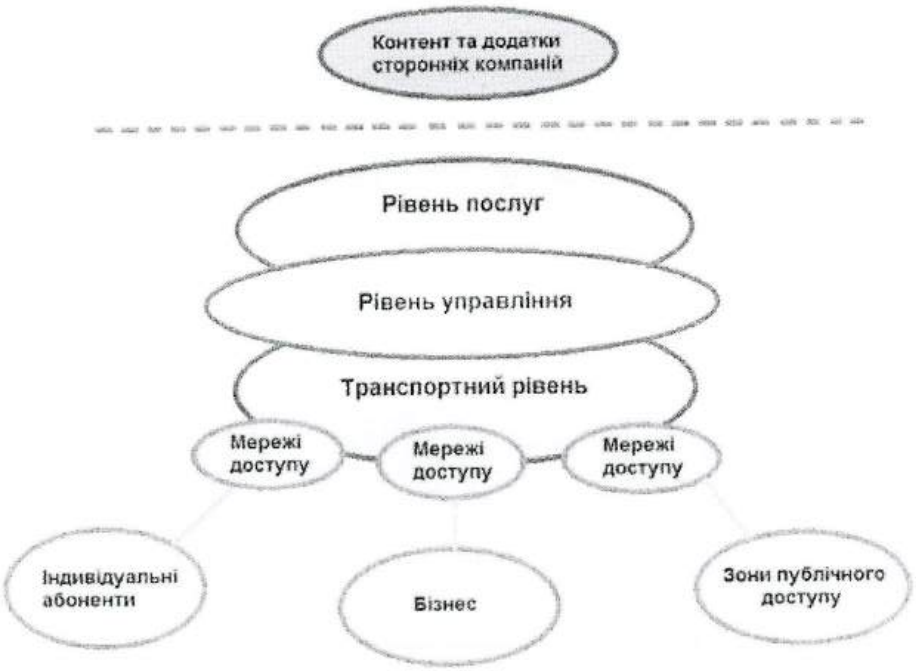


Рис. 2.5. Розподіл архітектури IMS на горизонтальні рівні

Розглянемо на рис. 2.6 еталонну архітектуру IMS, котра показує взаємодію між різними вузлами в домені, протоколи та інтерфейси, що використовуються. Дана архітектура чітко описує будову IP-мультимедійної підсистеми. У даному варіанті з'являються додаткові елементи мережі, котрі є логічними, або ж фізичними, що розміщуються в серверних мобільних операторів. Кожен з мережевих елементів відіграє важливу роль у загальному функціонуванні системи або забезпеченні експлуатації та впровадження додаткових сервісів. Прикладом є поняття SBC.

SBC (Session Border Controller) - знаходиться на границі базової мережі IMS. Як посередник сигналізації та посередник середовища мереж IMS, він відповідає за розділення мережі доступу та базової мережі IMS. За допомогою SBC можна

реалізувати взаємодію між мережею загального користування та приватною мережею, проходженням NAT, керуванням міжмережевим екраном, керуванням QoS та безпекою мережі [19].

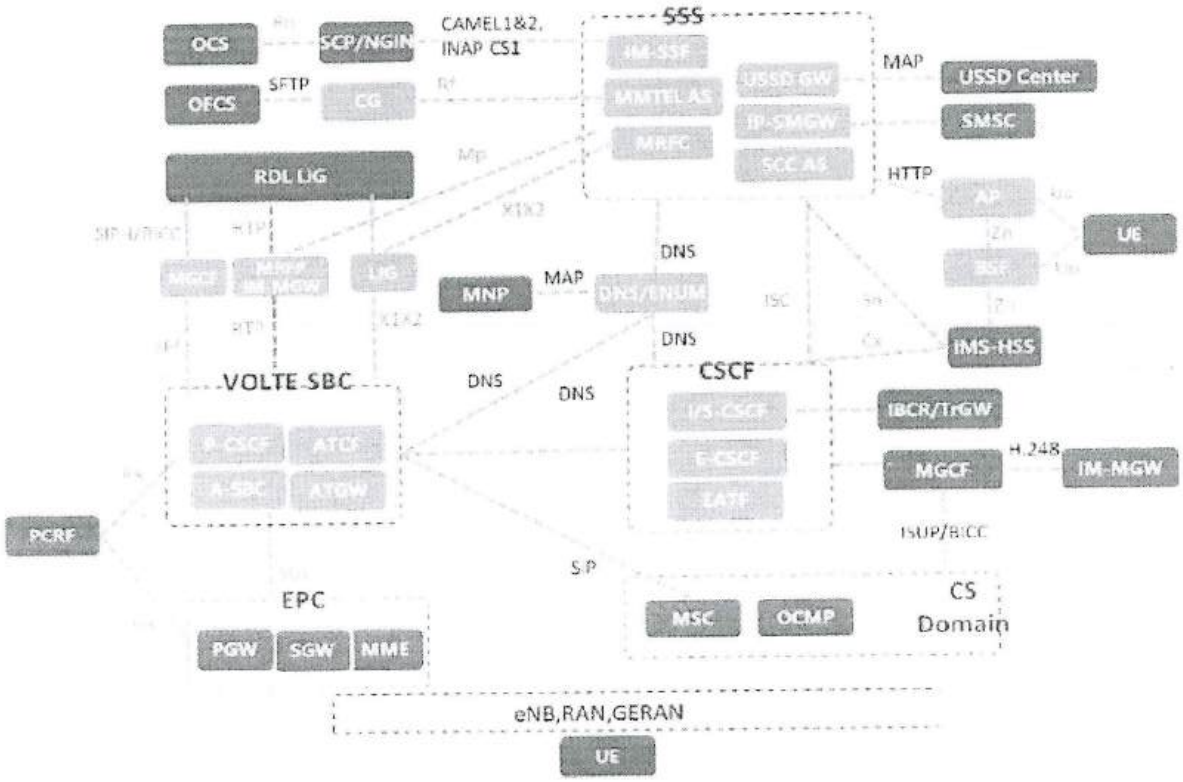


Рис. 2.6. Еталонна архітектура підсистеми IMS

Також важливими компонентами даної архітектури є поняття: MRFC, MRFP та SSS.

Контролер функцій мультимедійних ресурсів (Multimedia Resource Function Controller, MRFC) - приймає команди від AS (Application Server) та S-CSCF, а потім керує процесорними функціями мультимедійних ресурсів (Multimedia Resource Function Processor, MRFP) для реалізації послуг відтворення тонального сигналу, прийому номерів, конференц-зв'язку та сервісу інтерактивної мовної відповіді (Interactive Voice Response, IVR) [20]. В якості пристроїв управління та обробки медіаресурсів, (Multimedia Resource Function, MRF) служить для потоку обслуговування AS або S-CSCF. AS реалізує послуги з відтворення оголошень, прийому номерів, конференц-зв'язків та IVR за допомогою управління MRF-

пристроєм. MRF включає MRFC та MRFP, як показано на рис. 2.7, IMS керує медіаресурсами через MRFC і MRFP. Мережевий елемент SSS може служити як MRFC та AS, котрі можуть бути розвернуті в одному NE або в різних NE [21].

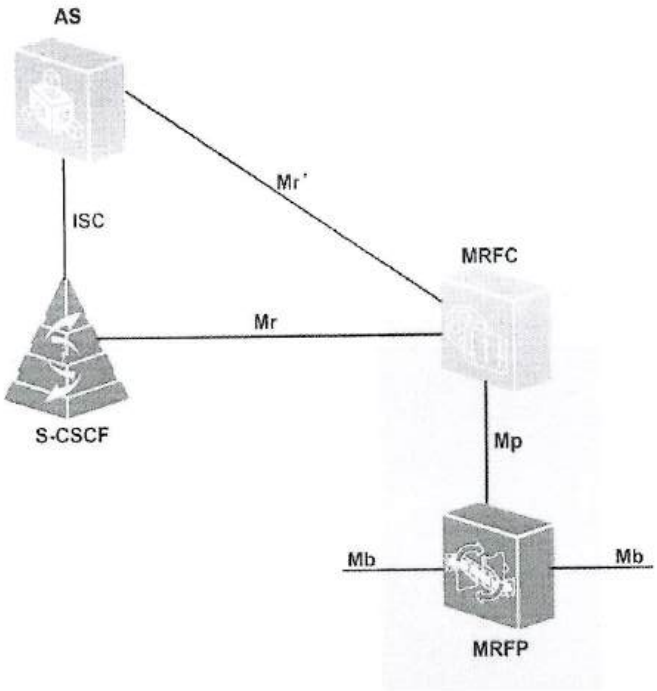


Рис. 2.7. Схема організації мережі між MRFC та MRFP

Сервер додаткових послуг (Supplementary Service Server, SSS), заснований на архітектурі, в якій доступ, управління та обслуговування розділений. Він реалізує уніфіковане керування для фіксованих і мобільних користувачів та надає базові послуги зв'язку і розширені мультимедійні послуги для цих користувачів. Мережевий елемент SSS, розташований на прикладному рівні IMS, надає абонентам базові голосові, додаткові і мультимедійні послуги. У той же час, вона відповідає різним вимогам до налаштування обслуговування, покладаючись на відкриту архітектуру, еластичність, простоту експлуатації і управління та відмінну сумісність, а також надає користувачам нові можливості обслуговування.

Мережевий елемент SSS забезпечує доступ до уніфікованої системи NMS (Network Management Systems) IMS в режимах інтерфейсу MML, інтерфейсу SNMP і FTP. На NMS можна реалізувати керування збоями продуктивності, керування версіями, керування конфігурацією, статистику продуктивності, відстеження

сигналів, спостереження за помилками та керування журналами реєстрації. На рис. 2.8 зображено відносини між зовнішніми інтерфейсами SSS [22].

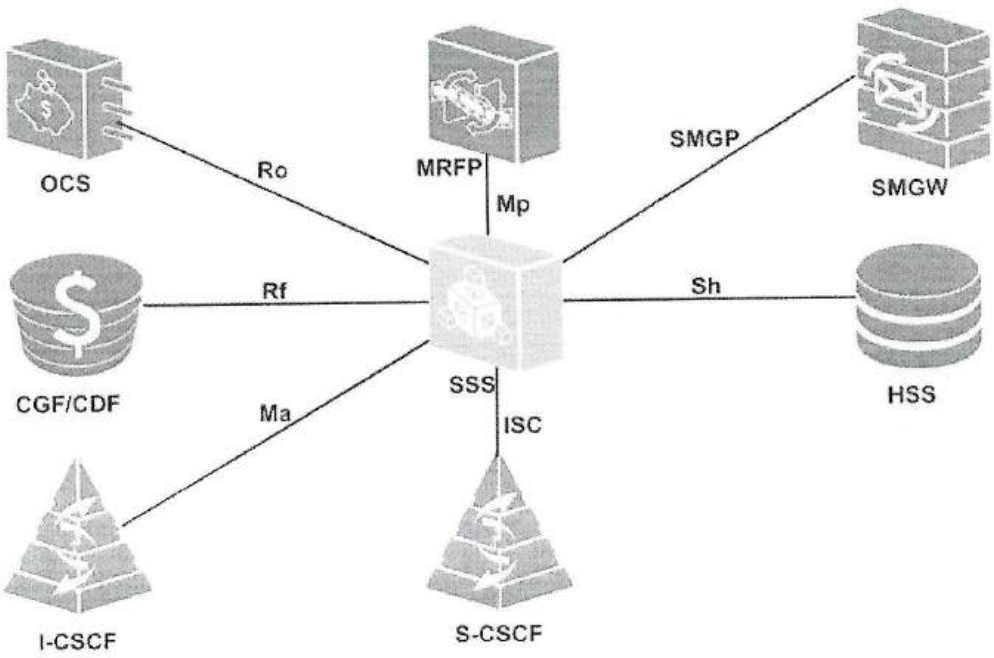


Рис. 2.8. Відносини між зовнішніми інтерфейсами SSS

2.3. Процедури та принцип надання голосових послуг

Впровадження IP мультимедійної підсистеми IMS дозволяє реалізувати технологію передачі голосу в мережі LTE (Voice over LTE, VoLTE). Тоді голосовий трафік буде передаватись на основі протоколу IP. До основних переваг технології VoLTE можна віднести:

- висока швидкість з'єднання мобільних пристроїв, завдяки відсутності процедури CS-FallBack;

- висока якість голосу (HD-Voice);

- можливість неперервного використання мобільного інтернету 4G при телефонній розмові;

- низькі витрати заряду акумулятора мобільного пристрою.

Таким чином впровадження технології VoLTE забезпечує міграцію голосового трафіку в мережі 4G.

На рис. 2.9 зображено поетапну міграцію трафіку з мереж 3G/2G в LTE.

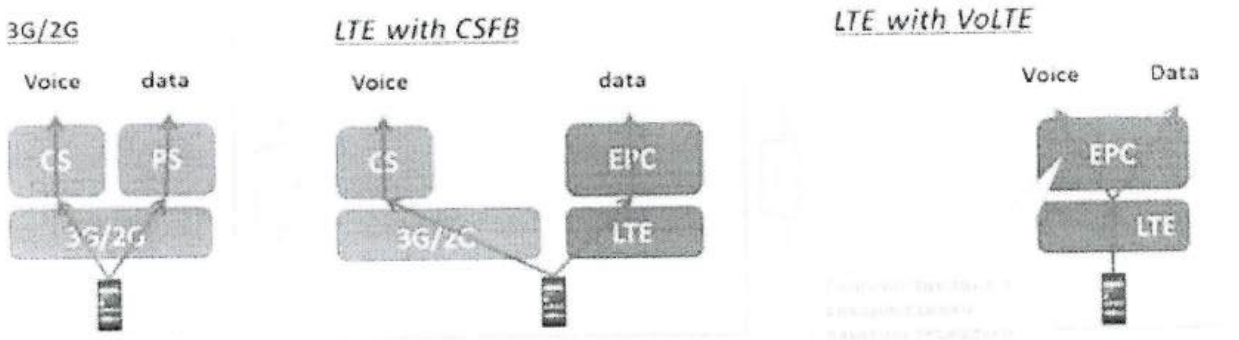


Рис. 2.9. Міграція трафіку з мереж 3G/2G в LTE

Архітектура IMS дозволяє організувати процедуру безперервного голосового виклику (Single Radio Voice Call Continuity, SRVCC). У випадку, коли мобільний термінал, що має активну голосову сесію в ядрі IMS, раптово втрачає покриття LTE, то відбувається перереєстрація його в мережі 3G/2G. Блок управління мобільністю MME сигналізує по інтерфейсу Sv в центр мобільної комутації MSC про необхідність негайної передачі обслуговування абонента. Таким чином, забезпечується «гладка» передача голосового виклику з 4G в мережі попереднього покоління. Технічні принципи побудови процедури SRVCC розроблені партнерською організацією 3GPP та описані в специфікації TS 23.216 [26].

На рис. 2.8 зображено взаємодію блоку управління мобільністю MME, під час процедури SRVCC, з центром мобільної комутації MSC-S за допомогою інтерфейсу Sv. Таким чином, при зниженні рівня сигнал/шум, коли він перетинає поріг, встановлений на базовій станції, виконується процедура повернення голосової сесії в CS-домен. При цьому, активна сесія абонентів не переривається, проте переваги VoLTE далі не застосовуються.

Після завершення розмови, абонентський термінал повинен виконати повторну реєстрацію в мережі оператора, згідно встановленої пріоритетності мереж та локального рівня сигнал\шум".

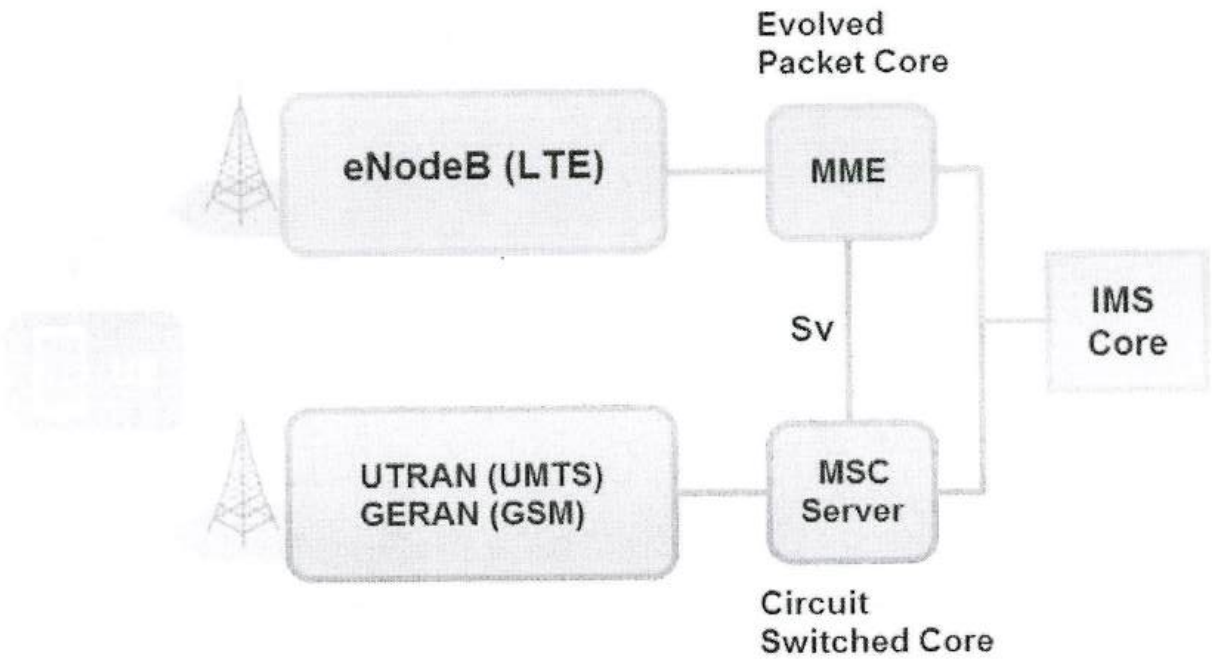


Рис. 2.10. Взаємодія MME з MSC під час процедури SRVCC

Організація управління «дзвінками» в мережі LTE реалізується завдяки протоколу SIP. Він забезпечує адресацію користувачів, встановлення з'єднання між ними та взаємодію з іншими мережами. Розглянемо основні механізми протоколу SIP в управлінні голосових сесій.

Важливим аспектом для ідентифікації абонентів в мережі під час реєстрації та здійснення дзвінків є адресація. Завдяки тому, що SIP є текстовим протоколом, він може використовувати, для забезпечення мобільності користувачів та взаємодії з існуючими додатками IP-мереж, адресу подібну до адреси електронної пошти. Існує 2 основних види адресації: SIP URI та TEL URI.

SIP URI є основним типом адресації. Адреса абонента складається з двох частин. У першій частині міститься ім'я користувача, що зареєстрований в домені або стандартизований міжнародним союзом електрозв'язку, телефонний номер у форматі номерного плану E.164. У другій частині міститься ім'я домену або IP-адреса.

Оскільки під назвою домену може знаходить велика кількість IP-адрес, то перш, ніж здійснити виклик на вказаний домен, потрібно запросити відповідну IP-адресу. Для цього запит направляється в базу даних DNS (Domain Name System).

Іншим форматом адресації є TEL URI (телефонний формат адреси). У цьому випадку застосовується звичайний номер формату E.164. Проте, оскільки архітектура LTE та протокол SIP побудовані на основі IP, то використовують спеціальну базу даних ENUM (E.164 Number Mapping). Вона відправляє необхідну IP-адресу на запит телефонного номеру.

Не менш важливим в організації управління дзвінками є процедура обміну повідомлень за допомогою протоколу SIP (Call Flow). Завдяки записам трейсів можна виявити несправності в однієї зі сторін ініціювання сесії та виконати певні дії для того, щоб наступні виклики були успішними. Розглянемо приклад базового Call Flow на рис. 2.11 та нижче приведений детальний опис повідомлень при здійсненні голосової сесії.

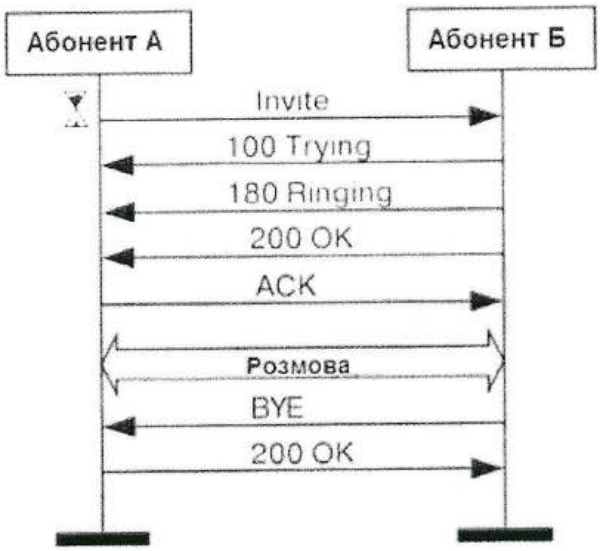


Рис. 2.11. Базовий Call Flow

1) Абонент А надсилає повідомлення «Invite» і таким чином запрошує абонента Б вступити в сеанс зв'язку. За допомогою протоколу SDP, відправляється інформація про обраний тип сесії та підтримувані кодеки, порт і IP-адресу відправника;

2) Після відправлення «Invite», вмикається таймер, котрий вказує на час відправки запрошення. Для зупинки таймеру, зі сторони Б відправляється повідомлення «100Trying» (воно зупиняє подальші надсилання «Invite»);

3) У випадку, коли абонент Б вільний та має технічні можливості прийняти дзвінок, він надсилає повідомлення «180Ringing». Тоді відбувається контроль посилки виклику;

4) Коли абонент Б знімає слухавку (приймає виклик), то він надсилає абоненту А повідомлення «200OK». У ньому міститься інформація про абонента Б (порт, IP-адреса та вибраний кодек із раніше запропонованих);

5) Для остаточного встановлення сеансу зв'язку, абонент А надсилає підтвердження «ACK». Воно сигналізує про отримання попереднього повідомлення «200OK». Після цього між абонентами встановлюється з'єднання і за допомогою протоколу RTP відбувається обмін голосовими потоками;

6) У випадку, коли абонент Б кладе слухавку, то відправляється повідомлення «BYE». Після цього зі сторони А надходить підтвердження «200OK» і ресурси мережі звільняються [27].

Для того, щоб забезпечити взаємодію IP-мереж з TDM-мережами, що використовують спільноканальну сигналізацію №7 (Signaling System №7, SS7), були розроблені модифікації протоколу SIP для телефонії. Існує дві версії: SIP-T (SIP for Telephones) та SIP-I (SIP Internetworking). Різниця версій полягає в тому, що SIP-I належить розробці міжнародного союзу електрозв'язку ITU-T, а SIP-T - міжнародного співтовариства проектувальників IETF. Головною задачею даних модифікацій є «прозора» передача повідомлень ISUP (ISDN User Part), що використовуються в спільноканальній сигналізації №7, по IP-мережам. Таким чином, сигнальні повідомлення SS7 інкапсулюються в тіло повідомлення SIP, що гарантує передачу необхідних параметрів абонента (наприклад, категорія в мережі). Також можлива трансляція, коли параметри протоколу ISUP транслюються в аналогічні параметри SIP не використовуючи при цьому інкапсуляцію [2].

2.4. Критерії QoS та параметри передачі, що впливають на якість голосового трафіку

VoLTE надає наскрізні (End-to-End, E2E) голосові послуги високої чіткості (HD) операторського класу з гарантією QoS (Quality of Service) для покращення клієнтського досвіду. Ці послуги можуть сприяти підвищенню конкурентоспроможності операторів із постачальниками OTT (Over the Top). Щоб гарантувати мінімальні вимоги до якості обслуговування QoS, що надається кінцевому користувачеві, а також покращити сприйняття голосу, 3GPP визначив ряд ідентифікаторів класу QoS (QoS Class Identifier, QCI), кожен з яких використовується для носіїв з конкретними пріоритетами та атрибутами. Для різних послуг надаються різні рівні QoS, що забезпечує гарантію QoS для викликів VoLTE. Якісні показники технології передачі голосу в LTE вимагають чіткого дизайну для всіх мережних вузлів, щоб досягти необхідних KPI (Key Performance Indicator) QoS, таких як швидкість втрати пакетів (packet loss rate), затримка між губами та вухом (mouth to ear delay), доступність бездротових ресурсів (availability of wireless resources) [29] та збереження цих ресурсів (retainability of these resources) [30]. E2E QoS вимагає взаємодії мобільних терміналів, мереж доступу та базових мереж для встановлення E2E мовної сигналізації та каналу передачі. Це може забезпечити більш високу гарантію QoS для голосових послуг та покращити якість обслуговування абонентів. Ефективна оцінка QoS для VoLTE структурована в основних областях, що підлягають аналізу та управлінню, як показано нижче:

- Середня експертна оцінка якості мовного повідомлення (Mean Opinion score, MOS): стандартне значення для вимірювання якості голосу.

- Затримка «Mouse to Ear»: це кінцева (E2E) затримка, яка представляє час, витрачений на обробку мови, починаючи з пристрою VoLTE UE, включаючи процес кодування/декодування до досягнення викликаного UE,

- Packet Loss Rate (PLR): відношення втрачених пакетів до загальної

кількості переданих пакетів та джиттеру, який є різницею в часі відповіді між різними пакетами, прийнятими на стороні призначення.

Наразі, тільки розпочались дослідження спрямовані для перевірки продуктивності різних KPI QoS VoLTE під покриттям комерційної мережі VoLTE, до цього всі отримані значення KPI QoS були зібрані з інструментів моделювання, де не було чітких розумінь, як вони були розраховані. У той же час, всі засновані на моделюванні дослідження розглядали кодек G.711 під час моделювання, що не є ситуацією-аналогом в комерційній мережі VoLTE, яка використовує кодеки WB-AMR [31].

Для підтвердження лабораторно-розрахованих значень ширини смуги (band width, BW), необхідних різних односпрямованих каналів VoLTE, продуктивність комерційної пілотної мережі VoLTE буде оцінюватися з урахуванням застосування цих значень BW ширини смуги на різних вузлах мережі VoLTE. Як показники продуктивності KPIs QoS VoLTE обчислюється шляхом перевірки реальних пакетів трафіку VoLTE, а потім застосування нових стандартних методів для обчислення цих KPIs QoS VoLTE та порівняння обчислених KPIs зі стандартними опорними значеннями, а також порівняння із показниками, зібраними з попередніх досліджень при використанні платформ моделювання [32].

Затримка «mouse to ear» VoLTE може змінюватися в межах від 150 мс до макс. 400 мс, окрім тих, що не є прийнятними. Для затримок нижче 250 мс коефіцієнт R все ще вище 90%, тому сприйняття абонента все ще високе і розглядається в досить задоволеній області [33]. Втрати пакетів в межах від 1% до 2% і до 20 мс тремтіння пакетів є прийнятними значеннями високої продуктивності VoLTE. Середнє значення MOS, що дорівнює 3,5, є прийнятним порогом для хорошої якості мови [34].

GBR, MBR та AMBR є параметрами смуги пропускання QoS для однонаправлених каналів EPS LTE. Для каналів EPS GBR необхідно планувати лише QCI, ARP, GBR та MBR. У той час як QCI, ARP і AMBR мають плануватися для каналів EPS, які не є GBR. На рис. 2.12 зображено класифікацію односпрямованих каналів EPS на основі ширини смуги.

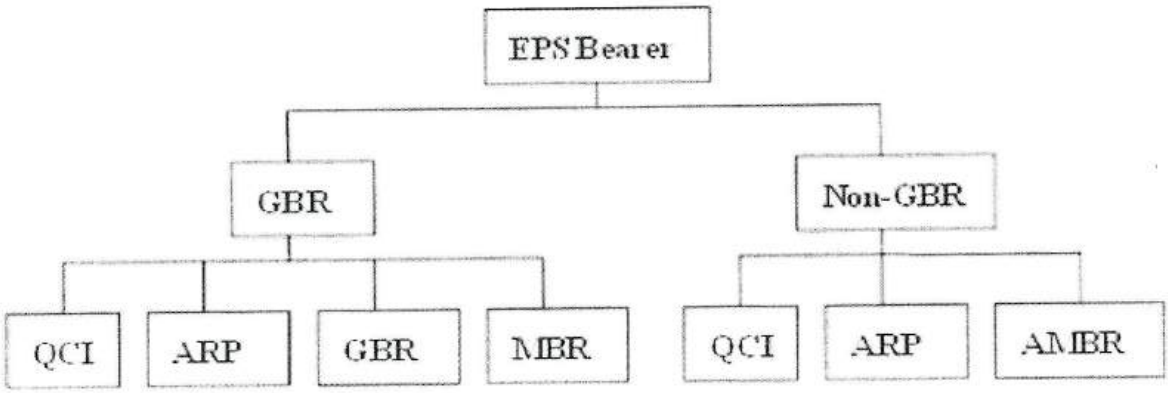


Рис. 2.12. Класифікація односпрямованих каналів EPS на основі ширини смуги

Параметр QCI ідентифікує клас QoS послуги, який є стандартним набором еталонних параметрів QoS, які спільно використовуються ядром і вузлами мережі доступу для управління передачею інформації, для забезпечення однакового мінімального рівня QoS у всіх вузлах мережі, і виводить PHB (Per Hub Behavior) вузлів транспортної мережі. Послуги, що ідентифіковані різними QCI, використовують різні носії. У специфікаціях 3GPP визначено лише QCI у діапазоні від 1 до 9. Даний параметр використовується для одного односпрямованого каналу. Як приклад можна навести розмовний голос, оскільки він використовує QCI 1, IP-пакети, що передаються по цьому носію, мають другий найвищий пріоритет, і мережеві ресурси повинні гарантувати, що швидкість втрати пакетів становить менше 1%, а затримка між обладнанням, що викликає (UE) та PCEF має бути в межах 100 мс. Проте, даний показник (100 мс) є лише затримкою між викликом UE1 в PCEF, в той час як існує ще 100 мс для затримки між викликаним PCEF і викликаним UE2 на додаток до затримки обробки IP-транспортної мережі, тому прийнятний поріг затримки «mouth to ear» високої якості мови було прийнято як 250 мс. З них 100 мс є затримка верхньої межі, 20 мс між eNodeB і PCEF "для нероумінгового сценарію, а 80 мс є верхнім порогом для затримки між UE і eNodeB. Важливо підкреслити, що мережевий елемент PCEF інтегрований в ядрі мережі на вузлі P-GW у комерційних мережах LTE [35].

Голосовий потік є чутливим до характеристик передачі (затримка, джиттер). В залежності від вимог QoS, всі види послуг поділені на 9 класів і кожному класу

призначений ідентифікатор QCI. В свою чергу, наскрізні канали для передачі трафіку поділені на дві групи в залежності від типу виділеного ресурсу, а саме: з гарантованою швидкістю передачі (Guaranteed Bit Rate, GBR) та з негарантованою швидкістю передачі Non-GBR. В табл. 2.1 наведено якісні показники для основних видів надання послуг в мережах LTE.

Таблиця 2.1

Якість обслуговування в мережах LTE

QCI	Тип	Пріоритет	Допустима затримка, мс	Допустимі втрати	Приклад
1	GBR	2	100	10^{-2}	VoLTE виклик
2		4	150	10^{-3}	Відео виклик
3		5	300	10^{-6}	Онлайн ігри
4		3	50	10^{-3}	«Стрім» відео
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	IMS
6		7	100	10^{-3}	Електронна пошта, чат
7		6	300	10^{-6}	Голосові, відео, інтерактивні ігри
8		8	300	10^{-6}	Сервіси на основі TCP
9		9	300	10 6	

Для того, щоб організувати технологію VoLTE потрібна підтримка двох QCI: 1 та 5. QCI 1 призначений для передачі голосу, а QCI 5 - для сигнальних IMS повідомлень. З'єднання по QCI 5 забезпечує передачу керуючих повідомлень для створення та видалення голосових сесій. [27] При цьому використовується протокол SIP. Через з'єднання по QCI 1 голосові дані передаються з використанням стека протоколів RTP/UDP/IP [2].

ARP (Allocation/Retention Priority) - показник, котрий визначає, приймається чи відхиляється запит на встановлення каналу під час перевантаження. Він також

визначає, який носій або кілька носіїв буде звільнено у такому випадку. Інформація про пріоритет включає рівень пріоритету, вразливість звільнення і можливість звільнення.

GBR - параметр, що визначає швидкість передачі бітів, яку мережа може гарантувати для виділеного каналу EPC. Мережа резервує ресурси для забезпечення можливості передачі потоків даних з бітовою швидкістю нижче за GBR.

MBR (Maximum Bit Rate, максимальна швидкість передачі бітів) - визначає швидкість передачі бітів, яку навантаження трафіку на EPC-носії не може перевищувати. Мережа обмежує трафік, щоб гарантувати, що швидкість передачі даних нижча, ніж MBR. Даний показник має бути більшим або дорівнювати GBR. На практиці MBR дорівнює GBR.

AMBR APN (агрегована максимальна швидкість передачі даних за іменем точки доступу) - обмежує швидкості передачі бітів висхідної лінії зв'язку та низхідної лінії зв'язку для всіх не-GBR однонаправлених каналів, виділених UE для конкретного APN, за допомогою параметрів підписки, що зберігаються в HSS, які можуть бути змінені функцією політики. Параметр керує призначеною шириною смуги для каналу VoLTE за замовченням, для сигналізації необхідно використовувати QCI = 5.

UE AMBR (Per User Equipment Aggregated Maximum Bit Rate) - обмежує бітрейти висхідного та низхідного каналів для всіх носіїв, які не є GBR, виділених UE на основі суми цілих APN AMBR для всіх активних з'єднань PDN та обмежених підпискою параметрів, що зберігаються в HSS.

Модифікація UE-AMBR може бути ініційована лише HSS. Використання APN-AMBR та UE-AMBR дозволяє не-GBR носіям абонента спільно використовувати смугу пропускання один з одним, що максимізує використання смуги пропускання [35].

Ключові параметри носіїв VoLTE включають: QCI, ARP, GBR, MBR і APN-AMBR. Розглянемо принцип розрахунку пропускної здатності носіїв VoLTE і налаштування параметрів на вузлах мережі:

1. Налаштування QCI. Параметри QCI обробляються всіма вузлами, починаючи з UE, eNodeB, P-GW, HSS і PCRF. Як визначено в специфікації 3GPP TS 23.203 V13.7.0, значення QCI параметрів QoS LTE повинні бути такими:

- сигналізація IMS, QCI = 5, однонаправлений канал за умовчанням, можливість переваги відключення, вразливість переважного відключення та ARP = 1;

- голосовий носій, QCI=1, виділений носій, увімкнена можливість випередження, ARP=2;

- носій відео, QCI=2, виділений носій, можливість випередження вимкнено, ARP=3 [35].

2. Розрахунки проектування пропускної здатності для носіїв за замовчуванням VoLTE: параметр APN-AMBR. При проектуванні значень APN-AMBR слід брати до уваги найнижчий варіант зниження PCRF, у якому виділені канали передачі для трафіку голосових послуг та відеотрафіку не можуть бути встановлені таким чином, що весь трафік, включаючи сигналізацію IMS, голос, SMS та відео, передаватимуться на канали за умовчанням. Тому при розробці значень APN-AMBR слід враховувати всі смуги пропускання, необхідні для сигналізації та трафіку. У проекті APN- AMBR повинні бути враховані наступні блоки:

- Пропускна здатність сигналізації за замовчуванням на носії, що використовується для: сигналізації реєстрації/пере-реєстрації/ скасування реєстрації, сигналізації налаштування голосових/відеодзвінків та сигналізації налаштування SMS;

- Пропускна спроможність носіїв за замовчуванням, що використовується для голосових і відео потоків медіа-потоків, коли виділені носії не можуть бути налаштовані для голосових і відео медіа-потоків у особливих випадках, таких як поломка PCRF.

Процес реєстрації включає 8 повідомлень SIP, перереєстрація та дереєстрація включає в себе два повідомлення SIP, довжина кожного повідомлення становить 1000 байт [36]. Таким чином, пропускна спроможність, необхідна для різних

процесів реєстрації, становить 143 кбіт/с, використовуючи той же принцип для голосового або відеосигналу встановлення виклику VoLTE, та SMS, ми можемо отримати всю необхідну смугу пропускання сигналізації для цих послуг, яка становить 405Kbps. Для обчислення ширини смуги частот мовного медіапотоку, зважаючи на те, що швидкість кодека, використовувана для генерації мовного виклику VoLTE, є мовним кодеком WB-AMR з бітовою швидкістю 23,85 кбіт/с та розміром кадру 20 мілісекунд та одним кадром на пакет. Отже, існує 50 пакетів, які передаються за секунду. Рівні RTP/UDP/IP/Ethernet додають заголовки до кожного пакету, де:

IP-заголовок: 20 байт * 8 = 160 біт, заголовок UDP: 8 байт * 8 = 64 біт, заголовок RTP: 12 байт * 8 = 96 біт, заголовок Ethernet: 38 байт * 8 = 304 біт, цикл пакетів (Packet cycle) = 20 мс і швидкість голосового кодеку після додавання заголовків дорівнює 55,05 кбіт/с. Отже, ширина смуги голосового потоку (Voice Codec bit Rate) становить 67,19 кбіт/с, згідно з формулою 2.1, де пропускна здатність (Bandwidth) = довжина пакета х кількість пакетів в секунду.

$$Bandwidth = \frac{624}{Packet\ cycle} + \text{Voice Codec bit Rate} \qquad (2.1)$$

Використовуючи цей принцип для обчислення ширини смуги відеопотоку, використовується кодек H.263 зі швидкістю 384 кбіт/с та враховуючи 30 відеокадрів, після додавання різних значних заголовків це забезпечує до 558 кбіт/с, необхідний BW як для голосових, так і для відеопотоків, додає BW до сигналізації BW «405 кбіт/с». Можна зробити висновок, що 1024 кбіт/с - це мінімальна проектна вимога для значень AMBR APN, яке налаштовано на HSS та PCRF так, що воно може бути повідомлено EPC та eNodeB для створення каналу передавання сигналізації VoLTE за замовчуванням [35].

3. Розрахунки проектування пропускної здатності для виділеного каналу VoLTE: параметри GBR та MBR. Розвертання додатків VoLTE вимагає спільної роботи інтерфейсів Rx і Gx, що забезпечує надійну «end to end» якість. В технології VoLTE, QoS на APN реалізується шляхом включення APN-Aggregate-MaxBitrate-UL/APN-Aggregate-Max-Bitrate-DL, який не повинен бути менше 1024 Кбіт/с згідно

з розрахунками попереднього пункту. Для виділених однонаправлених каналів P-CSCF надає смугу пропускання, отриману від UE після перетворення кодека, до PCRF, який встановлює значення MBR і GBR для резервування такого виділеного однонаправленого каналу BW. Відповідно до розрахунків, виконаних у попередньому пункті, необхідний BW, який має бути зарезервований для різного медіа-трафіку, становить 405 Кбіт/с, враховуючи, що розвернутий кодек є кодеком WB-AMR зі швидкістю 23,85 Кбіт/с. Практичне тестування показало, що UE запитує BW 41 кбіт/с для голосового виклику VoLTE і 83 кбіт/с BW для відеовиклику. Якщо PCRF призначений для резервування таких 504 Кбіт/с або 462 Кбіт/с для медіа-трафіку, це приведе до втрат BW [35].

Для збереження мережевих ресурсів LTE на практиці, рекомендується розробити PCRF для призначення запитуваного BW, що посилається UE і P- CSCF та пересилається через інтерфейс Rx, замість резервування ширини смуги, яка не повністю вичерпана.

3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ VOLTE

3.1. Проблеми, що зустрічаються у системах та трафіку VoLTE

Під час передачі трафіку в телекомунікаційних мережах може виникати досить багато проблем. Деякі з них, вирішуються досить просто, а деякі, потребують суттєвих покращень роботи та стандартів у галузі телекомунікацій. У цьому розділі, я розгляну різні види проблем та помилок, які можуть траплятися під час проходження трафіку мережами. Варто також зазначити, що деякі з них, стосуються характеристик трафіку, що не описувалися в минулому розділі, тому за необхідності, буду додатково їх описувати.

На що ж саме впливають проблеми трафіку Інтернет телефонії? Перш за все, на якість звуку. У різних речах, від чіткості, до зриву та відхилення дзвінків. Це досить суттєві збої, котрі можуть вкрай негативно вплинути на досвід користувача, тому є дуже важливим можливість або цілком їх усунути, або ж мінімізувати вплив на роботу протоколу. Тож у цьому розділі, я розкрию тему основних проблем протоколу VoLTE та можливих проблем, які можуть виникнути у майбутньому.

Тремтіння (Jitter). Це, ймовірно, одна з найпоширеніших проблем VoLTE, і з боку користувача може виглядати як перебої в мережі, погана якість дзвінків або дуже повільне обслуговування.

Тремтіння (Jitter, рис. 3.1) – це зміна затримки між пакетами. Оскільки тремтіння пакетів завжди змінюється, телефони VoLTE використовують буфери тремтіння для згладжування коливань. Буфер тремтіння — це просто кеш-пам'ять «Першим прийшов, першим вийшов» (FIFO), який збирає пакети в міру їх надходження, пересилаючи їх рівномірно та в належній послідовності для плавного відтворення. Збільшення розміру буфера тремтіння може допомогти впоратися з тремтінням, але лише до певної точки. Значне тремтіння може призвести до збільшення буфера тремтіння до такої міри, що затримка досягне неприйнятного рівня. Рівні тремтіння, що перевищують 20 мс, є ознакою проблеми [17].

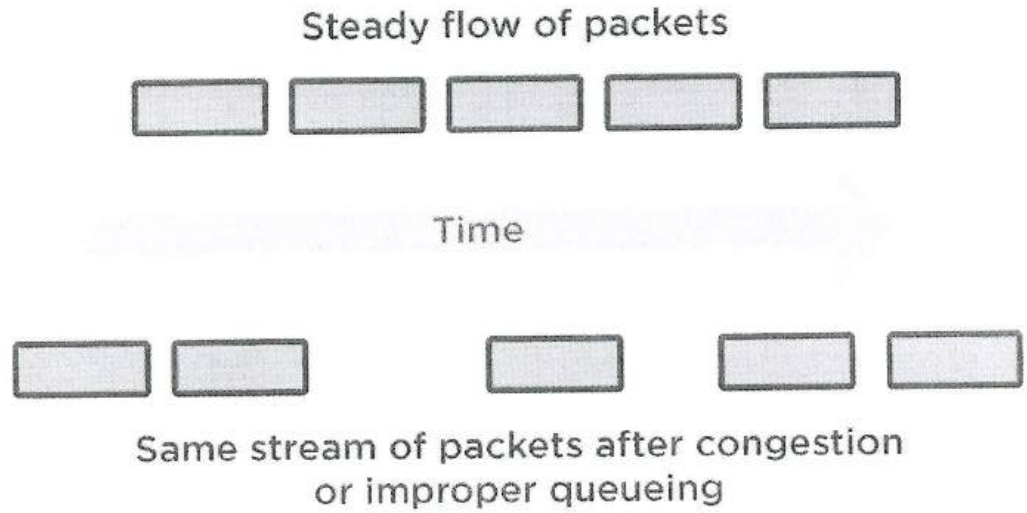


Рис. 3.1. Візуалізація тремтіння

Затримка (latency or delay). Затримка (рис. 3.2) — це час відповіді між моментом, коли користувач мережі ініціює дію, і завершенням відповідної дії.

Під час цієї затримки дані передаються з однієї кінцевої точки до іншої – і іноді ці дані можуть передаватися довше, ніж потрібно аби прибути до місця призначення, що призводить до затримки (докладніше про конкретні причини затримки пізніше).

Легко впізнаваними прикладами є затримка між натисканням на відео YouTube і початком його відтворення, повільне завантаження веб-сторінки, або довге очікування початку виклику.

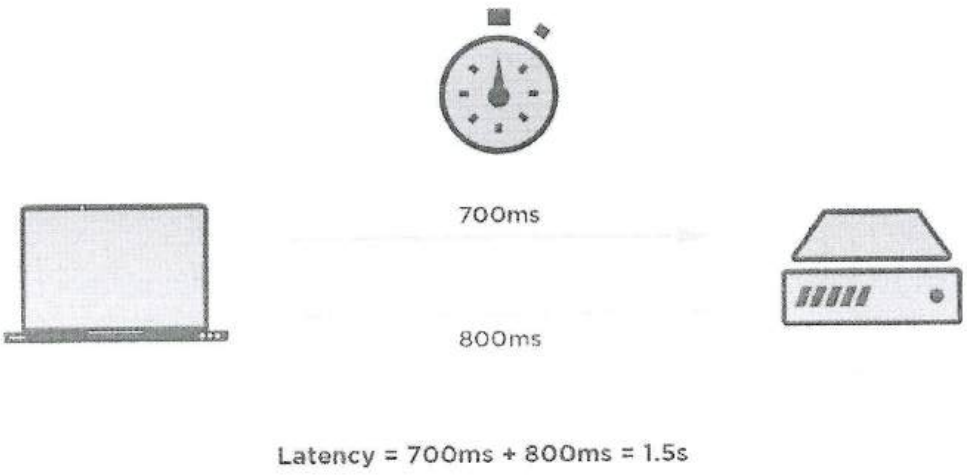


Рис. 3.2. Візуалізація затримки

Зокрема, VoLTE затримка — це кількість часу, необхідного для того, щоб пакети голосових даних переміщувалися через Інтернет від вихідного абонента до вхідного абонента. Простіше кажучи, затримка VoLTE відноситься до затримки між тим, коли ви говорите, і коли людина на іншому кінці лінії почує те, що ви говорите.

Дані VoLTE передаються через пакети даних, які є стиснутими цифровими файлами, що складаються з необробленого аудіо . Ці пакети даних потім послідовно надсилаються через вихідний пристрій, маршрутизатор, сервер платформи VoLTE, мережу оператора, і, нарешті, на пристрій одержувача і назад, коли вони відповідають [18].

Враховуючи складність цієї подорожі, не дивно, що затримка, хоча й розчаровує, але є досить звичним явищем у VoLTE та будь-якій іншій службі ділового телефонного зв'язку, що використовує Інтернет.

Проблеми починаються, коли ця затримка стає надмірною і викликає проблеми, що заважають нормальній роботі сервісу на базі VoLTE.

Затримка вимірюється в мілісекундах (мс), а ідеальна затримка для телефонії VoLTE становить 250 мс або менше.

Однак нещодавнє дослідження показує, що понад 90% керівників очікують затримки 10 мс або менше для успішного виконання своїх програм, а понад 75% наполягають на 5 мс або менше.

У будь-якому випадку, все, що перевищує 250 мс, починає помітно впливати на якість ваших голосових дзвінків.

Є два способи оцінити поточний рівень затримки.

Перший (і найпоширеніший) спосіб - це одностороння затримка, яка вимірює кількість часу, необхідного пакету даних для подорожі від вихідної мережі до місця призначення.

Двостороння затримка (іноді її називають затримкою в обидва боки) вимірює кількість часу, необхідного пакету для передачі назад і назад від початкового джерела до місця призначення і знову до вихідного джерела [19].

Існує кілька можливих причин затримки у вашій віртуальній телефонній системі, і багато з них є речами, про які ви ніколи не підозрюєте, що можуть мати такий вплив (на рис. 3.3, показана візуалізація деяких із причин).

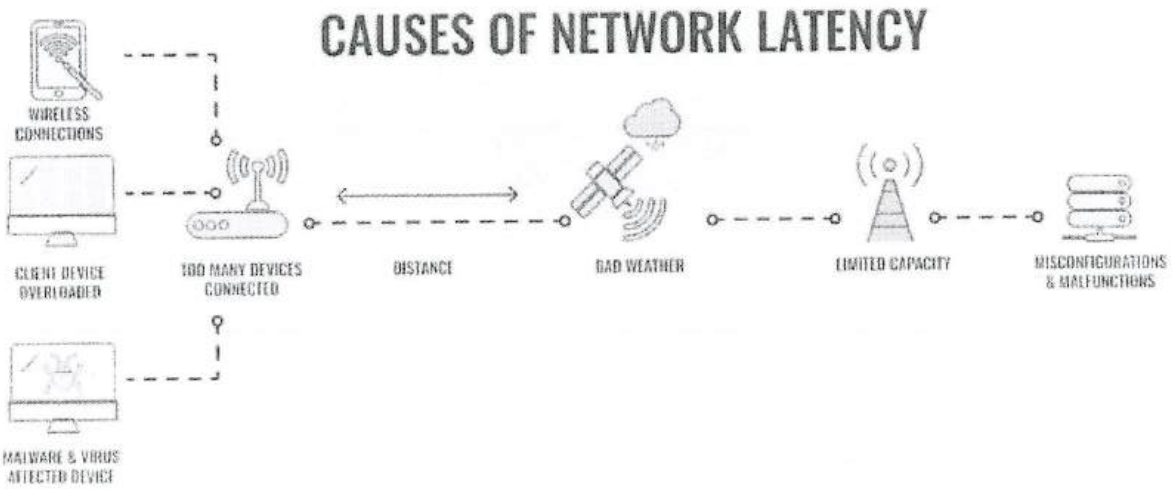


Рис. 3.3. Візуалізація причин затримки

Нижче я розгляну деякі з найпоширеніших причин затримки.

1. Занадто велика відстань між серверами

Іноді затримка виникає через надмірну відстань між сервером/системою, що робить запит, і тим, що відповідає на нього. Тому сигнал фізично довше прямує через мережу, що може спричинити надмірну затримку.

2. Недостатня пропускна здатність (Bandwidth)

Так як і відстань між серверами, недостатня пропускна здатність є однією із основних причин високої затримки.

Пропускна спроможність — це максимальна кількість даних, які Інтернет-з'єднання може передати протягом певного періоду часу (зауважу, що це не стосується швидкості Інтернету, а лише кількості даних, які він може передати з одного місця в інше протягом певного періоду часу).

Пропускна здатність вимірюється в мегабітах на секунду (MBPS). Середня пропускна здатність становить 12-25 Мбіт/с.

3. Застаріле обладнання

Якщо брак пропускної здатності не є проблемою, настав час подивитись на обладнання.

Якщо маршрутизатор застарів, або для дзвінків використовується безпроводове з'єднання, то ці фактори можуть спричинити затримку у передачі пакетів.

Втрата пакетів. Втрата пакетів відбувається, коли перевищено максимальну затримку, зазначену в буфері тремтіння. Мережі мають тенденцію або час від часу викидати окремі пакети (так звані прогалини у втраті пакетів), або велику кількість суміжних пакетів у пакеті. Втрата пакетів понад 5% вважається неприйнятною при використанні кодека G.711 — постійні сплески втрати пакетів викликають найбільше проблем, до прикладу на рис. 3.4 наведена таблиця оцінки якості зв'язку, залежно від кількості втрачених пакетів [20, 21].

MOS (Оцінка якості)	Якість	Враження від дзвінка
5	Відмінно	Втрата пакетів непомітна
4	Добре	Втрата пакетів помітна, проте не дратує
3	Нормально	Втрата пакетів відчувається, і починає дратувати
2	Погано	Втрата пакетів значна, і помірно дратує
1	Жахливо	Втрата пакетів колосальна, враження жахливі

Рис. 3.4. Таблиця оцінки якості зв'язку при втраті пакетів

Існують два типи втрат пакетів у системі VoLTE: втрата пакетів при отриманні (Receive Packet Loss) та відкидання пакетів при отриманні (Receive Packet Discard). Receive Packet Loss – це коли пакет так і не доставився в систему-отримувач, тоді як Receive Packet Discard – це коли пакет отримується в той час, коли його не можна використовувати для генерування аудіо-відтворення.

Кінцеві точки, які приймають VoLTE, зазвичай використовують лічильники втрат пакетів і відкидання пакетів, що дозволяє визначити тип проблеми що виникла. Телефони Cisco містять цю статистику або в ручному інтерфейсі

користувача на телефонному апараті, або через його веб-інтерфейс. Телефони Avaya повідомляють цю статистику через RTCP, який свого часу потребував окремого приймача RTCP для запису статистики.

Receive Packet Loss означає, що пакет впав десь у мережі. У цьому випадку ви будете шукати проблеми, які призводять до відкидання пакетів у мережі.

Receive Packet Discard відбувається, коли пакет приходить до одержувача в той момент, коли пакет не може бути використаний для відтворення. Якщо пакет приходить раніше, його можна зберегти в буфері відтворення, і відтворити коли буде потрібно, проте найчастіше, дані приходять із запізненням, що унеможливлює їх відтворення. Коли пакет приходить, але його неможливо відтворити, він видаляється, а лічильник Discard збільшується.

Низький ACD (Average Call Duration). Середня тривалість дзвінку є однією із найважливіших характеристик трафіку Інтернет телефонії, але люди вкрай рідко говорять телефоном менше 15 секунд, тому нижче, я наведу список проблем, які можуть спричинити низький ACD на трафіку.

Можливість ФАС (FAS – False Answer Supervisor) [22]. Якщо ACD низький, ASR вище норми, а PDD низький, ймовірність fas висока. Оскільки вхідні дзвінки підключаються безпосередньо до запису голосу в серверному або цифровому середовищі, а абоненти кладуть трубку, не прослуховуючи запис занадто довго, ACD стає низьким. До прикладу, на рис. 3.5 наведені реальні цифри, ACD, ASR, кількість дзвінків та прийнятих дзвінків на одному із вендорів. З цілей конфіденційності, назва вендору не вказується.

Attempts	Calls	Volume, mi...	ASR, %	ACD
1 415	142	278.62	10.04	01:58
0	0	0.00		
195	23	61.27	11.79	02:40
181	23	42.53	12.71	01:51
155	11	17.77	7.10	01:37
212	27	39.05	12.74	01:27
183	16	25.95	8.74	01:37

Рис. 3.5. Приклад аналітики трафіку на одному з клієнтських напрямків

Неправильний CLI. Деякі маршрути NCLI працюють погано. Тому відбуваються втрати пакетів. Втрати пакетів викликають затримки та втрати в передачі звуку іншій стороні. У цьому випадку тривалість розмови менша за звичайний час розмови.

Профіль трафіку. Деякі профілі трафіку мають низьку середню тривалість дзвінка. Особливо це стосується дорогих країн (Таких як Британія, США, Фінляндія, Данія, Швеція, Швейцарія). Якщо користувач шукає дорогу країну, він пояснює причину дзвінка, не подовжуючи часу для розмови, або закриває його, сказавши «передзвони мені». Через цей профіль трафіку не можна вживати заходів щодо маршрутів із низьким рівнем ACD. Але, можна подивитися на значення трафіку ACD на основі ANI.

Проблема якості. Хоча деякі маршрути є CLI, їх якість звуку погана, оскільки кількість петель велика. Петля (loop) – це явище, коли декілька компаній вендорів передають дзвінок між собою, а не відправляють далі на клієнта.

Наприклад, різниця між відправкою трафіку для спрямування оператора та передачею трафіку через провайдера 5-6 велика. У деяких дзвінках, які передають через 5-6 різних провайдерів, провайдери можуть давати низький рівень ACD.

3.2. Визначення ефективності аудіокодеку Enhanced Voice Services (EVS)

Під час розробки мереж четвертого покоління було визначено, що голос повинен бути цифровим та передаватись як дані, при цьому робота мобільного інтернету не буде перериватись. Дане рішення надало можливість ефективніше використовувати частоти, збільшити кількість голосових сесій на одній базовій станції та використовувати продвинуті кодеки.

EVS кодек розроблений спеціально для передачі голосу в мережі 4G для технології VoLTE. Це новий стандарт і якість звучання голосу, котрий обернено сумісний з кодеком AMR-WB, що позиціонується як HD-кодек. На рис. 3.6 зображено порівняльний графік пропускної здатності аудіо для мобільних голосових служб [46].

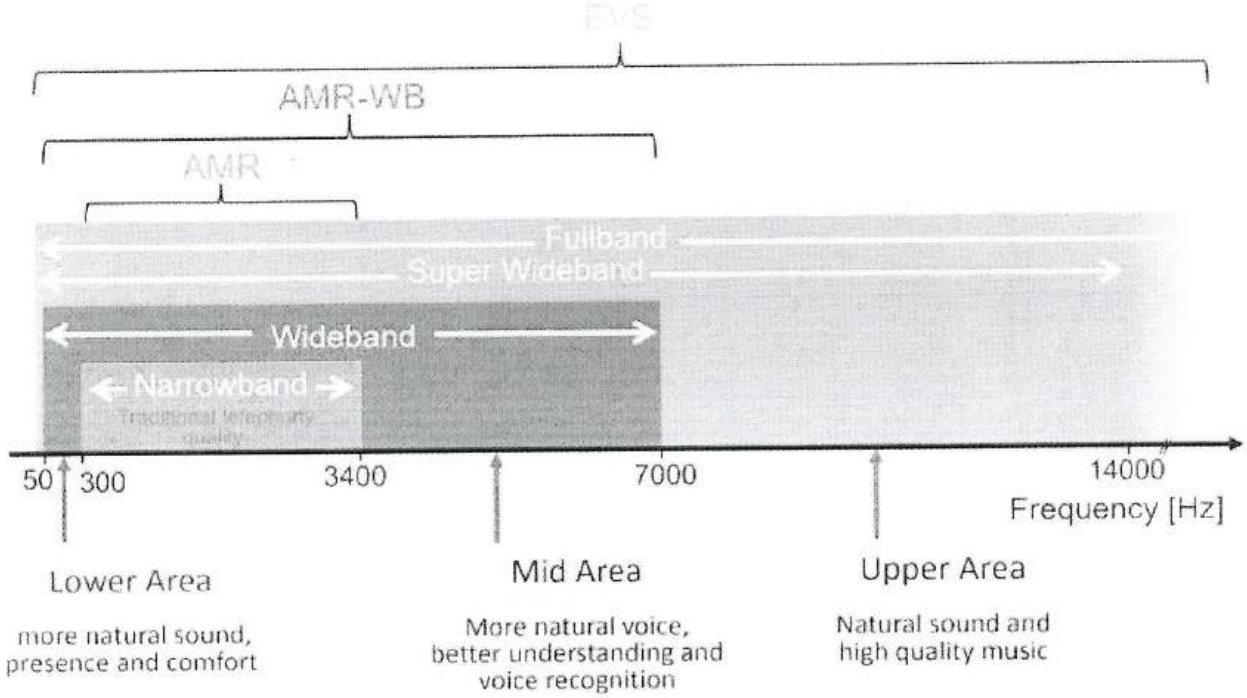


Рис. 3.6. Пропускна здатність аудіо для мобільних голосових служб

В GSM використовується кодек AMR, котрий використовується виключно для мови. Він дозволяє кодувати виключно людський голос, а всі інші фонові звуки та музику відсікає. Кодек AMR має пропускну смугу в діапазоні від 300 Гц до 3,4 кГц (Narrowband), але завдяки модернізації, вдалось подвоїти це значення до 7 кГц (Wideband). Таким чином, AMR поділився на вузькосмуговий та широкосмуговий діапазони, останній з яких відомий як «HD Voice». Новий кодек EVS має пропускну смугу від 14 кГц для аудіо надширокої смуги (Super Wideband) та до 20 кГц (Fullband) - повного діапазону аудіо. Якість аудіо, що надається даним кодеком рівно якості потокової передачі музики. Він був окремо розроблений спеціально для роботи з послугами пакетної комутації, такими як VoLTE та отримав назву «Full-HD Voice». Як показано на рис. 3.7, EVS дозволяє використовувати бітрейт в діапазоні від 5,9 кбіт/с до 128 кбіт/с, це надає можливість операторам мобільного зв'язку оптимізувати мережу. Головними його функціями є: детектор активності голосу/звуку, підстроювання змінного бітрейту під керуванням джерела, механізм маскування помилок, генерація комфортного шуму, потужне керування буфером джитеру, а також режим сповіщення про канал [46].

Band-width	Bitrates [kbps]											
FB 20 kHz						16.4	24.4	32.0	48.0	64.0	96.0	128.0
SWB ≥ 14 kHz				9.6	13.2	16.4	24.4	32.0	48.0	64.0	96.0	128.0
WB 8 kHz	5.9 VBR	7.2	8.0	9.6	13.2	16.4	24.4	32.0	48.0	64.0	96.0	128.0
NB 4 kHz	5.9 VBR	7.2	8.0	9.6	13.2	16.4	24.4					

Рис. 3.7. Порівняльна характеристика пропускної смуги та бітрейту аудіокодеків

Кодек EVS так само, як і AMR-WB має адаптивні технології, наприклад, при передачі голосу додається невелика кількість шуму. Це необхідно, оскільки звук занадто високої якості не сприймається людським вухом коректно. Також даний аудіокодек адаптується до того, що він сприймає та передає, так кожні 20 мс мобільний апарат аналізує сигнал, що передається та змінює якість в залежності від умов. До прикладу, на шумній вулиці відсікає сторонні звуки, а в тихому приміщенні збільшує чутливість до різних звуків, щоб максимально передати інформацію [46].

На рис. 3.8 зображено графічне порівняння якості голосу при використанні аудіокодеків AMR та EVS. Таким чином, зі збільшенням бітрейту показник середньої експертної оцінки MOS збільшується у всіх проаналізованих варіантах. Проте, аудіокодек EVS значно відрізняється своїми показниками в кращу сторону. Він дозволяє при досить невисокому бітрейті досягати високих значень показників якості передачі мови. Це надає змогу при низьких затратах ресурсу мережі надати абонентам кращу якість послуги [46].

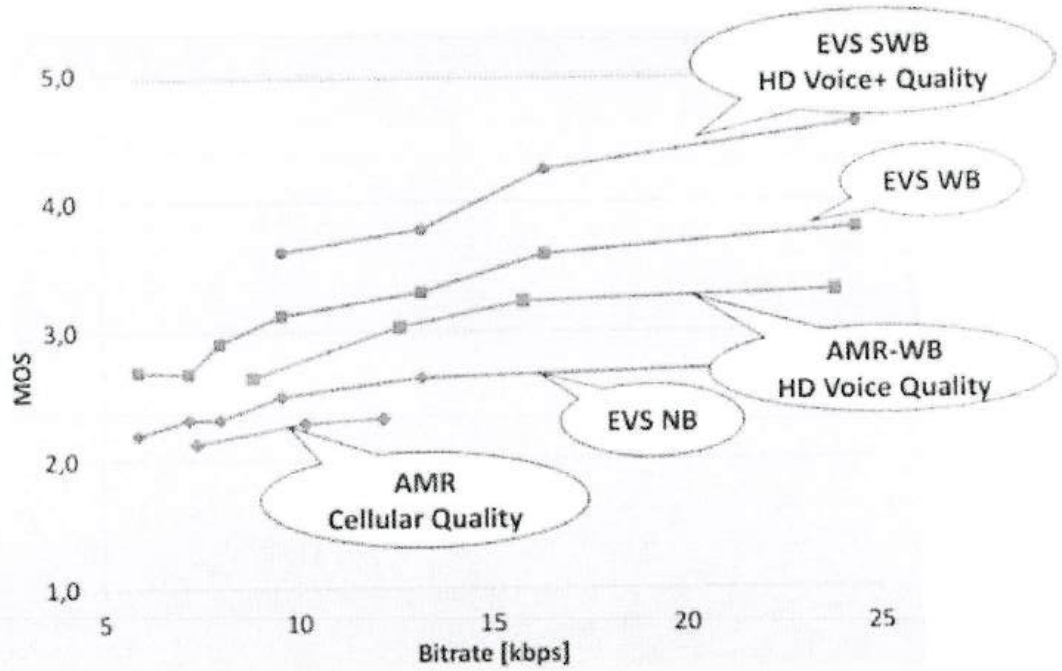


Рис. 3.8. Порівняльна характеристика якості голосу в кодеках AMR та EVS

На рис. 3.9 зображено графічне порівняння якості змішаного трафіку й музики (нетиповий голосовий трафік) при використанні кодеків AMR та EVS.

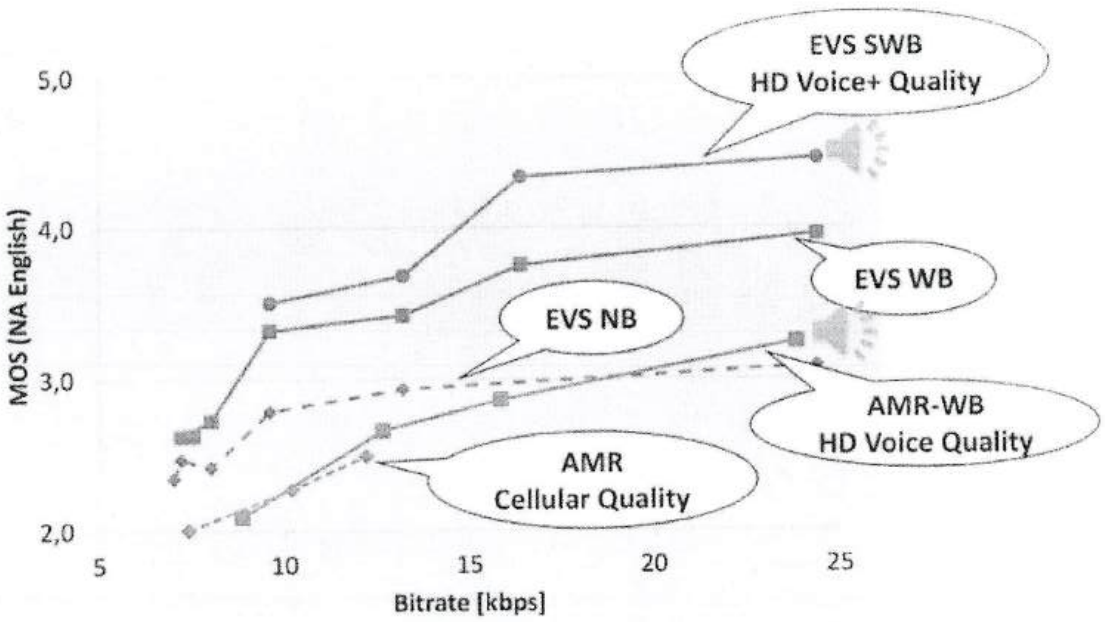


Рис. 3.9. Порівняльна характеристика якості змішаного трафіку в аудіокодеках AMR та EVS

Аналіз проведений на рисунках 3.8та 3.9 чітко показує переваги в якості аудіокодеку EVS над AMR. При однаковому бітрейті в змішаному трафіку показник MOS вищий, ніж при передачі мовлення між абонентами. Це обумовлено особливостями людської мови, оскільки вона передається в живу, без попередньої обробки [46]. При однакових умовах, що і для аудіокодеку AMR-WB, аудіокодек EVS потенційно забезпечує підвищення оцінки MOS майже на 0,5 пункти. Однак, потребуються подальші практичні дослідження поведінки цих кодеків у мережі LTE.

Також важливою особливістю EVS є підтримка режиму взаємодії (interoperable) з AMR-WB (AMR-WB IO), бітовий потік котрого повністю сумісний для всіх бітрейтів AMR-WB. Проте, даний режим пропонує наступні покращення порівняно із AMR-WB: підвищення якості за допомогою модулів подальшої обробки EVS; Bass Post фільтр, додавання комфортного шуму; вища якість музики завдяки спеціальному підсилювачу; придушення шуму квантування; кращий ефект присутності завдяки вищій пропускній спроможності [46].

3.3. Рекомендації щодо моніторингу та діагностики QoS

Розглянемо рекомендації щодо моніторингу та діагностики QoS згідно рекомендації міжнародного союзу електрозв'язку G.1028.

Вирішальне значення для виявлення експлуатаційних та економічних проблем належить точкам виміру, їх потрібно визначити для того, щоб зменшити кількість вимірювальних інструментів. Ціль - забезпечити відмінне представлення та проектування території, котру покривають, у статистичному плані для обліку, моніторингу та діагностики із застосуванням відповідних джерел або інструментів вимірювання, у тому числі детальних записів викликів (CDR) [38].

Існує можливість передбачити три види точок вимірювання, як показано на рис. 3.10.

- у кінцевих точках, де користувачі отримують доступ до послуг та використовують їх (у даному випадку A та J);

- на інтерфейсах, де доступний абонентський план, зазвичай це точки між мережними магістралями чи технологіями передачі, на рис. показані як: B, D, E та G;

- у точках присутності службових елементів, що належать до плану сигналізації, на рис. показані як: C, F та H [38].

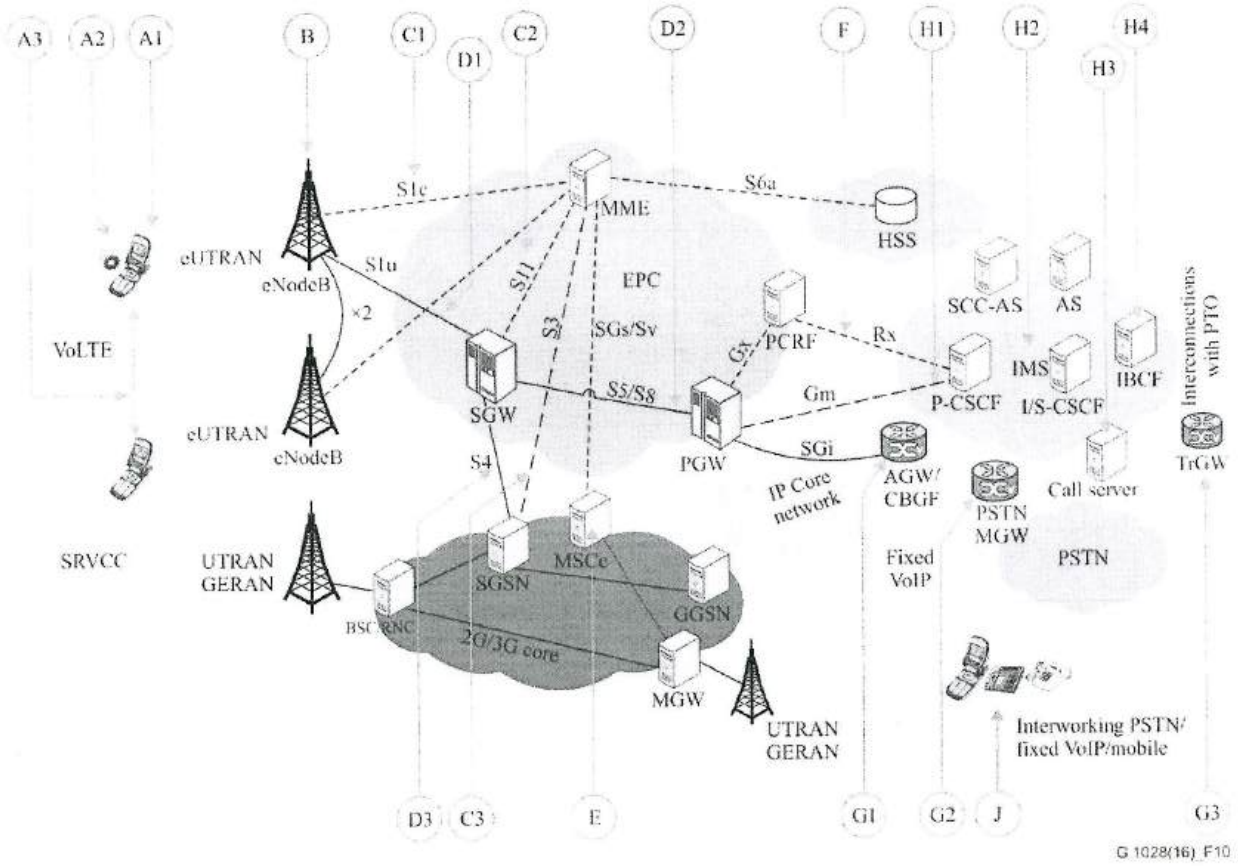


Рис. 3.10. Точки вимірювання QoS у мережі VoLTE

Точка вимірювання A1 призначена для вимірювання з метою обліку. Фактично ця точка не є обов'язковою для спостереження. Проте з боку провайдера регулярно проводиться аналіз оцінок QoS на всій мережі з метою контролю та відслідковування можливих відхилень. Таким чином, даний спосіб дозволяє перевірити показники QoS й спробувати вирішити проблеми, в разі необхідності. Також він дозволяє перевірити наскрізні показники - в більшості випадків точність, але також і доступність та безперервність [38].

Точки вимірювання A2 та A3 призначені для вимірювань, у яких за допомогою спеціальних інструментів замінено присутність кінцевого користувача в точці A1, це дає змогу змоделювати поведінку та необхідну оцінку якості. Дані елементи проектування систем моніторингу рекомендуються в цілях обліку, в основному за E2E показниками точності, а також безперервності, швидкості обслуговування та доступності. Точка A2 знаходиться усередині терміналу. Там програмний агент може отримати доступ до декодованого сигналу та/або інформації про те, як обробляється зв'язок (встановлення з'єднання, переривання з'єднання, поведінка буфера IP- тремтіння тощо) [38].

Для точки A3 потрібні статичні рішення, де увага має бути зосереджена на швидкості, точності та безперервності обслуговування, або рухомі рішення, де увага приділяється характеристикам радіомережі. Важливим аспектом є те, що даний E2E вимір дає змогу виявити або підтвердити наявність проблеми, але рідко вказує на джерело погіршення, якщо воно не походить від самого пристрою [38].

Точка B локалізована у вузлі eNodeB, який є першою точкою входу до мережі LTE. Ця точка вимірювання передбачає моніторинг радіоінтерфейсу та напрямку до EPC. Стратегія передбачає відокремлення трафіку VoIP від решти трафіку даних на основі відповідного індикатора класу трафіку (QCI) [38].

Точки C1-C3 розміщені на інтерфейсах в домені EPC (більшість з них розташовані близько до вузла управління мобільністю MME), саме в них можна ініціювати та аналізувати найважливіші повідомлення сигналізації. Вони рекомендуються для цілей обліку, моніторингу та діагностики E2E показників доступності, точності, безперервності та ступеня використання послуг, що пропонуються оператором. Рекомендується обмежений доступ до даних про усі сеансів, в основному за допомогою аналізаторів трейсів або детальних записів реєстрації дзвінків CDR. Точка C1 охоплює сигналізацію між вузлом MME та підсистемою радіодоступу через інтерфейс S1, точка C2 виконує контроль підключення з S-GW через інтерфейс S11, а точка C3 розміщена на інтерфейсі Sgs для зв'язку із сервером MSC. Слід зазначити, що трафік, зібраний по всіх інтерфейсах, що покриваються точками C тунелюється протоколом GTP v2-C. D1

розташована на виході між EPC та радіодоступом (інтерфейс S1u обслуговуючого GW), а D2 охоплює зв'язок між S-GW та PDN-GW (інтерфейси S5-S8) [38].

Точка вимірювання E розташована на межі між EPC та базовою мережею 3G. Відповідним обладнанням є сервер MSC, який керує викликами та рухливістю в мережах 2G та 3G (наприклад, у випадку SRVCC). У багатьох випадках сервер MSC суміщений з функцією контролера шлюзу середовища (MGCF), що відповідає за створення та анулювання з'єднань у MGW між доменами IMS та CS. У зв'язку з цим, дана точка рекомендується для цілей моніторингу та діагностики більшості показників, що стосуються з'єднань, при яких відбувається роумінг між мережами LTE та 2G або 3G. Відповідні показники в основному належать до доступності, безперервності та швидкості надання послуг [38].

Точка вимірювання F призначена для моніторингу радіоінтерфейсу між PCRF та функцією керування сеансом проксі-дзвінка (P-CSCF) домену IMS. Вона рекомендується для цілей обліку, моніторингу та діагностики показників доступності, безперервності, швидкості та ступеня використання послуг [38].

Група точок виміру G1, G2 та G3 відповідає шлюзам площини на кордоні з IMS. За допомогою шлюзів можна отримати конкретну інформацію про оцінку стану основної мережі (таких як: затримки, втрати IP-пакетів та джитеру), використовувані кодеки в основній мережі та транскодування. Дані точки становлять інтерес для цільового моніторингу та діагностики щодо таких показників, як точність обслуговування та робочі характеристики мережі. Точка G1 (MGW IMS) - це шлюз, що використовується для закріплення медіаканалів між двома користувачами VoLTE, а також у випадку SRVCC (хендовер від VoLTE до CS домену) або взаємодії VoLTE з CS доменом попереднього покоління. Також даний шлюз забезпечує функціональність взаємодії між VoLTE та абонентами фіксованої мережі VoIP (з перекодуванням AMR/AMR-WB - ITU-T G.711). Точка G3 - транковий шлюз (TrGW) при взаємодії з іншим оператором IP-домену [38].

Група точок виміру H1, H2, H3 та H4 знаходиться всередині платформи IMS. Інформація моніторингу, яку можна збирати тут, пов'язана з трафіком сигналізації. Дані трейсів, які можна зібрати із сторони платформи, повинні доповнюватись

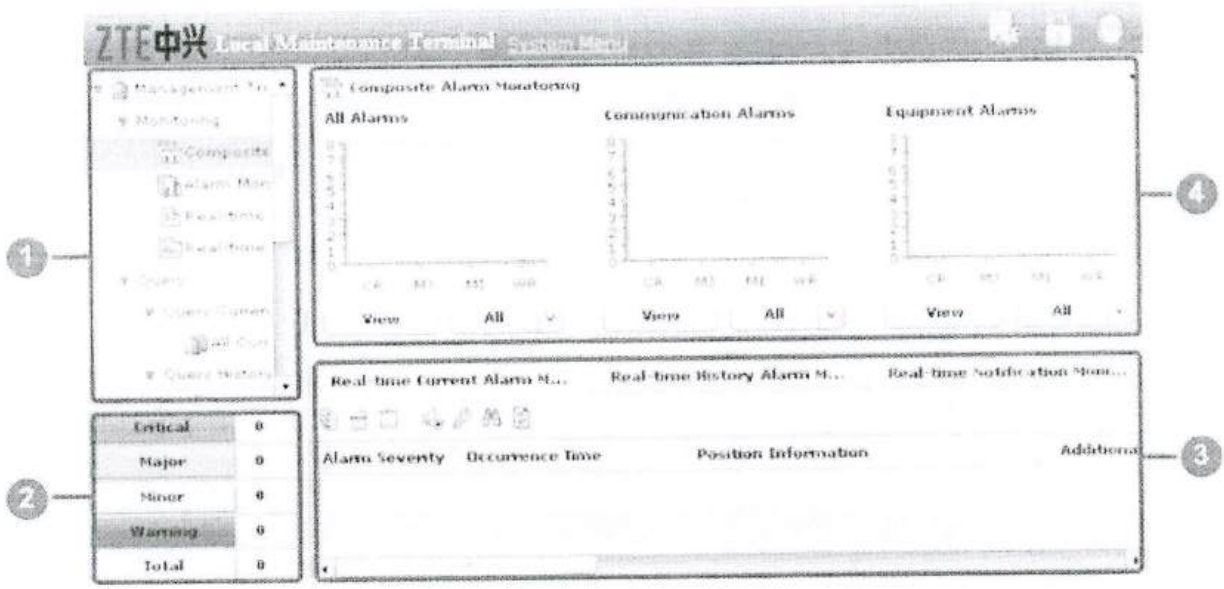
інформацією, отриманою від CDR та лічильників. Інформація в системі моніторингу, що зібрана у відповідних точках вимірювання, відноситься до готовності, безперервності та ступеню використання послуг. Точка H1 розташована на інтерфейсі між EPC на вузлі PDN-GW та IMS на вузлі P-CSCF, вона охоплює пасивний моніторинг на інтерфейсі Gm в якому зосереджено нетунельовану SIP-сигналізацію, що надходить від усіх користувачів мережі. Точка H2 - це глобальна точка моніторингу, котра розташована на платформі IMS (що включає такі елементи, як I- та S-CSCF, AS та SCC-AS), вона ідеально підходить для обліку послуг, що надаються абонентам, оскільки аналіз буде статистично дуже достовірним. Дані моніторингу, зібрані в цій точці, зосереджені на лічильниках виконання та даних про нарахування оплати. H3 - це точка вимірювання (на сервері викликів/MGCF) може використовуватися для вичерпного аналізу протоколу сигналізації [38].

Точка виміру J - це аналог точки A для мережі з комутацією каналів. Тут можна виміряти ті ж показники з тією ж метою (за винятком робочих характеристик радіомережі) і з тією ж стратегією вибірки [38].

Діагностика забезпечує додаткову інформацію за допомогою:

- глибокого аналізу клієнтів або доступу нижче порога в спробі встановити причини проблем, що виникають та проаналізувати дані з різних джерел (CDR, трейси), зібраних в той час, коли проблема була актуальною;
- перевірки конфігурації / віддаленого тестування, включаючи запис трейсів та аналіз на основних вузлах мережі;
- дослідження та аналіз на місці, включаючи запис трейсів зі сторони мережі доступу [38].

Розглянемо на прикладі інтерфейс системи моніторингу та діагностики несправностей NetNumen від компанії ZTE. На рис. 3.11 зображено вікно керування помилками.



1. Navigation tree area
2. Alarm count area
3. Real-time monitoring area
4. Alarm monitoring figure area

Рис. 3.11. Вікно керування помилками

Вікно керування помилками включає наступні чотири частини:

l) Navigation tree area (область дерева навігації).

Дерево керування знаходиться у лівій частині вікна Fault Management, включаючи:

- Monitoring: включає складовий монітор аварійних сигналів, монітор діаграм аварійних сигналів, монітор аварійних сигналів у реальному часі та монітор повідомлень у реальному часі.
- Query: включає поточні аварійні сигнали запиту, аварійні сигнали історії запиту, сповіщення запиту та запит користувача.
- Setting: включає налаштування правил та встановлення блоку аварійної сигналізації [37].

2) Alarm count area (область підрахунку аварійних сигналів)

У лівій нижній частині закладки Fault Management відображається кількість аварійних сигналів кожного рівня (включаючи критичні, мажорні, другорядні та попереджувальні) та загальну кількість цих аварійних сигналів. Можна клацнути по кожному елементу для відкриття відповідної вкладки Alarms у реальному часі.

3) Real-time monitoring area (область моніторингу у реальному часі)

Даний функціонал дозволяє включати поточний моніторинг аварійних сигналів у реальному часі, хронологічний моніторинг аварійних сигналів у реальному часі та моніторинг повідомлень у реальному часі. Можна клацнути відповідну вкладку для моніторингу поточних аварійних сигналів, історичних аварійних сигналів або сповіщень у реальному часі.

4) Alarm monitoring figure area (область моніторингу аварійних сигналів)

За замовчуванням відображаються всі аварійні сигнали, аварійні сигнали зв'язку та аварійні сигнали обладнання поточної системи на гістограмах. Можна створити показники моніторингу аварійних сигналів та налаштувати аварійні сигнали, що відображаються. Вісь X вказує рівні аварійних сигналів, тобто критичні, мажорні, другорядні та попереджувальні. Вісь Y представляє кількість аварійних сигналів кожного рівня. Якщо натиснути кнопку «Вигляд» (View), відповідні аварійні сигнали відображаються у форматі таблиці. Якщо натиснути кнопку «Все» (All) для визначення аварійних сигналів, що відображаються в області моніторингу аварійних сигналів, у списку, що розкривається, можна вибрати типи аварійних сигналів [47].

Використання систем моніторингу та діагностики є невід'ємною частиною функціонування в мережах зв'язку. У більшості випадків дані системи, що вже налаштовані під конкретну мережу, надають постачальники телекомунікаційного обладнання у користування операторам. Проте існують також компанії, що спеціалізуються у конкретній області, наприклад, працюють із сигнальною мережею. Яскравим прикладом таких компаній є Radcom та MasterClaw. У своїх продуктах вони не опираються на обладнання конкретного виробника, що робить їх гнучкими та дозволяє співпрацювати з більшою кількістю операторів по всьому світу.

Оскільки дослідження в рамках магістерської роботи проводились на обладнанні від компанії ZTE, то розглянемо основний інтерфейс системи в якій збираються різні KPIs з відповідного обладнання. На рис. 3.12 зображено інтерфейс

вкладки Performance. Кожен авторизований користувач створює необхідні для його роботи фільтри, що допомагають перевірити необхідну інформацію.

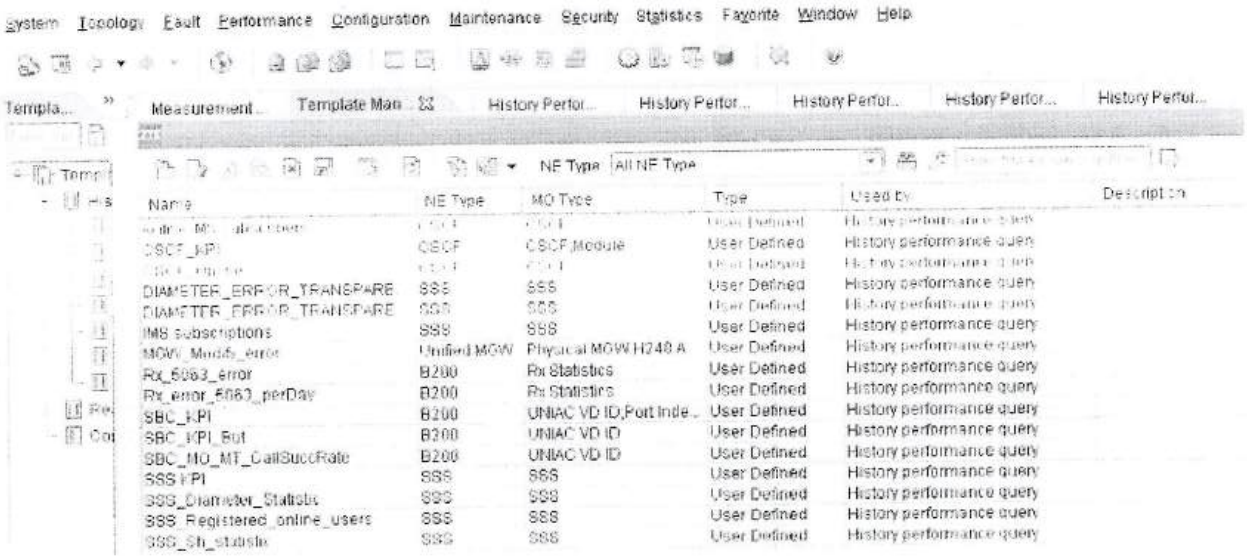


Рис. 3.12. Інтерфейс вкладки Performance NetNumen

На рис. 3.13 зображено середню кількість одночасних інтерактивних сеансів. Залежно від показників KPI або лічильників, які потрібно перевірити, обираються необхідні поля й потім можна подивитись результат у вигляді таблиці або графіку за вибором. Для прикладу показано графік з проміжком у три дні. Як видно з рис., близько третьої ночі кількість одночасних інтерактивних сеансів абонентів спадає майже до нуля, проте вдень знову сягає найвищих значень. Дані вибірки KPIs завжди можуть відображатись у реальному часі. Це в свою чергу, надає можливість своєчасно виявити можливі проблеми на мережі, у разі погіршення показників.

На рис. 3.14 зображено коефіцієнт втрати пакетів розрахований системою мережевого менеджменту NMS NetNumen ZTE.

Як видно з рис. 3.14, показники втрати пакетів чітко різняться з часом доби, що безпосередньо залежить від навантаження на мережу, до прикладу, кількістю одночасних інтерактивних сеансів.

На рис. 3.15 зображено інтерфейс конфігураційного поля за допомогою MML-команд.

Враховуючи, що кожен абонент має профіль в підсистемі IMS, йому необхідно провіженити різного роду сервіси. В системі NetNumen є можливість перевіряти профіль абонента, керувати послугами, що йому надаються, керувати переадресаціями та багато інших корисних функцій.

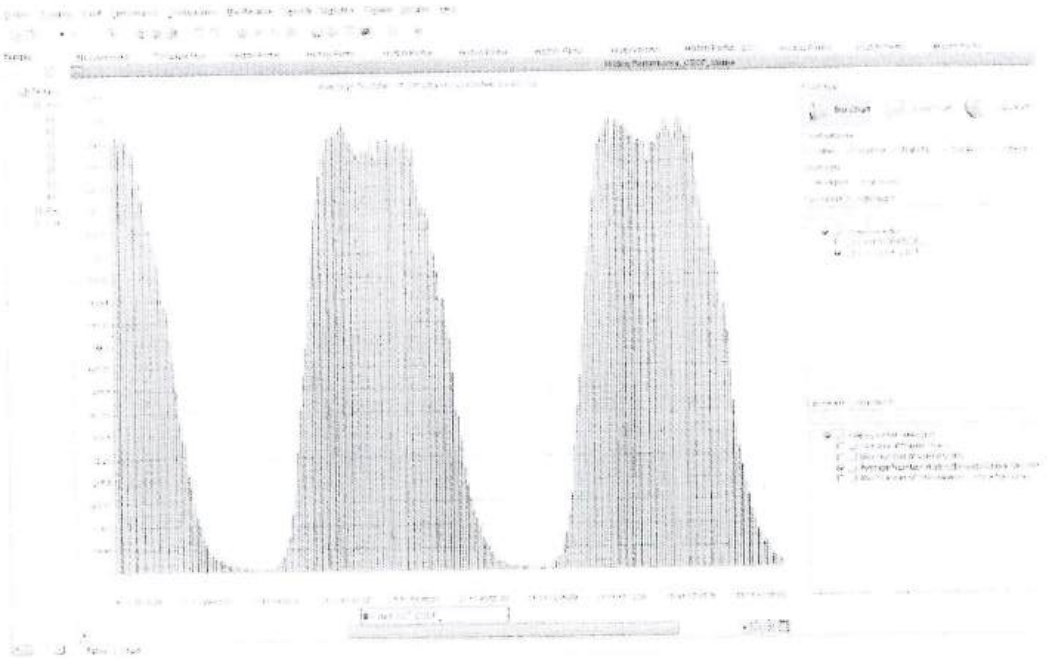


Рис. 3.13. Середня кількість одночасних інтерактивних сеансів

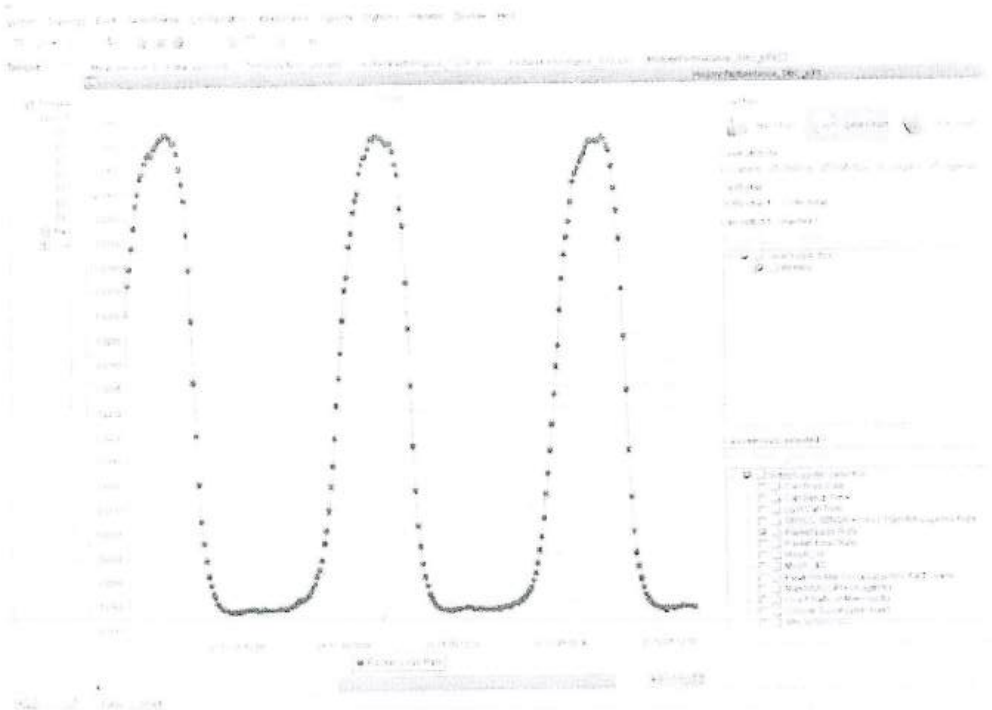


Рис. 3.14. Коефіцієнт втрати пакетів в NMS NetNumen

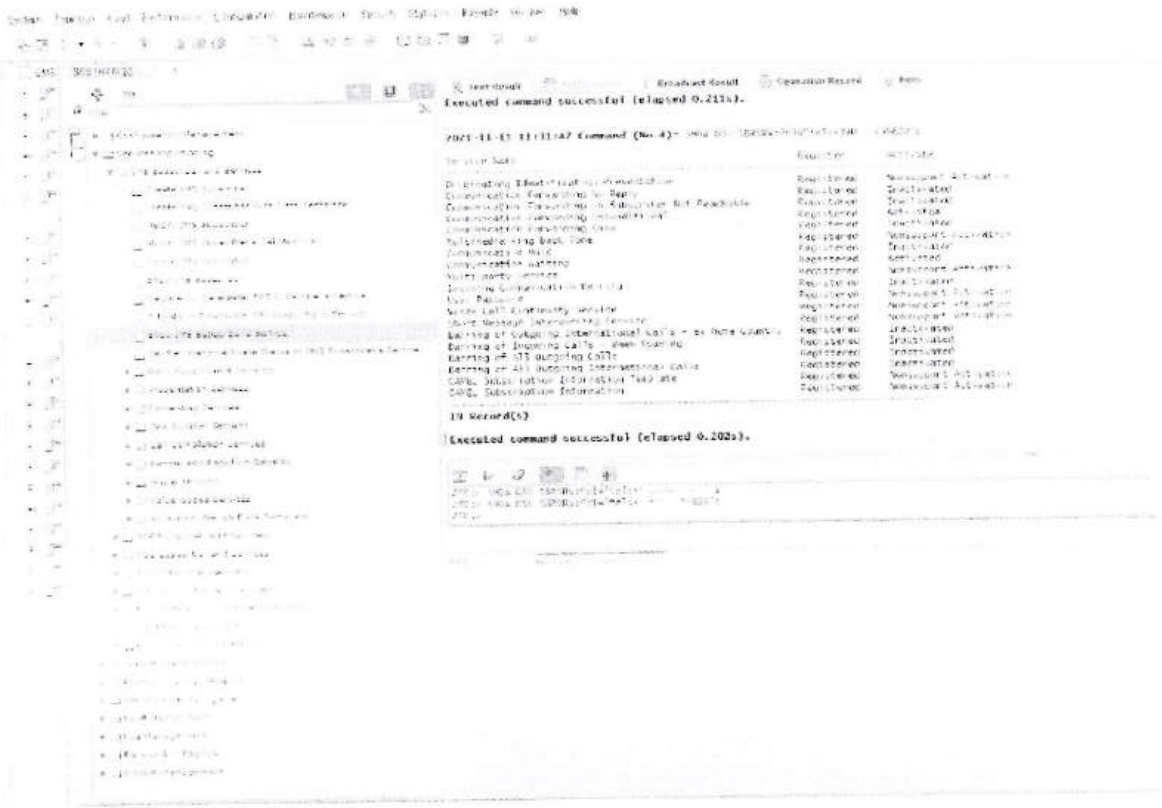


Рис. 3.15. Інтерфейс конфігураційного поля NetNumen

ВИСНОВКИ

По результатах роботи зробимо наступні висновки:

У 1 розділі досліджено основні аспекти та виклики, пов'язані з розгортанням та оптимізацією мереж мобільного зв'язку LTE. Було показано, як передові технології, такі як IMS і VoLTE, можуть покращити якість і надійність голосових послуг у пакетних мережах. Також у розділі запропоновано ряд рекомендацій та технічних рішень для ефективної інтеграції цих технологій, що дозволить мобільним операторам гарантувати високу якість обслуговування та задовольняти зростаючі потреби користувачів.

Важливість дослідження підкреслена необхідністю переходу до повністю IP-орієнтованих мереж, що становить фундамент для розвитку мереж 5G. Аналіз виконаний у даному розділі відіграє критичну роль у розумінні того, як інноваційні рішення можуть вирішити існуючі проблеми і покращити клієнтський досвід при використанні сучасних телекомунікаційних сервісів.

Досліджені підходи та методики є актуальними та здатними адаптуватися до швидкозмінного телекомунікаційного середовища, що забезпечить стабільне та надійне майбутнє для мобільного зв'язку в Україні.

У 2 розділі досліджено процедури та принципи надання голосових послуг у мережах LTE з використанням технології VoLTE, яка дозволяє передачу голосу на основі IP-протоколу. Показано, що VoLTE має ряд істотних переваг, серед яких висока швидкість з'єднання, висока якість голосового зв'язку, здатність продовжувати користування мобільним інтернетом під час розмови та економія заряду акумулятора. Запропоновано також процедуру SRVCC, яка забезпечує безперервність голосового виклику при втраті покриття LTE, дозволяючи гладку міграцію в мережі попереднього покоління. Підкреслено важливість протоколу SIP для організації управління дзвінками та ідентифікації абонентів, а також наведено приклади базового потоку викликів (Call Flow) у SIP та визначення типів адресації.

В розділі також розглянуто критерії QoS та параметри передачі, які впливають на якість голосового трафіку. Встановлено, що QoS є ключовим для

забезпечення високоякісних послуг VoLTE та підвищення задоволеності користувачів. Визначено основні KPI, такі як швидкість втрати пакетів, затримка «mouth to ear», доступність та збереженість бездротових ресурсів, і порівняно їх зі стандартними значеннями та результатами моделювання. Виявлено, що середня експертна оцінка якості мовного повідомлення (MOS), затримка «mouth to ear», втрата пакетів та джиттер є важливими показниками для оцінки продуктивності VoLTE. Наголошено на потребі подальших досліджень для підтвердження лабораторних розрахунків у комерційних мережах VoLTE.

У 3 розділі проводився ряд досліджень пов'язаних з ключовими аспектами забезпечення якості надання послуг телефонії в мережах LTE. Було визначено механізми забезпечення QoS в мережі LTE, виконано аналіз KPI QoS VoLTE. На основі експерементальних досліджень затримки та коефіцієнту втрат пакетів були виконані розрахунки MOS в умовах хорошого та поганого радіопокриття.. Також розглянуто лічильники статистики QoS для передачі голосу, проаналізовано належні індикатори й цільові показники якості.

Запропоновано використання процедури безперервного голосового виклику (SRVCC), яка дозволяє підтримувати неперервність зв'язку навіть при втраті покриття LTE, забезпечуючи міграцію голосової сесії до мереж 3G/2G. Також висвітлено, як архітектура IMS і протокол SIP сприяють організації управління дзвінками та ідентифікації абонентів у мережі, включаючи механізми адресації та процедури обміну повідомленнями.

Однією з найважливіших особливостей VoLTE є розробка нового аудіокодеку під назвою EVS (Enhanced Voice Services). У даному розділі проводиться дослідження його переваг та порівняльний аналіз із більш старішими аудіокодеками. При однаковх умовах, що і для аудіокодеку AMR-WB, аудіокодек EVS потенційно забезпечує підвищення оцінки MOS майже на 0,5 пункти. Однак, потребуються подальші практичні дослідження поведінки цих аудіокодеків у мережі LTE. Новітній EVS забезпечує реалістичну передачу голосу, проте даний аудіокодек повинен підтримуватись не тільки мережею оператора, а й мобільними пристроями всіх абонентів, що беруть участь в окремій голосовій сесії.

Використання систем моніторингу та діагностики є невід'ємною частиною функціонування в мережах зв'язку. У більшості випадків дані системи, що вже налаштовані під конкретну мережу, надають постачальники телекомунікаційного обладнання у користування операторам. В даному розділі також приведено рекомендації згідно міжнародного союзу електрозв'язку G.1028 щодо діагностики та моніторингу QoS в мережі мобільного зв'язку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Беркман Л.Н., Толюпа С.В. Інфокомунікаційні мережі нового покоління. - К.: ДУІКТ, 2012. - 288 с.

2. Руденко Н.В. Основи цифрової обробки сигналів в системах цифрового радіозв'язку / Н.В. Руденко, А.О. Макаренко // Навчальний посібник. - Київ.: ДУТ. - 2021. – 107 с.

3. 3GPP, "LTE (Long Term Evolution) and LTE-Advanced," 3GPP, [Електронний ресурс]. Available: https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte.

4. 3GPP Specification: 23.002. Network architecture [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=728

5. ETSI TS 124 302 v8.1.0 (2009-03). Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); LTE; Access to the Evolved Packet Core (EPC) via non-3GPP access networks; Stage 3 [Електронний ресурс]. 2009. Режим доступу: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/124300_124399/124302/08.01.00_60 /ts_12430 2 v080100p.pdf

6. 3GPP Specification: 23.122. Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode [Електронний ресурс]. 2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?s pecificationId=789

7. 3GPP Specification: 43.022. Functions related to Mobile Station (MS) in idle mode and group receive mode [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?s pecificationId=2664

8. 3GPP Specification: 23.402. Architecture enhancements for non-3GPP accesses [Електронний ресурс].2015. Режим доступу:

9. https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.asp x?s pecificationId=850

10. 3GPP Specification: 33.401. 3GPP System Architecture Evolution (SAE); Security architecture [Електронний ресурс].2015. Режим доступу:

11. https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2296

12. LTE Signaling, Troubleshooting and Optimisation, Ralf Kreher and Kasten Gaenger, 2011 - 282 p

13. 3GPP Specification: 23.417. TISPAN; IP Multimedia Subsystem (IMS); Functional architecture [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=852

14. 3GPP Specification: 23.467. TISPAN; IP Multimedia Subsystem (IMS); Functional architecture [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=859

15. IMS architecture overview An overview of IMS architecture and related Accenture experiences. Universita Federico II - Napoli, [Електронний ресурс].2017. Режим доступу: http://wpage.unina.it/rcanonic/didattica/at/lucidi_2 007/AT_2006-07_IMS_Accenture.pdf

16. Voice over LTE (VoLTE) [Електронний ресурс].2020. Режим доступу: https://itechinfo.ru/content/voice-over-lte-volte

17. IMS VoLTE Architecture [Електронний ресурс].2020. Режим доступу: http://www.3glteinfo.com/ims-volte-architecture/

18. 3GPP Specification: 29.238. Interconnection Border Control Functions (IBCF) - Transition Gateway (TrGW) [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=1688

19. IETF RFC 5853, Requirements from Session Initiation Protocol (SIP) Session Border Control (SBC) Deployments. ISSN 2070-1721, Hautakorpi, Ed., G. Camarillo Ericsson, R. Penfield Acme Packet, A. Hawrylyshen Skype, Inc. April 2010

20. 3GPP Specification: 29.333. Multimedia Resource Function Controller (MRFC) - Multimedia Resource Function Processor (MRFP) Mp interface; Stage 3.

[Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=1709

21. 3GPP Specification: 23.333. Technical Specification Group Core Network and Terminals; Multimedia Resource Function Controller (MRFC) - Multimedia Resource Function Processor (MRFP) Mp interface: Procedures Descriptions (Release 12). [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T63v11_30/5_Appendix/Rel12/23/23333-c70.pdf

22. Development supplementary service server by ZTE telecom corporation. [Електронний ресурс]. 2019. Режим доступу: http://systemdemo.weebly.com/zx un-sss-supplementary-service-server.html

23. IP Multimedia Subsystem (IMS) [Електронний ресурс].2013. Режим доступу: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8 C%D1%8F:IP_Multimedia_Subsystem_(IMS)

24. SIP: Session Initiation Protocol [Електронний ресурс].2002. Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc3261

25. 3GPP Specification: 23.216. Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC); Stage 2 [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=816

26. GSMA Official Document FCM.01 VoLTE Service Description and Implementation Guidelines Version 1.1 [Електронний ресурс].2014. Режим доступу: https://www.gsma.com/futurenetworks/wpcontent/uploads/2014/10/FCM .01-VoLTE-Service-Description-and-Implementation-Guidelines-Version-2.0.pdf

27. ITU-T, G.114 - General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection one way transmission time". [Електронний ресурс].2003. Режим доступу: https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=6254&lang=ru30. 3GPP TS 23.203 V13.7.0 —Policy and charging control architecture". (Release13) [Електронний ресурс].2016. Режим доступу:

https://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/123200_123299/123203/13.07.00_60/ts_1232 03v130700p.pdf

28. M. Tabany, C.G.Guy —An End-to-End QoS Performance Evaluation of VoLTE in 4G E-UTRAN-based Wireless Networks", in: Proc. of the Tenth International Conference on Wireless and Mobile Communications, 2014.

29. A.Vizzarri, —Analysis of VoLTE End-To-End Quality of Service using OPNET", IEEE, pp. 452-457 , 2014.

30. Y. Fan, M. Kuusela, P. Lunden, M. Valkama, —Downlink VoIP support for evolved UTRA, Wireless Communications and Networking", IEEE, pp. 1933-1938 , 2008

31. M.Anehill, M. Larsson, G. Stromberg, E. Parsons, —Validating voice over LTE end to end". [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ericsson.c om/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2012/er-volte performance.pdf.

32. ISSN 2307-4531 International Journal of Sciences: Basic and Applied Research —Design of Quality of Service Parameters for Voice over Long Term Evolution "LTE" Network". Mohamed ELWakiela, Hesham ELBadawyb, Hadia Elhennawyc, 2016

33. Huawei Tech, —QoS Deployment Suggestion and IMS bandwidth calculation for VoLTE", white paper. [Електронний ресурс].2016. Режим доступу: http://su pport.huawei.com/hdx/hdx.do?docid=DOC1000175421&lang=en&path=PBI1212 63365

34. E-reader ZTE corporation manual for mobile operators. 2021

35. IETF RFC 3095 RObust Header Compression (ROHC): Terminology and Channel Mapping Examples, L-E. Jonsson Ericsson. [Електронний ресурс].2004 Режим доступу: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc37 59.html

36. LTE Quick Reference, ROHC (Robust Header Compression) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.sharetechnote.com/html/Ha ndbook_LTE_ROHC.html

37. Transmission Time Interval, TTI bundling: The Transmission Time Interval (TTI) is the time unit for the eNodeB to schedule UL and DL data transmissions. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.sciencedirect .com/topics/engineering/transmission-time-interval

38. ITU-T G.107, —The E-Model, a computational model for use in transmission planning", June 2015.

39. ITU-T G.113 Amendment, —Transmission impairments due to speech processing". March 2009.

40. H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, —RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for RealTime Applications". July 2003.

41. K. Wac, G. Pinar; M. Gustarini, J. Marchanoff, —Smartphone users mobile networks quality, provision and VoLTE intend: Six-month field study". In Proc. World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), IEEE 16th International Symposium, 2015

42. T.Henttonen, K.Aschan, J.Puttonen, N.Kolehmainen, P.Kela, M.Moisio, J.Ojala, —Performance of VoIP with Mobility in UTRA Long Term Evolution", IEEE Magn., pp. 2492-2496, 2008.

43. 3GPP Specification: 103.219. Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); Quality of Service aspects of voice communication in an LTE environment. [Електронний ресурс].2015. Режим доступу: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103200_103299/103219/01.01.01_60/tr_103219v010101p.pdf

44. ITU-T Specification: E.804. Quality of service aspects for popular services in mobile networks. [Електронний ресурс].2014. Режим доступу: https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=E.804

45. ITU-T Specification: E.425. International telephone network management and checking of service quality - Checking the quality of the international telephone service.

46. RFC 6076, Basic Telephony SIP End-to-End Performance Metrics. [Електронний ресурс].2011. Режим доступу: https://www.rfc-editor.org/info/rfc 6076

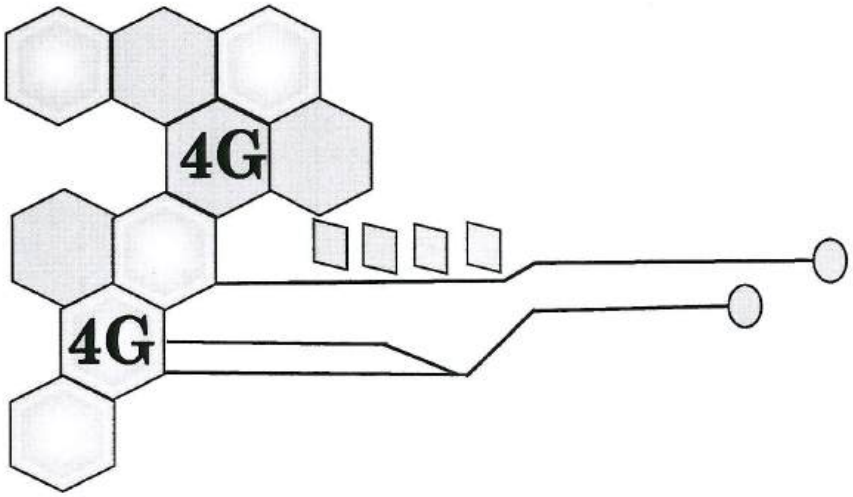
47. Workshop at the 140th AES Convention 2016. Codec for Enhanced Voice Services (EVS)— The New 3GPP Codec for Communication. Stefan Bruhn, Ericsson AB, Vaclav Eksler, VoiceAge Corporation, Guillaume Fuchs, Fraunhofer IIS, Jon Gibbs, Huawei Technologies Co. Ltd. [Електронний ресурс].2011. Режим доступу: http s://www.aes.org/technical/documentDownloads.cfm?docID=548

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Презентація по магістерській роботі на тему:

Методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління



Виконав: студент
Журба Данило Віталійович
Керівник: д.т.н., професор
Макаренко Анатолій Олександрович

МЕТА РОБОТИ:

Об'єкт дослідження

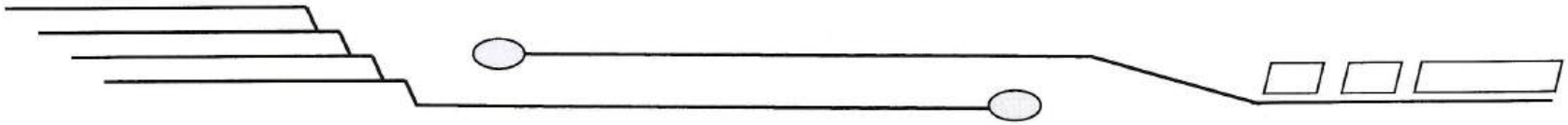
процес голосового доступу в LTE-мережах

Предмет дослідження

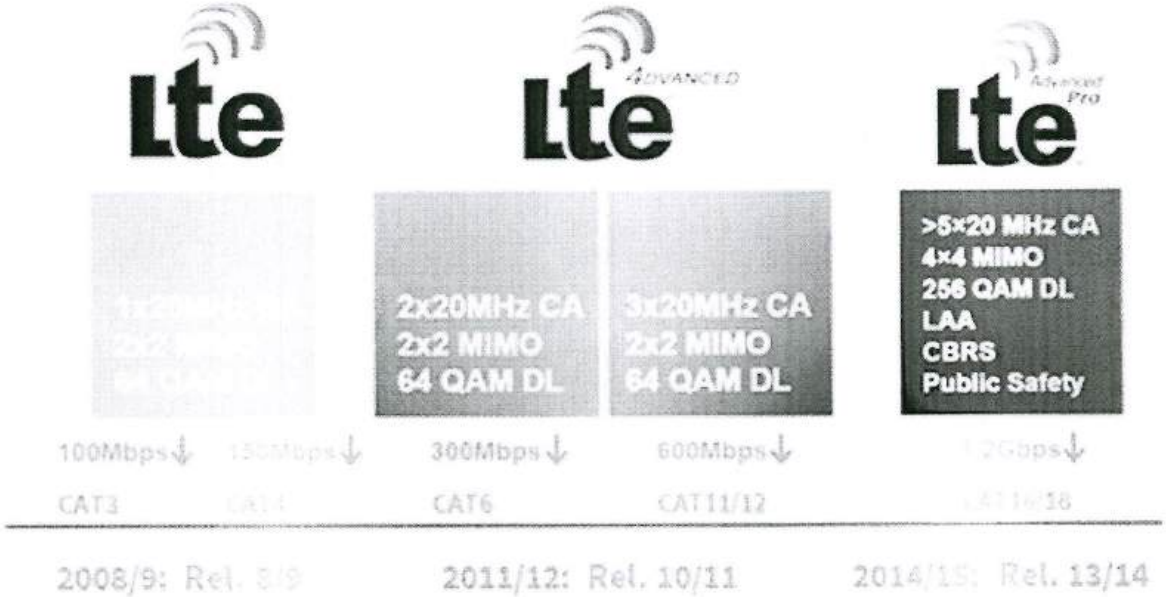
методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління

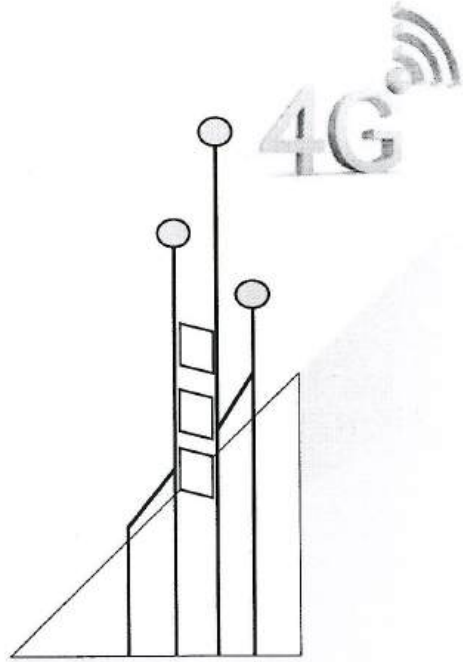
Мета роботи

дослідження методів використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління



Long Term Evolution-Advanced (LTE-Advanced)

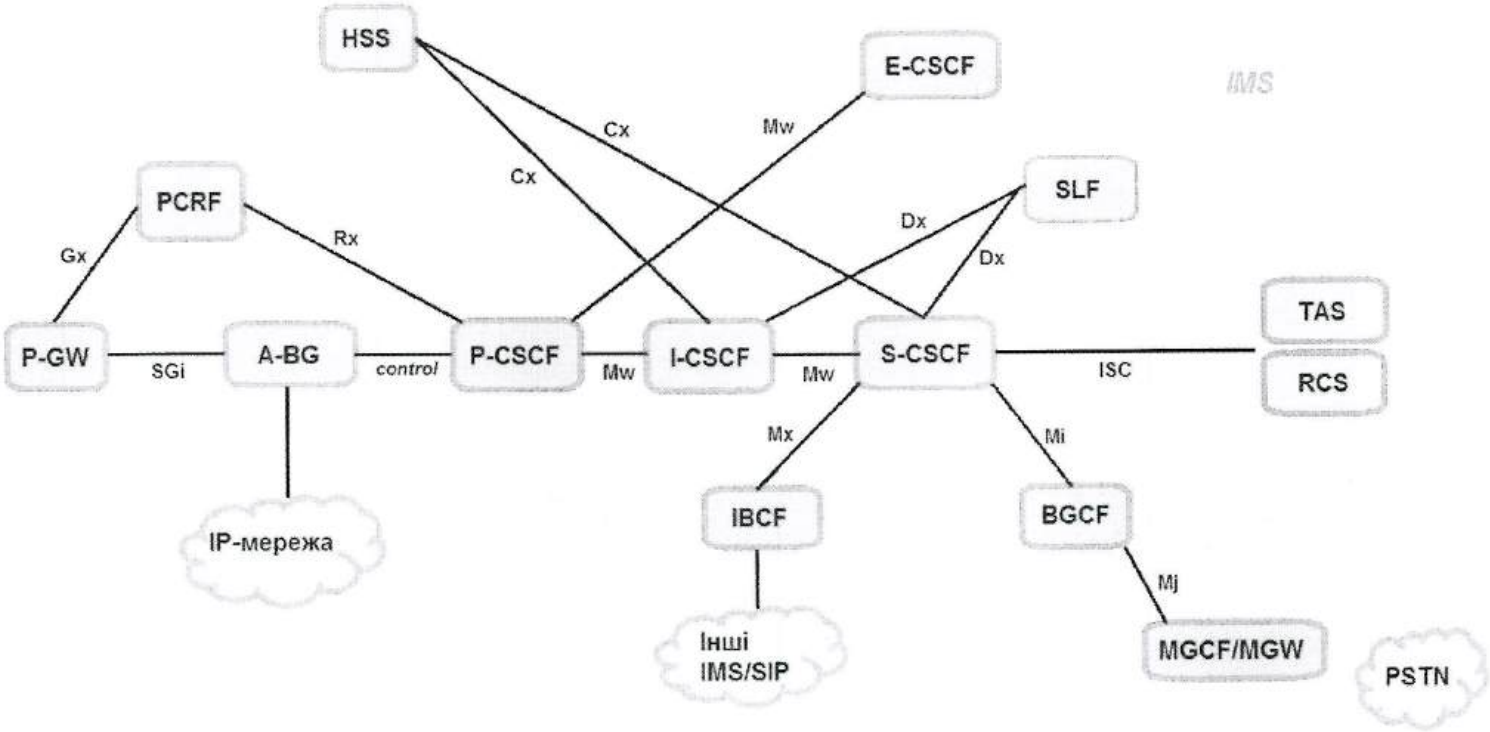




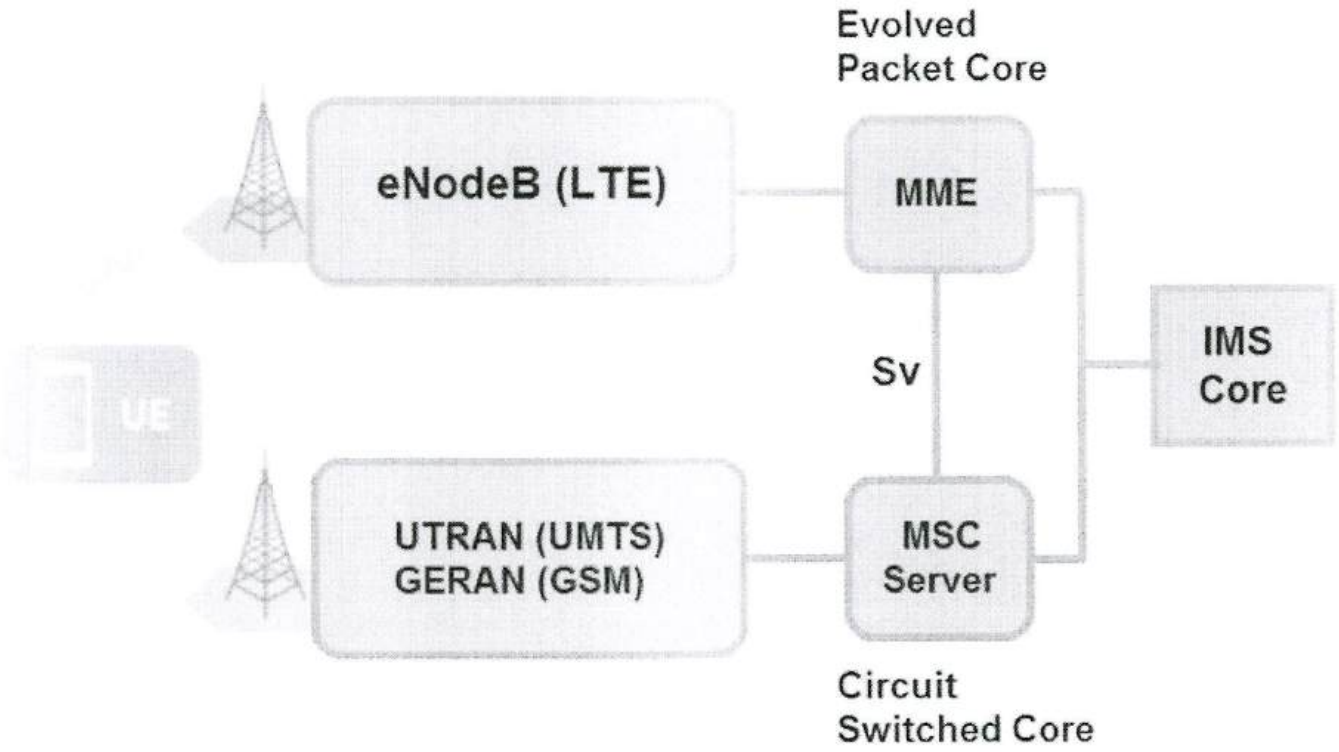
Офіційно представлений в кінці 2009 року сектору стандартизації електрозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку в якості кандидата на систему 4G. LTE-Advanced був затверджений ITU і завершений 3GPP в березні 2011 року. Це новий формат стільникового зв'язку, стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів і інших терміналів, що працюють з даними.

Починаючи з 30 березня 2018 року на території України впроваджується 4G мережа в діапазоні 2600 МГц, а 1 липня 2018 року в діапазоні 1800 МГц. Технологію почали розвивати та використовувати оператори "Великої трійки" - Vodafone, Kyivstar, Lifecell. Станом на 13 травня 2023 року Київстар має найбільшу кількість базових станцій в Україні - 15.2 тисяч, Водафон - 11.8 тисяч, Лайфселл - 7.2 тисяч.

IP Multimedia Subsystem - технологія передачі голосу по мережі LTE



Взаємодія MME з MSC під час процедури SRVCC



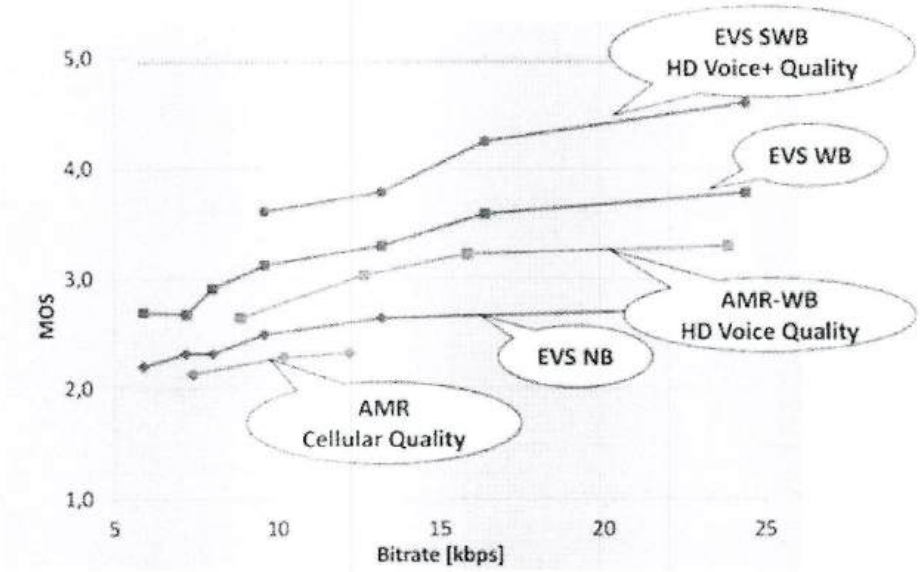
Якість обслуговування в мережах LTE

QCI	Тип	Пріоритет	Допустима затримка, мс	Допустимі втрати	Приклад
1	GBR	2	100	10^{-2}	VoLTE виклик
2		4	150	10^{-3}	Відео виклик
3		5	300	10^{-6}	Онлайн ігри
4		3	50	10^{-3}	«Стрім» відео
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	IMS
6		7	100	10^{-3}	Електронна пошта, чат
7		6	300	10^{-6}	Голосові, відео, інтерактивні ігри
8		8	300	10^{-6}	Сервіси на основі TCP
9		9	300	10 6	

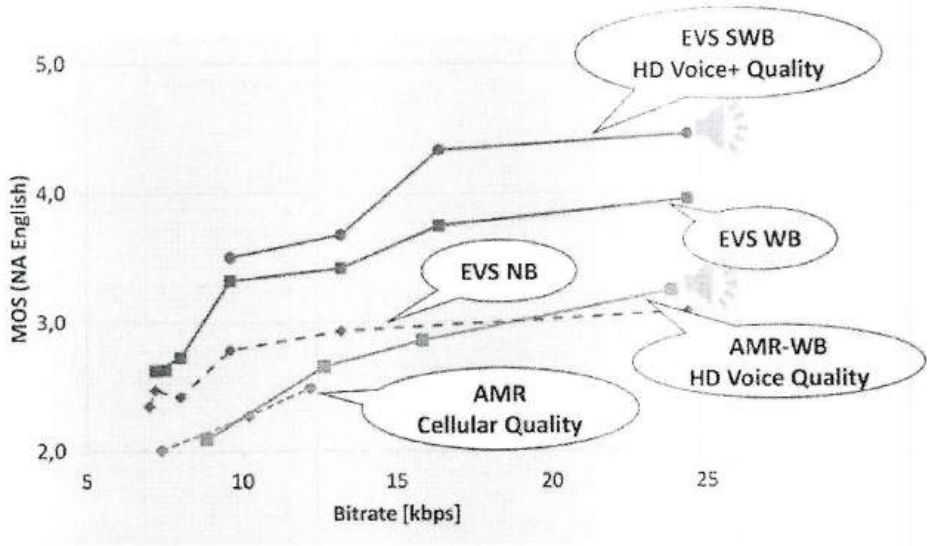
Визначення ефективності аудіокодеку Enhanced Voice Services (EVS)

Band-width	Bitrates [kbps]											
FB 20 kHz						16.4	24.4	32.0	48.0	64.0	96.0	128.0
SWB ≥ 14 kHz				9.6	13.2	16.4	24.4	32.0	48.0	64.0	96.0	128.0
WB 8 kHz	5.9 VBR	7.2	8.0	9.6	13.2	16.4	24.4	32.0	48.0	64.0	96.0	128.0
NB 4 kHz	5.9 VBR	7.2	8.0	9.6	13.2	16.4	24.4					

Порівняльна характеристика кодеків AMR та EVS



Порівняльна характеристика якості голосу в кодеках AMR та EVS



Порівняльна характеристика якості змішаного трафіку в аудіокодеках AMR та EVS

ВИСНОВКИ:

У 1 розділі досліджено основні аспекти та виклики, пов'язані з розгортанням та оптимізацією мереж мобільного зв'язку LTE. Було показано, як передові технології, такі як IMS і VoLTE, можуть покращити якість і надійність голосових послуг у пакетних мережах.

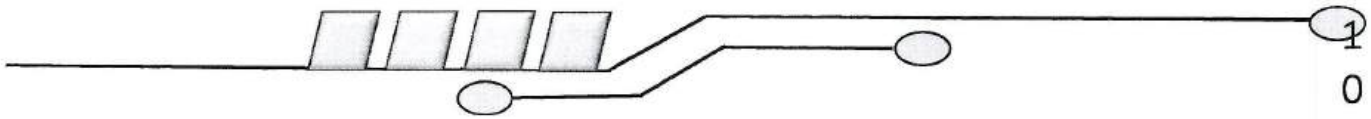
У 2 розділі досліджено процедури та принципи надання голосових послуг у мережах LTE з використанням технології VoLTE, яка дозволяє передачу голосу на основі IP-протоколу. Запропоновано також процедуру SRVCC, яка забезпечує безперервність голосового виклику при втраті покриття LTE, дозволяючи гладку міграцію в мережі попереднього покоління. Підкреслено важливість протоколу SIP для організації управління дзвінками та ідентифікації абонентів, а також наведено приклади базового потоку викликів (Call Flow) у SIP та визначення типів адресації.

У 3 розділі проводився ряд досліджень пов'язаних з ключовими аспектами забезпечення якості надання послуг телефонії в мережах LTE. Було визначено механізми забезпечення QoS в мережі LTE, виконано аналіз KPI QoS VoLTE. На основі експериментальних досліджень затримки та коефіцієнту втрат пакетів були виконані розрахунки MOS в умовах хорошого та поганого радіопокриття. Також розглянуто лічильники статистики QoS для передачі голосу, проаналізовано належні індикатори й цільові показники якості.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.



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: Данило ЖУРБА

Назва: Методи використання VoLTE в мобільних мережах четвертого покоління

Координатор: Анатолій МАКАРЕНКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:6.6

Коефіцієнт подібності 2:2.3

Тривога: 5

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*