

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

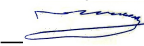
Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних систем
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 004.738.5: 621.396.1

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Сергій НАЙДА
(підпис) (ініціали, прізвище)

“7” грудня 2020 р.


Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка (Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей)
(код і назва спеціальності)


на тему: «Особливості формування радіопокриття у високошвидкісних мобільних мережах з мультимедійним трафіком».

Виконав студент П курсу, групи ДВ-92мп
(шифр групи)

Каліманов Богдан Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

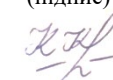
Науковий керівник доцент, к.т.н., Попович П.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

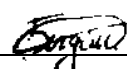
Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент кафедри ЕПС, к.т.н., доц. Клен К.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

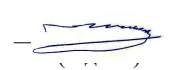
Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 171 «Електроніка» («Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 С.А. Найда
(ініціали, прізвище)

«07» грудня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Каліманову Богдану Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Особливості формування радіопокриття у високошвидкісних мобільних мережах з мультимедійним трафіком»

керівник роботи Попович Павло Васильович, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 р. № 3241-с

2 Строк подання студентом дисертації 07 грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження високошвидкісні мобільні мережі.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) створення моделі радіопокриття з використанням UMTS та LTE технологій для передавання мультимедійного трафіку .

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: розглянути саму суть мультимедійного трафіку та методи його передачі, проаналізувати передачу мультимедійного трафіку в мобільних мережах, дослідити можливості та за яких умов можна забезпечити якісну передачу даних в мережах UMTS та LTE, змоделювати радіопокриття частини міста за обраними технологіями.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 12-14 слайдів презентації: характеристика роботи, формулювання завдання роботи, загальні характеристики понять мультимедійного трафіку та методів його передачі, загальна будова LTE та UMTS мереж, технології 3G та 4G, основні параметри технологій, розрахунок основних параметрів мережі та моделювання в програмному середовищі Atoll мережі UMTS та LTE, висновки.

7. Консультанти розділів дисертації

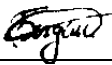
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання 1 вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	15.03.2020	виконано
2	Написання другого розділу	19.06.2020	виконано
3	Написання третього розділу	15.10.2020	виконано
4	Написання четвертого розділу	02.11.2020	виконано
	Написання п'ятого розділу	19.11.2020	виконано
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	01.12.2020	виконано
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	04.12.2020	виконано

Студент



(підпис)

Б. Г. Каліманов

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

П. В. Попович

(ініціали, прізвище)

УДК 004.738.5: 621.396.1

РЕФЕРАТ

Каліманов Б.Г. Особливості формування радіопокриття у високошвидкісних мобільних мережах з мультимедійним трафіком: магістерська дис. : 171 Електроніка. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020, 100 с.

Ключові слова: мультимедійний трафік, мобільні мережі, радіопокриття, UMTS, LTE.

Актуальність роботи. В наші часи дуже популярно використовувати мобільні мережі (мобільний Інтернет) для передачі даних, а саме, мультимедійного трафіку. Дивлячись навколо, ми можемо побачити, як скрізь на вулиці використовується мобільний Інтернет для перегляду відео, прослуховування музики, для відео- та аудіодзвінків або онлайн конференцій.

Для забезпечення якісної передачі такого типу трафіку технології GPRS або EDGE вже недостатньо. Тому для підтримки такого сервісу повинні використовуватись лише мережі 3-го або 4-го покоління. В той час, навіть 3G мережі не завжди можуть надати такий сервіс з необхідною якістю. Це обумовлено досить невисокою швидкістю передачі даних, порівняно з LTE. А також затримкою та джиттером, що є у кожному поколінні мобільних мереж.

Щоб надати необхідні сервіси, потрібно надійне та високоякісне радіопокриття, без «білих плям» та з високим рівнем сигналу.

Ця проблема і буде розглядатись у роботі та методи її вирішення.

Мета і завдання дослідження. *Метою* роботи є дослідження передавання мультимедійного трафіку та формування мережі, яка б могла забезпечити високий рівень надання сервісів з використання технологій UMTS та LTE. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *завдання*:

- розглянути саму суть мультимедійного трафіку та методи його передавання;

- проаналізувати передавання мультимедійного трафіку в мобільних мережах;
- дослідити можливості та за яких умов можна забезпечити якісне передавання даних в мережах UMTS та LTE;
- змодельовати радіопокриття частини міста за обраними технологіями.

Об’єкт дослідження – мультимедійний трафік у високошвидісних мобільних мережах з використанням технологій UMTS та LTE.

Предмет дослідження – створення радіопокриття за технологіями UMTS та LTE.

Методи дослідження – критичний аналіз технологій UMTS та LTE, використання програмного забезпечення Atoll для моделювання мережі за технологією UMTS та LTE.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано шляхи поліпшення зони обслуговування у висхідному та висхідному каналах високошвидкісних мереж з мультимедійним трафіком.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано модель радіопокриття високошвидкісних мереж за технологіями UMTS та LTE, отриману в середовищі Atoll для району міста Києва «Теремки-2». Змодельоване радіопокриття високошвидкісних мереж підтверджує здатність мереж UMTS та LTE забезпечувати з високою якістю абонентів мережі необхідними мультимедійними сервісами за всією зоною покриття.

Результати проведеної роботи можуть бути використані мобільними операторами України.

SUMMARY

Thesis: 100 p., 26 figs., 24 tables., 1 addition, 14 sources.

Key words: multimedia traffic, mobile networks, radio coverage, UMTS, LTE

Relevance of work. Nowadays, it is very popular to use mobile networks (mobile Internet) for data transmission, namely, multimedia traffic. Looking around, we can see how the mobile Internet is used everywhere on the street to watch videos, listen to music, for video and audio calls or online conferences.

GPRS or EDGE technology is not enough to ensure high-quality transmission of this type of traffic. Therefore, only 3rd or 4th generation networks should be used to support such a service. At the same time, new 3G networks can not always provide such a service with the required quality. This is due to the relatively low data rate compared to LTE. As well as the latency and jitter that is present in every generation of mobile networks.

To provide the necessary services, you need a reliable and high-quality radio coverage, without "white spots" and with a high signal level.

This problem will be considered in the work and methods of its solution.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, ОДИНИЦЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
1 ПОНЯТТЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПОСЛУГ, МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ ТА ЙОГО ПАРАМЕТРИ.....	12
1.1 Мультимедійний трафік та його мультимедійні послуги.....	12
1.2 Параметри мультимедійного трафіку.....	13
1.3 Поняття якості обслуговування мереж з мультимедійним трафіком...	16
2 ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ.....	19
2.1 Особливості передавання мультимедійних даних в мережах UMTS/HSPA.....	21
2.1.1 Особливості фізичного рівня WCDMA.....	24
2.1.2 Технологія HSDPA.....	31
2.1.3 Технологія HSUPA.....	35
2.2 Особливості передавання мультимедійних даних в мережах LTE/LTE-A/LTE-A Pro.....	38
2.2.1 LTE Advanced/LTE Advanced Pro.....	45
2.2.2 Основні вимоги до LTE-A.....	47
3 ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖ З МУЛЬТИМЕДІЙНИМ ТРАФІКОМ.....	50
3.1 Особливості планування мереж UMTS/HSPA.....	52
3.1.1 Шляхи поліпшення зони обслуговування в висхідному каналі.....	54
3.1.2 Шляхи поліпшення зони обслуговування в низхідному каналі.....	58
3.2 Особливості планування мереж LTE.....	60

3.2.1 Особливості використання верхніх і нижніх частот для LTE...	62
4 МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖ З МУЛЬТИМЕДІЙНИМ ТРАФІКОМ.....	64
4.1 Розрахунок радіопокриття для первної території міста Києва за технологією UMTS.....	67
4.1.1 Розрахунки параметрів мережі за обраною технологією.....	67
4.1.2 Вибір обладнання для мережі UMTS.....	69
4.1.3 Результати моделвання радіопокриття мережі за технологією UMTS.....	72
4.2 Розрахунок радіопокриття для первної території міста Києва за технологією LTE.....	75
4.2.1 Розрахунки параметрів мережі за обраною технологією.....	75
4.2.2 Вибір обладнання для мережі LTE.....	77
4.2.3 Результати моделвання радіопокриття мережі за технологією LTE.....	79
5 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	84
5.1 Список обраних ПО для порівняння.....	85
5.2 Функціонал обраних ПО.....	87
ВИСНОВКИ.....	91
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	93
Додаток А.....	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, ОДИНИЦЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

3GPP	–	3rd Generation Partnership Project (Проект партнерства третього покоління);
CDMA	–	Code Division Multiple Access (Множинний доступ кодового підрозділу);
EDGE	–	Enhanced Data rates for GSM Evolution (Покращена швидкість передачі даних для GSM Evolution);
FDD	–	Frequency Division Duplex (Дуплексний розподіл частот);
GPRS	–	General Packet Radio Service (Загальна пакетна радіослужба);
GSM	–	Global System for Mobile Communications (Глобальна система мобільного зв'язку);
HSDPA	–	High-Speed Downlink Packet Access (Високошвидкісний пакетний доступ вниз);
HSUPA	–	High-Speed Uplink Packet Access (Високошвидкісний пакетний доступ до висхідної лінії зв'язку);
IP	–	Internet Protocol (Інтернет протокол);
ITU-T	–	International Telecommunication Union — Telecommunication sector (Міжнародний союз електрозв'язку - сектор електрозв'язку)
LTE	–	Long Term Evolution (Тривалий розвиток);
NGN	-	Next Generation Network (Мережа наступного покоління);
NGN	–	Next Generation Network (Мережа наступного покоління);
QoS	–	Quality of Service (Якість обслуговування);
RNS	–	Radio Network Subsystem (Підсистема радіомережі);
TDD	–	Time Division Duplex (Дуплексний часовий розподіл);
UE	–	User Equipment (Користувацьке обладнання);
UMTS	–	Universal Mobile Telecommunications System (Універсальна система мобільного зв'язку);
UTRA	–	UMTS Terrestrial Radio Access (Наземний радіодоступ UMTS);

- VoIP – Voice over IP (Передача голосу через IP);
- VoLTE – Voice over LTE (Передача голосу через LTE);
- WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access (Широкосмуговий розподіл кодів із множинним доступом).

ВСТУП

IP-мережі створювалися для передачі трафіку даних, особливістю якого є нерівномірність передачі і вимога до цілісності переданих даних. Наприклад, архівний файл повинен бути переданий з максимальною швидкістю і без помилок. Трафік даних нечутливий до часових параметрів. При перегляді вмісту веб-сайту затримка відображення web-сторінки в межах декількох секунд несуттєва.

Мультимедійний трафік зовсім іншого роду. При передачі мультимедійного трафіку дані повинні передаватися рівномірним потоком. При цьому важливими параметрами є затримка пакета і дисперсія затримки (джиттер), в той час як допускається часткова втрата даних. Це пояснюється тим, що передана інформація повинна відтворюватися негайно. Якщо при передачі аудіотрафіка був втрачений один пакет за секунду, то користувач цього швидше за все не помітить. Якщо ж пакети матимуть високу затримку або високу дисперсію затримки, то на приймальній стороні звук буде перериватися, і якість виявиться незадовільним.

Тому для забезпечення високого рівня передачі мультимедійного трафіку, потрібне якісне покриття мобільної мережі, яке зможе забезпечити потрібну швидкість, низький відсоток втрат та затримок.

1 ПОНЯТТЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПОСЛУГ, МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ ТА ЙОГО ПАРАМЕТРИ

Мультимедійний трафік. Під мультимедійним трафіком розуміється цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, які сприймаються органами чуття людини (зазвичай звукова та/або відеоінформація). Мультимедійні потоки даних передаються по телекомунікаційних мереж з метою надання віддалених інтерактивних послуг. Найбільш поширеними на сьогоднішній день мультимедійними послугами, наданими користувачам мережі, є: відеотелефонія, високошвидкісна передача мультимедійних даних, IP-телефонія, цифрове телевізійне мовлення, мобільна відеозв'язок і цифрове відео за запитом.

Залежно від типу сервісу виділяються дві основні категорії мультимедійного трафіку:

1) трафік реального часу, що дає мультимедійні послуги для передачі інформації між користувачами в реальному масштабі часу;

2) трафік звичайних даних, який утворюється традиційними розподіленими послугами сучасної телекомунікаційної мережі, таких, як електронна пошта, передача файлів, віртуальний термінал, віддалений доступ до баз даних і ін[1].

1.1 Мультимедійний трафік та його мультимедійні послуги

Послуги, що генерують трафік реального часу:

IP-телефонія. Здійснює передачу голосу між двома абонентами мережі, в якій, використовується протокол IP (Internet Protocol). Для організації сервісу «IP-телефонія» можуть бути використані локальні, корпоративні, глобальні мережі, а також мережу Інтернет.

Високоякісний звук. Цей сервіс здійснює передачу високоякісного звуку, наприклад, музики, виступів, концертів, тощо.

Відеотелефонія. Здійснює передачу мови та зображення людини, з досить невисокою якістю.

Відеоконференція. Здійснює передачу голосу і відео між групою користувачів, причому звукові та відеосигнали передаються окремо один від іншого.

Дистанційне медичне обслуговування. Цей сервіс дає змогу проводити дистанційне обстеження та консультацію хворих.

Відеомоніторинг. Застосовується для організації охоронних систем та відеоспостереження.

Мовлення радіо і телевізійних програм. Сервіс здійснює трансляції радіо- і телевізійних каналів за цифровою телекомунікаційною мережею.

Цифрове телебачення. Здійснює трансляцію високоякісного цифрового телебачення в залежності від запитів клієнтів.

1.2 Параметри мультимедійного трафіку

Є безліч моделей опису трафіку в різних телекомунікаційних мережах.

У загальному випадку мультимедійний трафік деякої послуги представляється у вигляді випадкового процесу. Нехай миттєве значення трафіку - є число блоків інформації, які генерує відповідний сервіс в одиницю часу. Тоді в найбільш загальному випадку випадковий процес $B(t)$ описується сімейством функції розподілу $F_{B(t)}(x)$, де

$$F_{B(t)}(x) = \text{Вер} \{B(t) \leq x\}$$

Для визначення параметрів мультимедійного трафіку, як правило, використовуються характеристики, які затверджені рекомендаціями ІТУ-Т. Ці характеристики описують інтегральні параметри випадкового процесу $B(t)$, приклад реалізації якого наведено на рис 1.

До характеристик мультимедійного трафіку, відносяться наступні:

- значення трафіку, (як швидко передається), біт/с;
- коефіцієнт пульсації
- середня тривалість піку;
- середня тривалість одної сесії зв'язку;
- формати елементів трафіку;
- розмір пакету;
- інтенсивність запитів.

Максимальне значення трафіку - v . Максимальне число блоків інформації, яке відповідний сервіс генерує в одиницю часу, визначається як:

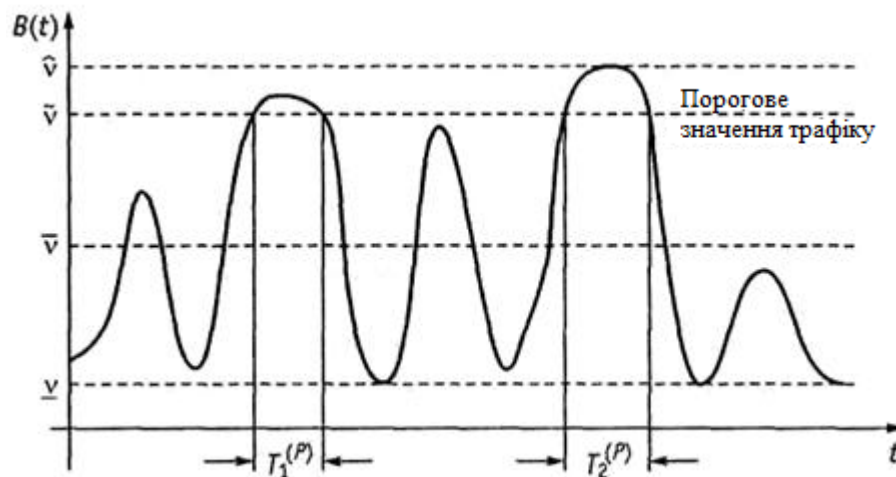


Рисунок 1.1 – Основні параметри мультимедійного трафіку

Пікове значення трафіку. Трафік, який перевищує піковий поріг, встановлений для нього \tilde{v} .

Середнє значення трафіку \bar{v} . Відповідає середньому числу блоків інформації, яке може сгенерувати сервіс в одиницю часу, визначається як:

$$\bar{v} = \frac{1}{T^{(s)}} \int_0^{T^{(s)}} B(t) dt$$

де $T^{(s)}$ - протяжність сеансу зв'язку

Мінімальне значення трафіку $\underline{\nu}$. Мінімальна кількість блоків інформації, яке відповідний сервіс генерує в одиницю нрмені, визначається як

$$\underline{\nu} = \min B(f)$$

Коефіцієнт пачкового трафіку K . Визначається як відношення між максимальним і середнім трафіком, яке відноситься до відповідного сервісу. Коефіцієнт пачкового трафіку обчислюється за формулою:

$$K = \frac{\nu}{\bar{\nu}}$$

Середня тривалість піку $\bar{T}^{(P)}$. Інтервалу часу, протягом якого сервіс генерує піковий трафік, обчислюється за формулою:

$$\bar{T}^{(P)} = \frac{1}{N^{(P)}} \sum_{i=1}^{N^{(P)}} T_i^{(P)}$$

де $N^{(P)}$ - кількість піків протягом сеансу зв'язку; $T_i^{(P)}$ - тривалість і-піку процесу $B(t)$, $i=1, \dots, N^{(P)}$, а тривалість і-піку визначається виразом:

$$T_i^{(P)} = t_i^{(B)} - t_i^{(S)}$$

де $t_i^{(B)}$, $t_i^{(S)}$ - моменти початку і закінчення і-піку, які визначаються наступними виразами:

$$t_i^{(S)} = \min t, \quad t_i^{(B)} = \min t, \quad \text{де } t_0^{(S)}, t_0^{(B)} = 0.$$

Перераховані вище параметри використовуються для опису графіка відповідного сервісу протягом одного сеансу зв'язку з абонентом сервісу.

Інтенсивність запитів λ на отримання обслуговування абонентами мережі у відповідного сервісу визначається як середнє число надійшли запитів на обслуговування в одиницю часу.

Середня тривалість сеансу зв'язку \bar{T}^s - середня тривалість інтервалу часу, протягом якого цей сервіс обслуговує надійшов запит.

Максимальний розмір пакета S - максимальний розмір елемента трафіку в бітах (елемент трафіку передається адресату як єдине ціле).

Середній розмір пакета \bar{S} - середній розмір елемента трафіку в бітах.

Мінімальний розмір пакета S - мінімальний розмір елемента трафіку в бітах[3].

Деякі типові параметри трафіку, що генерується відповідними джерелами, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри трафіку мультимедійних послуг

Тип мультимедійного сервісу	Параметри мультимедійних трафіків					
	ν , Мбіт/с	$\bar{\nu}$, Мбіт/с	K	$T^{(P)}$, с	$T^{(S)}$, с	λ , сеанс/доб
ІР-телефонія	0,064	0,064	1	100	100	5
Високоякісний звук	1	1	1	53	53	3
Відеотелефонія	10	2	5	1	100	6
Відеоконференція	10	2	5	1	1000	6
Дистанційне медичне обслуговування	10	2	5	1	1000	3
Відеомоніторинг	10	2	5	-	-	6
Мовлення радіо і телевізійних програм	34	34	1	-	-	6
Цифрове телебачення	34	34	1	-	5400	6

1.3 Поняття якості обслуговування мереж з мультимедійним трафіком

Поняття «якість обслуговування» також можна назвати іншим поняття «якість сервісу» або QoS

термін «клас обслуговування» визначає більш-менш стандартизований набір функцій, що характеризують певну службу (service) або набір служб (service package). «Якість сервісу» (quality of service, QoS) - більш точний термін, в основному використовується для визначення набору вимірюваних параметрів сервісу. У IP-мережі QoS може представлятися, наприклад, продуктивністю передачі IP-пакетів через одну або більше число мереж.

Крім завдань по збільшенню продуктивності і надійності мереж, постачальники мережевих сервісів прагнуть до надання користувачеві «наскрізного» (end-to-end), гарантованого якості сервісу для передачі різних типів даних, включаючи відео, мультимедіа та голос.

В якості першого кроку до досягнення поставленої мети необхідно визначення невеликого набору вимірюваних параметрів, що характеризують якість сервісу і можливості постачальників мережевих сервісів - сервіс-провайдерів. Розглянемо ці параметри:

готовність сервісу (service availability). Визначає надійність з'єднань користувачів з сервіс-провайдером;

затримка (delay). Характеризує інтервал між прийомом і передачею пакетів;

варіація, або флуктуація, затримки (jitter). Параметр, що описує можливі відхилення від часу затримки при передачі пакетів;

продуктивність, або пропускна здатність (throughput) - швидкість передачі пакетів в мережі; виділяють середню (average rate) і пікову (peak rate) швидкості;

швидкість втрати пакетів (packet loss rate) - максимальна швидкість, на якій пакети можуть бути відкинуті під час передачі по мережі; втрата пакетів зазвичай відбувається внаслідок перевантажень мережі (congestion).

Отже, важливою частиною майбутніх мереж повинні стати механізми підвищення якості сервісу мережі. Завдання полягає в тому, щоб забезпечити на всьому протязі мережі, незалежно від її масштабів і використовуваних протоколів, гарантовану доставку даних в рамках певних фіксованих

параметрів передачі. Такими параметрами є готовність сервісу, затримка, варіація затримки, пропускна здатність і швидкість втрати пакетів[4].

Висновки до розділу

У першому розділі розглянуто поняття мультимедійного трафіку. Визначено деякі его основні параметри та наведено мінімальні та максимальні значення параметрів для забезпечення певних видів сервісів. Наведено параметри якості обслуговування мереж с мультимедійним трафіком для забезпечення абонентів необхідними послугами.

2 ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Розвиток телекомунікаційних мереж визначається трьома факторами: ростом трафіку, потребою суспільства в нових послугах і досягненнями в області технологій. Зрозуміло, ці фактори не є незалежними, проте кожен з них визначає ідеологію розвитку електрозв'язку. Так, конкуренція серед постачальників устаткування і технологічні досягнення призвели до зниження вартості обладнання, а це, в свою чергу, стимулювало зростання трафіку і розробку нових послуг.

Трафік фіксованих мереж зростає з високою і постійною швидкістю з початку 1980-х років. Так, світовий трафік Інтернет ріс в світі в останні роки на 60-80% щорічно, а число абонентів широкосмугових мереж збільшувалася з середньою швидкістю 60%.

Потреби суспільства в нових послугах, зростання трафіку призводять до зміни ідеології побудови мереж приблизно кожні 10 років. Так, в 1980-х роках з'явилися оптичні технології; аналогові бездротові мережі; широко поширилися мережі на основі стандарту X.25. У 1990-х роках активно розвивалися оптичні технології, засновані на мультиплексуванні з поділом і ущільненням по довжині хвилі; розроблялися і впроваджувалися мобільні мережі 2-го покоління; почалося використання Інтернет в комерційних додатках.

Сьогодні ми говоримо про мережі наступного покоління (Next Generation Network, NGN). NGN визначається як концепція побудови мереж зв'язку, що забезпечують надання великої, майже необмеженої, кількості послуг з гнучкими можливостями відносно їх управління, персоналізації і створення нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень, в якій закладено реалізацію універсальної транспортної мережі з відокремленою комутацією, винесення функціоналу, щодо надання послуг в кінцеві мережеві вузли і кореляцію з іншими, традиційними, мережами зв'язку.

Основним принципом концепції NGN є відділення друг від друга функцій перенесення і комутації, функцій управління викликами і функцій управління послугами.

Функціональна модель мереж NGN в загальному вигляді може бути представлена трьома рівнями - транспортним, управління комутацією і передачею інформації, управління послугами.

До основних завдань транспортного рівня відноситься прозора передача інформаційних потоків, а також підтримка взаємодії з існуючими мережами зв'язку.

На рівні управління комутацією і передачею здійснюється обробка інформації сигналізації і управління викликами.

Рівень управління послугами забезпечує управління логікою послуг і додатків.

Таке функціональний розподіл дозволяє уніфікувати завдання управління викликами, відокремивши їх від особливостей застосовуваних технологій передачі і комутації. В результаті стає можливим використовувати одну і ту ж логіку послуги незалежно від типу транспортної мережі (IP, ATM, тощо), а також способу доступу.

NGN може бути охарактеризована як мультисервисная мережу зв'язку з децентралізованим управлінням послугами. Її основу складає універсальна транспортне середовище з розподіленою комутацією пакетів. Крім традиційних мережевих вузлів (мультиплексорів, комутаторів і маршрутизаторів) до складу такої мережі можуть входити контролери сигналізації і шлюзовий обладнання різного призначення. Доступ до послуг NGN, що надаються за допомогою спеціалізованих серверів, здійснюється через кінцеві і крайовий-транзитні вузли, що виконують функції вузлів служб.

2.1 Особливості передавання мультимедійних даних в мережах UMTS/HSPA

UMTS - Універсальна система мобільного зв'язку, є наступником 3G сімейства стандартів GSM, включаючи GPRS та EDGE.

3G UMTS використовує зовсім інший радіоінтерфейс, заснований на використанні спектра розширення прямої послідовності як CDMA або множинного доступу з кодовим поділом.

Незважаючи на те, що 3G UMTS використовує зовсім інший стандарт радіодоступу, основна мережа така ж, як та, що використовується для GPRS та EDGE для передачі окремих комутованих голосових та пакетних даних з комутацією каналів.

UMTS використовує широкопasmову версію CDMA, що займає канал шириною 5 МГц. Будучи ширшою за свою конкуренцію CDMA2000, яка використовувала лише канал 1,25 МГц, схема модуляції була відома як широкопasmовий CDMA або WCDMA/W-CDMA. Ця назва часто використовувалася для позначення всієї системи.

Для створення та управління такою складною системою, як UMTS або WCDMA, необхідно розробити та підтримувати велику кількість документів та специфікацій. Для UMTS або WCDMA зараз ними керує група, відома як 3GPP - програма партнерства третього покоління. Це глобальна співпраця між шістьма організаційними партнерами - ARIB, CCSA, ETSI, ATIS, TTA та TTC.

Сфера 3GPP полягала у підготовці загальноприйнятих Технічних специфікацій та Технічних звітів для системи мобільного зв'язку третього покоління. Це базуватиметься на основних мережах GSM та технологіях радіодоступу, які вони підтримують (тобто, універсальний наземний радіодоступ (UTRA) як дуплексний поділ частоти (FDD), так і дуплексний режим часового поділу (TDD)).

З моменту свого створення компанія 3GPP також взяла на себе відповідальність за стандарти GSM, а також розглядала майбутні розробки, включаючи LTE (Long Term Evolution) та технологію 4G, відому як LTE Advanced.

Система UMTS WCDMA запропонувала значне покращення можливостей порівняно з попередніми послугами 2G.

Таблиця 2.1 - Підсумки специфікації UMTS

Максимальна швидкість передачі даних	Низький діапазон 2048 кбіт/с 384 кбіт/с у місті та на вулиці
Пропускна здатність радіочастотного каналу	5 МГц
Схема багаторазового доступу	CDMA
Дуплексні схеми	FDD та TDD

UMTS використовує широкосмуговий CDMA - WCDMA - як стандарт радіопередачі. Він використовує смугу пропускання каналу 5 МГц. Використовуючи цю смугу пропускання, він здатний переносити понад 100 одночасних голосових дзвінків, або він може передавати дані зі швидкістю до 2 Мбіт/с у вихідному форматі. Однак з пізнішими вдосконаленнями HSDPA та HSUPA (описаними в інших статтях, доступних зі сторінки меню стільникового зв'язку), включеними в наступні випуски стандарту, швидкість передачі даних була збільшена до 14,4 Мбіт/с.

Багато ідей, які були включені в GSM, були перенесені та вдосконалені для UMTS. Такі елементи, як SIM, перетворені на набагато потужніший USIM (універсальна SIM). На додаток до цього, мережа була розроблена таким чином, що вдосконалення, що використовуються для GPRS та EDGE, можуть бути використані для UMTS. Таким чином необхідні інвестиції зводяться до мінімуму.

Новим вступом для UMTS є те, що існують специфікації, які дозволяють використовувати дуплексний режим із частотним поділом (FDD) і дуплексний з часовим поділом (TDD). Першими режимами, що застосовуються, є режими FDD, де висхідна та низхідна лінія перебувають на різних частотах. Інтервал між ними становить 190 МГц для мереж діапазону 1, які зараз використовуються та розгорнуті.

Однак режим TDD, де висхідна та низхідна лінія розділяються в часі з базовими станціями, а потім мобільні, що передають поперемінно на одній і тій же частоті, особливо підходить для різних застосувань. Очевидно, що там, де спектр обмежений, а парні смуги, розташовані належним чином, недоступні. Він також добре працює там, де слід використовувати дрібні клітини. Оскільки охоронний час необхідний між передачею та прийомом, він буде меншим, коли час транзиту менший внаслідок подолання менших відстаней. Подальша перевага виникає внаслідок того, що встановлено, що набагато більше даних передається по низхідній лінії зв'язку в результаті веб-серфінгу, завантаження відео тощо. Це означає, що часто краще розподілити більше пропускнує спроможності для низхідної лінії зв'язку. Там, де використовується парний спектр, це неможливо. Однак, коли використовується система TDD, можна змінити баланс між передачами по низхідній і висхідній лініях, щоб усунути цей дисбаланс і тим самим підвищити ефективність. Таким чином, системи TDD можуть бути високоефективними при використанні в пікоелементах для передачі Інтернет-даних. Системи TDD не були широко розгорнуті, але це може трапитися в майбутньому. З огляду на його характер, його часто називають TD-CDMA (Time Division CDMA).

2.1.1 Особливості фізичного рівня WCDMA

Перший проект Партнерства третього покоління з множинним доступом (3GPP) широкосмугових мереж з кодовим поділом (WCDMA) був запущений в 2002 році. В кінці 2005 року було відкрито 100 мереж WCDMA і в цілому більше 150 операторів з ліцензіями на роботу частот WCDMA. В даний час мережі WCDMA розгорнуті в діапазоні UMTS близько 2 ГГц в Європі і Азії, включаючи Японію і Америку, Корею. WCDMA розгорнуто в 850 і 1900 існуючих частотних розподілів, і нова смуга 3G 1700/2100 повинна з'явитися в найближчому майбутньому. 3GPP визначила роботу WCDMA для кількох додаткових смуг, які, як очікується, будуть введені в експлуатацію в найближчі роки.

У міру збільшення проникнення мобільного зв'язку WCDMA мережі WCDMA несуть велику частку голосового трафіку і трафіку даних. Технологія WCDMA надає оператору деякі переваги в тому сенсі, що вона дозволяє отримувати дані, але також покращує голосову базу. Пропонована пропускна здатність дуже висока через механізмів контролю перешкод, включаючи повторне використання частоти 1, швидке управління потужністю і м'яку передачу обслуговування[5].

WCDMA може запропонувати набагато більше голосових хвилин клієнтам. Тим часом, WCDMA може також поліпшити широкосмуговий голосовий зв'язок за допомогою кодека AMR, який явно забезпечує кращу якість голосу, ніж фіксований телефонний зв'язок. Коротше кажучи, WCDMA може запропонувати більше голосових хвилин з кращою якістю.

Існує кілька ключових областей 3G UMTS / WCDMA. Серед них є кілька ключових технологій, які були використані, щоб дозволити UMTS / WCDMA забезпечити швидкість у порівнянні з попередниками 2G.

Деякі з цих ключових областей включають:

Радіоінтерфейс: Радіоінтерфейс UMTS забезпечує базове визначення радіосигналу. W-CDMA займає канали 5 МГц і має визначені формати для таких елементів, як синхронізація, управління потужністю тощо.

Технологія CDMA: 3G UMTS покладається на схему, відому як CDMA або розділення коду, багаторазовий доступ, щоб забезпечити доступ кількох слухавок або користувачького обладнання до базової станції. Використовуючи схему, відому як спектр розширення прямої послідовності, різні UE мають різні коди і всі вони можуть розмовляти з базовою станцією, хоча всі вони на одній і тій же частоті.

На додаток до високої спектральної ефективності WCDMA третього покоління (3G) забезпечує ще більш суттєва зміна пропускної здатності базової станції і ефективності обладнання. Високий рівень інтеграції в WCDMA досягається завдяки широкосмугового несучої: для забезпечення однакової пропускної здатності потрібна велика кількість користувачів, підтримуваних цієї несучої, і менша кількість радіочастотних (РЧ) несучих.

З меншою кількістю радіочастотних частин і великою кількістю цифрової обробки основної смуги частот WCDMA може скористатися перевагами швидкого розвитку можливостей цифрової обробки сигналів. Рівень інтеграції високої базової станції дозволяє ефективно створювати сайти з високою пропускною здатністю, оскільки можна уникнути складності РЧ-сумматоров, додаткових антен або силових кабелів. Оператори WCDMA можуть надавати корисні послуги передачі даних, в тому числі навігацію, відеодзвінки від людини до людини, спортивні змагання і відео, а також нові відеоролики мобільного телебачення.

WCDMA забезпечує одночасну передачу голосу і даних, що дозволяє, наприклад, переглядати веб-сторінки або електронну пошту при проведенні голосових конференцій або обміну відео в реальному часі під час голосових дзвінків.

Оператори також пропонують мобільне підключення до Інтернету і корпоративної інтрамережі з максимальною швидкістю передачі даних 384

кбіт / с по низхідній лінії зв'язку і по обом каналам зв'язку. Перші термінали і мережі були обмежені висхідною лінією зв'язку від 64 до 128 кбіт / с, в той час як останні продукти забезпечують висхідну лінію зв'язку 384 кбіт / с.

Архітектура мережі UMTS була розроблена, щоб забезпечити передачу пакетних даних по мережі, в той же час дозволяючи їй підтримувати комутацію голосом. Також підтримуються всі звичайні функції, що забезпечують доступ до мережі, роумінгу тощо.

У форматі сигналу CDMA використовуються різні форми модуляції. Це, як правило, форми фазової маніпуляції.

Канали UMTS: Як і в будь-якій стільниковій системі, для передачі даних корисного навантаження, а також контрольної інформації та забезпечення можливості розподілу необхідних ресурсів потрібні різні канали даних. Для здійснення цих можливостей використовується безліч різних каналів передачі даних.

UMTS TDD: Існує два методи забезпечення дуплекса для 3G UMTS. Одним із них називається дуплекс з частотним поділом, FDD. Тут використовуються два канали, розташовані на достатній відстані, щоб приймач міг приймати, поки передавач також працює. Інший метод полягає у використанні дуплексного зору, TDD, де короткі часові блоки виділяються для передач в обох напрямках. За допомогою цього методу потрібен лише один канал

Передача: Однією з ключових областей будь-якої стільникової телекомунікаційної системи є передача (передача) від однієї комірки до іншої. За допомогою CDMA існує кілька форм передачі, які реалізовані в системі.

Базова стільникова система 3G UMTS дозволила досягти швидкості передачі даних до 2048 кбіт/с. Однак, оскільки використання даних швидко зростало, цих цифр вже не було достатньо, і потрібно було подальше збільшення швидкості передачі даних.

Схема, відома як HSDPA, високошвидкісний доступ до завантаження пакетів була вперше представлена, щоб забезпечити збільшення швидкості

низхідної лінії зв'язку. За цим було застосовано HSUPA, введено високошвидкісний пакет висхідної лінії зв'язку. Комбінований набір тоді називали HSPA, високошвидкісний пакетний доступ.

Базовий 3G UMTS зміг забезпечити хороший приріст продуктивності даних порівняно з GPRS та EDGE, хоча очікуване використання відео не відбулося, коли була введена основна форма UMTS. Це було занадто повільно, особливо коли багато користувачів були підключені. Однак вдосконалення з точки зору HSPA допомогли збільшити продуктивність, а використання даних зросло набагато швидше.

Мережа UMTS базувалася на мережі, що використовується для 2G, хоча були помічені серйозні зміни в деякій термінології та мережі радіодоступу.

Зі зміною з 2G на 3G акцент на системах змінився з фокусу на мобільний голосовий зв'язок на мобільну передачу даних та загальне підключення.

Основи мережі UMTS були створені на момент запуску GSM. Це забезпечило основні елементи доступу, а також голос із комутацією каналів. Додаткові пакетні дані з GPRS вимагали додавання додаткових мережевих об'єктів. Саме поєднання цих двох мережевих елементів послужило основою для мережевої архітектури 3G UMTS.

Мережа радіодоступу значно змінилася, оскільки був використаний абсолютно новий радіоінтерфейс, заснований на використанні CDMA. Також назва телефонної трубки було змінено на користувацьке обладнання, що вказує на зміну його використання з просто голосового телефону на набір даних, який міг бути телефоном, КПК або ноутбуком, причому для багатьох ноутбуків потрібен 3G-ключ для підключення до порту USB.



Рисунок 2.1 – 3G радіовежа

Архітектуру мережі UMTS можна розділити на три основні елементи:

Користувацьке обладнання (UE): Користувацьке обладнання або UE - це назва, що раніше називалася мобільним або мобільним телефоном. Нову назву було обрано, оскільки значно більша функціональність, яку могло мати UE. Це також може бути щось між мобільним телефоном, що використовується для розмови з терміналом передачі даних, підключеним до комп'ютера без голосової можливості.

Підсистема радіомережі (RNS): RNS, також відома як мережа радіодоступу UMTS, UTRAN, є еквівалентом попередньої підсистеми базової станції або BSS в GSM. Він забезпечує та управляє повітряним інтерфейсом для загальної мережі.

Основна мережа: Основна мережа забезпечує всю центральну обробку та управління системою. Це еквівалент підсистеми комутації мережі GSM або NSS.

Тоді основною мережею є загальний об'єкт, який взаємодіє із зовнішніми мережами, включаючи загальнодоступну телефонну мережу та інші мережі стільникового зв'язку.

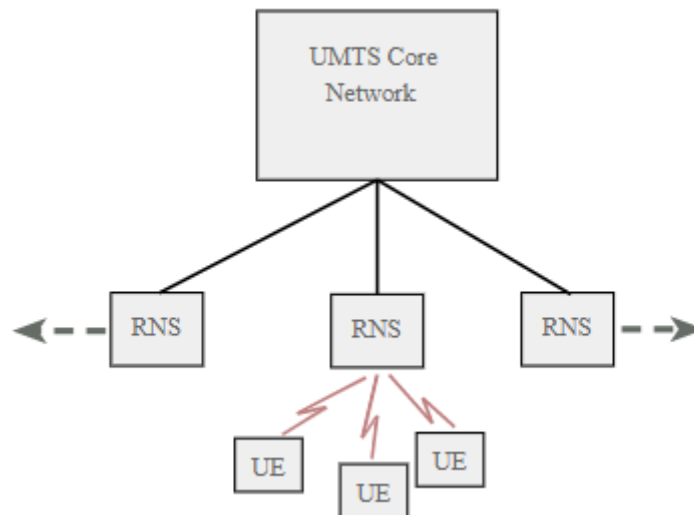


Рисунок 2.2 – Схематичний вигляд UMTS мережі

Обладнання користувача або UE є головним елементом загальної архітектури мережі 3G UMTS. Він формує остаточний інтерфейс з користувачем. З огляду на набагато більшу кількість застосунків та засобів, які він може виконувати, було прийнято рішення назвати його користувацьким обладнанням, а не мобільним. Однак це, по суті, телефон (у найширшій термінології), хоча, маючи доступ до набагато швидших передач даних, він може бути набагато універсальнішим, що містить набагато більше програм. Він складається з безлічі різних елементів, включаючи ВЧ-схему, обробку, антену, акумулятор тощо.

У UE є ряд елементів, які можна описати окремо:

Радіочастотна схема UE: Радіочастотні області обробляють усі елементи сигналу, як для приймача, так і для передавача. Однією з головних проблем для ВЧ-підсилювача було зменшення споживання енергії. Форма модуляції, що використовується для W-CDMA, вимагає використання лінійного підсилювача. Вони за своєю суттю приймають більше струму, ніж нелінійні підсилювачі, які можуть бути використані для форми модуляції, що використовується на GSM. Відповідно для підтримання часу автономної роботи в багатьох конструкціях були введені заходи для забезпечення оптимальної ефективності.

Обробка базової смуги: Обробка базової смуги сигналів складається в основному з цифрових схем. Це значно складніше, ніж те, що використовувалося в телефонах попередніх поколінь. Знову ж це оптимізовано з метою зменшення поточного споживання наскільки це можливо.

Акумулятор: Хоча споживання струму було мінімізовано, наскільки це можливо, у схемі телефону, спостерігається збільшення розряду струму на акумуляторі. Оскільки користувачі очікують такого ж терміну служби між зарядкою акумуляторів, як і на телефонах попереднього покоління, це викликало необхідність використання нових та вдосконалених технологій акумуляторів. Зараз використовуються літій-іонні (літій-іонні) акумулятори. Ці телефони залишаються невеликими та відносно легкими, зберігаючи або навіть покращуючи загальний термін служби між зарядами.

Універсальний модуль ідентифікації абонента, USIM: UE також містить SIM-карту, хоча у випадку UMTS це називається USIM (універсальний модуль ідентифікації абонента). Це більш вдосконалена версія SIM-картки, що використовується в GSM та інших системах, але містить ті самі типи інформації. Він містить Міжнародний ідентифікаційний номер мобільного абонента (IMSI), а також Міжнародний номер мобільної станції ISDN (MSISDN). Інша інформація, що зберігається в USIM, включає бажану мову для відображення правильної мовної інформації, особливо під час роумінгу, а також перелік бажаних та заборонених громадських наземних мобільних мереж (PLMN).

USIM також містить зону зберігання коротких повідомлень, яка дозволяє повідомленням залишатися з користувачем навіть при зміні телефону. Подібним чином зберігаються номери "телефонної книги" та інформація про дзвінки на номери вхідних та вихідних дзвінків.

UE може приймати різні форми, хоча найпоширенішим форматом все ще є версія "мобільного телефону", хоча вона має багато можливостей передачі даних. Інші широкосмугові ключі також широко використовуються[9].

2.1.2 Технологія HSDPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) - це технологія високошвидкісної передачі даних в downlink. Поряд з HSUPA входить в сімейство технологій високошвидкісної передачі даних HSPA (High Speed Packet Access) для мереж UMTS. Максимально швидкість складає 14,4 Мбіт / сек. Метод, за допомогою якого, вдалося досягти збільшення швидкості передачі даних був взятий з мереж другого покоління (2G), або іншими словами, зі стандарту GSM. Технологія EDGE у свій час дозволила збільшити швидкість передачі даних в мережах 2G більш ніж в 2 рази, порівнянно з технологією GPRS, за рахунок нового способу частотної модуляції. В технології HSDPA також застосовується новий метод модуляції на радіоінтерфейсу між радіовежею та користувацьким обладнанням - 16-QAM. Завдяки цьому, в одній порції посланого сигналу може передаватися втричі більше інформації.

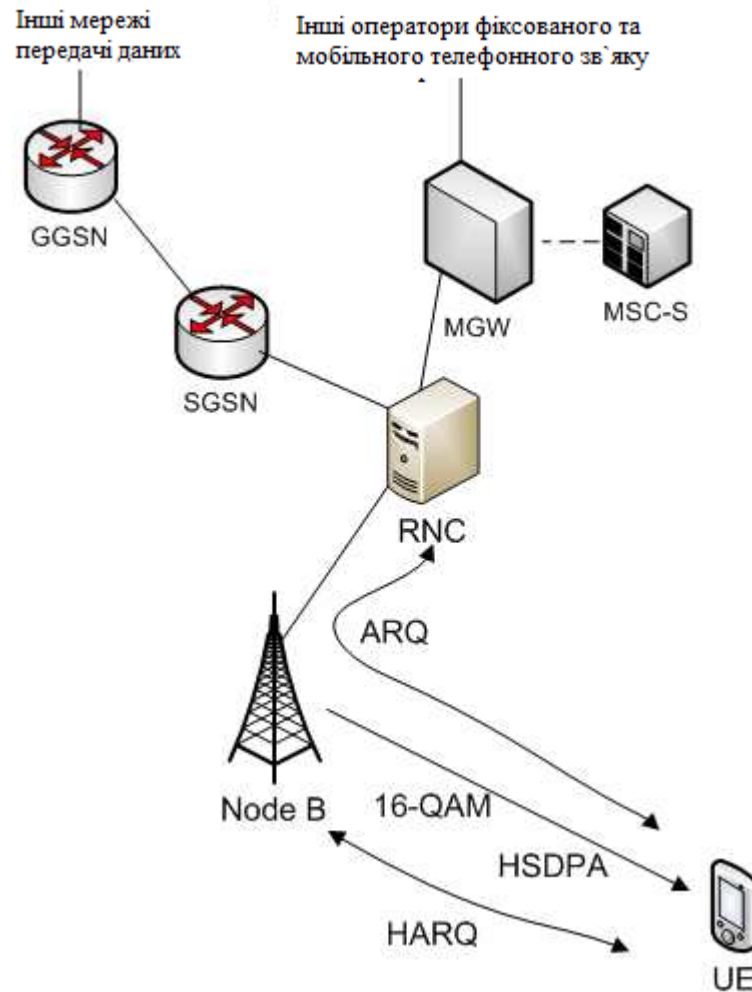


Рисунок 2.3 – місце технології HSDPA у мережі UMTS

Однак, це не єдина вагома зміна, в порівнянні з GPRS / EDGE. Поряд з новим методом модуляції сигналу HSDPA передбачає також використання швидкісної системи автоматичних перезапроса HARQ (Hybrid automatic repeat request). Цей механізм відповідає за автоматичний перезапроса втрачених або зіпсованих помилок пакетів. Подібний механізм під назвою ARQ (Automatic repeat request) вже використовувався в релізі R99. Однак перезапитує мережевим елементом для ARQ служив RNC (Radio Network Controller). На практиці відомо, що найбільшим заважає впливів (перешкод, перекручувань) інформаційний сигнал піддається на інтерфейсі між UE і NodeB, а далі до RNC сигнал передається в системах зв'язку (радіорелейний лінія зв'язку (РРЛ), волоконно-оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ), тощо), яка менше схильна до зовнішніх впливів і, як правило, має власні механізми захисту від перешкод. У

зв'язку з цим виявилось доцільно перезапитує спотворені пакети в NodeB, що значно скоротить очікування повторної передачі. Самі пакети були зменшені в розмірах в 10 разів, що також сприяє скороченню часу очікування. Крім того, на радіоінтерфейсу були введені спеціальні канали, які мають специфічні особливості сприяють збільшенню швидкості передачі даних.

Таким чином, всі ці нововведення в купе дозволили збільшити швидкість передачі даних в напрямку downlink більш ніж в 7 разів. На практиці швидкості передачі даних можуть легко досягати значень близько 2 Мбіт/сек. Цього цілком достатньо для завантаження файлів великих обсягів і перегляду потокового відео високої чіткості (HDTV)[7].

Аналіз переваг та недоліків

Основна перевага пакетного доступу HSDPA полягає в значно більшій швидкості передавання даних – понад 10 Мбіт/с в пікові моменти на 15 мультикодах. Ця перевага залежить від виду модуляції, що застосовується в конфігураціях (рис. 2.4).

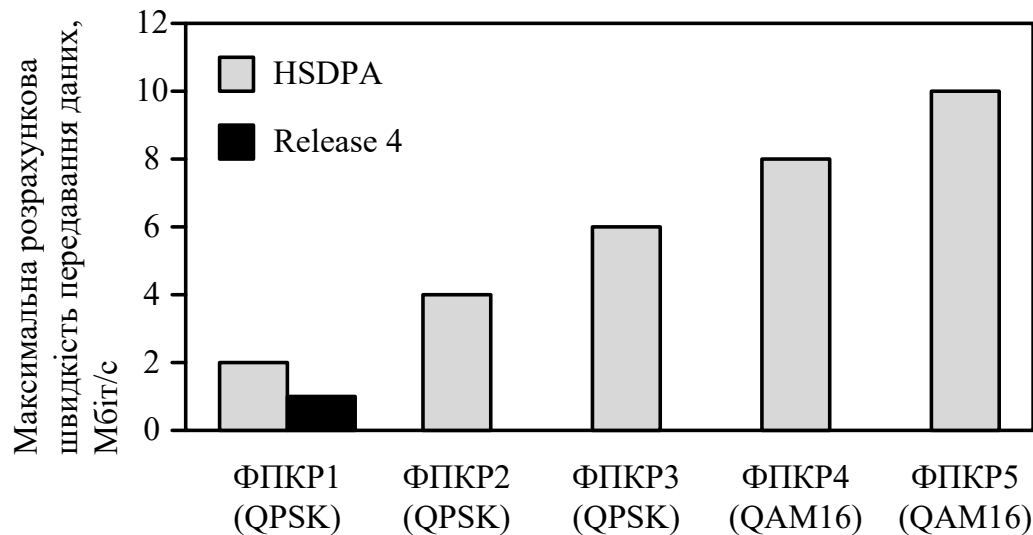


Рисунок 2.4 – Порівняння швидкостей передавання даних в ФПКР

На практиці можливість досягнення пікової швидкості може бути значно нижчою теоретичної величини, проте вона поліпшена порівняно з можливостями системи доступу UTRAN 4-ої версії (Release 4). Крім того, значно знижена затримка проходження сигналу і підвищена ємність стільника. Усе це безпосередньо вплинуло на ефективність використання спектру системи, і на здатність системи ефективно з централізованими службами даних. В зв'язку з цим основна увага спрямована на перенесення інформації, інтерактивну роботу і другорядні послуги, а не послуги реального часу.

Пакетний доступ HSDPA має певні недоліки: хоча і підтримується сумісність з попередніми версіями, але порівняно з 4-ою версією необхідна модернізація і оновлення радіоінтерфейсу та структури мережі.

Зміни, що вносить пакетний доступ HSDPA в архітектуру UMTS:

мережна архітектура: пакетний доступ HSDPA вимагає перенесення значної частини функцій підтримки передавання пакетів, що призводить до більш розподіленої її структури;

фізичний рівень: нові методи адаптивної модуляції і кодування надають значні можливості модифікації структури фізичного рівня, а саме структури каналів мультиплексування, тактової синхронізації і процедур, необхідних для роботи системи HSDPA;

швидке планування означає ефективнішу роботу системи управління доступом до передавального середовища MAC, та її тіснішу взаємодію з фізичним рівнем;

швидка ретрансляція може бути реалізована введенням більшого об'єму сигналізації управління, і вдосконалених методів ретрансляції.

З урахуванням зазначених прикладів впровадження системи HSDPA в мережу UTRAN розглянемо цю систему детальніше.

2.1.3 Технологія HSUPA

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) - це технологія швидкісної передачі даних в напрямку uplink, тобто від мобільного обладнання (UE) до базової станції (NodeB) для стандарту стільникового зв'язку UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Ця технологія поряд з HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) входять в сімейство технологій високошвидкісної передачі даних HSPA (High Speed Packet Access). Максимально можлива швидкість передачі даних для HSUPA становить 5,7 Мбіт / сек. Реліз R99 (перший реліз стандарту UMTS) передбачає швидкість передачі даних в uplink до 384 кбіт / сек. Цього цілком достатньо для відеодзвінків, завантаження невеликих файлів, передачі MMS. Однак останнім часом все більших обертів набирають соціальні мережеві ресурси, в яких важлива завантаження фото, відео та ін. Файлів середньої та великої місткості і пропонованої швидкості передачі даних в сотні кілобіт в секунду в такому випадку стає недостатньо. Вирішення цієї проблеми якраз і пропонує технологія HSUPA, що надає більш ніж в 10 разів більші швидкості. Розробкою цієї технології займається організація по стандартизації 3GPP (Third Generation Partnership Project) і розробка першої версії HSUPA була закінчена в 2004 році. Перша зв'язок з технологією HSUPA вперше була запущена на початку 2007 року.

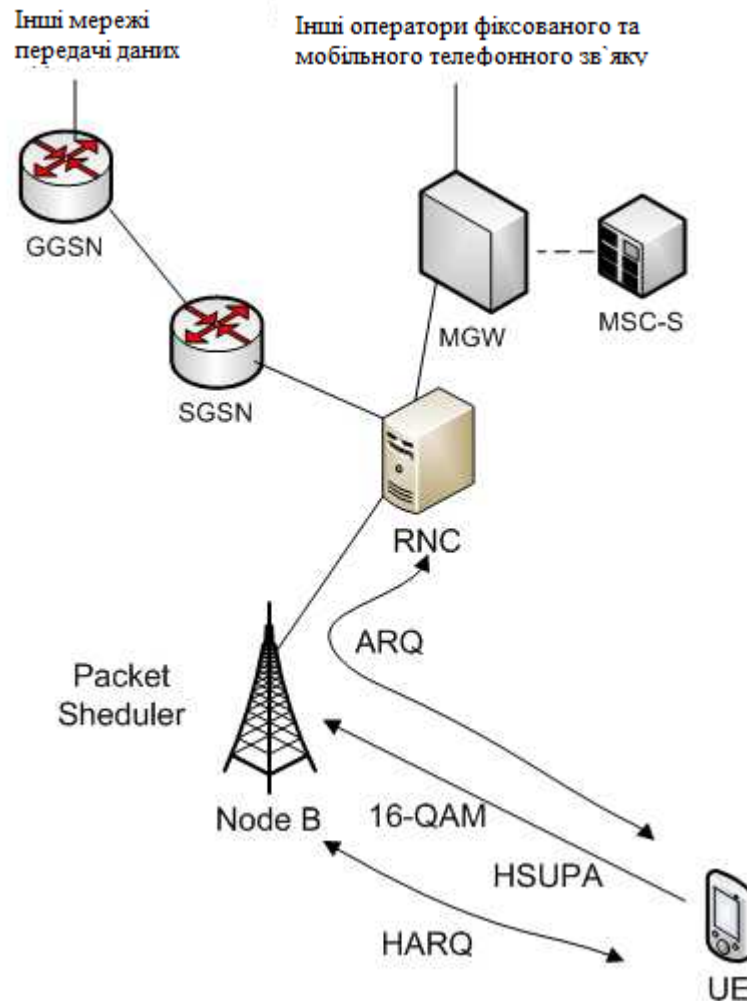


Рисунок 2.5 – місце технології HSUPA у мережі UMTS

Зазначені вище переваги були досягнуті за рахунок ряду змін на радіоінтерфейсу між UE і NodeB і в першу чергу через введення нового способу модуляції - 16-QAM (Quadrature amplitude modulation). Його головна відмінність від використовуваної в R99 модуляції BPSK (Binary phase-shift keying) полягає в тому, що одна посилка сигналу може переносити набагато більше інформаційних символів. Однак це не єдина відмінність. Використовуваний в R99 механізм автоматичних перезапроса ARQ (Automatic repeat request) зазнав деякі модифікації і отримав назву HARQ (Hybrid automatic repeat request). Зокрема він був переміщений з RNC (Radio Network Controller) в NodeB, тобто тепер базова станція перевіряє наявність помилок в пакетах і передає в UE запити на повторну передачу. Це значно скорочує час на очікування повторної передачі при мінімальному зниженні якості, тому що

зазвичай інтерфейс між NodeB і RNC менше схильний до дії перешкод і технології, використовувани на ньому, зазвичай мають власні механізми виправлення помилок. Крім цього в NodeB з RNC був переміщений Packet Scheduler (планувальник пакетів), точніше ряд його функцій. Його основне завдання полягає в розподілі радіоресурсів між абонентами на основі вимірів якості сигналу, рівня перешкод, пріоритету і багатьох інших факторів. Хоча частина інформації, потрібної для прийняття рішення надходить з RNC, але все ж рішення приймає NodeB. Це в свою чергу скорочує час на реакцію системи на зміни виникли в поточний момент і робить цей процес більш ефективним. Також, на радіоінтерфейсу з'явилися нові канали для передачі даних і сигналізації, які мають спеціальні характеристики, які сприяють підвищенню швидкості передачі даних.

Перераховані вище нововведення і зміни значно збільшують швидкість передачі даних в uplink і роблять роботу в Інтернет через стільникові системи зв'язку настільки ж швидкої як і для фіксованих мереж передачі даних. Завдяки HSPA користувач набуває можливість не тільки завантажувати а й завантажувати в Інтернет файли великих обсягів (відеозйомка, високоякісні фотографії, аудіо) де б він не знаходився[6].

2.2 Особливості передавання мультимедійних даних в мережах LTE/LTE-A/LTE-A Pro

Стандарти третього покоління дозволяють надати широкий перелік мультимедійних послуг і підтримують швидкості передачі даних до 14Мбіт / сек. Однак, обсяги переданої інформації в телекомунікаційних мережах ростуть з кожним днем. Щоб задовольнити потреби користувачів по

швидкості передачі даних і набору послуг хоча б на 20 років вперед необхідний новий стандарт, вже четвертого покоління.

Робота над першим стандартом четвертого покоління - LTE (Long Term Evolution) почалася у 2004 році організацією 3GPP. Головними вимогами, які пред'являлися в процесі роботи над стандартом були наступні:

Швидкість передачі даних вище 100 Мбіт / сек.

Високий рівень безпеки системи

висока енергоефективність

Низькі затримки в роботі системи

Сумісність зі стандартами другого і третього поколінь

В кінці 2009 року в Швеції була запущена в комерційну експлуатацію перша мережа стандарту LTE.

Мережі LTE підтримують швидкості передачі даних до 326,4 Мбіт / сек. Наприклад, завантаження фільму в хорошій якості займе менше однієї хвилини. Таким чином, верхня планка по швидкості передачі даних практично знімається.

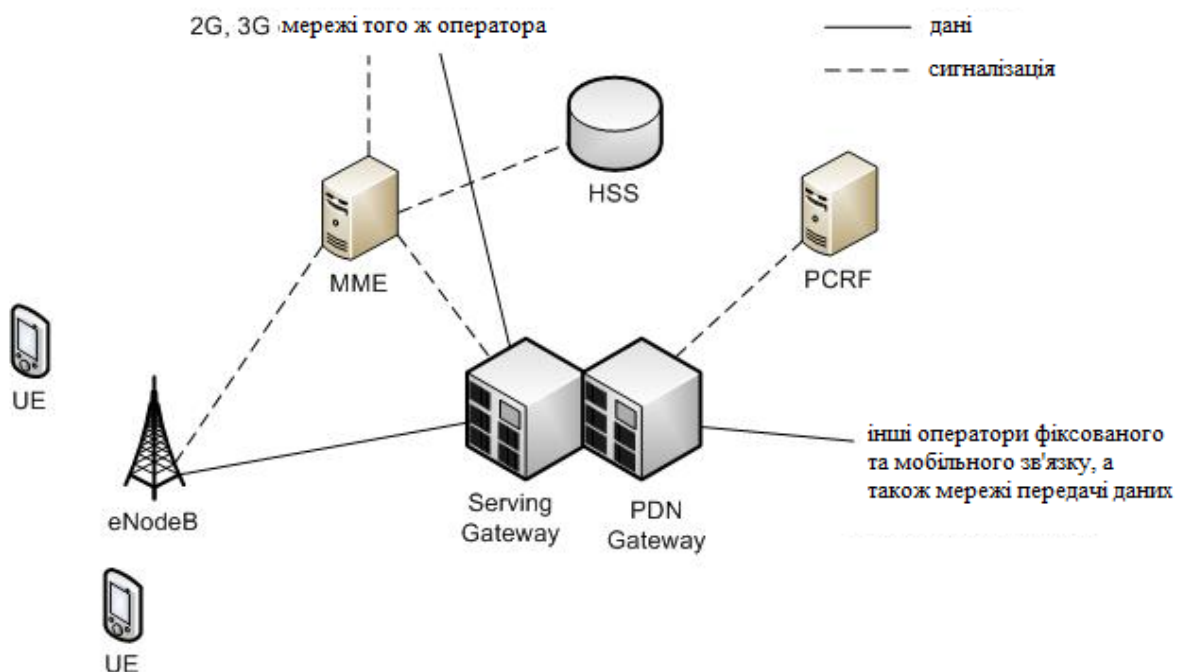


Рисунок 2.6 – структура мережі стандарту LTE

Зі схеми мережі LTE, представленої вище, вже видно, що структура мережі сильно відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотні зміни

знала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Була змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також піддалися зміні і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Вся інформація (голос, дані) передається у вигляді пакетів. Таким чином, вже немає поділу на частини обробні або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані.

Можна виділити наступні основні елементи мережі стандарту LTE:

Serving SAE Gateway або просто Serving Gateway (SGW) - обслуговуючий шлюз мережі LTE. Призначений для обробки і маршрутизації пакетних даних, що надходять з / в підсистему базових станцій. По суті, замінює MSC, MGW і SGSN мережі UMTS. SGW має пряме сполучення з мережами другого і третього покоління того ж оператора, що спрощує передачу з'єднання в / з них з причин погіршення зони покриття, перевантажень і т.п.

Public Data Network (PDN) SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) - шлюз до / від мереж інших операторів. Якщо інформація (голос, дані) передаються з / в мережі даного оператора, то вони маршрутизуються саме через PGW.

Mobility Management Entity (MME) - вузол управління мобільністю. Призначений для управління мобільністю абонентів мережі LTE.

Home Subscriber Server (HSS) - сервер абонентських даних. HSS є об'єднанням VLR, HLR, AUC виконаних в одному пристрої.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) - вузол виставлення рахунків абонентам за надані послуги зв'язку.

Всі перераховані вище елементи відносяться до системи комутації мережі LTE. В системі базових станцій залишився лише один знайомий нам елемент - базова станція, яка отримала назву eNodeB. Цей елемент виконує функції і базової станції, і контролера базових станцій мережі LTE. За рахунок цього спрощується розширення мережі, тому що не потрібно розширення ємності контролерів або додавання нових[8].

Початкове розгортання мало покращило порівняно з 3G HSPA, і іноді їх називали 3,5G або 3,99G, але незабаром реалізована вся можливість LTE, що забезпечило повний рівень продуктивності 4G.

Перші розгортання були просто відомі як LTE, але пізніше розгортання отримали позначення 4G LTE Advanced, а пізніше все ще 4G LTE Pro.

Мережа радіодоступу не тільки була вдосконалена для 4G LTE, але й капітальна реконструкція мережі дозволила зменшити затримку та набагато покращити взаємозв'язок між елементами мережі радіодоступу, RAN.

3GPP, проєкт партнерства третього покоління, який керував розробкою системи UMTS 3G, розпочав роботу з еволюції стільникової технології 3G із семінару-практикуму, який відбувся в Торонто, Канада, в листопаді 2004 року. Робота над LTE розпочалася з техніко-економічного обґрунтування у грудні 2004 р., який був доопрацьований для включення до випуску 3GPP 7. Потім основні технічні характеристики LTE були включені до випуску 8.

Майстерня виклала ряд вимог високого рівня до нової технології:

Знижена вартість за біт

Збільшене надання послуг - більше послуг за меншу вартість та кращий досвід користування

Гнучкість використання існуючих та нових діапазонів частот

Спрощена архітектура, відкриті інтерфейси

Забезпечте розумне споживання енергії терміналом

Що стосується фактичних показників, цілі для початкового розгортання LTE включали швидкість завантаження 100 Мбіт/с та швидкість завантаження 50 Мбіт/с для кожних 20 МГц спектру. На додаток до цього LTE повинен був підтримувати щонайменше 200 активних користувачів у кожній комірці 5 МГц. (тобто 200 активних телефонних дзвінків). Також були встановлені цілі щодо затримки доставки IP-пакетів. З огляду на зростаюче використання послуг, включаючи VoIP, ігри та багато інших програм, де затримка викликає занепокоєння, для цього потрібно встановити цифри. В результаті була встановлена цифра затримки менше 10 мс для малих пакетів IP.

Незважаючи на те, що між LTE та його попередниками 3G відбуваються основні крокові зміни, він, тим не менш, розглядається як еволюція стандартів UMTS/3GPP 3G. Незважаючи на те, що він використовує іншу форму радіоінтерфейсу, використовуючи OFDMA/SC-FDMA замість CDMA, існує багато подібностей з попередніми формами 3G-архітектури, і є можливості для повторного використання.

Визначаючи, що таке LTE і чим він відрізняється від інших стільникових систем, швидкий огляд специфікацій системи може надати багато відповідей. Можливо, LTE забезпечує подальший розвиток функціональних можливостей, збільшення швидкості та загальну покращену продуктивність.

Таблиця 2.2 – Порівняння LTE з іншими технологіями

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Максимальна швидкість низхідної лінії зв'язку біт/с	328k	14M	28M	100M
Максимальна швидкість висхідної лінії зв'язку біт/с	128k	5.7M	11M	50M
Час затримки в обидва кінці приблизно	150 ms	100 ms	50 ms (max)	~10 ms

Релізи 3GPP	99/4	5/6	7	8
Приблизні роки випуску	2003-2004	2005-2006 HSDPA 2007-2008 HSUPA	2008-2009	2009-2010
Методологія доступу	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA/SC-FDMA

Варто підсумувати ключові параметри специфікації 3G LTE. З огляду на той факт, що існує ряд відмінностей між роботою висхідної та низхідної ліній зв'язку, вони, природно, відрізняються продуктивністю, яку вони можуть запропонувати.

Таблиця 2.3 – Базова специфікація LTE

Параметр	Деталі
Пікова швидкість низхідної лінії зв'язку 64QAM (Мбіт/с)	100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO)
Пікова швидкість висхідної лінії зв'язку (Мбіт/с)	50 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM)
Тип даних	Усі дані з комутацією пакетів (голос і дані). Жодна схема не переключена.
Методологія доступу	OFDMA (Downlink) SC-FDMA (Uplink)
Підтримуються типи модуляції	QPSK, 16QAM, 64QAM (висхідна та низхідна лінія зв'язку)

Спектральна ефективність	Пряма лінія зв'язку: 3-4 рази Rel 6 HSDPA Висхідний канал: 2 -3 x Rel 6 HSUPA
Пропускна здатність каналу (МГц)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Дуплексні схеми	FDD та TDD
Мобільність	0-15 км/год (оптимізовано), 15-120 км/год (висока продуктивність)
Затримка	У режимі очікування активний менше 100 мс Маленькі пакети ~ 10 мс

Ці основні характеристики дають загальний огляд продуктивності, яку запропонує LTE. Він відповідає галузевим вимогам щодо високої швидкості завантаження даних, а також зменшення затримки - фактору, важливого для багатьох додатків від VoIP до ігор та інтерактивного використання даних. Це також забезпечує значні вдосконалення у використанні наявного спектру.

LTE представила низку нових технологій у порівнянні з попередніми стільниковими системами. Вони дають можливість LTE працювати ефективніше щодо використання спектра, а також забезпечувати набагато вищі швидкості передачі даних, які потрібні.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex): Технологія OFDM була використана для формату сигналу для LTE, оскільки вона дозволяла ефективно передавати високі смуги пропускання даних, забезпечуючи при цьому високу ступінь стійкості до відображень та перешкод. Оскільки дані передавались на великій кількості носіїв, якщо деякі були відсутні в результаті перешкод від відображень тощо, система все ще могла впоратися. Схеми доступу різнилися між висхідною та низхідною лініями: OFDMA (у низхідній

лінії використовувався множинний доступ з ортогональним частотним поділом; тоді як у висхідній лінії використовувався SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access). SC-FDMA той факт, що його пікове відношення до середньої потужності менше, ніж для OFDMA - нижчий коефіцієнт пікової до середньої потужності, що дозволяє досягти кращих рівнів кінцевого підсилувача потужності РЧ, - це було і є важливим фактором для часу автономної роботи мобільної слухавки.

MIMO (Multiple Input Multiple Output): Однією з основних проблем, з якою стикалися попередні телекомунікаційні системи, була проблема безлічі сигналів, що виникають внаслідок багатьох відбиттів, що виникають. Використовуючи MIMO, ці додаткові шляхи передачі сигналу можна було б використати з перевагою і їх можна було використовувати для збільшення пропускної здатності.

Використовуючи MIMO, необхідно використовувати кілька антен, щоб дозволити розрізняти різні шляхи. Відповідно можуть бути використані схеми, що використовують 2 x 2, 4 x 2 або 4 x 4 антенні матриці. Незважаючи на те, що відносно легко додати нові антени до базової станції, те ж саме не стосується мобільних телефонів, де розміри користувальницького обладнання обмежували кількість антен, які повинні бути розміщені як мінімум на половину довжини хвилі.

SAE (Еволюція архітектури системи): Враховуючи дуже високу швидкість передачі даних та низькі вимоги до затримки для 3G LTE, необхідно було вдосконалити архітектуру системи, щоб забезпечити покращену продуктивність. Однією із змін було те, що низка функцій, якими раніше займалася основна мережа, була передана на периферію. По суті, це забезпечило набагато більш "плоску" форму мережевої архітектури. Таким чином можна зменшити час затримки та направити дані прямо до місця призначення. В рамках оновлення Evolved Packet Core було розроблено EPC, щоб забезпечити максимально ефективну маршрутизацію пакетних даних.

Дані IP: 4G LTE - це ціла система даних IP. 3G UMTS включав голос із комутацією каналів, але LTE не передбачав жодного голосу з комутацією каналів. Спочатку передбачалося, що оператори надаватимуть можливості передачі даних, а голос буде через програми OTT. Оскільки оператори втрачали б значні доходи, оскільки голос на той час становив важливий елемент доходу. Щоб подолати цю GSMA, встановить стандарт голосового підключення як схему передачі голосу через LTE, VoLTE.

VoLTE вимагав впровадження ядра IMS, і це сповільнило розгортання цієї можливості з огляду на витрати. Щоб допомогти операторам подолати це, було розроблено обмежене впровадження IMS, що значно зменшило капітальні витрати, необхідні операторам.

4G LTE став основною технологією мобільного зв'язку. І перше, і друге покоління технологій було зосереджено на голосі, а 3G потім перейшло до мобільних даних. 4G LTE вдосконалила аспекти мобільних даних мобільного зв'язку, зосередившись головним чином на цьому аспекті, щоб забезпечити загальний зв'язок мобільних даних[2].

2.2.1 LTE Advanced/LTE Advanced Pro

Основними вимогами до LTE-Advanced є вимоги до пропускної здатності (до 1 Гбіт/с) і спектральної ефективності (до 30 біт/с/Гц) на радіоканалі між базовою станцією і мобільною станцією. Для того, щоб зустріти ці вимоги, починаючи з LTE Release 10, в стандарт додається ряд розширень.

1. Пропускна здатність

Найпростішим способом збільшення пропускної здатності системи є використання більш широкого каналу. В рамках LTE-Advanced цей метод відомий як Carrier Aggregation (на російську можна перекласти як "об'єднання несучих"). Для того, щоб забезпечити сумісність з попередніми версіями стандарту (Release 8 і Release 9), в Release 10 розширення каналу здійснюється

шляхом об'єднання кількох несучих, що функціонують по Release 8/9. Об'єднання несучих можливо при повному або частковому передрукуванні дуплекса: FDD (Frequency Division Duplex) і TDD (Time Division Duplex). Об'єднуються несучі можуть бути різних розмірів (1,4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц, 20 МГц), а їх кількість може досягати п'яти. Таким чином, сумарна ширина каналу в LTE-Advanced може досягати 100 МГц. Об'єднуються несучі можуть займати безперервний частотний діапазон (contiguous), а можуть бути розташовані в різних частотних діапазонах (non-contiguous). Все залежить від того, якими частотами має той чи інший оператор стільникового зв'язку. Слід зазначити, що кількість об'єднаних несучих в низхідному і висхідному каналах може бути різним. Однак, кількість об'єднаних несучих в висхідному каналі не може бути більше кількості несучих в низхідному каналі.

2. Покращена технологія MIMO

У LTE-Advanced отримала підтримку схеми MIMO 8x8 в низхідному каналі і MIMO 4x4 в висхідному каналі. Для цього були введені нові режими передачі та нові категорії MC. Нові режими передачі відрізняються від тих, що були в попередніх релізах (Release 8 та 9) в наступному:

- кількістю різних потоків даних, що можуть передаватися одночасно;
- Різні антенні порти
- Різні пілотні сигнали використовуються (CRS, DM-RS)
- Різне попереднє кодування (precoding)

3. Підтримка вузлів ретрансляції

Також в LTE-Advanced додається підтримка вузлів ретрансляції (Relay). Це дозволяє закрити "білі плями" в покритті і поліпшити радіоумови для користувачів, що знаходяться на межах стільників.

4. Кординована передача/прийом

Ще одним визначеним в рамках LTE-Advanced поліпшенням є координований передача/прийом. Основним завданням його є покращення

показників роботи мобільних станцій, які знаходяться на межах стільників. Для цього мобільні станції, що знаходяться на межі стільників, обслуговуються не одним сектором, а кількома. Відповідно, низхідна передача однієї мобільної станції може здійснюватися з декількох секторів одночасно. Те ж саме відноситься і до висхідної передачі, тільки в цьому випадку мова йде про прийом даних від мобільною станцією декількома секторами[10].

2.2.2 Основні вимоги до LTE-A

1. Пікова швидкість передачі даних

Це максимальна швидкість передачі даних, яка повинна підтримуватися, незалежно від параметрів радіоінтерфейсу таких (конфігурація антен, ширина каналу). Значення, що в теорії мають досягатись: 1 Гбіт/с в низхідному каналі і 500 Мбіт/с у висхідному каналі.

2. Затримка

Загальна затримка повина бути істотно менше, порівняно з EPS-Rel 8 (LTE). Цільовий час, необхідний на активацію мобільної станції, має становити менше 50 мс. А час перемикання зі стану очікування в активний, має бути менше 10 мс.

Система повинна мати змогу підтримати до 300 активних користувачів без використання, при ширині каналу в 5 МГц.

При передачі користувацьких даних повина досягатись набагато менша затримка, ніж у Rel.8.

3. Пікова спектральна ефективність

Пікова спектральна ефективність - це максимальна швидкість передачі даних, на ширину каналу всього сектора, коли весь ресурс виділяється для однієї МС. Пікові значення спектральної ефективності при низхідній передачі повинні бути 30 біт/с/Гц, а при висхідній передачі близько 14 біт/с/Гц.

4. Середня спектральна ефективність

Це загальна пропускна здатність всіх абонентів виділена на загальну ширину каналу сектора і поділена на кількість секторів. Середня спектральна ефективність вимірюється в біт/с/Гц/ сектор.

5. Спектральна ефективність на кордоні сектора

Спектральна ефективність для мобільної станції, яка знаходиться на межі сектора, визначається як показник інтегральної функції розподілу, відносно пропускної спроможності, в точці 5%. Система повинна надавати максимально можливе значення спектральної ефективності для абонентів, що перебувають на межі сектора.

6. Кількість VoIP дзвінків

Кількість одночасних VoIP дзвінків мають бути збільшене для всіх конфігурацій.

7. Мобільність

Система має підтримувати роботу користувачами, які можуть рухатися зі швидкістю до 350-500 км/год. Показники для абонентв, що рухаються зі швидкістю від 0 до 10 км/год має бути поліпшена. Для більш мобільних користувачів продуктивність системи має бути краща чи не гірша, як мінімум, ніж в Rel.8.

8. Частотні діапазони

До вже наявних частотних діапазонах так само додаються такі:

450-470 МГц;

698-862 МГц;

790-862 МГц;

2.3-2.4 ГГц;

3.4-4.2 ГГц;

4.4-4.99 ГГц.

Нова система (LTE-A) повинна підтримувати роботу з різними розмірами частотних діапазонів, в тому числі і з більш широкими діапазонами (наприклад до 100 МГц), ніж зазначені в Rel.8, для того, щоб забезпечити більш високу продуктивність і цільову пікову спектральну ефективність.

Також повинна бути можливість як роботи в режимі частотного (FDD), так і в режимі тимчасового (TDD) дуплексу[14].

У таблиці нижче наводиться порівняння вимог LTE Rel.8 і LTE-Advanced.

Таблиця 2.4 – порівняння вимог до LTE та LTE-A

Параметр	LTE Rel.8	LTE-A (Rel.10)
Ширина каналу	До 20 МГц	До 100 МГц
Пікова спектральна ефективність:		
-нисхідний канал	16 біт/с/Гц	16 (30) біт/с/Гц
-висхідний канал	4 біт/с/Гц	8.1 (16.1) біт/с/Гц
Затримка:		
-сигнальні дані	50 мс	50 мс
-користувацькі дані	4.9 мс	4.9 мс

Висновки до розділу

У другому розділі проаналізовано третє та четверте покоління високошвидкісних мереж. Досліджено особливості UMTS та LTE мереж. Порівняно кожне покоління мереж між собою за такими параметрами, як нисхідні та висхідні швидкості завантаження, підтримувані типи частотної модуляції, пропускна здатність та час затримки.

3 ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖ З МУЛЬТИМЕДІЙНИМ ТРАФІКОМ

Існують два основні варіанти планування мереж: з метою формування максимальної площі покриття або з метою забезпечення необхідної ємності. Ці завдання часом суперечать один одному. Наприклад, в міських умовах при високій щільності абонентів зони обслуговування базових станцій (БС) по площі набагато менше максимально можливої, але оптимізовані по пропускній здатності. В сільській місцевості часто ситуація - протилежна, щільність абонентів - невисока, і базові станції встановлюються на максимальному видаленні один від одного так, щоб закрити кожної БС максимальну територію. Але і в тому і в іншому випадку оцінюють як радіопокриття, так і ємність мережі для того, щоб виявити в проекті мережі фактори, що обмежують її характеристики.

Розглянемо відмінності в плануванні мереж мобільного зв'язку різних поколінь

Таблиця 3.1 – Планування мереж різних поколінь

Покоління мережі	GSM	UMTS	LTE
Планування частотного ресурсу	Розподіл частотних каналів між базовими станціями	Не вимагається	Розподіл фрагментів смуги системи між користувачами базових станцій
Наявність регулярної методики планування	Існує	Існує для високошвидкісної і малої швидкості передачі	Ні

Комутація	Каналів, пакетів	Каналів, пакетів	Пакетів (все через IP)
Передача інформації	Вузькосмуговий сигнал	Широкосмуговий сигнал	
Профіль трафіку	Мовлення, мобільний інтернет, фоновий трафік	Мовлення, потокове відео, мобільний інтернет, фоновий трафік	VoIP, потокове відео, мобільний інтернет, фоновий трафік

Також розглянемо етапи планування мереж різних поколінь GSM/UMTS/LTE

Таблиця 3.2 – Етапи планування мереж

Стандарт	Етапи планування
GSM	<ul style="list-style-type: none"> • Вибір типу частотного кластера • Визначення просторових параметрів мережі • Визначення параметрів базових станцій (виходячи з бюджету втрат) • Складання частотного плану
UMTS	<ul style="list-style-type: none"> • Визначення числа каналів трафіку на соту в залежності від внутрішньосистемних перешкод (завантаження мережі) • Визначення просторових параметрів мережі • Розрахунок параметрів базових станцій (виходячи з того, що сигнал груповий; розрахунок по пілотному сигналу) • Розподіл кодових зрушень по секторам
LTE	<ul style="list-style-type: none"> • Визначення просторових параметрів мережі • частотне планування • Оцінка пропускнуої здатності при заданому профілі трафіку • Уточнення параметрів базових станцій та зони обслуговування, виходячи з трафіку[11]

3.1 Особливості планування мереж UMTS/HSPA

Питання про зону обслуговування є важливим, коли мережа не обмеється ще по пропускній здатності (ємності), як, наприклад, в період первісного розгортання мережі і, особливо, в сільських районах. Навіть в міських районах мережа може бути обмежена зоною обслуговування, якщо надається надійна зона обслуговування всередині будівель для послуг, тре-буючих передачі даних з високою швидкістю, а базова станція буде знаходитися зовні. Вимога мати надійну зону обслуговування при-водить до того, що розміри осередків робляться невеликими, що може забезпе-чити більш високу пропускну здатність (ємність) на км^2 , ніж це необ-ходимо. У макроячейки зона обслуговування визначається дальністю дей-наслідком по висхідному каналі, так як потужність передачі мобільної станції набагато менше, ніж у базовій станції макроячейки. Вихідна мощ-ність рухомий станції зазвичай становить 21 дБм (125 мВт), а базовій станції в макроячейке - 40-46 дБм (10-40 Вт) на сектор. Тому в секторі приймається в розрахунок зона обслуговування.

Вплив збільшення ресурсу радіоканалу ΔL на величину щодо відповідності-ного радіуса осередку може бути оцінений за допомогою вибору визна-ленній моделі поширення радіохвиль, наприклад, моделі COST231-Хата. В цьому випадку експонента втрат на трасі дорівнює 3,52, що в результаті дає:

$$\Delta L = -35,2 \lg(\Delta R),$$

Відносне зміна площі осередку ΔA може бути обчислена як:

$$\Delta A = (\Delta R)^2 = \left(10^{\frac{-\Delta L}{35,2}} \right)^2.$$

Результати обчислень необхідної відносної щільності сайтів базових станцій при заданому поліпшенні робочої характеристики каналу представлені в табл. 3.3. Щільність базових станцій зворотній пропорції-

нальна площі осередку. Наприклад, при поліпшенні якості каналу на 5,3 дБ, щільність базових станцій може бути зменшена приблизно на 50%.

Таблиця 3.3 - Зменшення щільності числа сайтів базових станцій при поліпшенні ресурсу каналу

Поліпшення ресурсу каналу	Відносна кількість сайтів
0,0дБ (опорна величина)	100%
1,0 дБ	88%
2,0 дБ	77%
3,0 дБ	68%
4,0 дБ	59%
5,0 дБ	52%
6,0 дБ	46%
10,0 дБ	27%

3.1.1 Шляхи поліпшення зони обслуговування в висхідному каналі

Багатопромінене рознесення

Досліджуємо вплив багатопроміненого рознесення на дальність дії висхідного каналу, розглянувши як приклад результати вимірювань параметра E_b/N_0 для двох різних багатопроміневих профілів: ITU A-каналу для пішохода з невеликим багатопроміневим рознесенням і ITU A-каналу для рухомого кошти зі значним великим багатопроміневим рознесенням. ITU A-канал для рухомого засобу являє собою канал з 5 відводу-ми в режимі WCDMA і швидкістю передачі 3,84 Мбіт/с, а ITU A-канал для пішохода є

двопроменевий канал, де другий відведення дуже слабкий. Необхідне відношення E_b/N_0 для передачі мови зі швидкістю 8 кбіт/с при перемежовуванні 10 мс, рознесення прийомної антени і повної постійної потужністю передачі при швидкості руху 3 км/год показані в таблиці 3.4. Результати моделювання для передачі мови зі швидкістю 8 кбіт/с в цьому розділі даються з урахуванням перемежовування 20 мс, і тому робоча характеристика буде краще, ніж отримана тут в результаті моделювання.

Таблиця 3.3 - Необхідне значення E_b/N_0 для FER = 1% при 8 кбіт/с з повною постійною потужністю

	E_b/N_0
ITU A-канал, пішохід (багатопроменеве рознесення менше)	11,3 дБ
ITU A-канал, рухомий засіб (багатопроменеве рознесення більше)	8,5 дБ
Виграш за рахунок багатопроменевого рознесення	2,8 дБ

У цьому прикладі виграш при багатопроменевому рознесенні становить 2,8 дБ для висхідного каналу. Взагалі кажучи, чим більше багатопроменеве рознесення, тим більше дальність зв'язку. Ступінь можливого многолучевого рознесення залежить від середовища, а також від ширини смуги передачі. При широкосмуговому CDMA можна отримати на прийомі більше багатопроменеве рознесення, ніж при вузькосмуговому CDMA в тому ж середовищі.

Макрорознесення (м'який хендовер)

При м'якому хендовера передачу по висхідному каналі від мобільної станції приймають дві або більше базових станції. Оскільки при м'якому

хендовера ϵ , принаймні, дві базових станції, які намагаються прийняти передачу мобільної станції, то ймовірність правильно прийнятих сиглів збільшується, і може бути отриманий виграш в результаті макрорознесення. Приклади виграшу, одержуваного при макрорознесенні для зони обслуговування висхідного каналу, наведені в таблиці 3.4 для MS при швидкості руху 3 км/год, прийому двома базовими станціями і перемежовуванні 10 мс. Показані два випадки: коли втрати на трасі однакові для обох базових станцій і коли ϵ різниця на 3 дБ для втрат на трасі для цих двох станцій. У першому випадку виграш при макрорознесенні виходить найбільшим.

З ростом збільшення різниці у втратах на трасі, виграш від макрорознесення зменшується, і рухома станція виявиться не в змозі м'якого хендовера, а буде просто з'єднана з однією з базових станцій. Результати вимірювань показують, що, чим менше багатопрорене рознесення, тим більше виграш при макрорознесенні. В даному випадку найбільшим виграш для пішохідного ITU A-каналу становить 4,0 дБ і для ITU A-каналу транспортного засобу 2,2 дБ.

Виграш щодо пропускної здатності менше, ніж виграш в дальності зв'язку, так як рознесення грає більш важливу роль для збільшення дальності зв'язку по висхідному каналі. Причина полягає в тому, що, перебуваючи на краю осередку, рухлива станція веде передачу з повною потужністю, і рознесення грає важливу роль, оскільки швидке керування потужністю не може компенсувати швидкі завмирання.

Таблиця 3.4 - Необхідне значення E_b/N_0 для FER = 1% при 8 кбіт/с з повною постійною потужністю

E_b/N_0	ITU A-канал, пішохід	ITU A-канал, рухомий засіб
Один канал	11,3 дБ	8,5 дБ

Результат макрорознесення: рівні потужності/різниця 3 дБ	7,3 дБ/8,6 дБ	6,3 дБ/7,7 дБ
Виграш при макрорознесенні: рівні потужності/різниця 3 дБ	4,0 дБ/2,7 дБ	2,2 дБ/0,8 дБ

Рознесення приймальних антен

Виграш на 3 дБ в дальності зв'язку можна отримати при рознесенні приймальних антен, навіть якщо гілки рознесення мають повністю корельовані завмирання. Причина полягає в тому, що сигнали від двох антен можуть когерентно складатися, в той час як тепловий шум приймача складається не когерентно. Виграш в 3 дБ призвів буть ідеальної оцінки каналу при когерентном складання.

Виграш в 3 дБ виходить внаслідок того, що є більше гілок прийому, які збирають енергію, але за рахунок збільшення складу апаратно-го обладнання в приймальнику базової станції. Крім того, рознесення антен дає виграш у відношенні швидких завмирань, так як швидкі завмирання слабо корелюються в рознесених антенах.

Рознесення антен на прийомі показано на рис. 3.1. Рознесення антен може бути отримано в результаті просторового або поляризаційного рознесення. Перевага поляризаційного рознесення полягає в тому, що гілки рознесення не вимагають просторового поділу і можуть розташовуватися в одному фізичному антенному корпусі. Крім того, рознесені антени можуть розташовуватися дуже близько один до одного лише зі злегка зменшеним коефіцієнтом посилення при прийомі на рознесені антени.

Результати моделювання з використанням рознесення при різно-сінному прийомі і без нього при постійній потужності представлені в табл. 3.6. Коефіцієнт посилення при прийомі на рознесені антени в ITU A-каналі для пішохода становить 7,5 дБ. В ITU A-каналі для рухомого засобу коефіцієнт

посилення менше, становить 4,3 дБ, оскільки мається багатопроменеве поширення.

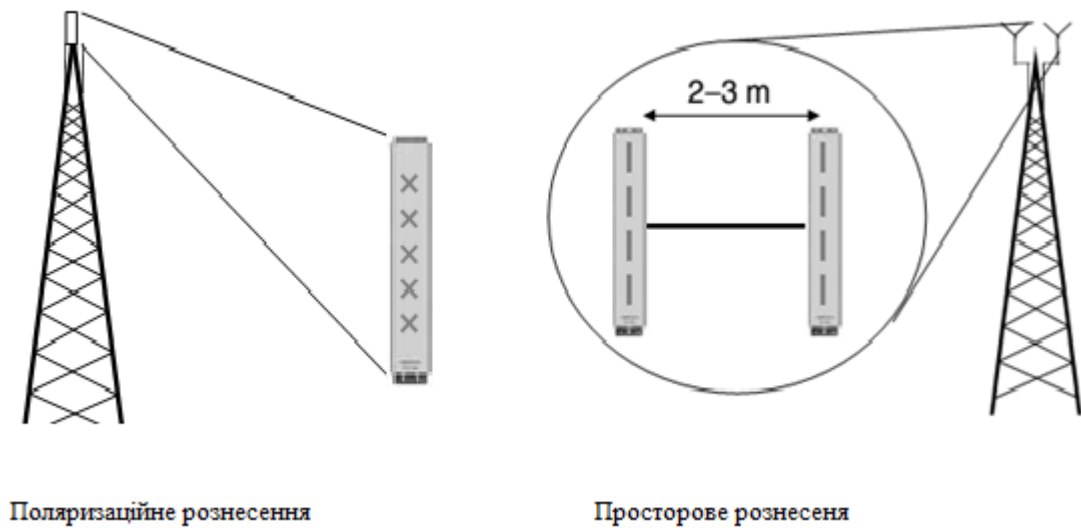


Рисунок 3.1 - Поляризаційне і просторове рознесення антен

Таблиця 3.5 - Необхідне E_b/N_0 при 8 кбіт/с з повною постійною потужністю

E_b/N_0	ITU пішохід, А-канал,	ITU А-канал, рухомий засіб
З одною приймальною антеною	18,8 дБ	12,8 дБ
З рознесенням антен на прийомі	11,3 дБ	8,5 дБ
Коефіцієнт посилення при прийомі на рознесенні антени	7,5 дБ	4,3 дБ

Чим більше наявне рознесення, тим менше виграш від додаткового-ного рознесення. Це правило може бути застосовано для різних джерел рознесення. Тому апріорні значення для будь-яких коефіцієнтів посилення при прийомі на рознесені антени відсутні, так як коефіцієнти посилення залежать від ступеня рознесення інших джерел рознесенного прийому.

3.1.2 Шляхи поліпшення зони обслуговування в низхідному каналі

У низхідному каналі потужність, що допускається для одного з'єднання, може бути більше, ніж в висхідному каналі, оскільки рівень вихідної потужності базової станції може бути більше, ніж рівень вихідної потужності мобільної станції. Тому зона обслуговування для послуг з високими швидкостями передачі в низхідному каналі більше, ніж у висхідному каналі.

Нижче проведено порівняння зони охоплення для низхідного каналу при передачі мови зі швидкістю 12,2 кбіт/с і даних зі швидкістю 1 Мбіт/с. При порівнянні зроблені наступні припущення:

- розмір осередку визначається зоною обслуговування висхідного каналу при передачі мови;
- чутливість при прийомі висхідного каналу на базовій станції на 6 дБ вище, ніж при прийомі спадного каналу завдяки меншій коефіцієнту шуму і рознесенню антен;
- при передачі даних зі швидкістю 1 Мбіт/с відношення E_b/N_0 на 3 дБ нижче, ніж при передачі мови;
- мовні термінали мають втрати через вплив тіла людини на -3дБ більше, ніж термінали, які використовуються при передачі даних зі швидкістю 1 Мбіт/с.

Необхідна середня потужність передачі в низхідному каналі для передачі мови, за оцінками, становить 27 дБм, а для з'єднання при передачі даних зі швидкістю 1 Мбіт/с - близько 40 дБм (10 Вт) для отримання повної зони обслуговування в низхідному каналі, якщо розмір осередку планується з

орієнтацією на передачу мови в висхідному каналі. Розрахунки представлені в табл. 3.6. Забезпечення потужності 10 Вт в низхідному каналі для одного користувача, провідного передачу з великою швидкістю, цілком можлива в разі, коли немає інших користувачів, що запитують високу пропускну здатність в цьому осередку, тобто в разі обмеження по зоні обслуговування.

Практично зона обслуговування для низхідного каналу з високою швидкістю передачі порядку 1-2 Мбіт/с залежить від:

- охоплення висхідного каналу: бітової швидкості, для якої передбачено зона обслуговування осередку;
- параметрів підсилювача потужності в низхідному каналі;
- навантаження в сусідній комірці.

Якщо планується, що осередок буде забезпечувати високі швидкості передачі даних також і в висхідному каналі на краю осередку, то осередок буде менше, і тоді обслуговування в зоні для низхідного каналу також буде краще. Навантаження в сусідньому осередку впливає на можливість отримання з'єднання при великій швидкості передачі на краю осередку. Велике число користувачів з високими швидкостями передачі з постійною зоною обслуговування вимагає великої пропускну здатності.

Таблиця 3.6 - Необхідна потужність передачі в низхідному каналі при швидкості передачі 1 Мбіт/с і при забезпеченні повної зони обслуговування.

Потужність передачі мобільної станції в висхідному каналі	21 дБм
Оцінена потужність передачі в низхідному каналі при передачі мови	21 дБм + 6 дБ = 27 дБм
Різниця у виграші при обробці між 12,2 кбіт/с і 1 Мбіт/с	$10 \lg(1000/12,2) = 19,1$ дБ
Зменшення E_b/N_0 для терміналу передачі даних	3 дБ

Втрати через вплив тіла	Мовленнєвий термінал: 3 дБ Термінал передачі даних: 0 дБ
Необхідна потужність передачі для 1 Мбіт/с і забезпечення повної зони обслуговування	$27 \text{ дБм} + 19,1 \text{ дБм} - 3 \text{ дБ} - 3 \text{ дБ} = 40 \text{ дБм} = 10 \text{ Вт}$

Розгляд зони обслуговування для низхідного каналу відбувався в основному в розрахунку на базові станції макроосередків, де максимальна вихідна потужність складає близько 43 дБм. Для малопотужних базових станцій мікро- і пікоосередків зона обслуговування може також мати обмеження по низхідному каналу.

3.2 Особливості планування мереж LTE

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);

також було виділено діапазон 700 МГц (АРТ700) для запуску майбутніх мереж LTE.

Великий інтерес в світі пов'язаний з рефармінг 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.

В цілому, найбільш поширеним в світі діапазоном залишається 1800 МГц (band 3) - його використовують 43% комерційних мереж LTE FDD. Наступні за популярністю діапазони - це 2,6 ГГц (band 7) і 800 МГц (band 20), в них працюють 30% і 12% LTE-мереж, відповідно.

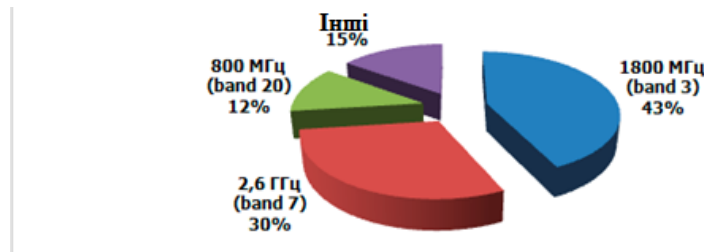


Рисунок 3.2 - Найбільш популярні використовувані частоти в мережах LTE

В умовах дефіциту частот для LTE в галузі піднімається питання про використання додаткових діапазонів частот. У липні 2013 року Консорціум 3GPP завершив стандартизацію технології LTE для діапазону 450 МГц, що дає можливість операторам, які мають такі частоти, розгортати мережі LTE в цьому діапазоні. Використання низьких частот при будівництві мереж мобільного зв'язку дозволяє істотно економити на будівництві мереж, оскільки для забезпечення покриття однієї і тієї ж площі потрібна значно менша кількість базових станцій, ніж у разі використання високих частот (наприклад, 2,6 ГГц). Використання низькочастотних діапазонів (450, 700 і 800 МГц) актуально для покриття територій з низькою щільністю населення, де не

потрібна висока ємність мереж, що досягається при використанні високих частот.

3.2.1 Особливості використання верхніх і нижніх частот для LTE

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. Фемтостільників, встановлені в місцях з високою концентрацією абонентів (трафіку) і в приміщеннях, допомагають зменшити «тіньові» зони в покритті. Фемтостільників 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

місцях, де трафік особливо затребуваний. Для поліпшення покриття усередині будівель рекомендується використовувати фемтосоти[12].

Висновки до розділу

Розглянуто технології UMTS та LTE та їх модифікації, такі, як HSPA та HSDPA для 3G та LTE-A, LTE-A Pro для 4G, наведено загальні відомості про технології, використовані частоти. Також розібрано повторне використання смуг частот для радіопланування мережі, як жорстке, так і м'яке. Також особливості радіо- та частотного планування для кожної з технологій.

Запропоновано шляхи поліпшення зони обслуговування у висхідному та висхідному каналах високошвидкісних мереж з мультимедійним трафіком.

4 МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖ З МУЛЬТИМЕДІЙНИМ ТРАФІКОМ

Важнейшим этапом проектирования сетей широкополосного беспроводного доступа является процесс частотно-территориального планирования. В ходе планирования выбираются окончательная структура (конфигурация) сети, места размещения базовых станций, рассчитывается возможность обеспечения радиопокрытия с заданным качеством связи, разрабатывается частотный план распределения радиоканалов для базовых станций, выполняется адаптация плана к условиям территориальных и частотных ограничений проектируемой зоны обслуживания, формируются зоны обслуживания для каждой базовой станции и сети в целом, оцениваются и минимизируются внутрисистемные помехи. Часто при планировании проверяется внешняя электромагнитная совместимость планируемой системы с РЭС других систем и возможность обеспечения требуемой емкости сети для обслуживания абонентской нагрузки.

На першому етапі частотно-територіального планування мережі бездротового широкосмугового доступу проводиться розрахунок бюджету каналу зв'язку для даного обладнання з метою визначення максимально допустимих втрат в каналі зв'язку і первинну оцінку радіусу зони обслуговування. Розрахунок бюджету втрат проводиться для двох напрямків: лінії вниз (downlink) і вгору (uplink), а в якості результуючого значення вибирається мінімальне з розрахованих значень.

Залежно від обсягу радіочастотного ресурсу, виділеного оператору мережі бездротового широкосмугового доступу можливі різні варіанти побудови топології радіочастотного кластера. Можливі варіанти структури кластера для трисекторних сайтів без використання часткового повторного використання частот наведені нижче

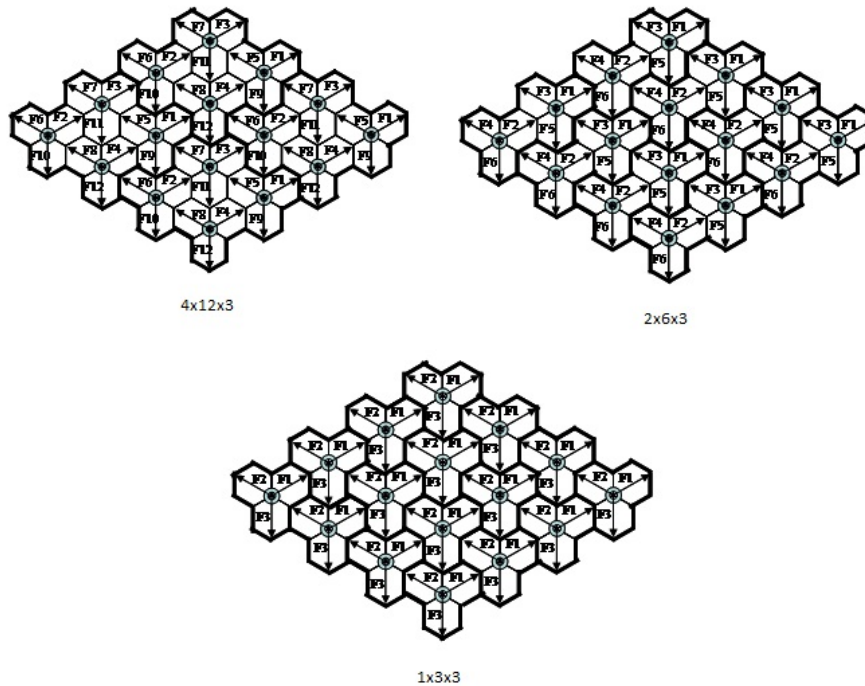


Рисунок 4.1 - Варіанти структури кластера для трисекторних сайтів без використання часткового повторного використання частот

Після того, як вимоги до функціонування мережі сформульовані, обрані кластерна структура і початковий частотний план, відбувається перевірка можливості розміщення сайтів на обраних місцях.

Далі з використанням спеціалізованого програмного забезпечення виконується розрахунок зони радіопокриття для направлення передачі вниз (downlink) і вгору (uplink) окремо.

Як інструмент прогнозування втрат розповсюдження радіохвиль можна використовувати різні статистичні і квазідетерміністські математичні моделі поширення радіохвиль. Серед них: ITU-R P.1546, P.1812, P.526, Cost Nata, Lonley-Rice, SUI, SPM і WLL. Однозначних вказівок на використання тієї чи іншої математичної моделі не існує і ми можемо на свій розсуд вибрати математичну модель поширення радіохвиль (PPV).

Після розрахунку зони покриття за рівнями сигналу проводиться аналіз внутрішньосистемної електромагнітної сумісності (ВЕС) для прийнятої структури мережі.

Провести аналіз внутрісистемної електромагнітної сумісності мережі ШБД можна двома способами:

розрахувати з використанням моделі MCE-R P.452 зони перешкод від базових станцій абонентським станціям, базових станцій на яких призначені ті ж робочі частоти; провести ті ж обчислення, тільки за джерело перешкод прийняти абонентські станції, а за рецептор перешкод - базові станції;

розрахувати з використанням спеціалізованого програмного забезпечення зони покриття за рівнями $C/(I + N)$ - "сигнал/ перешкода" для напрямків передачі downlink і uplink

Робота мобільного широкосмугового мережі при переміщенні абонентів із зони покриття однієї базової станції до іншої обов'язково передбачає виконання процедури хендовера. Можливі два варіанти технічної реалізації хендовера в обладнанні: м'який і жорсткий. М'який хендовер є перемикання абонентської станції з однієї базової станції на іншу, причому розрив з'єднання з першої базової станцією відбувається після встановлення зв'язку абонентської станцією з другою базовою станцією. Жорсткий хендовер характеризується втратою з'єднання абонентської станції і першої базової станції, після чого встановлюється з'єднання абонентської станції з другою базовою станцією.

Для чіткої відпрацювання процедури хендовера необхідно виконати планування зон хендовера між зонами покриття сусідніх секторів (сайтів). Планування в даному випадку полягає в зменшенні зайвого перекриття сусідніх зон покриття при збереженні форми зони радіопокриття окремих секторів.

На заключному етапі планування мережі рухомого радіозв'язку проводиться розрахунок її якісних параметрів функціонування і представляється у вигляді карти покриття, накладеної на зону обслуговування за обраним критерієм.

До основних показників якості роботи мобільного бездротової мережі відносяться: швидкість передачі даних і коефіцієнт бітової помилки (кожен з параметрів розраховується окремо для напрямків downlink і uplink).

4.1 Розрахунок радіопокриття для первної території міста Києва за технологією UMTS

Місцем формування радіопокриття за обраною технологією став район Теремки-2. Нижче будуть наведені розрахунки та вибір обладнання за обраною технологією та сформовано повноцінне радіопокриття, що забезпечить абонентів обраним сервісом (мультимедійний трафік) з високою якістю

Вхідні данні:

Таблиця 4.1 – Вхідні данні для технології UMTS

Параметр	Вхідне значення
Частота	2100 МГц
Смуга частот	15 МГц
Ширина радіоканалу	15 МГц
Наявність HSPA	є
Гарантована швидкість	2 Мбіт/с
Кількість абонентів	5041
Тип трафіку	Відеосервіси

4.1.1 Розрахунки параметрів мережі за обраною технологією

Визначаємо максимальну кількість каналних ресурсів N , які надають $n_{чк-с}$ передавачів БС в секторі:

$$N = \text{int} \left(n_{\text{чк}_c} \cdot \frac{\frac{W}{R_{\text{аб}}}}{\frac{E_b}{N_0} \cdot \nu \cdot (1+i)} \cdot k \right),$$

де W – чіпова швидкість, Мчп/с (CDMA2000 1x EV-DO $W = 1,2288$ Мчп/с, для системи UMTS HSPA $W = 3,84$ Мчп/с);

$R_{\text{аб}}$ – абонентська швидкість, Мбіт/с;

E_b/N_0 – відношення енергії біта до спектральної густини потужності шуму, $E_b/N_0 = 5$ дБ (або 3,16) – для голосу, $E_b/N_0 = 1 \dots 1,5$ дБ (або 1,26...1,4) – для даних, чим вища абонентська швидкість $R_{\text{аб}}$, тим нижче значення E_b/N_0 ;

ν – коефіцієнт активності абонента, $\nu = 0,67$ – для голосу, $\nu = 1$ – для даних;

i – співвідношення потужностей завод від користувачів, що знаходяться поза стільником, до завод від користувачів всередині стільника, $i = 0,55$ – для неспрямованих антен, $i = 0,65$ – для трисекторних антен (при $M = 3$);

k – коефіцієнт, що визначає зростання пропускної здатності системи у випадку використання технології HSPA (у випадку використання HSPA $k=4$, за відсутності HSPA $k = 1$).

Маємо, при тому, що за вхідними даними використовується HSPA, а тип трафіку дані, а також трисекторні антени:

$$N = 140,1$$

Після цього розраховуємо кількість базових станцій.

У випадку передавання даних необхідно знайти кількість абонентів в стільнику $N_{\text{аб}_c}$, виходячи з виразу:

$$N_{\text{аб}_c} = M \cdot N \cdot k_{os},$$

де k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено внаслідок конкурентного доступу до середовища (oversubscription ratio, табл. 4.2)

Таблиця 4.2 - Значення коефіцієнту конкурентного доступу k_{os} для різних видів трафіку

Сервіс	k_{os}
Веб-трафік	10...25
VoIP	5...10
Відео-, аудіосервіси	1
Відеоконференції	1...2
Ігри через інтернет	5...10

Виходячи з того, що $M = 3$ із вхідних даних, а тип трафіку відеосервіси, маємо:

$$N_{аб_с} = 420,3$$

Визначаємо кількість базових станцій у випадку передавання даних:

$$N_{BC} = \frac{N_A}{N_{аб_с}} \approx 12$$

4.1.2 Вибір обладнання для мережі UMTS

У відповідності до розрахованої кількості частотних каналів у стільнику $n_{чк_с} \cdot M = 3$ обираємо обладнання RBS 3418, виробник – Ericsson.

В таблиці 4.3 наведені основні параметри базової станції, а на рис. 4.1 – зовнішній вигляд БС.

Таблиця 4.3 – Основні параметри базової станції Ericsson RBS 3418 системи UMTS

Параметр	Опис
Діапазон частот	1700-2100 МГц
Кількість секторів	3
Розміри	514x334x176
Вага	24 кг
Потужність випромінювання	20 Вт (43 дБм)
Струм живлення	100-250 В АС, 8 А



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд базової станції "Ericsson RBS 3418"

Виходячи з робочого діапазону, в якому має працювати антена та кількості секторів у стільнику, було обрано антену Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna, 1920-2170 МГц

Характеристики антени Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna наведені в табл. 4.4, діаграми спрямованості – на рис. 4.2, 4.3.

Таблиця 4.4 – Характеристики антени Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna

Типовий номер	800 10360
Частотний діапазон	1920-2170 МГц
Поляризація	$\pm 45^\circ$
Підсилення	17,8 дБ
Ізоляція між портами	30 дБ
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	300 Вт

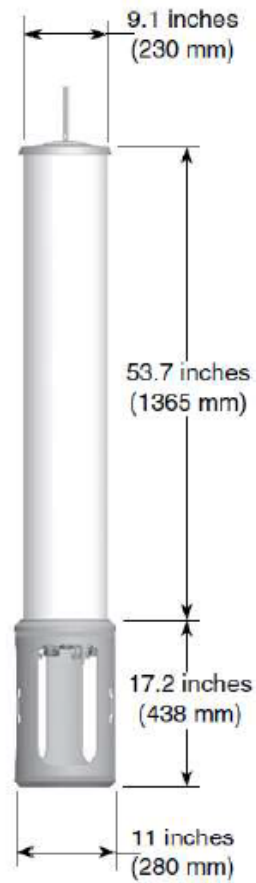


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд антени AVS ODP 800 10360

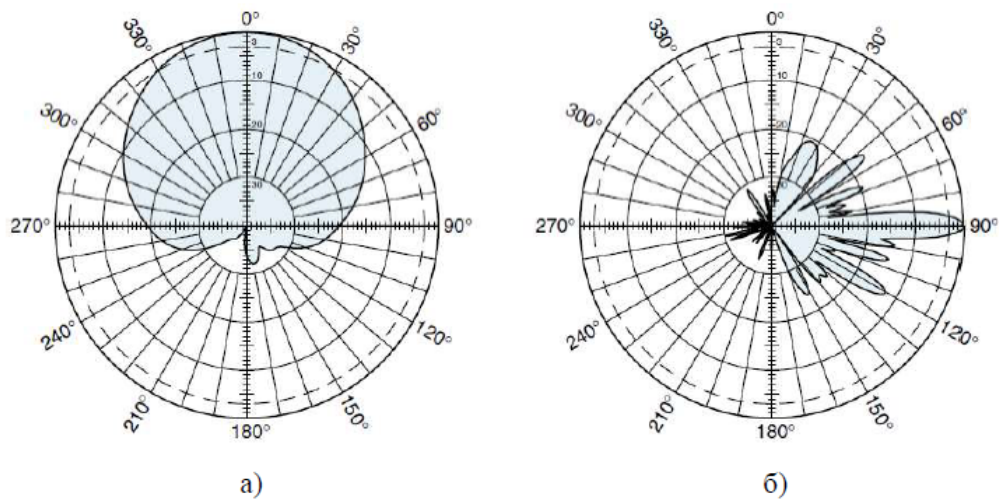


Рисунок 4.3 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 65°

4.1.3 Результати моделювання радіопокриття мережі за технологією UMTS

У попередніх пунктах було отримано кількість базових станцій, що необхідні для моделювання радіопокриття за обраною технологією та для забезпечення необхідним сервісом

При плануванні взаємного розташування базових станцій, а також азимутів випромінювання, було враховано наступні критерії:

- загальна топологія мережі;
- забудова;
- покриття;
- рельєф.

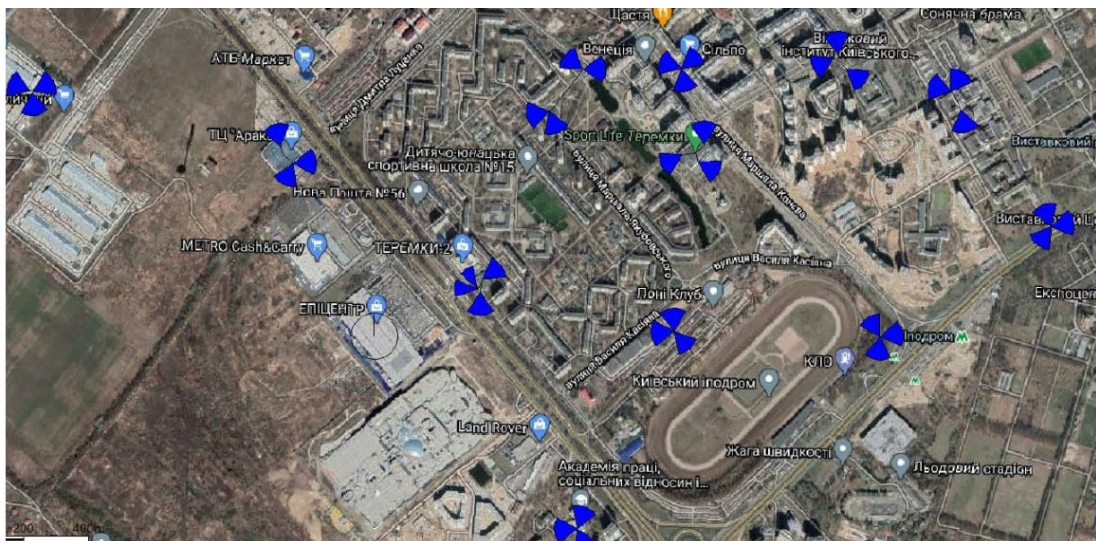


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд мережі в програмі Atoll

Налаштувавши модель ПРХ, здійснено моделювання радіопокриття за рівнем сигналу («Coverage by Signal Level»). Результат показано на рис. 4.5, а легенду позначень з рівнями сигналу на рис. 4.6. Статистику радіопокриття наведено на гістограмі, показаній на рис. 4.7

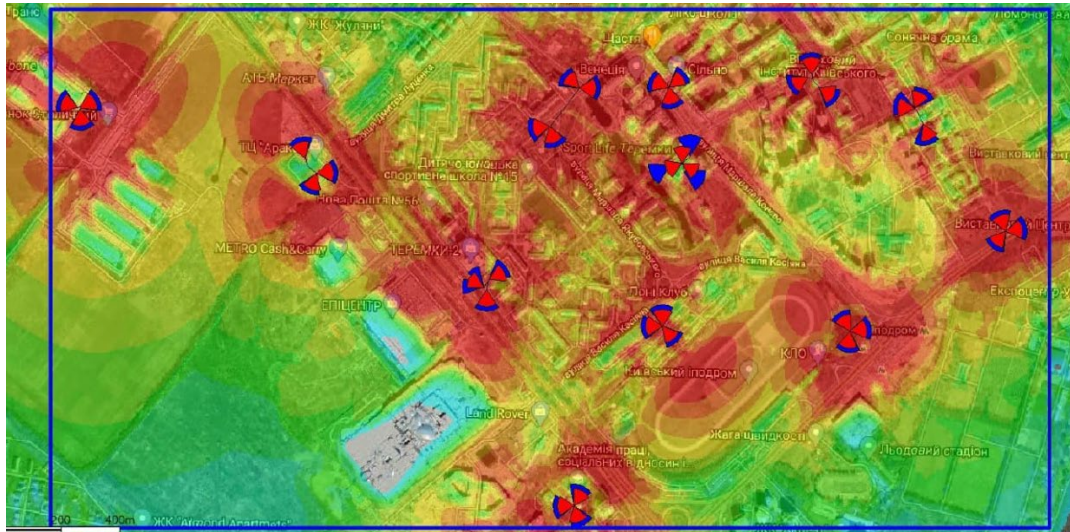


Рисунок 4.5 - Моделювання ПРХ за рівнем сигналу

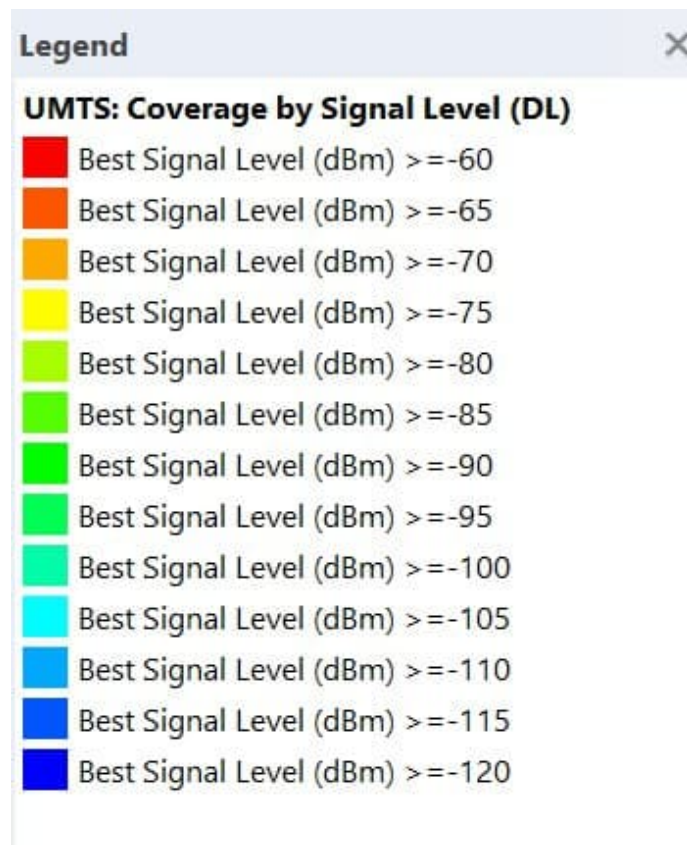


Рисунок 4.6 – Легенда позначень рівнів сигналу

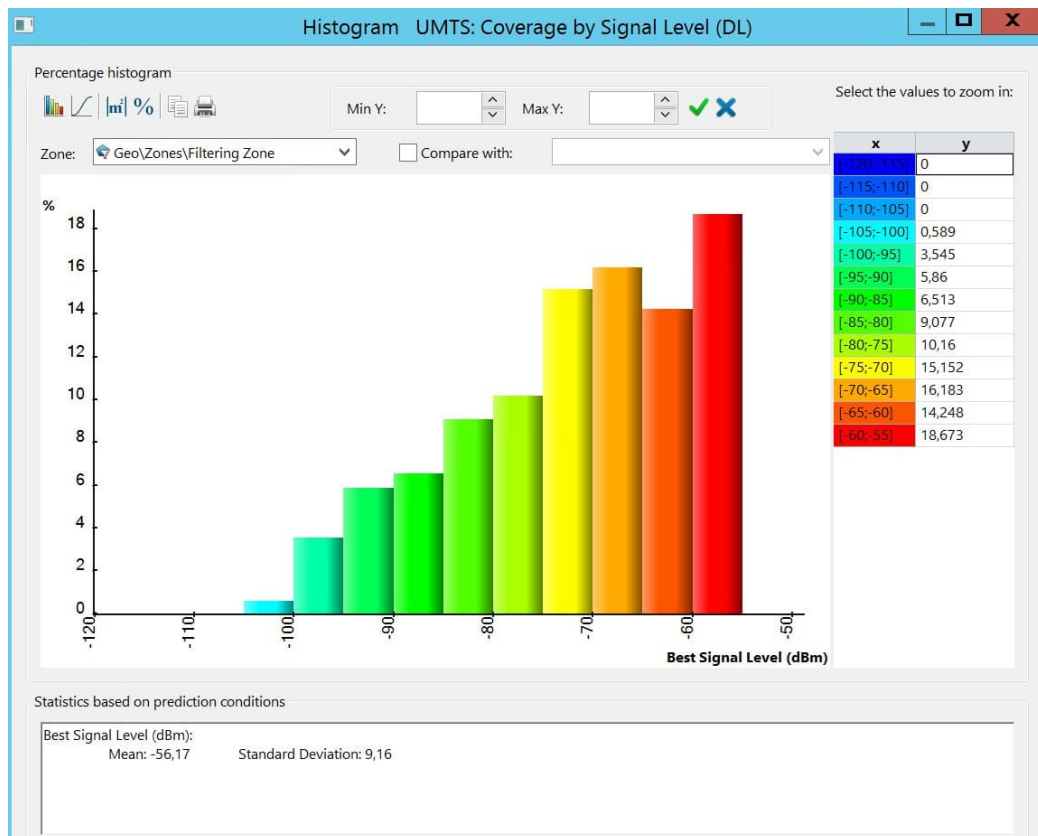


Рисунок 4.7 – Гістограма радіопокриття БС

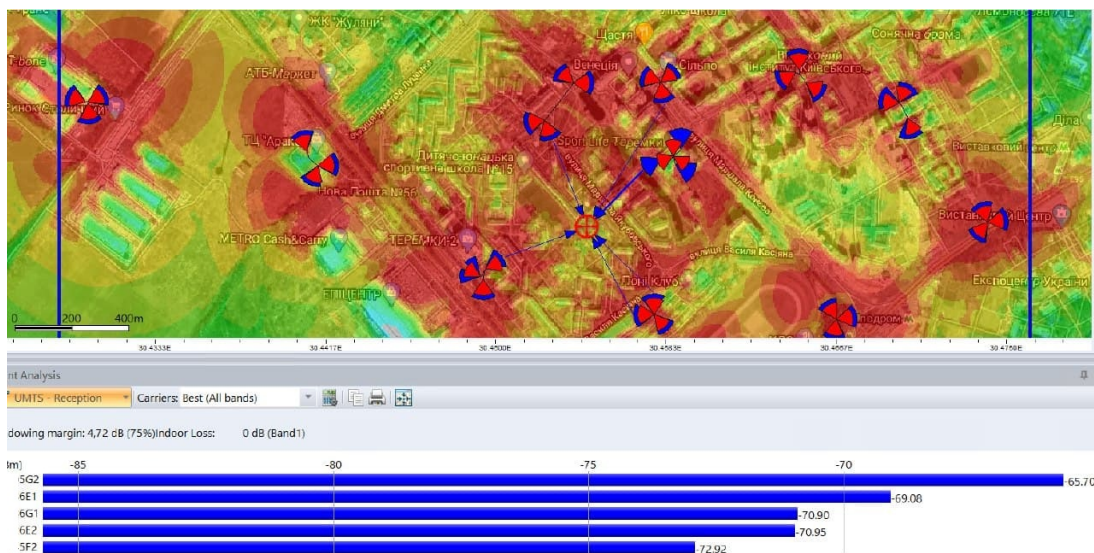


Рисунок 4.8 – Результати проведення точкового аналізу покриття UMTS

За результатами моделювання, отримано мережу 99,5% території якої покрито з рівнем сигналу >-100 дБм. Середнє значення RSRP – $-56,17$

Отже модель повністю задовольнить вимогам користувачів для обраного сервісу враховуючи швидкість та якість його надання.

4.2 Розрахунок радіопокриття для первної території міста Києва за технологією LTE

Таблиця 4.5 – Вхідні данні для технології LTE

Параметр	Вхідне значення
Частота	1800 МГц
Смуга частот	20 МГц
Ширина радіоканалу	20 МГц
Схема MIMO	4x4
Частотна модуляція	64QAM
Гарантована швидкість	5 Мбіт/с
Кількість абонентів	1546
Тип трафіку	Відеосервіси

4.2.1 Розрахунки параметрів мережі за обраною технологією

Спочатку визначаємо пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності циклічної приставки) R , Мбіт/с:

$$R = \frac{n_{чк_с} \cdot N_{рб} \cdot n_{пн} \cdot N_{сим}^{рб} \cdot V_{сс} \cdot m}{T_{рб}},$$

де $N_{рб}$ – кількість ресурсних блоків у виділеній смузі частот, $N_{рб} = 100$ для 20 МГц;

$n_{пн}$ – кількість носійних частот в ресурсному блоці, $n_{пн} = 12$;

$N_{сим}^{рб}$ – кількість символів OFDM в часовому слоті, що утворює ресурсний блок, $N_{сим}^{рб} = 7$;

V_{cc} – швидкість каналного коду, $V_{cc} = 1/3$;

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

$T_{рб}$ – тривалість часового слоту, що утворює ресурсний блок, $T_{рб} = 0,5$ мс.

Кількість каналів визначаємо за формулою:

$$n_{чк_с} = int\left(\frac{F}{\Delta f_k}\right),$$

де F – ширина смуги частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – ширина смуги частот одного радіоканалу, МГц.

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M',$$

де M' – кількість можливих станів модуляції (для забезпечення максимальної пропускної здатності задано модуляцію типу 64QAM, отже $M' = 64$);

k – коефіцієнт, що враховує порядок MIMO (для схеми MIMO 4x4 $k = 4$, за відсутності технології MIMO $k = 1$).

$$m = 4 \cdot \log_2 64.$$

Маємо:

$$R = 700,2 \text{ Мбіт/с.}$$

Визначаємо необхідну загальну пропускну здатність мережі:

$$R_з = N_{аб} \cdot R_{аб},$$

де $N_{аб}$ – загальна кількість абонентів;

$R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с.

$$R_з = 25210 \text{ Мбіт/с.}$$

Тоді необхідна кількість стільників:

$$N_{ст} = \frac{R_з}{R}.$$

Для забезпечення необхідної пропускної здатності мережі необхідно біля 36 стільників, іншими словами 12 базових станцій.

4.2.2 Вибір обладнання для мережі LTE

У відповідності до розрахованої кількості частотних каналів у стільнику $n_{\text{чк}_c} \cdot M = 3$ обираємо обладнання DBS3900, виробник – Huawei.

В таблиці 4.6 наведені основні параметри базової станції, а на рис. 4.10 – її зовнішній вигляд.

Таблиця 4.6 – Основні параметри базової станції Huawei DBS3900 системи LTE

Параметр	Опис
Діапазон частот, МГц	LTE FDD: 700/800/850/900/ 1000/1800/2100/2600; LTE TDD: 1800/2300/2600/3500 /3700/5800
Смуга частот радіоканалу, МГц	1.4/3/5/10/15/20
Розмір FFT	256, 512, 1024
Кількість приймачів	6
Кількість секторів	9
Потужність випромінювання, Вт	40 дБм
Розміри, мм	485 × 300 × 170

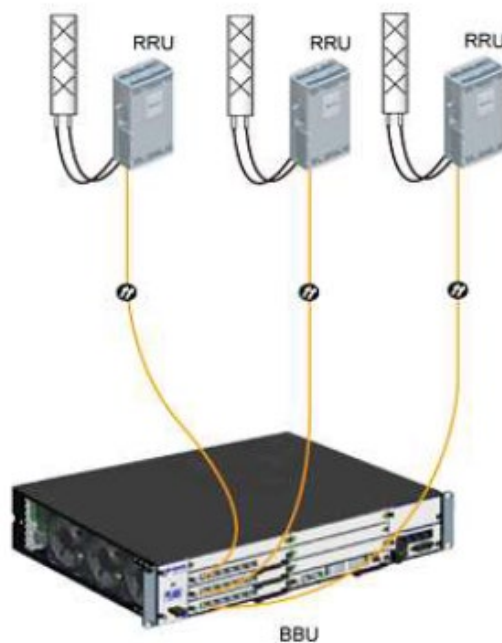


Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд базової станції

Виходячи з робочого діапазону, в якому має працювати антена та кількості секторів у стільнику, було обрано ту ж антену, що і для мережі за технологією UMTS Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna, 1920-2170 МГц

Характеристики антени Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna наведені в табл. 4.4, діаграми спрямованості – на рис. 4.2, 4.3.

Таблиця 4.6 – Характеристики антени Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna

Типовий номер	800 10360
Частотний діапазон	1920-2170 МГц
Поляризація	$\pm 45^\circ$
Підсилення	17,8 дБ
Ізоляція між портами	30 дБ
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	300 Вт

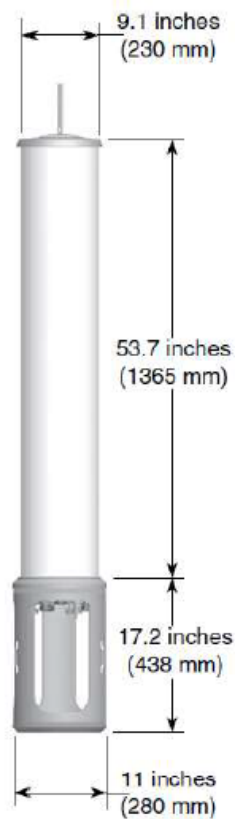


Рисунок 4.11 – Зовнішній вигляд антени AVS ODP 800 10360

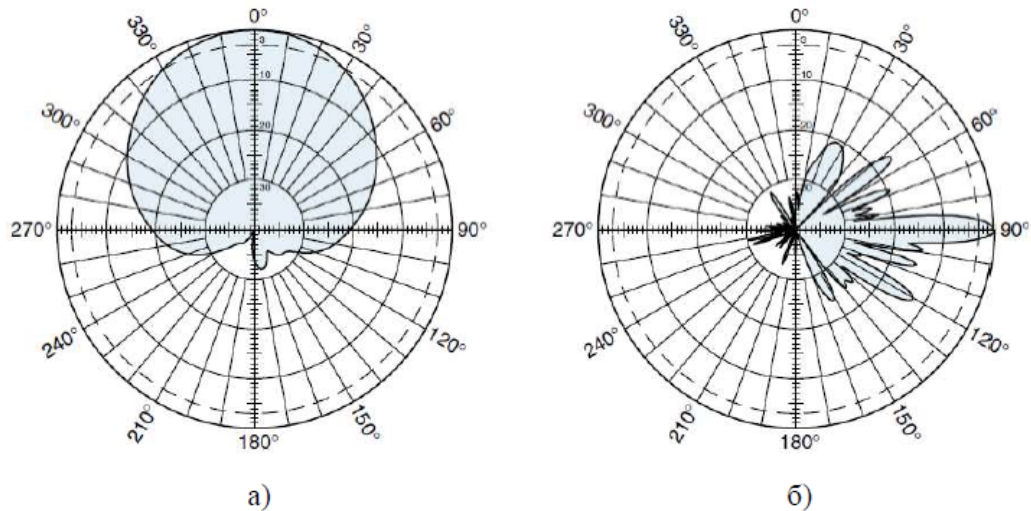


Рисунок 4.12 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 65°

4.2.3 Результати моделювання радіопокриття мережі за технологією LTE

У попередніх пунктах було отримано кількість базових станцій, що необхідні для моделювання радіопокриття за обраною технологією та для забезпечення необхідним сервісом

При плануванні взаємного розташування базових станцій, а також азимутів випромінювання, було враховано наступні критерії:

- загальна топологія мережі;
- забудова;
- покриття;
- рельєф.

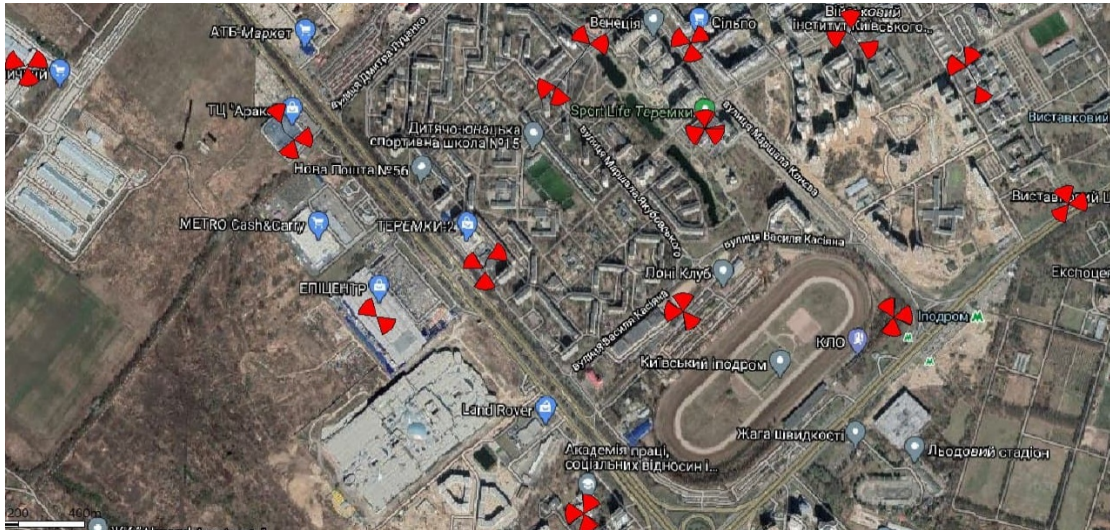


Рисунок 4.13 – Загальний вигляд мережі в програмі Atoll

Налаштувавши модель ПРХ, здійснено моделювання радіопокриття за рівнем сигналу («Effective Signal Level»). Результат показано на рис. 4.14, а легенду позначень з рівнями сигналу на рис. 4.15. Статистику радіопокриття наведено на гістограмі, показаній на рис. 4.16

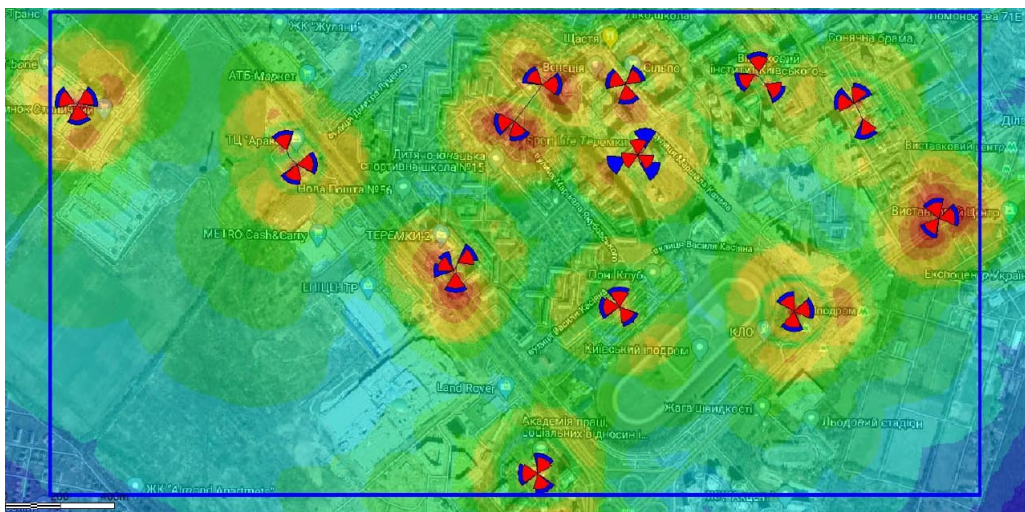


Рисунок 4.14 - Моделювання ПРХ за рівнем сигналу

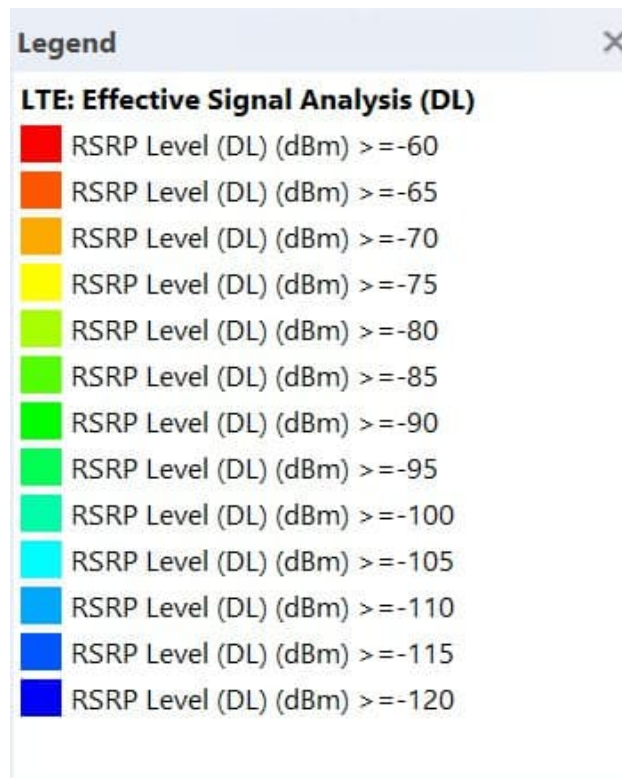


Рисунок 4.15 – Легенда позначень рівнів сигналу

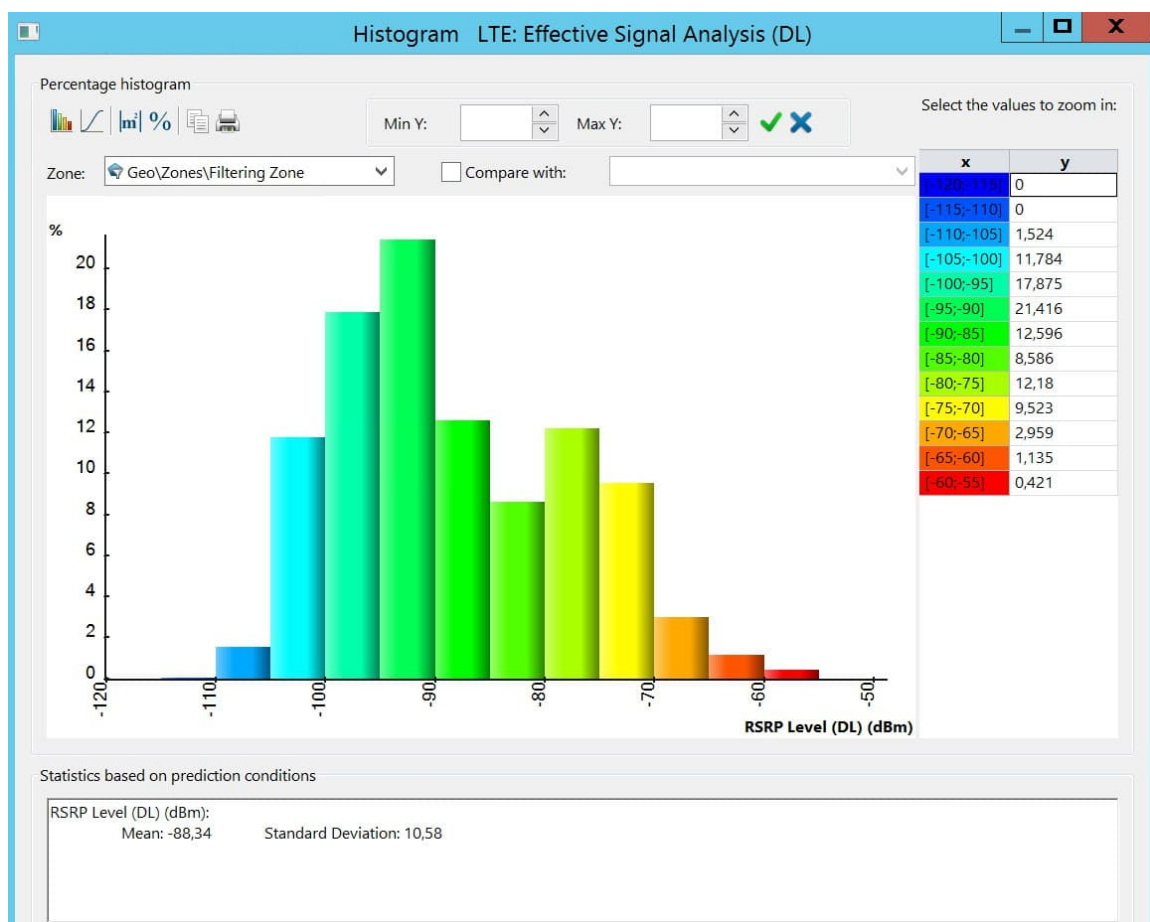


Рисунок 4.16 – Гістограма радіопокриття БС

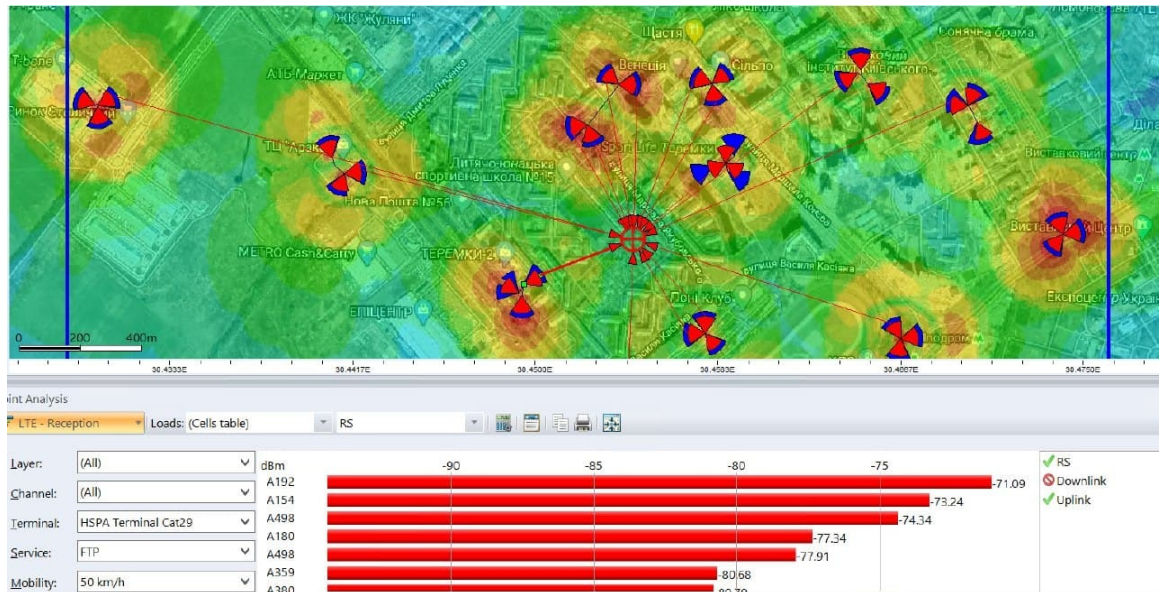


Рисунок 4.17– Результати проведення точкового аналізу покриття UMTS

За результатами моделювання, отримано мережу 98,5% території якої покрито з рівнем сигналу >-105 дБм. Середнє значення RSRP – $-88,34$

Отже модель повністю задовольнить вимогам користувачів для обраного сервісу враховуючи швидкість та якість його надання.

Висновки до розділу

Змодельовано радіопокриття для мереж UMTS та LTE. Підібрано обладнання, яке задовольняє вхідним даним, що забезпечить потрібним сервісом дану кількість абонентів.

Порівнявши дві технології, можна зазначити, що у технології LTE є переваги над UMTS:

- БС LTE можуть бути встановлені на раніше змонтованих БС UMTS;
- LTE забезпечує вищу швидкість передавання даних, ніж UMTS.

Але обидві технології забезпечують якісний рівень радіопокриття та дають можливість абонентам користуватись потрібними сервісами. До того ж,

порівнюючи з LTE, UMTS також дозволяє користуватись голосовими сервісами, на відміну від LTE.

5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

Ідеєю стартап проекту є порівняння різного ПО для моделювання мобільних мереж і визначення найбільш зручного та мультифункціонального з них.

5.1 Список обраних ПО для порівняння

Таблиця 5.1 – Порівнювані ПО

Назва ПО	Тип ПО
Radio Mobile	Безкоштовна
Xirio	Умовно-безкоштовна
AWE ProMan	Комерційна
Atoll	Комерційна

Короткі відомості про кожну програму

Таблиця 5.2 – Короткий опис програми

Назва ПО	Опис
Radio Mobile	Radio Mobile - універсальна програма комп'ютерного моделювання поширення радіохвиль і зон впевненого прийому для різних бездротових мереж. Вона може використовуватися для розрахунку зон охоплення базової станції, ретранслятора або інших радіомереж.
Xirio	Умовно-безкоштовний онлайн сервіс з великим функціоналом і

	підтримкою різних стандартів зв'язку та моделей РРВ.
AWE ProMan	ПО ProMan призначене для розрахунку зон радіопокриття і їх візуалізації. Підтримує стандарти: 2G / 2.5G, 3G / HSDPA / LTE, WLAN, WiMAX, TETRA. Підтримуються як мережі мобільного, так і стаціонарного зв'язку, а так само існує широкі можливості з побудови стільникових мереж зв'язку. А так же, підтримується розрахунок ширококомовних мереж як наземного, так і супутникового базування.
Atoll	Продукт з великими функціональними можливостями. Вважається одним з кращих рішень для радіопланування і оптимізації різних радіотехнологій. В даний час діє 6000 активних ліцензій і 300 клієнтів в 100 різних країнах світу

Далі порів'яємо технології, що підтримує кожна програма.

Таблиця 5.3 – Підтримувані технології

ПО	Підтримувана технологія
Radio Mobile	<ul style="list-style-type: none"> • GSM; • UMTS; • LTE;

	<ul style="list-style-type: none"> • WiMAX; • WI-FI.
Xirio	<ul style="list-style-type: none"> • POCSAG; • DCS-1800; • GSM-900; • TACS-900; • Аналогова транкінгова мережа; • Цифрова транкінгова мережа; • UMTS; • CDMA-2000; • HSDPA; • HSUPA; • GSM-R; • LTE - TDD; • LTE - FDD; • LTE-A - TDD; • LTE-A – FDD.
AWE ProMan	<ul style="list-style-type: none"> • 2G/2.5G; • 3G/HSDPA; • LTE; • WLAN; • WiMAX; • TETRA.
Atoll	<ul style="list-style-type: none"> • GSM / GPRS / EDGE; • UMTS / HSPA; • LTE / LTE-Advanced;

	<ul style="list-style-type: none"> • CDMA2000 1xRTT / EV-DO; • TD-SCDMA; • WiMAX; • Wi-Fi.
--	--

5.2 Функціонал обраних ПО

Таблиця 5.4 – Функціонал програм

ПО	Функціонал
Radio Mobile	<ul style="list-style-type: none"> • Програма використовує дані висот місцевості з баз даних SRTM або DTED, які вільно доступні в Інтернеті. Є також і інші формати даних по висот, але найчастіше використовуються вище зазначені бази даних. • Створює кольорову схему зони охоплення однієї або декількох базових станцій з показом передбачуваних рівнів прийнятих сигналів. Рівні сигналів відображаються з використанням наступних одиниць виміру, що визначаються користувачем.
Xirio	<ul style="list-style-type: none"> • Існує можливість докладної настройки передавачів

	<p>(потужність, втрати в тракці і ін), антен (поляризація, ДН, висота над рівнем даху / моря та ін.), Приймачів</p> <p>(поляризація, висота, чутливість, що вносяться шуми і ін.). Для кожного стандарту задані деякі типові параметри передавачів і приймачів. Існує підтримка врахування впливу будівель.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Доступна можливість статистичного аналізу отриманої зони радіопокриття з точки зору теорії масового обслуговування і з точки зору енергетики.
AWE ProMan	<ul style="list-style-type: none"> • Для моделювання області покриття доступні різні типи територій, від щільної міської забудови (враховується вплив будівель) до лісового масиву (враховується вплив дерев). • Відмінною рисою системи є те, що вона може проводити аналіз створеної моделі мережі зв'язку з точки зору теорії масового обслуговування і

	<p>моделювати різні ситуації (наприклад, ГНН) виходячи з щільності населення в зазначеному районі, і відсотки (від загального населення) потенційних користувачів</p>
Atoll	<ul style="list-style-type: none"> • Підтримка 3GPP Multi-RAT проектів (технології GSM / UMTS / LTE або CDMA / LTE в одному проекті) і симуляцій Монте-Карло з перерозподілом абонентів між технологіями GSM / UMTS / LTE. • Можливості з розрахунку карт покриття в масштабах цілого міста, регіону, федерального округу або країни в рамках одного проекту[13].

Також проаналізуємо наскільки масштабно використовуються дані програми.

Таблиця 5.5 – Масштаб використання

ПО	Використання
Radio Mobile	Здебільш в країнах колишнього СНГ
Xirio	У світі в невеликій кількості для комерційного використання
AWE ProMan	У світі

Atoll	Має широке використання по всьому світі та є основним атрибутом для планування мережі у багатьох телеком операторів
-------	---

Висновки до розділу

Як стартап було обрано порівняння різних програм для моделювання мобільних мереж та пошук кращої з них. У дипломній роботі використовувалась програма Atoll, яка є кращою з наступних параметрів:

- 1) Має зручний інтерфейс
- 2) Дуже великий функціонал та зону масштабування
- 3) Дозволяє використовувати різні технології та вибрати будь-який параметр для точного моделювання (нахил антени, висоту, частоту прийомо-передавача, тощо)
- 4) Використовується у всьому світі в операторів мобільного зв'язку, у тому числі в Україні (Київстар, Водафон, Лайф)

З мінусів програми можна відзначити лише те, що найновішу версію програми ви не зможете отримати безкоштовно і ліцензійного ключа для останніх версій немає у вільному доступі.

В іншому програма Atoll знаходиться попереду своїх конкурентів.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації розглянуто особливості формування радіопокриття в високошвидкісних мережах з мультимедійним трафіком.

1. Досліджено поняття мультимедійного трафіку. Визначено деякі його основні параметри та наведено мінімальні та максимальні значення параметрів для забезпечення певних видів сервісів. Наведено параметри якості обслуговування мереж з мультимедійним трафіком для забезпечення абонентів необхідними послугами.

2. Проаналізовано третє та четверте покоління високошвидкісних мереж та досліджено особливості UMTS та LTE мереж. Виконано порівняння кожного покоління мереж між собою за такими параметрами, як нисхідні та висхідні швидкості завантаження, підтримувані типи частотної модуляції, пропускна здатність та час затримки.

3. Розглянуто технології UMTS та LTE та їх модифікації, такі, як HSPA та HSDPA для 3G та LTE-A, LTE-A Pro для 4G, наведено загальні відомості про технології, використовані частоти. Також розібрано повторне використання смуг часто для радіопланування мережі, як жорстке, так і м'яке. Також особливості радіо- та частотного планування для кожної з технологій. Запропоновано шляхи поліпшення зони обслуговування у висхідному та висхідному каналах високошвидкісних мереж з мультимедійним трафіком.

4. Змодельовано радіопокриття для мереж UMTS та LTE. Підібрано обладнання, яке задовольняє вхідним даним, що забезпечить потрібним сервісом дану кількість абонентів.

Порівнявши 2 технології можна виділити, що у технології LTE є переваги над UMTS:

- БС LTE можуть бути встановлені на раніше змонтованих БС UMTS;
- LTE забезпечує вищу швидкість, ніж UMTS;

Але обидві технології забезпечують якісний рівень радіопокриття та дають можливість абонентам користуватись потрібними сервісами. До того ж,

порівнюючи з LTE, UMTS також дозволяє користуватись голосовими сервісами, на відміну від LTE.

5 . Як стартап обрано порівняння різних програм для моделювання мобільних мереж та пошук кращої з них. У дипломній роботі використовувалась програма Atoll, яка є кращою за такими параметрами:

- має зручний інтерфейс;
- дуже великий функціонал та зону масштабування;
- дозволяє використовувати різні технології та вибрати будь-який параметр для точного моделювання (нахил антени, висоту, частоту прийомо-передавача, тощо);
- використовується у всьому світі в операторів мобільного зв'язку, у тому числі в Україні (Київстар, Водафон, Лайф).

З мінусів програми можна відзначити лише те, що найновішу версію програми не можна отримати безкоштовно і ліцензійного ключа для останніх версій немає у вільному доступі.

В іншому програма Atoll знаходиться попереду своїх конкурентів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Розвиток телкомунікаційних мереж [Електронний ресурс] - <http://www.ultrasonex-amfodent.ru/content/telekomunikatsiya/1/index.html>
2. LTE OFDM, OFDMA SC-FDMA & Modulation [Електронний ресурс] - <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/ofdm-ofdma-scfdma-modulation.php>
3. Мультисервісні телекомунікаційні мережі [Електронний ресурс] - http://libr.aues.kz/facultet/frts/kaf_aes/40/umm/aes_3.html
4. Якість сервісу в мультисервісних мережах [Електронний ресурс] - <https://compress.ru/article.aspx?id=10854>
5. UMTS – технологія WCDMA [Електронний ресурс] - <https://coderlessons.com/tutorials/telekom/uchitsia-umts/umts-tekhnologiia-wcdma>
6. HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) [Електронний ресурс] - <http://celnet.ru/HSUPA.php>
7. HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) [Електронний ресурс] - <http://celnet.ru/HSDPA.php>
8. 4G. LTE - Long Term Evolution [Електронний ресурс] - <http://celnet.ru/4G.php>
9. 3G UMTS Network Architecture [Електронний ресурс] - <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-umts/network-architecture.php>
10. Огляд LTE-Advanced, основні характеристики та відмінності від LTE [Електронний ресурс] - <http://anisimoff.org/lte/lte-advanced%20overview.html>
11. Планування мереж LTE [Електронний ресурс] - <http://1234g.ru/4g/lte/planirovanie-setej-lte/planirovanie-setej-lte>
12. Частотне планування [Електронний ресурс] - <http://1234g.ru/4g/lte/planirovanie-setej-lte/313-chastotnoe-planirovanie>

13. Огляд ПО для планування радіомереж [Електронний ресурс] -
<http://omoled.ru/publications/view/876>
14. Вимоги до LTE-Advanced [Електронний ресурс] -
http://anisimoff.org/lte/3gpp_requirements.html

Додаток А

РЕФЕРАТ
АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ ЗА ТЕМОЮ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

ABSTRACT

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System, is the 3G successor to the GSM family of standards including GPRS and EDGE.

3G UMTS uses a totally different radio interface based around the use of Direct Sequence Spread Spectrum as CDMA or Code Division Multiple Access.

Although 3G UMTS uses a totally different radio access standard, the core network is the same as that used for GPRS and EDGE to carry separate circuit switched voice and packet data.

UMTS uses a wideband version of CDMA occupying a 5 MHz wide channel. Being wider than its competition CDMA2000 which only used a 1.25MHz channel, the modulation scheme was known as wideband CDMA, or WCDMA / W-CDMA. This name was often used to refer to the whole system.

In order to create and manage a system as complicated as UMTS or WCDMA it is necessary to develop and maintain a large number of documents and specifications. For UMTS or WCDMA, these are now managed by a group known as 3GPP - the Third Generation Partnership Programme. This is a global co-operation between six organisational partners - ARIB, CCSA, ETSI, ATIS, TTA and TTC.

The scope of 3GPP was to produce globally applicable Technical Specifications and Technical Reports for a 3rd Generation Mobile Telecommunications System. This would be based upon the GSM core networks and the radio access technologies that they support (i.e., Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) both Frequency Division Duplex (FDD) and Time Division Duplex (TDD) modes).

Since it was originally formed, 3GPP has also taken over responsibility for the GSM standards as well as looking at future developments including LTE (Long Term Evolution) and the 4G technology known as LTE Advanced.

There are several key areas of 3G UMTS / WCDMA. Within these there are several key technologies that have been employed to enable UMTS / WCDMA to provide a leap in performance over its 2G predecessors.

Some of these key areas include:

- **Radio interface:** The UMTS radio interface provides the basic definition of the radio signal. W-CDMA occupies 5 MHz channels and has defined formats for elements such as synchronisation, power control and the like
- **CDMA technology :** 3G UMTS relies on a scheme known as CDMA or code division multiple access to enable multiple handsets or user equipments to have access to the base station. Using a scheme known as direct sequence spread spectrum, different UEs have different codes and can all talk to the base station even though they are all on the same frequency
- **UMTS network architecture:** The architecture for a UMTS network was designed to enable packet data to be carried over the network, whilst still enabling it to support circuit switched voice. All the usual functions enabling access to the network, roaming and the like are also supported.
- **UMTS modulation schemes:** Within the CDMA signal format, a variety of forms of modulation are used. These are typically forms of phase shift keying.
- **UMTS channels:** As with any cellular system, different data channels are required for passing payload data as well as control information and for enabling the required resources to be allocated. A variety of different data channels are used to enable these facilities to be accomplished.
- **UMTS TDD:** There are two methods of providing duplex for 3G UMTS. One is what is termed frequency division duplex, FDD. This uses two channels spaced sufficiently apart so that the receiver can receive whilst the transmitter is also operating. Another method is to use time division duplex, TDD where short time blocks are allocated to transmissions in both directions. Using this method, only a single channel is required
- **Handover:** One key area of any cellular telecommunications system is the handover (handoff) from one cell to the next. Using CDMA there are several forms of handover that are implemented within the system.

LTE was the 4G successor to the 3G UMTS system which was developed to provide a further evolution of the mobile telecommunications system available.

Providing much higher data speeds and greatly improved performance as well as lower operating costs, the scheme started to be deployed in its basic form around 2008.

Initial deployments gave little improvement over 3G HSPA and were sometimes dubbed 3.5G or 3.99G, but soon the full capability of LTE was realised it provided a full 4G level of performance.

The first deployments were simply known as LTE, but later deployments were designated 4G LTE Advanced and later still 4G LTE Pro.

Not only was the radio access network improved for 4G LTE, but the network architecture was overhauled enabling lower latency and much better interconnectivity between elements of the radio access network, RAN.

Although there are major step changes between LTE and its 3G predecessors, it is nevertheless looked upon as an evolution of the UMTS / 3GPP 3G standards. Although it uses a different form of radio interface, using OFDMA / SC-FDMA instead of CDMA, there are many similarities with the earlier forms of 3G architecture and there is scope for much re-use.

In determining what is LTE and how does it differ from other cellular systems, a quick look at the specifications for the system can provide many answers. LTE can be seen for provide a further evolution of functionality, increased speeds and general improved performance.

LTE has introduced a number of new technologies when compared to the previous cellular systems. They enable LTE to be able to operate more efficiently with respect to the use of spectrum, and also to provide the much higher data rates that are being required.

- ***OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex):*** OFDM technology was used for the signal format for LTE because it enabled high data bandwidths to be transmitted efficiently while still providing a high degree of resilience to reflections and interference. As data was carried on a large number

of carriers, if some were missing as a result of interference from reflections, etc, the system was still able to cope. The access schemes differed between the uplink and downlink: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) was used in the downlink; while SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) was used in the uplink. SC-FDMA was used in view of the fact that its peak to average power ratio is smaller than for OFDMA - the lower peak to average power ratio enabling better levels of final RF power amplifier to be achieved - this was and is an important factor for mobile handset battery life.

- **MIMO (Multiple Input Multiple Output):** One of the main problems that previous telecommunications systems has encountered was that of multiple signals arising from the many reflections that are encountered. By using MIMO, these additional signal paths could be used to advantage and were able to be used to increase the throughput. When using MIMO, it is necessary to use multiple antennas to enable the different paths to be distinguished. Accordingly schemes using 2 x 2, 4 x 2, or 4 x 4 antenna matrices could be used. While it is relatively easy to add further antennas to a base station, the same was not true of mobile handsets, where the dimensions of the user equipment limited the number of antennas which should be placed at least a half wavelength apart.

- **SAE (System Architecture Evolution):** With the very high data rate and low latency requirements for 3G LTE, it was necessary to evolve the system architecture to enable the improved performance to be achieved. One change was that a number of the functions previously handled by the core network were transferred out to the periphery. Essentially this provided a much "flatter" form of network architecture. In this way latency times could be reduced and data routed more directly to its destination. As part of the upgrade an Evolved Packet Core, EPC was developed to ensure that the packet data was routed as efficiently as possible.

- **IP data:** 4G LTE is an all IP data system. 3G UMTS had included circuit switched voice, but LTE had not provision for any circuit switched voice.

Originally it had been anticipated that operators would supply the data capability and voice would be via OTT applications. As operators would lose out significant revenues as voice, at the time, constituted a major element of the revenue. To overcome this GSMA set the standard for voice connectivity as the Voice over LTE scheme, VoLTE

VoLTE required the implementation of an IMS core and this slowed roll out of this capability in view of the expense. To help operators overcome this, a limited implementation of IMS was developed and this considerably reduced the capital expenditure required by operators.