

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему **Модернізована система стільникового зв'язку м. Лубни на основі європейського стандарту 5G**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601ТТ
спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Адаменко М.К.
(прізвище та ініціали)

Керівник Сокол Г.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2022 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики,
електроніки та телекомунікацій

_____ О.В.Шефер
“ ___ ” _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Адаменку Максиму Костянтиновичу

1. Тема проекту (роботи) **«Модернізована система стільникового зв'язку м. Лубни на основі європейського стандарту 5G» керівник проекту (роботи) Сокол Галина Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, затверджена наказом вищого навчального закладу від “12” 08 2022 року № 544 фа**
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 07.12.2022 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): стандарт 5G; N=47,8 тис. чоловік, S=29,9 км².
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Обґрунтування необхідності розгортання системи стільникового зв'язку. Розрахунок основних характеристик системи стільникового зв'язку. Вибір обладнання системи стільникового зв'язку.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Загальне визначення про стільниковий зв'язок.
 - 2) Покоління систем мобільного зв'язку.
 - 3) Порівняння стандартів LTE та 5G.
 - 4) Варіанти переходу від LTE до 5G.

- 5) Вибір обладнання для моделювання мережі 5G.
 - 6) Обраховані дані.
 - 7) Моделювання в програмному забезпеченні.
 - 8) Висновки до виконаної роботи.
6. Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Підготовка матеріалів до оглядово-аналітичної частини дипломної роботи	27.09.2022 р.	Пл. 1,2
2	Розробка розділу оглядово-аналітичного характеру	11.10.2022 р.	Пл. 3,4
3	Розробка розділів спеціальної частини	18.10.2022 р.	Пл. 5,6,7
		10.11.2022 р.	Пл. 8,9,10
4	Підготовка демонстраційного матеріалу, доповіді, подання роботи на рецензію та затвердження	07.12.2022 р.	Пл. 11,12,13

Магістрант _____ Адаменко М.К.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Сокол Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ СТАНДАРТІВ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ’ЯЗКУ	8
1.1 Історія та розвиток стільникового зв’язку	8
1.2 Четверте покоління мобільного зв’язку (4G)	13
1.3 Планування та технології стандарту LTE	16
1.4 Технологія МІМО.....	20
1.5 Частотне планування.....	21
1.6 Переваги та недоліки LTE.....	23
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ 5G	25
2.1 Що таке 5G.....	25
2.2 Стандартизація	26
2.3 Сценарії використання та вимоги.....	27
2.4 5G та Інтернет Речей	29
2.5 Швидкість 5G.....	30
2.6 Особливості архітектури опорної мережі (Core Network) 5G	31
2.7 Технології 5G New Radio (5G NR).....	34
2.8 Структура сигналів 5G NR.....	38
2.9 Основні технології.....	40
2.10 Програмні модулі і мережеві функції.....	44
РОЗДІЛ 3. ПЕРЕХІД ВІД LTE ДО 5G	47
3.1 Варіанти переходу від LTE до 5G	47
3.2 Основні переваги та недоліки між стандартами LTE та 5G.....	49
3.3 Вибір обладнання для побудови мережі 5G	49
3.4 Основні розрахунки для побудови мережі 5G.....	53
3.5 Розташування та моделювання БС стандарту 5G.....	58
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТОК А	70
ДОДАТОК Б.....	86
ДОДАТОК В.....	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

5G - 5-е покоління мобільних мереж.

IoT (Internet of Things, IoT) – Інтернет речей.

LTE (Long Term Evolution) — назва мобільного протоколу передачі даних.

БС – базова станція – це системний комплекс приймально-передавальної апаратури, що здійснює централізоване обслуговування групи кінцевих абонентських пристроїв.

GSM – GlobalSystemforMobileCommunications – міжнародний стандарт для мобільного цифрового стільникового зв'язку з розділенням каналу за принципом TDMA та високим рівнем безпеки за рахунок шифрування з відкритим ключем.

IP – InternetProtocol – протокол мережевого рівня для передавання даних між мережами.

SMS – Short Message Service – послуга обміну (передачі і прийому) короткими текстовими повідомленнями в телекомунікаційних мережах.

LTE – Long Term Evolution – назва мобільного протоколу передавання даних; проект 3GPP, стандарт з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості.

ВСТУП

Активне зростання мереж мобільного зв'язку триває і сьогодні. Можливості, які відкривають мобільні технології, давно вийшли за межі голосових сервісів. Експоненціальне зростання трафіку в мережах по всьому світу пояснюється широким поширенням пристроїв, підключених до мереж мобільного зв'язку.

Актуальність роботи: у процесі розвитку мобільних мереж до них пред'являються нові і зовсім інші вимоги. Вектор розвитку технологій прагне підвищити продуктивність і збільшити кількість можливостей. Так, крім існуючих технологій третього і четвертого покоління, з'явилася технологія, яка дозволяє вирішувати завдання, які не могли бути вирішені в рамках мобільного зв'язку попередніх поколінь. Грамотна інтеграція існуючих і нових технологій призведе до підвищення якості послуг і створення великої кількості нових послуг.

Результатом розвитку технологій стала поява мережі п'ятого покоління (5G). Очікується, що після 2022 року мережі четвертого покоління (4G) будуть домінувати в усьому світі, тому можна говорити не про заміну існуючих технологій на стандарт 5G, а про їх розвиток і доповнення новими технологіями радіодоступу, розробленими для конкретних сценаріїв і під конкретні умови, цілі.

Очевидно, що поява мереж нового покоління по ряду причин має найбільшу актуальність в великих містах. Це пов'язано з високими запитами по швидкості передачі даних, пропускнує спроможності, місткості мережі, а також з вимогами до малого часу відгуку і низькому енергоспоживанню мобільних пристроїв.

Об'єкт дослідження – процес зв'язку у мобільній мережі стандарту 5G.

Предмет дослідження – методи розрахунку основних характеристик мережі зв'язку стандарту 5G.

Метод дослідження – аналітичний з використанням комп'ютерних технологій.

Мета роботи – модернізація мережі зв'язку на основі європейського стандарту 5G.

Виявлення актуальних проблем сучасних мереж зв'язку дозволяє вказати вимоги до технологій п'ятого покоління, спрогнозувати сценарії їх використання, а потім розглянути шляхи переходу та співіснування мереж 4G та 5G.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ СТАНДАРТІВ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Історія та розвиток стільникового зв'язку

Еволюція стільникового зв'язку не стоїть на місці, адже з кожним днем росте потреба в збільшенні швидкості обробки та якості передачі даних. За весь час існування мобільної мережі, можна виділити такі покоління: 1G, 2G, 3G, 4G та нове 5G.

Перше покоління мобільного зв'язку (1G)

Офіційною датою народження мобільного зв'язку вважається 3 квітня 1973 року, коли глава підрозділу мобільного зв'язку Motorola Мартін Купер зателефонував Джоелю Енгелу, керівнику науково-дослідницького відділу AT & T Bell Laboratories, на жвавій вулиці Нью-Йорка. Ці дві компанії були при зародженні мобільної телефонії. Ця технологія була комерційно впроваджена через кілька років, у 1984 році, у вигляді мобільних мереж першого покоління (1G), які базувалися на аналоговому методі передачі інформації [1].

Основними стандартами аналогового мобільного зв'язку стали AMPS (Advanced Mobile Phone Service) (США, Канада, Центральна та Південна Америка, Австралія), TACS (Total Access Communications System) (Англія, Італія, Іспанія, Австрія, Ірландія, Японія) і NMT (Nordic Mobile Telephone) (Скандинавські країни та багато інших країн). Були й інші аналогові стандарти мобільного зв'язку - Z-450 у Німеччині та Португалії, RTMS (Radio Telephone Mobile System) в Італії, Radiocom 2000 у Франції. Загалом, мобільний зв'язок першого покоління являв собою клаптик несумісних стандартів [1].

На початку еволюції 1G ніхто навіть не думав про послуги передачі даних - це були аналогові системи, розроблені та побудовані виключно для голосових дзвінків та деяких інших скромних функцій. Були модеми, але

оскільки бездротовий зв'язок більш схильний до шумів і спотворень, ніж звичайний дротовий зв'язок, швидкість передачі була неймовірно низькою. Крім того, у 80-х роках ціна хвилини розмови була настільки високою, що мобільний телефон можна було вважати розкішшю [1].

Усі аналогові стандарти, використовують частотну (АМ) або фазову (ФМ) модуляцію для передачі мови та маніпуляції частотою для передачі керуючої інформації. Цей метод має ряд суттєвих недоліків: можливість прослуховування розмов іншими учасниками, відсутність ефективних методів боротьби із завмиранням сигналів під впливом навколишнього ландшафту та будівель або через рух учасників. Для передачі інформації по різних каналах використовуються різні ділянки частотного спектру - використовується метод множинного доступу з частотним поділом каналів (Frequency Division Multiple Access - FDMA) [2].

З цим безпосередньо пов'язаний головний недолік аналогових систем - відносно низька пропускна здатність, що є наслідком недостатньо раціонального використання виділеної смуги частот при розподілі частот каналів [2].

Друге покоління мобільного зв'язку (2G)

У 1982 році СЕРТ (франц. Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications) створила робочу групу під назвою GSM Special Group (франц. Groupe Spécial Mobile) для вивчення та розвитку Європейського стільникового мобільного зв'язку загального застосування - друге покоління систем мобільного телефону (2G). Назва робочої групи GSM також використовувалася як назва системи мобільного зв'язку. У 1989 році обов'язки СЕРТ були передані Європейському інституту телекомунікаційних стандартів (ETSI). Спочатку GSM призначався лише для країн-учасниць ETSI [1].

Однак у багатьох інших країнах також реалізовано GSM, наприклад у Східній Європі, на Близькому Сході, в Азії, Африці, Тихоокеанському регіоні та Північній Америці (з похідною GSM під назвою PCS1900). Назва GSM

стала означати «глобальна система мобільного зв'язку», що відповідає її суті [1].

Перші мобільні мережі другого покоління (2G) з'явилися в 1991 році. Головною їхньою відмінністю від мереж першого покоління був цифровий спосіб передачі інформації, завдяки якому з'явився сервіс обміну короткими текстовими повідомленнями SMS (англ. Short Messaging Service), яку багато хто полюбив. При будівництві мереж другого покоління Європа пішла шляхом створення єдиного стандарту - GSM, в США більшість мереж 2G будували на основі стандарту D-AMPS (Digital AMPS), який є модифікацією аналогового AMPS. До речі, саме ця обставина призвела до створення американської версії стандарту GSM - GSM1900. З розвитком і поширенням Інтернету для мобільних пристроїв мереж 2G був розроблений WAP (Wireless Application Protocol - протокол бездротової передачі даних) - протокол бездротового доступу до ресурсів глобальної мережі Інтернет безпосередньо з мобільних телефонів [1].

Стандарт GSM використовує доступ до декількох станцій мультиплексування з часовим поділом (ущільненням каналів - TDMA), що дозволяє розміщувати 8 голосових каналів одночасно на одній несучій частоті [4]. GSM підтримує інтенсивну передачу (270 кбіт / с), забезпечує роумінг (тобто автоматичний моніторинг переходу мобільного користувача з однієї комірки в іншу), включає інтеграцію мови, даних та зв'язок із загальнодоступними мережами [4].

Існує декілька видів стандартів стільникового зв'язку, а саме: GSM-900, який працює в частотних діапазонах, в межах 890-960 МГц. Та мікро стільниковий зв'язок, який виконує свою роботу в межах 1710-1880 МГц [1]. Від того, що площа стільника є невеликою та присутнє велике загасання, з'явилась і назва: «Мікро стільник» [4].

Загальна архітектура GSM зображена на Рисунку 1.1. У кожній діє базова станція BTS (BaseTranscieverStation), який забезпечує прийом та передачу радіосигналів абонентам. BTS має діапазон частот, відмінний від діапазонів сусідніх сот. Мобільний осередок прослуховує сусідні BTS і повідомляє контролера базових станцій (BSC - BaseStationController) про якість прийому з тим, щоб BSC міг вчасно перейти на потрібну комірку BTS. Центр комутації (MSC - MobileservicesSwitchingCentre) здійснює комутацію і маршрутизацію, направляючи виклики потрібного абонента, у тому числі під зовнішні мережі загального користування [6]. База даних зберігає інформацію про місцезнаходження користувачів, технічні характеристики мобільних станцій, дані для ідентифікації користувачів. На Рисунку 1.1 показана схема роботи цього стандарту.

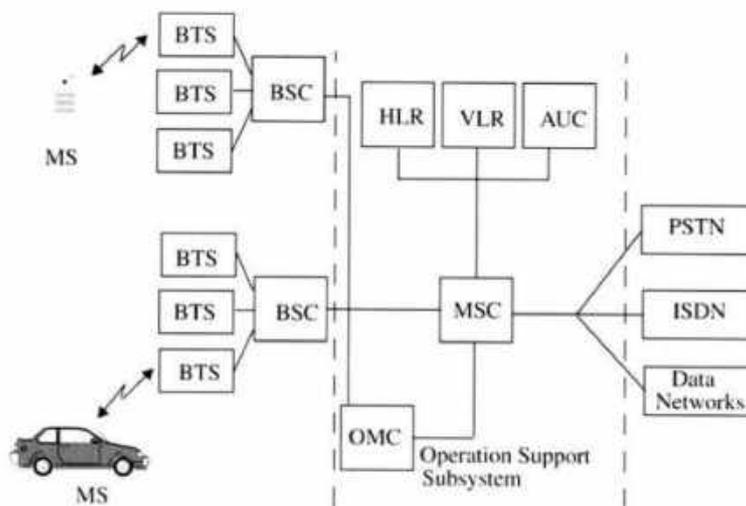


Рисунок 1.1 – Структурна схема роботи стандарту GSM

Створення стандарту GSM можна розділити на два етапи:

Перший етап, який почався в 1991 році. У число послуг цього етапу входять: переадресація виклику, заборона виклику, чекання виклику, утримання виклику, глобальний роумінг.

З розвитком технологій стільникових мереж абонентам надавалися додаткові послуги.

Другий етап розвитку GSM – завершився в 1997 році і разом з послугами першого етапу надав абонентам нові послуги: визначення номера викликаючої лінії, антивизначник номера, груповий виклик, створення закритої групи, інформація про вартість розмови, порада щодо оплати, обслуговування додаткової лінії, прийом коротких текстових повідомлень, система голосових повідомлень.

Порівняно з іншими широко-використовуваними цифровими стандартами, GSM забезпечує кращу та вищу енергоефективність, якість, безпеку та конфіденційність спілкування.

Основні переваги мереж 2G перед їхніми попередниками полягали в тому, що телефонні розмови шифрувалися за допомогою цифрового шифрування; Система 2G надала послуги передачі даних, починаючи з SMS-повідомлень.

Зростаюча потреба мобільних користувачів у використанні Інтернету з мобільних пристроїв стала основною рушійною силою створення мереж покоління 2.5G, яке стало переходом між 2G і 3G. Мережі 2.5G використовують ті самі стандарти мобільного зв'язку, що й мережі 2G, але підтримують технології пакетної передачі даних у мережах GSM – GPRS (Загальна пакетна радіопередача), EDGE (Розширена швидкість передачі даних для GSM Evolution). Використання пакетної передачі даних дозволило збільшити швидкість обміну інформацією до 384 Кбіт/с при роботі з Інтернетом з мобільних пристроїв замість 9,6 Кбіт/с у мережах 2G.

Третє покоління мобільного зв'язку (3G)

Перехід до третього покоління (3G) став подальшим розвитком мереж мобільного зв'язку. 3G - це стандарт мобільного цифрового зв'язку, який під аббревіатурою IMT-2000 (англ. International Mobile Telecommunications -

міжнародний мобільний зв'язок 2000) об'єднує п'ять стандартів - W-CDMA, CDMA2000, TD-CDMA / TD-SCDMA, DECT (Digital Enhanced Cordless Телекомунікації). З перерахованих компонентів 3G лише перші три представляють собою повноцінні стандарти мобільного зв'язку третього покоління. DECT - це стандарт бездротової телефонії для домашніх або офісних цілей, який можна використовувати тільки для організації точок доступу в цих мережах в рамках мобільних технологій третього покоління.

Стандарт ІМТ-2000 дає чітке визначення мереж 3G - мобільна мережа третього покоління означає інтегровану мобільну мережу, яка забезпечує: для стаціонарних абонентів швидкість обміну інформацією не менше 2048 кбіт/с, для абонентів, що рухаються з максимальною швидкістю 3 км/год - 384 кбіт/с, для учасників, які рухаються з максимальною швидкістю 120 км/год - 144 кбіт/с. Для глобального супутникового покриття мережі 3G повинні забезпечувати швидкість обміну не менше 64 кбіт/с. Протоколи множинного доступу з кодовим поділом є основою всіх стандартів третього покоління.

1.2 Четверте покоління мобільного зв'язку (4G)

У березні 2008 року сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Р) визначив кілька вимог до міжнародного стандарту мобільної бездротової широкопasmової мережі 4G, який отримав назву специфікацій International Mobile Telecommunications Advanced (ІМТ-Advanced). Вимоги до швидкості передачі даних для абонентів: 100 Мбіт/с має надаватися високомобільним абонентам (наприклад, потягам і автомобілям) і 1 Гбіт/с маломобільним абонентам (наприклад, пішоходам і стаціонарним абонентам) [2].

Оскільки перші версії мобільного WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) і LTE (англ. Long Term Evolution)

підтримують швидкість значно нижчу за 1 Гбіт/с, їх не можна назвати технологіями, що відповідають IMTAdvanced, навіть якщо постачальники послуг часто називають їх технології 4G. 6 грудня 2010 року ІТУ-R визнав, що 4G вважається найпередовішою технологією.

Основною, базовою технологією четвертого покоління є технологія ортогонального частотного стиснення OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Для максимальної швидкості передачі також використовується технологія передачі даних за допомогою N антен і їх прийому за допомогою M антен - MIMO (англ. Multiple Input / Multiple Output - багато входів / багато виходів). У цій технології передавальна та приймальна антени розташовані на відстані, щоб досягти низької кореляції між сусідніми антенами.

LTE

Технологія LTE є основним напрямком розвитку мереж мобільного зв'язку третього покоління (3G). У січні 2008 року Third Generation Partnership Project (3GPP), міжнародна асоціація, яка займається розробкою перспективних стандартів мобільного зв'язку, затвердила LTE як наступний стандарт для мобільних широкосмугових мереж після UMTS [1].

Міжнародний союз електрозв'язку обрав дві технології – LTE-Advanced і WirelessMAN-Advanced (на основі стандарту WiMAX) як стандарти для бездротового широкосмугового зв'язку четвертого покоління (4G). Відповідно до критеріїв, деякі експерти вважають стандартом бездротового зв'язку четвертого покоління технології, які забезпечують пікову швидкість передачі даних 100 Мбіт/с у русі та 1 Гбіт/с у стаціонарному використанні. Розширені мережі LTE і WiMAX, які в маркетингових цілях часто називають 4G, не відповідають вимогам, опублікованим ІТУ (їхня пропускна здатність приблизно втричі нижча за встановлені критерії). LTE забезпечує теоретичну пікову швидкість передачі даних до 326,4 Мбіт/с від базової станції до

користувача (де-факто 5-10 Мбіт/с) і до 172,8 Мбіт/с у зворотному напрямку. Для порівняння, мережі другого покоління (2G) теоретично здатні забезпечити пікові швидкості передачі даних за технологією GPRS 56-114 Кбіт/с і до 473,6 Кбіт/с за допомогою EDGE. Мережі третього покоління (3G) забезпечують швидкість передачі даних до 3,6 Мбіт/с.

LTE Advanced

У травні 2012 року Такехіро Накамура, голова робочої групи 3GPP Radio Access Networks Working Group, директор NTT DoCoMo Radio System Design Group, опублікував результати польових випробувань перспективної технології LTE Advanced, яка представляє собою новий етап у розвитку мобільних мереж. Швидкість передачі даних, заявлена в цій специфікації, повинна становити 1 Гбіт/с у напрямку до абонента та 500 Мбіт/с від абонента. Експерименти, проведені в мережі DoCoMo, підтвердили високу продуктивність LTE Advanced на тестовій території, яка показала швидкість 600 Мбіт/с вниз і 200 Мбіт/с вгору в умовах щільного міста під час руху в автомобілі [3].

LTE Advanced – це наступне покоління мереж LTE, четверте покоління мобільного зв'язку. Відрізняється від «базового» LTE більшою швидкістю передачі даних і можливістю поширювати один і той же сигнал відразу на кілька діапазонів. Для цих мереж також є розробка спрямованих антен, які зможуть передавати сигнал тільки в напрямку абонента. Крім того, LTE Advanced підтримує можливість ретрансляції – доступу до мережі одного пристрою через інший [3].

Також слід зазначити, що технологія LTE може працювати в більшій кількості частотних діапазонів, ніж інші технології мобільного зв'язку.

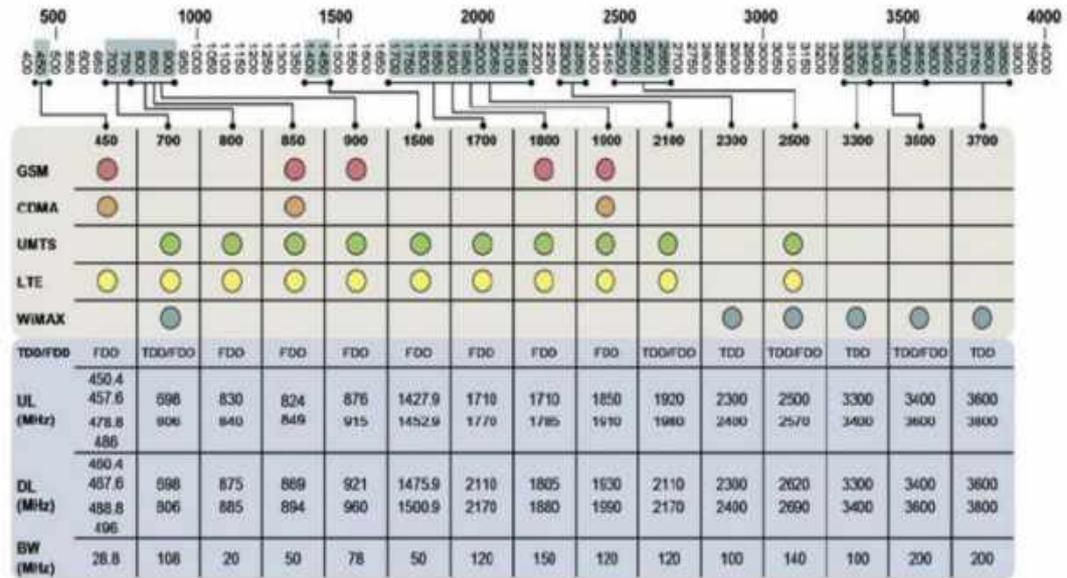


Рисунок 1.2 - Розподілення частотних ресурсів між технологіями

1.3 Планування та технології стандарту LTE

Коротко розглянемо які взагалі існують стандарти на основі Таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Покоління систем мобільного зв'язку

Покоління	Найменування стандартів
0G	PTT, MTS, IMTS, AMTS, Mobitex, Autotel/PALM, ARP
1G	NMT, AMPS, Hicap
2G	GSM, iDEN, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, GPRS, HSCSD, WiDEN
2.75G	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA, FOMA), CDMA2000, TD-SCDMA, WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA, HSDPA, HSUPA), CDMA2000 (EV-DO Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+), CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX, LTE
5G	WiMAX, LTE, CDMA

Так як стандарти четвертого покоління зараз найбільш актуальні, та мають кращі характеристики та технічні показники ніж інші, хотілось провести порівняння в їхньому плануванні.

Різниця LTE з іншими стандартами в плануванні та побудові мережі наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Різниця між стандартами в плануванні

Найменування	Стандарти		
	LTE	GSM	WCDMA
Комутація	Пакетів (Через IP)	Пакетів та каналів	Пакетів та каналів
Передача сигналу та інформації	OFDM	Вузькосмуговий сигнал	Широкосмуговий сигнал
Наявність регулярної методики планування	Відсутня	Наявна	Наявна для високошвидкісної та низькошвидкісної передачі
Планування частотного ресурсу	Розподіл фрагментів смуги системі між користувачами БС	Розподіл частотних каналів між БС	Не потребує
Профіль трафіку	Трафік фоновий, потокове відео, мобільний інтернет, VoIP	Трафік фоновий, мобільний інтернет,	Трафік фоновий, мобільний інтернет, потокове відео

Продовження Таблиці 1.2 – Різниця між стандартами в плануванні

Обслуговування	VoIP - система масового обслуговування (СМО) з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами. Потокове відео - СМО без затримок	Мова - СМО з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами.	Мова - СМО з відмовами. Мобільний інтернет - СМО з чергами і пріоритетами. Потокowe відео - СМО без затримок
-----------------------	--	--	--

Етапи планування мережі мобільного зв'язку стандартів GSM, WCDMA, LTE – наведено в Таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Етапи планування стандартів

Стандарт	Етапи планування
GSM	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вибір типу частотного каналу 2. Визначення просторових параметрів мережі 3. Визначення параметрів базових станцій (виходячи з бюджету втрат) 4. Складання частотного плану
WCDMA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення кількості каналів трафіку на стільнику залежно від внутрішньосистемних перешкод (завантаження мережі) 2. Визначення просторових параметрів мережі 3. Розрахунок параметрів базових станцій (виходячи з того, що сигнал груповий; розрахунок за пілотним сигналом) 4. Розподілення кодових здвигів по секторам
LTE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення просторових параметрів мережі 2. Частотне планування 3. Оцінка пропускної здатності при заданому профілі трафіку 4. Уточнення параметрів базових станцій та зони обслуговування, виходячи з трафіку

Швидкості, які технологія LTE може забезпечити в низхідних та вихідних каналах (від базової станції до мобільного пристрою і назад), залежать від багатьох важливих факторів – методу дуплексування каналів, доступного діапазону частот, типу модуляції несучої, методу кодування даних, стійкість до перешкод, використання технологій MIMO, витрата ресурсів управління, тривалість циклічних префіксів та інше [9].

Попередню оцінку параметрів запланованої мережі стандарту LTE можна здійснити за трьома сценаріями, як показано на Рисунку 1.3, а саме: окреме з'єднання (Single-Downlink), окрема сота з багатьма користувачами (Single-Cell MultiUser), багато сот з багатьма користувачами (Multi-Cell Multi-User) [9].

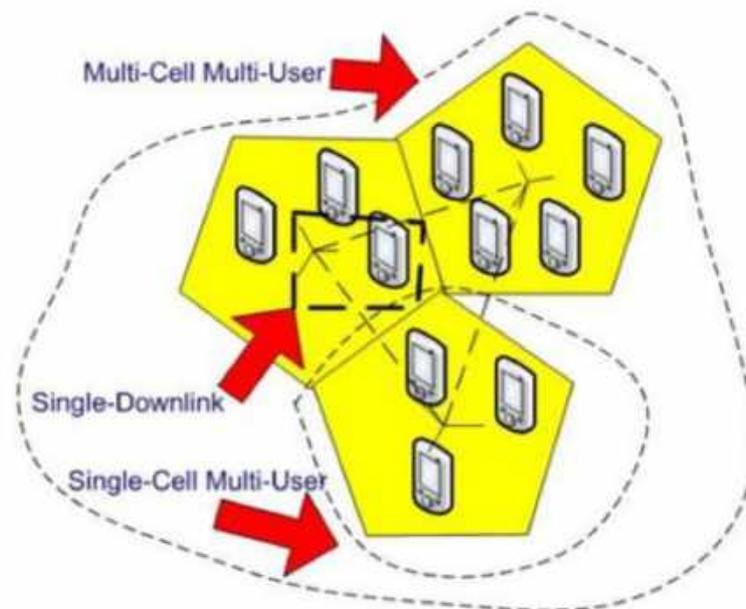


Рисунок 1.3 - Сценарії для оцінки параметрів мережі стандарту LTE

Single-Downlink – сценарій у якому оцінюється лише один низхідний канал між базовою станцією та абонентським обладнанням одного користувача. З боку планування таким чином можна перевірити параметри обслуговування та перерахувати їх для користувача каналу, а також ефективність алгоритмів MIMO [9].

Single-Cell Multi-User – сценарій, у якому з'єднання оцінюється на предмет потенціалу активних користувачів в одній комірці (сота). Це також дозволяє додатково досліджувати параметри радіомережі з урахуванням всередині стільникового завантаження і процедур планування радіо ресурсів, а також ефективність багатокористувацьких режимів MIMO [9].

Multi-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються основні параметри мережі. Дозволяє досліджувати всі параметри реальної радіомережі з урахуванням внутрішньосистемних перешкод від суміжних сот [9].

1.4 Технологія MIMO

Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) – це використання кількох антен на приймальній і передавальній сторонах, дозволяє збільшити пропускну здатність без розширення смуги частот або збільшення потужності сигналу. У цій технології швидкість передачі даних зростає майже пропорційно кількості антен і якість сигналу покращується за рахунок прийому сигналу через декілька антен одночасно.

Для мобільних систем особливий інтерфейс представляє технологія Multi-User MIMO (MU-MIMO), що дозволяє забезпечувати передачу незалежних потоків даних різним користувачам одночасно. Дана технологія зображена на Рисунку 1.4.

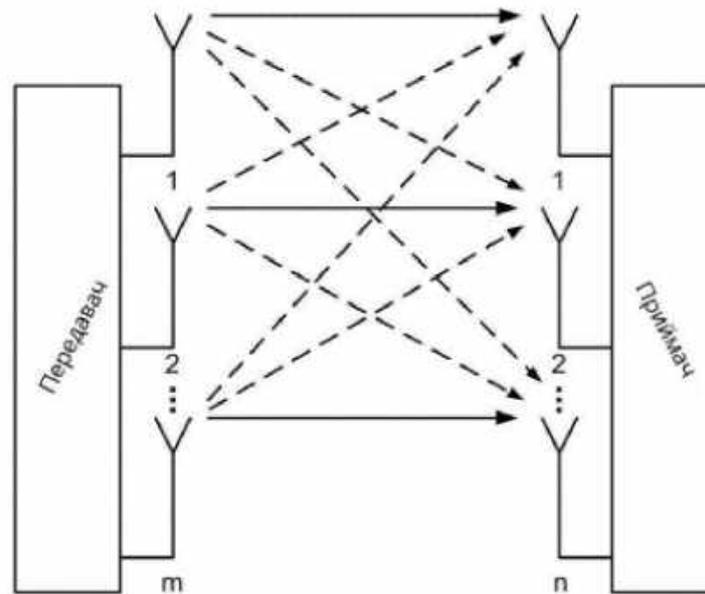


Рисунок 1.4 – Технологія MIMO

Є кілька варіантів використання MIMO – для підвищення абонентської смності, тоді як різна інформація передається з різних антен і для покращення покриття. У другому випадку один і той же сигнал передається з декількох антен. Інформація, яка дозволяє абонентському пристрою комбінувати сигнал від різних антен, що підвищує його якості.

1.5 Частотне планування

На сьогоднішній день більша частина мереж LTE працює в парному спектрі в режимі FDD (Frequency Division Duplex) - частотний рознос вхідного і вихідного каналу, при якому прийом і передача сигналу відбуваються на різних частотах), але інтерес до мереж LTE TDD продовжує зростати -так, все більше країн, які впроваджують технологію LTE, які підтримують режим TDD (Time Division Duplex) – прийом і передачі сигналу відбуваються на одній

частоті, але з поділом за часом. Технологія найкраще підходить для додатків, що мають несиметричний трафік.

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

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

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

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

1.6 Переваги та недоліки LTE

Переваги LTE:

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

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

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

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

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

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

- Проста архітектура: через простий архітектури низькі експлуатаційні витрати (ОРЕХ).

Недоліки LTE

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

Висновки до першого розділу

Отже, у даному розділі було розглянуто історію та розвиток стільникового зв'язку, четверте покоління мобільного зв'язку та його технологію LTE, аналіз архітектури, її складових. Проведено порівняння LTE з іншими найбільш поширеними стандартами. Також проведено дослідження переваг та недоліків даного стандарту. Технології мобільних мереж розвиваються в стрімкому темпі, і тому потрібна більша швидкість, пропускна здатність, загальний приріст завантаження, вивантаження і меншу затримку. Мережа LTE дала добрий результат у всіх компонентах у порівнянні з більш давніми технологіями першого, другого та третього поколінь.

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ 5G

2.1 Що таке 5G

Індустрія мобільного зв'язку розвивається неймовірною швидкістю і стала однією з головних опор глобального економічного розвитку. Немає сумніву, що технології мобільного зв'язку змінюють життя та роботу людей і продовжуватимуть мати великий вплив на соціальний розвиток. Тому залежність і попит людей на мобільний зв'язок постійно зростає. В останні роки у сфері мобільного зв'язку з'явився конкурентоспроможний бізнес, що призвело до швидкого розвитку технологій масового зберігання та обробки даних. Тим часом було зроблено багато проривів у дослідженнях і розробці процесорів штучного інтелекту та апаратного забезпечення реального часу. Поява цих нових технологій робить життя людей зручнішим. Крім того, більший виклик стався перед сучасними технологіями мобільного зв'язку.

Тому 5G стикається як з великими можливостями, так і з проблемами. Для користувачів бачення 5G таке: «інформація надходить так, як ви цього хочете, і все завжди на зв'язку». Ми на власні очі відчуємо ненажерливий бенкет інформаційної ери. Мета епохи 5G – побудувати стійку, зручну та економічну інформаційну екосистему для людей. У розвиток 5G будуть включені різні функції інформаційної ери, і користувачі зможуть насолоджуватися більш зручним і розумним життям. З ростом популярності мобільних пристроїв типи та кількість мобільних терміналів різко зростають. У майбутньому очікується, що попит на досвід віртуальної реальності та доповненої реальності, попит на хмарне зберігання масивних офісних даних, бездротове керування виробничими або виробничими процесами, дистанційну медичну хірургію, автоматизацію в інтелектуальній мережі, безпеку руху та інші аспекти вимагають не тільки високої швидкості передачі даних 5G, але й відповіді в

реальному часі з майже нульовою затримкою. Крім того, слід враховувати зниження витрат та енергозбереження [11].

2.2 Стандартизація

3GPP (3rd Generation Partnership Project) — це альянс семи організацій, які розробляють різні телекомунікаційні стандарти, серед яких є й інші партнери. Роль 3GPP полягає у формулюванні технічних вимог, оцінці пропозицій і остаточному прийнятті стандартів. У середині 2017 року була прийнята версія Release загального стандарту, версія Release була прийнята в 2019 році. Окрім розробки загальної архітектури, 3GPP також розробляє стандарти радіотехнології 5G New Radio (NR) для нових діапазони частот, виділені для 5G [8].

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Європейський інститут телекомунікаційних стандартів, який є членом 3GPP і є найактивнішим у сфері розробки стандартів 5G.

IETF (Internet Engineering Task Force) розробляє рішення для модернізації протоколу IP для підтримки віртуалізації мережевих функцій (NFV). Наприклад, IETF розробив технологію SFC (Service Function Chaining), яка з'єднує віртуалізовані компоненти архітектури 5G, такі як базові станції, сервісні шлюзи та пакети даних, в єдиний маршрут. Це дозволяє динамічно створювати та зв'язувати функції віртуальної мережі (VNF). IETF тісно співпрацює з 3GPP [10].

ITU (Міжнародний союз електрозв'язку) — це агентство ООН, розташоване в Женеві, яке займається стандартизацією широкого спектру 19 телекомунікаційних технологій. Зокрема, координує роботу зі спільного використання радіочастотного спектру, в тому числі для мереж 5G.

Окрім цих трьох основних координуючих організацій, є низка інших, у яких ведеться систематична практична робота з розробки стандартів ІМТ2020 (5G).

5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) вважається одним із провідних партнерств зі стандартизації 5G. Організація ставить перед собою амбітні цілі щодо розвитку вимог до мережі 5G, наприклад, 1000-кратне збільшення пропускної здатності мережі, зниження енергоспоживання кінцевих пристроїв на 90%, значне скорочення часу на створення нових сервісів і сервісів, повне та безпечне покриття мережі та з незначною затримкою передачі даних тощо.

NGMN Alliance (мобільні мережі нового покоління). Альянс мобільних мереж наступного покоління працює над стандартизацією ряду рішень 5G. До складу альянсу входить менеджмент провідних американських операторів: AT&T, U.S. Cellular і Verizon.

Окрім вищезазначеного, існують галузеві та регіональні організації, такі як 5G Americas, Small Cell Forum, які також роблять значний внесок у розробку та стандартизацію рішень 5G [10].

2.3 Сценарії використання та вимоги

Сценарії застосування 5G охоплюють усі аспекти повсякденного життя, роботи, розваг і транспорту, а бездротовий зв'язок демонструватиме різні характеристики в різних випадках. Наприклад, райони з перевантаженими або щільними 20 мобільними пристроями, такі як житлові райони, стадіони та торгові центри, характеризуватимуться високою щільністю трафіку та великою кількістю сполучень, тоді як транспортні засоби, такі як метро та високошвидкісна залізниця, матимуть високу бездротова мобільність. В даний час мобільний зв'язок четвертого покоління (4G) не може задовольнити

вимоги деяких випадків з високою щільністю трафіку, великою кількістю підключень або високою мобільністю.

У місцях скупчення людей, таких як стадіони, де потрібна надвисока щільність трафіку та надвисока щільність зв'язку, нам потрібна швидкість передачі бездротового зв'язку така ж висока, як швидкість оптичного волокна, щоб виконувати такі операції, як передача фото, передача відео, потокове відео в реальному часі та інші послуги. У сценаріях швидкої мобільності, таких як високошвидкісна залізниця, щільність трафіку та сполучення є відносно нижчими, ніж на стадіонах. Оскільки швидкість високошвидкісних поїздів може перевищувати 200 км/год, великий попит на системи бездротового зв'язку є підтримка високошвидкісної мобільності.

Незважаючи на те, що зараз ми маємо зручний доступ до Інтернету, половина нашого світу все ще недоступна. З розвитком і змінами Інтернету його важливість зростає пропорційно, і все більше пристроїв підключаються один до одного. Зараз під'єднаних пристроїв у кілька разів більше, ніж населення Землі, включно з деякими пристроями, які важко підключити, які знаходяться під водою або поза зоною покриття супутників, і їх кількість зростає, тому важливо відповідати вимогам широкого покриття у майбутньому.

Очікується, що трафік мобільних даних буде демонструвати значне зростання протягом тривалого періоду в майбутньому: з 2010 по 2020 рік зростання глобального трафіку мобільних даних зросло більш ніж у 200 разів, а з 2010 по 2030 рік воно зросте більш ніж у 20 000 разів.

Отже, виходячи з вищезазначених вимог, загальні цілі 5G такі: набагато швидше, ефективніше та розумніше [9].

Щоб задовольнити потреби користувачів у різних випадках, необхідна комбінація різних технологій для досягнення вимог до продуктивності 5G. Наприклад, надщільна бездротова технологія може сприяти покращенню швидкості передачі даних, щільності з'єднання та щільності обслуговування

за рахунок збільшення щільності розгортання базових станцій. Технологія антенних решіток може значно підвищити ефективність використання спектру за рахунок збільшення кількості антен, що важливо для покращення пікової швидкості передачі даних, швидкості передачі даних, щільності зв'язку та щільності обслуговування.

Щоб задовольнити потреби користувачів у різних випадках, необхідна комбінація різних технологій для досягнення вимог до продуктивності 5G, наведених у таблиці вище. Наприклад, надщільна бездротова технологія може сприяти покращенню швидкості передачі даних, щільності з'єднання та щільності обслуговування за рахунок збільшення щільності розгортання базових станцій. Технологія антенних решіток може значно підвищити ефективність використання спектру за рахунок збільшення кількості антен, що важливо для покращення пікової швидкості передачі даних, швидкості передачі даних, щільності зв'язку та щільності обслуговування.

2.4 5G та Інтернет Речей

Народження 5G було значною мірою викликане масовим зростанням мобільного Інтернету та Інтернету речей (IoT), і застосування 5G в основному полягає в розвитку цих двох мереж. Мобільний Інтернет, як носій основного бізнесу мобільного зв'язку, в останні роки вніс значний внесок у розвиток різних галузей інформаційних послуг. Різні постачальники послуг сповна використали свої ресурси та послуги та розробили ряд сучасних «свіжих» додатків. Зараз користувачі бачать все більше зручних функцій, реалізованих за допомогою мобільного Інтернету, а попит на віртуальну реальність і доповнену реальність в ігровій індустрії тільки зростає. З подальшим розвитком мобільного Інтернету швидкість передачі інформації зросте в тисячу разів.

IoT є ідеальним прикладом повного використання технологій нового покоління. На всіх рівнях життя люди можуть використовувати IoT, щоб керувати виробництвом і жити більш прораховано та динамічно, досягати «розумного» стану та покращувати використання ресурсів, а також рівень продуктивності праці. IoT, як основний інструмент для реалізації розумного життя, роботи та виробництва, розширює комунікацію «людина-людина», «людина-речь» і «річ-речь». Застосування IoT надзвичайно широкі, включаючи захист навколишнього середовища, інтелектуальний транспорт, громадську безпеку, державну роботу, домашню безпеку, інтелектуальний протипожежний захист, моніторинг навколишнього середовища, керування освітленням, охорону здоров'я, відстеження харчових продуктів, сільське господарство, моніторинг системи водопостачання, збір інформації та багато інших переваг. Можна сказати, що IoT стане ще однією «важливою продуктивною силою», яка сприятиме прогресу суспільства. Тому важливо підтримувати розвиток Інтернету речей, а розвиток Інтернету речей залежить від розвитку комунікаційних технологій. Цілком можливо, що в той момент, коли Інтернет речей стане звичним і дуже поширеним аспектом нашого життя, передача інформації буде дуже частою між пристроєм, людиною та людиною, і ця зміна не тільки принесе життєздатність і можливості, але й створить великий виклик для мобільного зв'язку.

2.5 Швидкість 5G

Значне збільшення пропускної спроможності і практичної швидкості передачі даних потребують значного розширення і підвищення ефективності використання спектра, а також вкрай високої щільності підключень, що недосяжно для стандартів LTE / LTE-A навіть при їх удосконаленні. Так, реалізація мереж п'ятого покоління, особливо підвищення швидкостей

передачі даних, потребують суттєвого збільшення частотного ресурсу. Одним з рішень цієї проблеми є рефармінг частот – процедура заміни використовуваної радіотехнології на виділених оператору зв'язку радіочастотах. Наприклад, за погодженням з регулятором, запуск eNodeB LTE на частотах, виділених оператору під 2G або 3G радіомережі. Для надшвидкісних послуг 5G цього спектру буде недостатньо, необхідний новий спектр в діапазонах вище 6 ГГц. Так, на Всесвітній радіоконференції в 2019 році (WRC-19) було виділено додаткові частотні діапазони вище 6 ГГц для мобільного зв'язку. Мережам мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) властиві високі швидкості (до 20 Гбіт / с по лінії «вниз» і до 10 Гбіт / с по лінії «вгору»). Також очікується зростання реальної швидкості на одного абонента до 100 Мбіт / с і більше. Перераховані вище значення збільшення швидкості досягаються за рахунок підвищення спектральної ефективності мереж 5G в декілька разів у порівнянні з мережами четвертого покоління. Це в свою чергу стало доступним за рахунок застосування таких технічних рішень: Massive MIMO, використання нової версії радіоінтерфейсу New Radio, більш широка смуга частот.

2.6 Особливості архітектури опорної мережі (Core Network) 5G

Особливість архітектури мережі 5G полягає в тому, що традиційне поняття «архітектура мережі», заснованої на апаратних рішеннях, в мережі 5G втрачає актуальність. Тому 5G частіше називають не мережею, а системою, або «платформою», під якою мається на увазі платформа програмна, а не апаратна. Якщо мережі 1/2/3 / 4G будувалися на базі апаратних рішень (обладнання), то платформа 5G будується на базі програмних рішень, зокрема, програмно-конфігуруючих мереж SDN (Software Defined Network), а також віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization).

Функції 5G реалізуються в віртуальних програмних функціях VNF (Virtual Network Function), які працюють в інфраструктурі NFV. Різниця між цими схожими за звучанням поняттями полягає в тому, що VNF - це функція, а NFV - це технологія. У свою чергу, NFV реалізується у фізичній інфраструктурі дата-центрів (data center, DC, центр обробки даних, ЦОД), на базі стандартного комерційного обладнання COTS (Commercial Off The Shelf). Устаткування COTS включає лише три види стандартних, щодо недорогих пристроїв - сервер (обчислювальний пристрій), комутатор (мережевий пристрій) і система зберігання даних (пристрій зберігання).



Рисунок 2.1 - Перехід до віртуальних платформ SDN/NFV в 5G

Таким чином, обладнання традиційних мереж мобільного зв'язку замінюється на програмні сутності, працюють в дата-центрах на стандартних серверах і віртуальних машинах VM (virtual machines).

Для реалізації програмних функцій, крім віртуальних машин, також будуть використовуватися програмні контейнери (containers), а також програмна архітектура мікросервісів (microservice).

Розподілена архітектура мережі мобільного доступу D-RAN (Distributed RAN) в мережах 4G поступово еволюціонує до централізованій архітектурі C-RAN (Centralized RAN).

В архітектурі 5G функції опорної мережі реалізуються в центральному хмарі Central Cloud (Cloud RAN), на віртуальних машинах VM. Важливу роль у розвитку мереж 5G гратимуть також граничне хмара (Edge Cloud), зокрема, технологія MEC (Mobile Edge Cloud), а також «листочуманне» (Fog Cloud).

Віртуалізація мережі на базі NFV / SDN необхідна також для дуже корисної функції 5G: логічної мережевої нарізки (Network Slicing). Технологія Network Slicing дозволяє на базі єдиного обсягу (пулу) мережевих ресурсів виробляти логічний поділ мереж для різних типів послуг 5G, яким потрібні різні технології радіодос тупу RAT (Radio Access Technology), з різними характеристиками середовищ передачі даних. Це, грубо кажучи, нарізка мережевих ресурсів під різні типи трафіку, причому для кожного Слайса (буквально - шматка мережі) може використовуватися своя технологія передачі даних. Завдяки гнучкості підходу можна задовольнити найрізноманітніші і навіть суперечливі вимоги користувачів різних типів. Для передачі веб-даних цілком підходить LTE - його потрібно тільки трохи доопрацювати, підвищити швидкість.

Для передачі даних з маленькою затримкою буде використовуватися спеціальний слайс, який називається ultra-reliable low latency communication. Він дозволяє передавати дані з вкрай низькою затримкою. Якщо в LTE мінімальна тривалість передачі одна мілісекунда, то тут мінімальна тривалість передачі триватиме частки мілісекунди, а надійність буде дуже високою, до 99,9%.

Окремий слайс в рамках 5G відведено IoT. Він дозволяє передавати дані великим числом пристроїв з низьким енергоспоживанням.

Крім того, буде слайс для високошвидкісної передачі даних в міліметровому діапазоні, тобто в діапазоні частот від 30 до 300 ГГц. Наприклад, в звичному діапазоні 2-5 ГГц ширина використовуваного частотного каналу, в якому передаються дані, відносно невелика і складає одиниці, рідше - десятки МГц. У діапазоні 40-70 ГГц доступного для використання спектра істотно більше, що дозволить збільшити ширину частотного каналу до сотень і тисяч МГц і більше. Таким чином, міліметровий діапазон - це практично «еквівалент нескінченності» для операторів (в сенсі обсягу доступних каналних ресурсів). Проблема полягає в тому, що доводиться передавати дані тільки пристроїв, які знаходяться в прямій зоні видимості, інакше якість сигналу різко падає [7].

У певному сенсі 5G стане «лишковим пирогом», що поєднує різні технології, використання кожної з яких буде визначатися в залежності від вимог конкретного користувача.

2.7 Технології 5G New Radio (5G NR)

У зв'язку з високими вимогами, що пред'являються до нового стандарту мобільного зв'язку 5G, були розроблені зовсім новий радіоінтерфейс і мережу радіодоступу. Новий радіоінтерфейс, який отримав назву 5G New Radio або 5G NR, 29 задовольняє зростаючі потреби у мобільному зв'язку.

Розробка 5G NR або 5G New Radio є ключем до забезпечення роботи системи мобільного зв'язку 5G і забезпечує ряд істотних переваг в порівнянні з 4G.

5G NR був розроблений з нуля з урахуванням вимог і з урахуванням кращих технологій і методів.

5G NR використовує модуляцію, форми сигналів і технології доступу, які дозволять системі задовольнити потреби, серед іншого, послуг з високою швидкістю передачі даних, тих, кому потрібна низька затримка, а також тих, кому потрібна невелика швидкість передачі даних і тривалий час автономної роботи [8].

Нове радіо 5G здатне забезпечити зв'язок для дуже високої смуги частот з передачею потокового відео, а також зв'язок з малою затримкою для зв'язку з дистанційним управлінням транспортним засобом, а також зв'язок з низькою швидкістю передачі даних з низькою пропускну здатністю для зв'язку машинного типу. У нового радіо, використовуваного для 5G, є кілька особливостей:

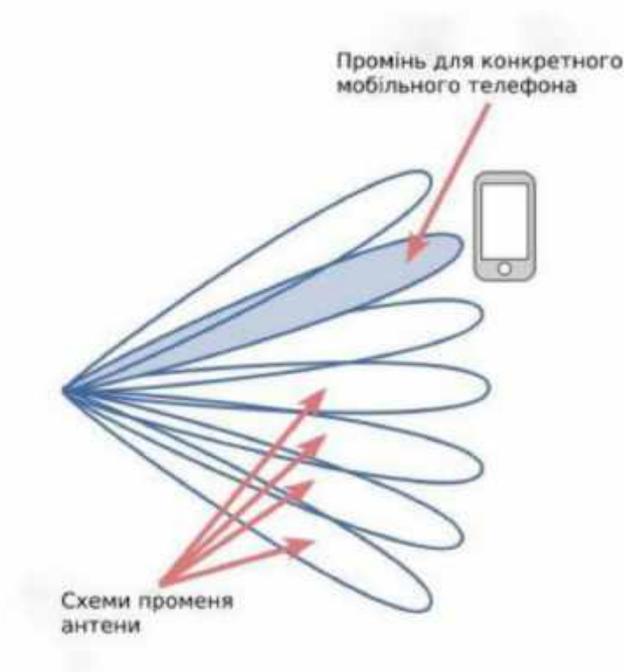
- Новий радіочастотний спектр: використання мобільного зв'язку стрімко зростає, а ця технологія підтримує набагато більше додатків. Незважаючи на те, що ефективність використання спектра буде поліпшена, технологія не зможе задовольнити величезний потік зростання використання, тому потрібно більше спектра.

Є також перевага більш високих частотних діапазонів, яка полягає в тому, що вони набагато ширше, і вони можуть забезпечувати набагато ширші смуги пропускання сигналу і, отже, підтримувати набагато вищу швидкість передачі даних. Недоліком в деяких аспектах є те, що вони будуть мати набагато більш короткий діапазон, але це також є перевагою, оскільки це також дозволяє багаторазово використовувати набагато більшу частоту.

- Оптимізований OFDM: ще на ранньому етапі було прийнято рішення використовувати форму OFDM як форми хвилі для першої фази 5G New Radio. Він дуже успішно використовувався з 4G, новітніми стандартами Wi-Fi і багатьма іншими системами і виявився оптимальним типом форми сигналу для безлічі різних додатків для 5G. Завдяки додатковій обчислювальної потужності, доступною для 5G, можна застосовувати різні форми оптимізації. Конкретною версією OFDM, використовуваної в низхідній

лінії зв'язку 5G NR, є циклічний префікс OFDM, CPOFDM, і це та ж форма хвилі, яку LTE прийняв для сигналу в низхідній лінії зв'язку.

- Beamforming (формування променів): Beamforming - це технологія, яка стала реальністю в останні роки і пропонує ряд істотних переваг для 5G. Формування променя дозволяє направити промінь від базової станції до мобільного телефону. Таким чином, оптимальний сигнал може бути як переданий на мобільний телефон, так і отриманий від нього, а також усунені перешкоди іншим мобільним пристроям.



Рисинок 2.2 - Концепція формування діаграми спрямованості антени, яка використовується з 5G NR

Перехід на більш високі частоти дозволяє використовувати антени набагато меншого розміру і можливість програмування високих рівнів спрямованості. На частотах вище 24 ГГц, де антени менше, є можливість мати високопродуктивні променеуправляючі антени, які можуть точно направляти

потужність на даний мобільний телефон, а також забезпечувати посилення приймача в цьому напрямку.

- MIMO: MIMO, кілька входів і виходів використовувалися в багатьох бездротових системах від Wi-Fi до поточної стільникової системи 4G, і це забезпечує деякі значні поліпшення. В рамках 5G MIMO стане однією з основних технологій. 5G буде в повній мірі використовувати переваги багатокористувацької MIMO, MUMIMO, де вона буде надавати можливості множинного доступу до MIMO за рахунок використання розподіленого просторового розташування різних користувачів.

При реалізації цього gNB (базова станція 5G) відправляє CSI-RS (опорний сигнал інформації про стан каналу) на різне обладнання користувача, а потім в залежності від відповідей gNB обчислює просторову інформацію для кожного користувача. Він використовує цю інформацію для обчислення необхідної інформації для матриці попереднього кодування (W-Matrix), де символи даних конструюються в сигнали для кожного з елементів антеною решітки gNB.

Множинні потоки даних мають свої власні ваги, які включають фазові зрушення для кожного потоку, щоб форми сигналів конструктивно заважали приймача. Це максимізує потужність сигналу для користувача, а також мінімізує сигнал і, отже, перешкоди для інших користувачів.

Таким чином, gNB може спілкуватися з декількома пристроями одночасно і незалежно, використовуючи просторову інформацію. Це означає, що 5G MU-MIMO дозволяє UE працювати без необхідності знання каналу або додаткової обробки для отримання потоків даних.

MU-MIMO на низхідному каналі значно збільшує пропускну здатність антен gNB. Він масштабується з урахуванням мінімальної кількості антен gNB і суми кількості призначених для користувача пристроїв, помноженого на кількість антен на один пристрій UE. Це означає, що з використанням 5G MU-

MIMO система може досягти збільшення пропускної здатності, використовуючи антенні решітки gNB і набагато простіші пристрої UE.

- Метод спільного використання спектра: велика частина радіочастотного спектру, хоча і розподілена, використовується неефективно. Один із запропонованих методів - спільне використання спектра.

- Малі соти: оскільки потрібно ущільнення мережі для забезпечення необхідних можливостей передачі даних, пропонується більш широке використання малих сот і мереж малих сот. Мережа малих сот - це група передавальних базових станцій з низьким енергоспоживанням, які використовують міліметрові хвилі для збільшення загальної пропускної здатності мережі. Мережа малих сот 5G працює шляхом координації групи малих сот для розподілу навантаження і зменшення складності фізичних перешкод, які стають більш важливими на міліметрових хвилях.

2.8 Структура сигналів 5G NR

Почати слід з того, що CP-OFDM є рішенням для низхідного і висхідного каналу зв'язку. Тож, висхідним каналом називається канал або лінія передачі від користувача до базової станції, а низхідним - від базової станції до користувача. Ці канали, а саме використовувані для них види або підвиди модуляції, можуть бути однаковими або різними, що направлено в першу чергу на підвищення щільності каналів і на ефективність зв'язку. Під останнім визначенням ми розуміємо і енергоефективність, і зменшення числа бітових помилок.

В останні роки дослідники, що працюють в області бездротового зв'язку, вивчали різні форми сигналів з декількома несучими, пропонуючи безліч варіантів для радіодоступу 5G. Так, сигнали, які використовують мультиплексування з ортогональним частотним розділенням (orthogonal

frequency division multiplexing, OFDM), добре підходять для дуплексної роботи з тимчасовим поділом. Вони підтримують програми, чутливі до затримок, і вже продемонстрували успішну комерційну реалізацію з ефективним опрацюванням сигналів із все більш широкою смугою пропускання. Крім того, висока спектральна ефективність і сумісність сигналів OFDM з MIMO допомагають задовольнити потреби цього нового глобального стандарту стільникового зв'язку в частині екстремальних швидкостей передачі даних і щільності каналів.

Завдяки методам оцінки і вирівнювання сигнальних каналів сигнали OFDM демонструють високу стійкість в частотно-виборчих радіоканалах. Однак, як правило, в каналі присутня тимчасова дисперсія: частини переданого сигналу приймаються з різними затримками через багатопромінність поширення і відображень. В результаті ортогональність вибірково втрачається, з'являється інтерференція як між бітами всередині символу, так і між символами. Для запобігання перекриття в початок OFDM-символу вставляється циклічний префікс, що містить кінцеві біти попереднього символу. Прикріпивши копію кінця символу OFDM до початку символу (це і є циклічний префікс), приймач може краще обробляти помилки синхронізації і запобігати міжсимвольні перешкоди.

DFT-S-OFDM є рішенням з більш високою ефективністю саме для висхідного каналу зв'язку. Сигнали OFDM володіють однією негативною рисою - високим значенням відношення пікового рівня потужності сигналу до середнього рівня (peak-to-average power ratios, PAPR). Оскільки підсилювач потужності високої частоти (УМ) в мобільному пристрої споживає найбільшу кількість енергії, розробники системи хотіли б отримати структуру сигналу, що підтримує високоефективний режим роботи УМ-передавача при одночасному задоволенні спектральних вимог 5G. Для висхідного каналу зв'язку (а це лінія від користувача до базової станції) технологія 5G NR пропонує для користувача устаткування (User Equipment, UE - буквально

«призначене для користувача устаткування», має на увазі не тільки мобільні, але і стаціонарні пристрої) можливість використання CP-OFDM-модуляції або форми сигналу гібридного формату, званого OFDM з дискретним перетворенням Фур'є (Fourier transform spread OFDM, DFT-S-OFDM). Використовуючи технологію DFT-S-OFDM, передавач модулює всі піднесучі однаковими даними (рисунок 2.3). Це знижує відношення пікового значення до середнього, зберігаючи стійкість до ефектів многолучевості, і забезпечує гнучкий розподіл частот піднесе OFDM. У тих випадках, коли PAPR з CP-OFDM може становити 11-13 дБ, для вирішення на основі DFT-S-OFDM споживання варіюється в межах 6-9 дБ [9].

2.9 Основні технології

Надширокосмуговий мобільний зв'язок

Послуги, які пропонує 5G, включають впровадження Extreme Mobile Broadband (eMBB).

Мобільний ультраширокосмуговий зв'язок (eMBB) є однією з трьох основних послуг, визначених для 5G. eMBB спочатку був розширенням існуючих послуг 4G і однією з перших послуг 5G, доступних для покупки.

eMBB можна вважати першим етапом 5G, охопленим оновленням стандартів 3GPP Release 15. Другий етап 5G розширює послуги eMBB для більш трансформаційних додатків URLLC і mMTC і є частиною випуску.

Взявши як приклад підключені автомобілі, перша фаза послуг eMBB забезпечує вдосконалену автомобільну інформаційно-розважальну систему, таку як сповіщення про дорожній рух у реальному часі, високошвидкісний доступ до Інтернету, потокове відео в реальному часі або відеоігри 4K 3D. Другий етап – це автономні транспортні засоби в масовому масштабі, які

можуть з'єднуватися та взаємодіяти з іншими транспортними засобами та навколишньою дорожньою інфраструктурою.

При використанні eMBB 5G має досягти трьох різних характеристик:

- Більша пропускна здатність – широкосмуговий доступ має бути доступним у густонаселених районах, як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі, таких як центри міст, офісні будівлі або громадські місця, такі як стадіони чи конференц-центри.

- Розширені можливості підключення – широкосмуговий доступ має бути доступний скрізь, щоб забезпечити безперебійний доступ користувача.

- Більша мобільність користувачів – забезпечить мобільні широкосмугові послуги в транспортних засобах, що рухаються, включаючи автомобілі, автобуси, поїзди та літаки.

Ці категорії варіантів використання матимуть різні вимоги. У сценарії гарячої точки, де спортивна подія має багато користувачів, наприклад глядачів, буде потрібна дуже велика пропускна здатність, щоб задовольнити потреби всіх користувачів, але ці користувачі будуть статичними або рухатимуться повільно, тому вимоги до мобільності будуть низькими. Навпаки, надання послуг eMBB пасажиром у високошвидкісному поїзді вимагатиме високого рівня мобільності, але пропускна здатність буде нижчою, ніж у гарячій точці.

Перше використання eMBB зосереджено на споживчому ринку та потребі в кращому та швидшому з'єднанні для обробки високоякісного відеоконтенту, зростаючому вмісті, створеному користувачами, і наших очікувань можливості транслювати те, що ми хочемо, де ми хочемо, коли ми хочемо без підключення до мереж Wi-Fi.

Однак eMBB — це не лише споживання мультимедійного вмісту для розважальних цілей. Він підтримуватиме спрямований доступ до додатків із хмарних просторів по дорозі на роботу, віддалених працівників у полі, яким потрібно спілкуватися з бек-офісом, або цілого інтелектуального офісу, де всі

пристрої підключені бездротовим способом та без проблем. Зрештою, це забезпечить застосування програм від повного занурення у VR та AR до відеоспостереження в реальному часі та віртуальних зустрічей із 360° відео, взаємодією в реальному часі та навіть можливостями перекладу в реальному часі для багатомовних учасників.

Масовий міжмашинний зв'язок

Мережі 5G розробляються для підтримки широкого спектру високовимогливих послуг і додатків шляхом розширення мережевих можливостей для забезпечення надзвичайної продуктивності, включаючи підтримку масово підключених пристроїв у контексті міжмашинного зв'язку (MTC).

MTC — це комунікаційна парадигма, у якій кілька пристроїв або «речей» підключені до Інтернету або безпосередньо підключені та спілкуються разом із незначним втручанням людини або без нього. В епоху 5G було розроблено нові додатки для MTC, які обслуговують величезну кількість «речей», представляючи так званий масивний MTC (mMTC) або масивний Інтернет речей (mIoT). Ці машини з автономним зв'язком створять більш складний мобільний трафік «машина-машина» (M2M).

Виклик маси викликав розвиток нових бездротових технологій для цієї комунікаційної парадигми, особливо в області пристроїв M2M. Основною метою є розробка систем, які можуть підтримувати величезну кількість недорогих пристроїв, розташованих на великій території, споживати наднизьку енергію та підтримувати різні типи послуг.

Зараз різні організації та постачальники мобільних мереж розробляють рішення для підключення mMTC. Акцент зроблено на використанні 5G і LTE (4G), а також неліцензійних ділянок спектру через LPWAN.

mMTC пропонує IoT можливість розширитися від обмеженого споживання користувачами до загальної або інфраструктурної зручності, що

використовується комерційними галузями та організаціями державного сектора. mMTC має потенціал критично вплинути та змінити повсякденне життя великої кількості населення шляхом розвитку «розумних» міст, де Інтернет усього (ІоЕ) створює повністю пов'язане суспільство.

mMTC пропонує IoT можливість розширитися від обмеженого споживання користувачами до загальної або інфраструктурної зручності, що використовується комерційними галузями та організаціями державного сектора. mMTC має потенціал критично вплинути та змінити повсякденне життя великої кількості населення шляхом розвитку «розумних» міст, де Інтернет усього (ІоЕ) створює повністю пов'язане суспільство.

Надзвичайно надійний мобільний зв'язок з низькою затримкою

Наднадійне з'єднання з низькою затримкою, або URLLC, є одним із сервісів, які підтримуються стандартом 5G New Radio (NR), як це передбачено 3GPP. Послуги для пристроїв, що залежать від затримки, таких як автоматизація виробництва, автономне водіння, промисловий Інтернет і розумні мережі або роботизовані операції.

Однією з ключових особливостей URLLC є LL або низька затримка. Низька затримка важлива для автономних пристроїв. Низька затримка дозволяє оптимізувати вашу мережу для обробки неймовірно великих обсягів даних із мінімальною затримкою. Мережі повинні адаптуватися до великих обсягів змінних даних у реальному часі. 5G забезпечить роботу цієї послуги. URLLC є, мабуть, найперспективнішим доповненням до майбутніх можливостей 5G, але воно також буде найскладнішим; URLLC вимагає якості обслуговування (QoS), яка повністю відрізняється від послуг мобільного широкопasmового зв'язку. Він забезпечить мережі миттєвими інтелектуальними послугами.

URLLC гарантує затримку 1 мс або менше. Щоб досягти низької затримки, усі пристрої мають бути синхронізовані на одній часовій основі.

Інтерфейс на основі часу є ще однією частиною можливостей 5G URL. Це визначить час, необхідний для управління трафіком.

Послуга з низькою затримкою та високою надійністю включає кілька компонентів: інтегровану структуру кадру, неймовірно швидку реакцію, ефективне управління та спільне використання ресурсів даних, безкоштовну передачу на основі висхідної лінії зв'язку та вдосконалені схеми кодування каналів.

Надзвичайно надійний зв'язок із низькою затримкою — це повний ігровий двигун для комунікаційних технологій у сучасну епоху. Завдяки цьому ми можемо виконувати дистанційні операції, змушувати наші автомобілі їздити без нас і значно підвищити продуктивність машин.

2.10 Програмні модулі і мережеві функції

Мережа 5G включає в себе наступні основні програмні модулі і мережеві функції (NF):

- функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);
- функція управління сесіями (SMF - Session Management Function);
- функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function);
- модуль керування даними користувачів (UDM - Unified Data Management);
- уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository);
- система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function);
- функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function);
- функція управління політиками (PCF - Policy Control Function);

- функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function);
- сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function);
- прикладна функція (AF - Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями за допомогою протоколу NAS (SMSF - SMS Function);

Архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління показана на Рисунку 2.3

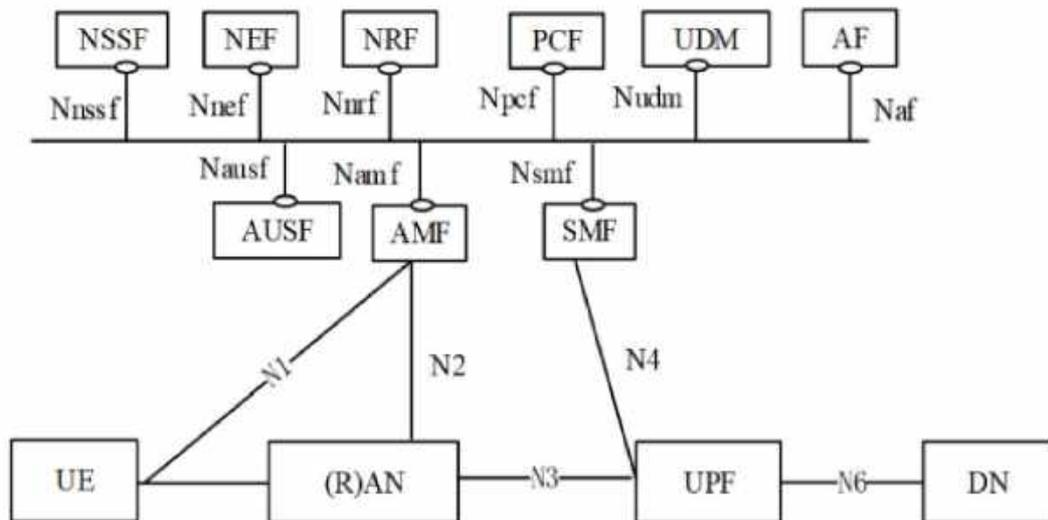


Рисунок 2.3 - Архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління

Висновки до другого розділу

Мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління мають і свої проблеми та недоліки, вирішення яких також є великим завданням при проектуванні та розгортанні 5G мереж. Для цього використовується ряд технологій, що дозволяють досягти високих показників при передачі даних. Архітектура базових станцій gNB мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління, пропонована 3GPP, являє собою подальший розвиток ідеології розподілених базових станцій і "Cloud BBU" і має декілька рівнів та інтерфейсів. Фізична архітектура 5G може бути поділена на віртуальні мережі або слої, що включають в себе різні функції та мають відмінні одна від одної характеристики. Загалом, архітектура мереж п'ятого покоління робить великий крок в майбутнє та ґрунтується на нових технологіях.

РОЗДІЛ 3. ПЕРЕХІД ВІД LTE ДО 5G

3.1 Варіанти переходу від LTE до 5G

На сьогоднішній день триває активне зростання мереж мобільного зв'язку. Тому результатом розвитку технологій є поява мереж п'ятого покоління (5G). Вважається, що мережі четвертого покоління (4G) будуть домінуючими в усьому світі і після 2022 року, через що можна говорити не про заміну існуючих технологій на 5G, а про їх розвиток і доповнення новими технологіями радіодоступу, призначеними для конкретних сценаріїв і певних цілей.

З метою реалізації даної стратегії 3GPP запропонував кілька можливих сценаріїв (або опцій) впровадження 4G (LTE) і 5G (NR). Всі опції розділені на дві основні групи:

1. Standalone (SA) - передбачають використання тільки однієї технології радіодоступу (LTE або NR - New Radio);
2. Non-Standalone (NSA) - використання і LTE і NR, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі.

Для розгортання 5G за сценарієм Non-Standalone необхідна модернізація базових станцій мережі 4GLTE до рівня eLTE (або enhanced LTE) з метою підтримки розширеного функціоналу взаємодії з базовими станціями 5G (gNb).

Важливим аспектом для реалізації Non-Standalone опцій, є концепція подвійного підключення (Dual Connectivity), специфіковані 3GPP та потрібне підключення користувальницьких терміналів (UE) в стані RRC_CONNECTED одночасно до двох базових станцій (Master eNb і Secondary eNb). Реалізація NonStandalone накладає додаткові вимоги до складності користувальницьких терміналів (UE), включаючи забезпечення одночасної роботи двох модемів,

збільшений розмір буфера прийому і додаткове навантаження на процесорні ресурси рівня PDCP для відновлення порядку проходження пакетів.

Варіанти розгортки 5G в режимі Standalone та NonStandalone зображено на Рисунку 3.1:

- об'єднаний режим з мультипідключенням (NSA), а саме: E-UTRA-NR з подвійним підключенням (ENDC), перехід до віртуальних платформ SDN/NFV в 5G;

- автономний режим (SA) двох типів: NR в автономному режимі (NR SA), E-UTRA з підключенням до 5GC (E-UTRA/5GC).

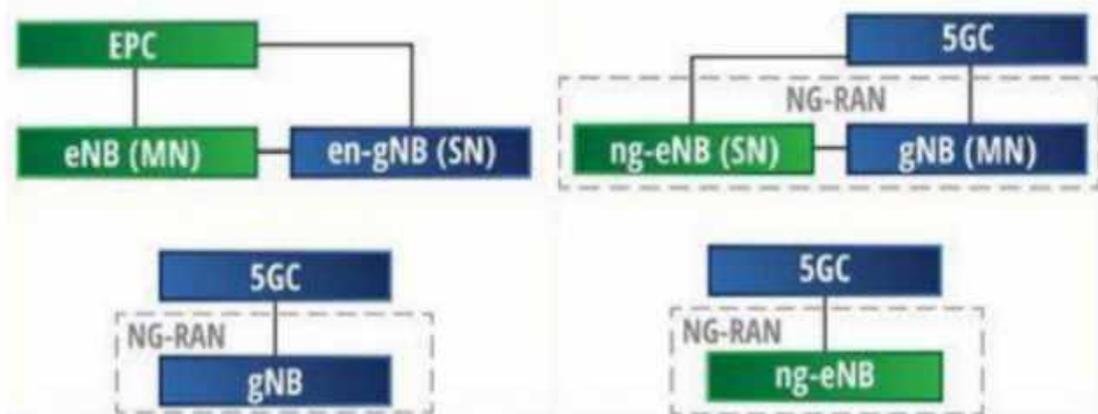


Рисунок – 3.1 Варіанти розгортки 5G в режимі Standalone та Non-Standalone

Це все передбачає використання тільки однієї технології, або сумісне існування двох поколінь, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі. Звісно, настане час, коли 5G почнуть ставити вже на базі Standalone архітектур, і це дасть змогу розвинути мережу п'ятого покоління ще більше і ще краще. Схожі функції, побудова частот та архітектури двох останніх поколінь дають змогу їх інтеграції.

3.2 Основні переваги та недоліки між стандартами LTE та 5G

Для наглядного виду недоліки та переваги між двома стандартами наведено в Таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 – Переваги та недоліки між стандартами LTE та 5G

Характеристики	Стандарти	
	5G	LTE
Трафік даних	50 ексабайт/місяць	7.2 ексабайт/місяць
Доступний спектр	30 ГГц	3 ГГц
Пікова швидкість передачі даних	20 гігабайт в секунду	1 гігабайт в секунду
Щільність з'єднання	1 мільйон з'єднань на км ²	100 тисяч з'єднань на км ²
Затримка пакетів (пінг)	Менше 1 мілісекунди	≈ 10 мілісекунд

3.3 Вибір обладнання для побудови мережі 5G

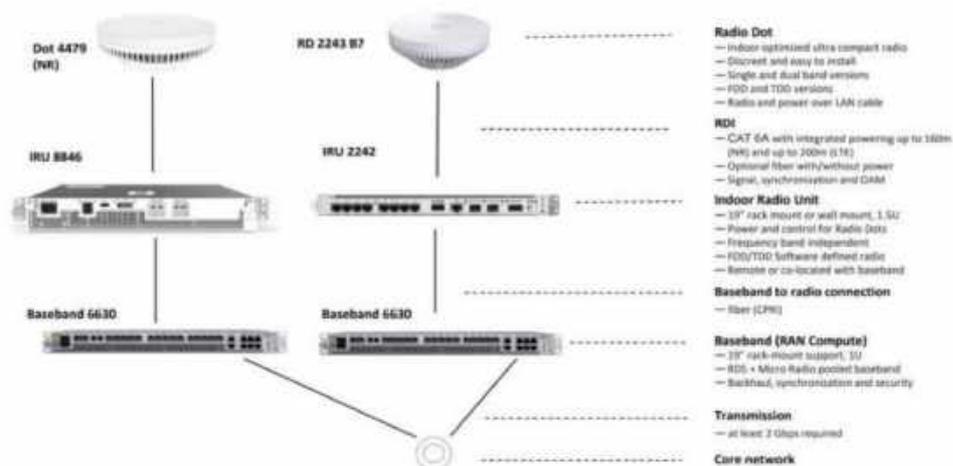


Рисунок 3.2 – Архітектура системи радіоточок для демонстрації 5G

Радіоточка

- Оптимізований у приміщенні надкомпактний радіоприймач
- Стриманий і простий в установці
- Одно- та двосмугові версії
- Версії FDD та TDD
- Радіо та живлення через LAN-кабель

RDI

- CAT 6A з інтегрованою потужністю до 160 м (NR) та до 200 м (LTE)
- Додаткове волокно з / без живлення
- Сигнал, синхронізація та OAM

Внутрішній радіопристрій

- 19-дюймове кріплення в стійку або настінне кріплення, 1,5U
- Живлення та управління для радіоточок
- Незалежний діапазон частот
- FDD / TDD програмне забезпечення радіо
- Віддалений або розміщений спільно з базовою смугою

Основна смуга до радіозв'язку

- волокно (CPRI)

Основна смуга (RANCompute)

- 19-дюймова опора для монтажу в стійку, 1U
- Основна смуга RDS + MicroRadio
- Зворотний зв'язок, синхронізація та безпека

Спосіб передавання

- потрібно принаймні 2 Гбіт / с

Ядро мережі

<p>Single Band LTE</p>  <p>RD 2243</p>	<p>Single Band NR</p>  <p>Dot 4479</p>
<ul style="list-style-type: none"> -400 Мбіт/с -2T2R -40 МГц IBW -2243: 2x 50 мВт (FDD) -Підтримка 3G, 4G -Діапазони: В1, В3, В7 -Розмір: 14 см зовнішній діаметр, 5 см висота -Вага: 420 грам (450 грам з кронштейном) 	<ul style="list-style-type: none"> - 100 МГц IBW - 4x 250 мВт (TDD) - Підтримка 4G, 5G / NR - Діапазон: В78А (Q3 2019) - Розмір: зовнішній діаметр 20 см - Вага: 1100 грам

Рисунок 3.3 – Порівняння радіоточок

Baseband 6630 (5G NR або LTE)

- Розмір 44,5x483x350 мм
- Вага 6,5 кг
- 19-дюймовая стійка



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд BaseBand 6630

IRU 2242 (LTE)

- Розмір 30x280x350 мм
- Вага 3,7 кг
- 19-дюймове кріплення в стійку з корпусом IRU (1U)



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд IRU 2242

IRU 8846 (5G NR)

- Розмір 67x445x350 мм (1,5U)
- Вага 8,6 кг
- 19-дюймове кріплення в стійку



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд IRU 8846

Існує два сценарії побудови мережі всередині будівлі.

Перший сценарій є однооператорним рішенням для великих мережевих сценаріїв з інтенсивним внутрішнім і зовнішнім трафіком.

Другий сценарій фокусується на спільному будівництві та спільному використанні декількох операторів для ефективного розв'язання задач доступу та покращення інвестицій.

Крім того, передбачено можливість спільного користування LampSite Sharing надає можливості оцифрування кімнат для візуалізації O & M і потреб великої ємності різних бізнес-моделей *операторів / власників*.

3.4 Основні розрахунки для побудови мережі 5G

Основні розрахунки для розташування та моделювання БС на основі LTE - 5G.

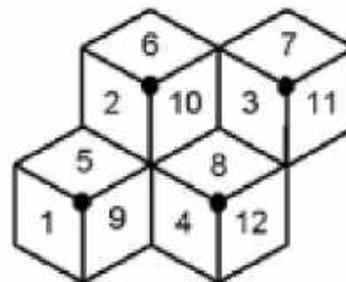
Перед тим, як виконувати розрахунки потрібно занести вхідні дані до Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вхідні дані для розрахунків

Територія зони обслуговування	Стандарт, що використовується	Смуга частот, МГц		Число абонентів мережі, тис. чол.	Площа зони обслуговування, км ²
		на базову станцію (uplink)	на абонентську станцію (downlink)		
м. Лубни	LTE – 5G	6710–6785	6805–6880	47,8	29,93

Перш за все, перед моделюванням БС на карті даної місцевості, потрібно визначити кількість стільників в місті, яка необхідна для забезпечення зв'язку та абонентської ємності. Площу, радіус цього стільника, та кількість абонентів, які будуть обслуговуватись в межах одного стільника.

За основу стільникового зв'язку – візьмемо кластер типу 4/12, зображений на Рисунку 3.7.



Рисункок 3.7 – Тип кластеру 4/12

Даний тип кластеру має 12 секторів, а кожен стільник має по три частотних канали. Перш за все, занесемо вхідні дані до Таблиці 3.3, а саме всі частотні діапазони для uplink (↑) та downlink (↓) .

Таблиця 3.3 – Діапазони всіх частот для кластеру типу 4/12 uplink (↑) та downlink (↓)

№ з/п	№ сектора	Uplink (↑) 6710-6712,4 МГц	Downlink (↓) 6805-6807,4 МГц
1.	1	6710-6710,2	6805-6805,2
2.	2	6710,2-6710,4	6805,2-6805,4
3.	3	6710,4-6710,6	6805,4-6805,6
4.	4	6710,6-6710,8	6805,6-6805,8
5.	5	6710,8-6711	6805,8-6806
6.	6	6711-6711,2	6806-6806,2
7.	7	6711,2-6711,4	6806,2-6806,4
8.	8	6711,4-6711,6	6806,4-6806,6
9.	9	6711,6-6711,8	6806,6-6806,8
10.	10	6711,8-6712	6806,8-6807
11.	11	6712-6712,2	6807-6807,2
12.	12	6712,2-6712,4	6807,2-6807,4

Оскільки для розрахунку був обраний кластер типу 4/12, то в кожному стільнику буде по 3 сектори. Тепер потрібно скласти розподіл частотних каналів для всіх стільників до Таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розподіл частотних каналів, для всіх стільників даного типу кластеру

1 стільник		
Номер сектору	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
1 сектор	6710-6710,2	6805-6805,2
5 сектор	6711,6-6711,8	6806,6-6806,8
9 сектор	6713,2-6713,4	6808,2-6808,4

Продовження Таблиці 3.4 – Розподіл частотних каналів, для всіх стільників даного типу кластеру

2 стільник		
Номер сектору	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
2 сектор	6710,4-6710,6	6805,4-6805,6
6 сектор	6712-6712,2	6807-6807,2
10 сектор	6713,6-6713,8	6808,6-6808,8
3 стільник		
Номер сектору	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
3 сектор	6710,8-6711	6805,8-6806
7 сектор	6712,4-6712,6	6807,4-6807,6
11 сектор	6714-6714,2	6809-6809,2
4 стільник		
Номер сектору	Uplink (↑), МГц	Downlink (↓), МГц
4 сектор	6711,2-6711,4	6806,2-6806,4
8 сектор	6712,8-6713	6807,8-6808
12 сектор	6714,4-6714,6	6809,4-6809,6

Після занесення даних до Таблиці 3.4, отримано такий результат:

- Загальне число частотних каналів у кластері, складає – 12 одиниць.
- Загальне число частотних каналів у стільнику, складає – 3 одиниці.

Відповідно за кількістю частотних каналів у комірці, а саме 3 одиниці, згідно з Таблицею 3.4. отримано 21 канал трафіку.

За допомогою таблиці Ерланга, потрібно визначити число середнього трафіку за годину для одного абонента, в найбільш завантажений час.

Звернувшись до таблиці отримуємо такі результати:

- Допустимий трафік у стільнику $A_{ст}=13,7$ Ерл, це при $p_{відм} = 2\%$ відмов.

Згідно цих даних, потрібно знайти за допомогою калькулятора Ерланга - число середнього трафіку для одного абонента, в найбільш завантажений час.

Так як, Лубни - це середнє за розміром місто. Середній трафік в кожного абонента становить - $A_0 = 0,015$ Ерл.

Виконуємо розрахунки:

- Згідно даних, потрібно розрахувати максимальне число абонентів, в межах одного стільника, за формулою:

$$M_{\text{ст}} = \frac{A_{\text{ст}}}{A_0} = \frac{13,7}{0,015} = 913 \text{ [аб]},$$

де $A_{\text{ст}}$ – допустимий трафік у стільнику, Ерл;

A_0 – середній трафік абонента в найбільш навантажений час, Ерл.

- Тепер потрібно визначити кількість потенційних абонентів в даній мережі, за формулою:

$$N_A = Z \cdot \mu \cdot \rho \cdot S = 1,1 \cdot 1050 \cdot 29,9 = 34\,534 \text{ [ос]},$$

де Z – запланована доля ринку ($Z = 80 \%$, не враховуючи населення, старше 12 років, та літніх людей);

μ – проникність даного типу сервісу в Україні (для стільникового зв'язку $\mu=1,1$);

ρ – щільність населення, чол./км², розраховується як відношення кількості населення в місті $N_{\text{нас}}$ до площі території, яку займає місто, $S_{\text{тер}}$;

S – площа території, на якій розгортають систему стільникового зв'язку, км².

- Далі потрібно визначити пропускну здатність даної мережі, для якісного надання послуг абонентам, за формулою:

$$A_A = N_A \cdot A_0 = 34534 \cdot 0,015 = 268,$$

де A_0 – інтенсивність трафіку одного абонента, в найбільш навантажений час;

N_A – кількість потенційних абонентів в мережі.

- Тепер потрібно визначити кількість базових станцій, за формулою:

$$N_{\text{БС}} = \frac{A_A}{A_{\text{БС}}} = \frac{268}{9,9} = 27[\text{бс}],$$

де A_A – пропускна здатність мережі;

$A_{\text{БС}}$ – інтенсивність трафіку, що створюється на одній базовій станції.

- На даному етапі необхідно визначити кількість стільників в місті, за формулою:

$$q_{\text{ст}} = \frac{M_{\text{мер}}}{M_{\text{ст}}} = \frac{47800}{913} = 52[\text{ст}],$$

де $M_{\text{мер}}$ – загальна площа для розміщення стільників;

$M_{\text{ст}}$ – максимально допустима кількість абонентів в стільнику.

- Після того, як стала відома кількість стільників в мережі, необхідно знайти загальну площу одного стільника, за формулою:

$$S_{\text{ст}} = \frac{S_{\text{мер}}}{q_{\text{ст}}} = \frac{29,9}{52} = 0,575 [\text{км}^2],$$

де $S_{\text{мер}}$ – площа даної мережі;

$q_{\text{ст}}$ – кількість стільників в даній мережі.

- Кінцевим розрахунком, буде визначення радіусу стільника, за формулою:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\sqrt{S_{\text{ст}}}}{\sqrt{0,65}} = \frac{\sqrt{0,575}}{\sqrt{0,65}} = 0,937[\text{км}],$$

де $S_{\text{ст}}$ – загальна площа стільника.

Всі ці обраховані дані потрібно занести до Таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Обраховані дані

Кількість частот в стільнику	3
Кількість частот в кластері типу 4/12	12
Допустиме число абонентів в стільнику, $M_{ст}$	913
Кількість потенційних абонентів в мережі, N_A	34 534
Пропускна здатність мережі, A_A	268
Кількість базових станцій в мережі, $N_{БС}$	27
Число стільників в мережі, $q_{ст}$	52
Площа стільника, $S_{ст}$	0,575
Радіус кожного стільника в даній мережі, $R_{ст}$	0,937

3.5 Розташування та моделювання БС стандарту 5G

Географічне місце зони обслуговування

Лубни – це місто в Полтавській області, адміністративний центр Лубенського району.

Населення Лубен не дуже велике, а саме – 47845 осіб, станом на 1 березня 2018 року.

Площа цього міста становить – 29,93 км²

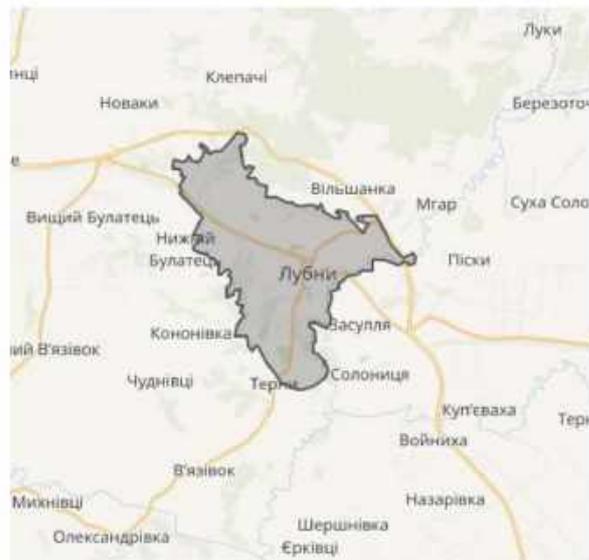


Рисунок 3.8 – місто Лубни

Сьогодні Лубни – значний промисловий, економічний і культурний центр. В місті багато заводів, закладів навчання та інших інфраструктур. В теперішній час мобільний зв'язок в місті бажає бути кращим, тому що постійно з'являються поломки на базових станціях, іноді не вистачає швидкості передачі даних. Дуже рідко виникає перенавантаження мережі. Кожного року в місто приїжджає багато людей та туристів в оздоровчі бази. Мобільний зв'язок постійно еволюціонує та розвивається, саме тому Лубнам для швидкого розвитку необхідний якісний та швидкий мобільний зв'язок.

Тепер отримавши всі результати, є можливість змоделювати аналог базової станції на карті місцевості міста Лубни, за допомогою програми *Atoll*.

На первинному етапі входу в програмне забезпечення, зустрічає вікно з налаштуванням порту. Для початку потрібно налаштувати порт як показано на Рисунку 3.9.

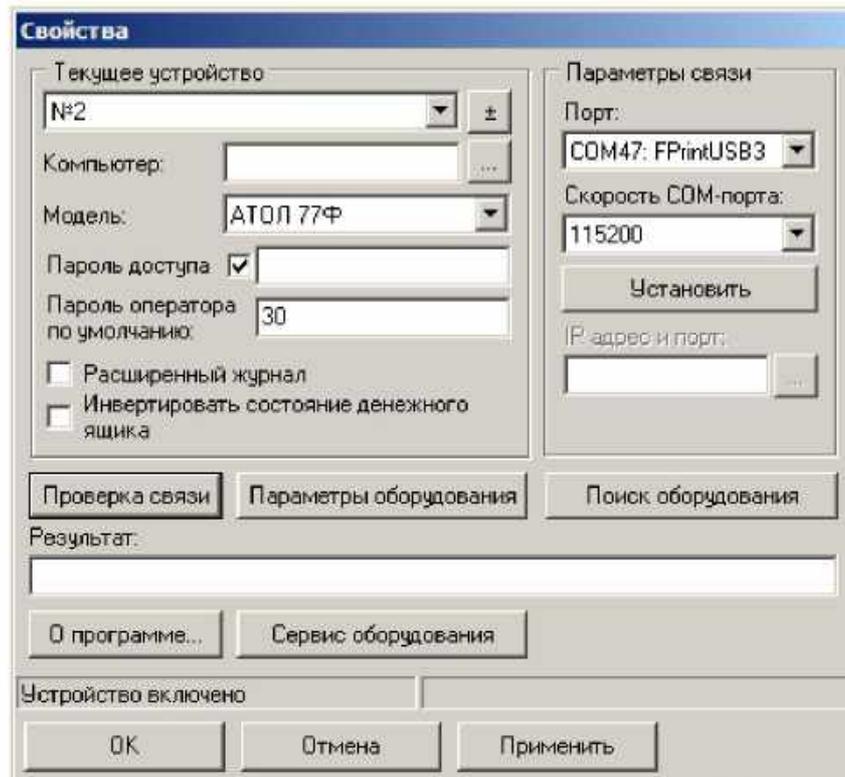


Рисунок 3.9 – Панель налаштування порту

Далі потрібно завантажити карту місцевості на сайті [15], та скористуватися панеллю налаштування, як показано на Рисунку 3.10.

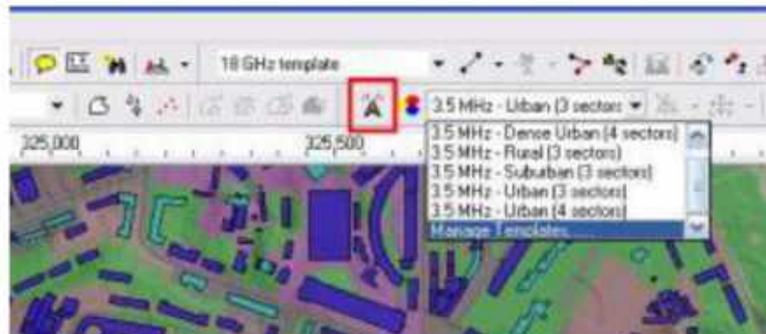


Рисунок 3.10 – Панель налаштувань для встановлення БС

У вікні, що відкрилося, потрібно вибрати БС, яка задовільняє вимоги параметрів, що були розраховані вище. Обов'язково потрібно вибрати налаштування urban – параметр, який працює лише для міста рисунок 3.11.

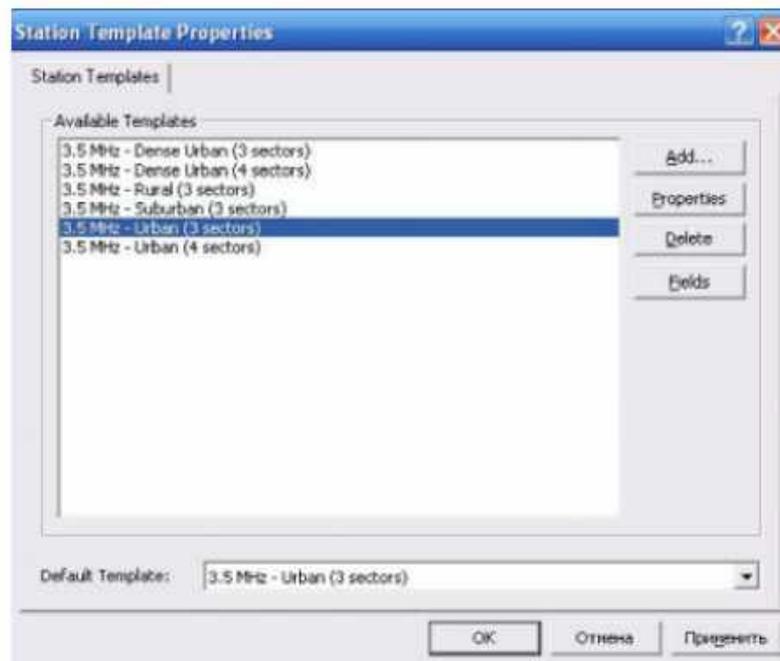


Рисунок 3.11 – Вибір конфігурації БС

Після вибору конфігурації БС потрібно її налаштувати як показано на Рисунку 3.12.

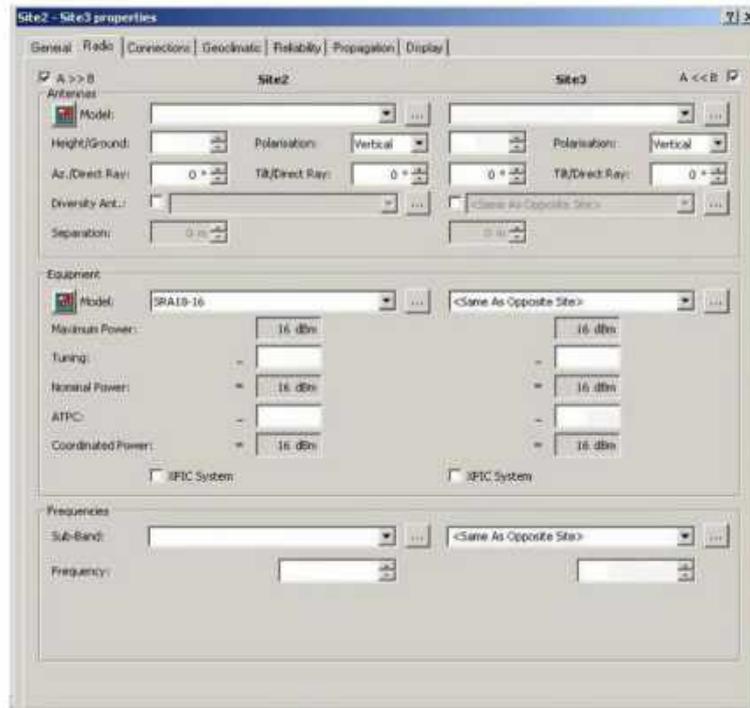


Рисунок 3.12 – Панель налаштування БС

Після поверхневого налаштування БС потрібно завантажити карту даного району в програмне забезпечення Attol. На виході отримуємо такий результат, як зображено на Рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Карта загальної забудови даного району

Після завантаження карти місцевості в ПЗ, маємо можливість розташувати дві БС на найвищі точки даного регіону, щоб можна було побачити як працює розповсюдження сигналу між ними, як зображено на Рисунку 3.14.

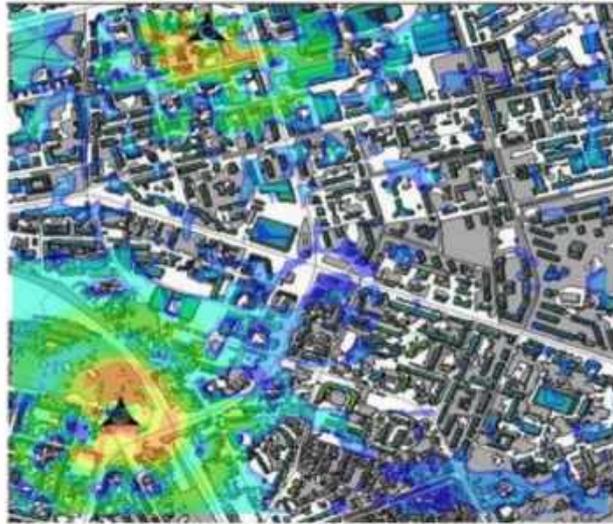


Рисунок 3.14 – Результат покриття заданої території для 2-х станцій

Після виконаної операції, спостерігається незадовільне покриття сигналу, як зображено на Рисунку 3.14. Тому були вирішено додати ще одну БС на дану територію, як зображено на Рисунку 3.15.

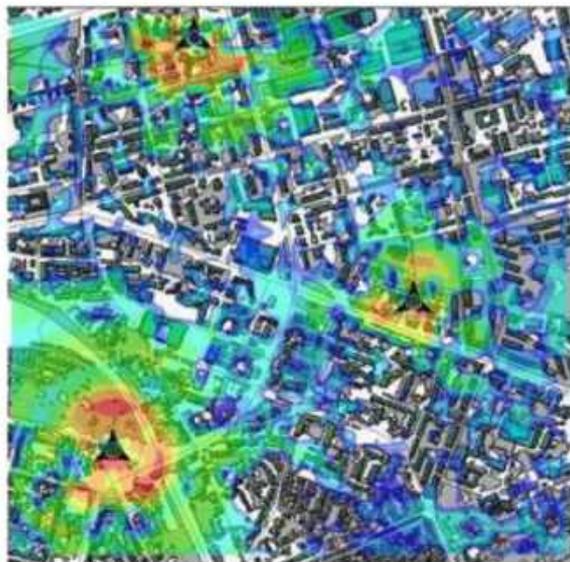


Рисунок 3.15 – Результат покриття заданої території для 3-х станцій

Було розміщено три БС на найвищих точках, щоб будівлі не впливали на розповсюдження сигналу. Як видно з Рисунку 3.15, навіть 3-х БС не достатньо для вирішення даної проблеми, тому було прийнято рішення збільшити підсилення антен на 2 дБ, дане підсилення зображено на Рисунку 3.16.

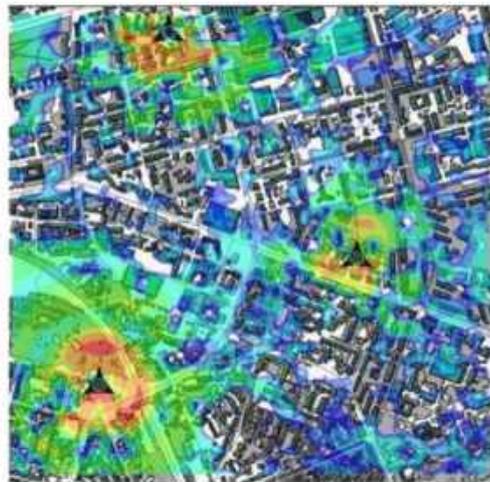


Рисунок 3.16 – Результат після збільшення підсилення на антенах

Результат, який показало збільшення підсилення на антенах зовсім не задовольняє вимоги. Тому було прийнято рішення додати ще одну БС та змінити кут нахилу антен.

Збільшення куту нахилу впливає на дальність розповсюдження та покриття сигналу від радіорелейної станції (РРС). Приклад куту нахилу зображено на Рисунку 3.17.

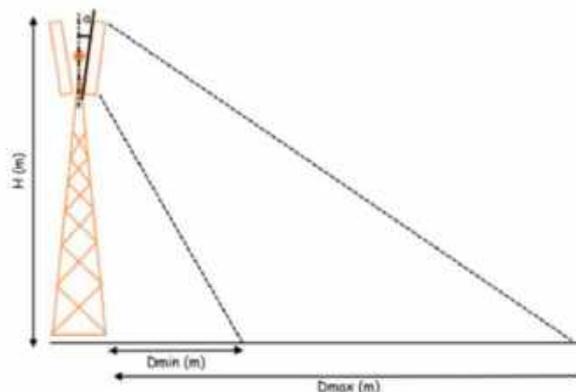


Рисунок 3.17 – Кут нахилу та дальність покриття радіорелейної станції

Залежність дальності розповсюдження та покриття від нахилу РРС зображено в Таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Залежність дальності розповсюдження та покриття від нахилу РРС

Кут нахилу (°)	Dmin (m)	Dmax (m)	Кут нахилу (°)	Dmin (m)	Dmax (m)
0	285	∞	10	105	429
1	245	∞	11	98	343
2	213	∞	12	92	285
3	189	∞	13	87	244
4	170	∞	14	82	213
5	154	∞	15	78	189
6	141	∞	16	74	170
7	130	1719	17	71	154
8	120	859	18	67	141
9	112	572	19	64	130

Крім азимутів і кутів антен, спосіб розміщення антени також має великий вплив на перешкоди інших стільників. Неправильне розміщення базової станції може мати значний вплив на продуктивність її стільника. Найголовніша вимога – антени базової станції повинні бути встановлені там, щоб не було перешкод для головних променів.

Згідно розрахункам, розміщенням БС та таблиці найбільш вигідним є варіант з кутом нахилу в 10°, тому обираємо в програмі кут нахилу в 10° замість 15°. Після того, як добавилась ще одна четверта БС, можна змінити укт нахилу РРС. Програма скомпонувала розрахунки та взяла до уваги добавлення додаткової БС та видала такі результати, як зображено на Рисунку 3.18



Рисунок 3.18 – Результат розповсюдження сигналу для 4-х БС та регулювання кута нахилу антен

Після даного моделювання можна скористуватись моделлю розповсюдження сигналу Окамура-Хатта для спрощення та наглядного виду, як зображено на Рисунку 3.19.



Рисунок 3.19 – розповсюдження сигналу за моделлю Окамура-Хатта

Висновки до третього розділу

У третьому розділі дипломної роботи, були виконані розрахунки основних характеристик системи стільникового зв'язку. На основі виконаних обчислень, була змодельована БС на території міста Лубни. Виконані розрахунки основних характеристик системи стільникового зв'язку, а саме: допустиме число абонентів в стільнику, пропускна здатність мережі, кількість базових станцій, число стільників, площа стільника, радіус кожного стільника в даній мережі. Було обчислено, яким буде баланс потужності та втрати на трасі. Недоліків не було виявлено, тому можна зробити висновок, що система надійна.

ВИСНОВКИ

В даній роботі, було виконано всі поставлені завдання в повному обсязі. Проаналізовано основні стандарти мобільного зв'язку, наведено спектри частот та схеми їх роботи. Проаналізований основний стандарт LTE, та виконано порівняння даного стандарту з 5G. Розглянуто переваги та недоліки цих стандартів.

Перед виконанням основних розрахунків, було визначено, яке саме обладнання буде використовуватись в розрахунках даного типу зв'язку. В ході роботи обрано, якою саме буде антена, висота її підйому та кут нахилу.

Були виконані розрахунки основних характеристик системи стільникового зв'язку, а саме: допустиме число абонентів в стільнику, пропускна здатність мережі, кількість базових станцій, число стільників, площа стільника, радіус кожного стільника в даній мережі.

На основі виконаних обчислень, в програмному забезпеченні Atoll, була змодельована система стільникового зв'язку на території міста Лубни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пристрої цифрових систем стільникового зв'язку: навч. посіб. / А. П. Бондарєв, Б. А. Мандзій, С. В. Давіденко с. 201—204
2. Study on Mobile Device Security. Department of Homeland Security.
3. В. Вишнеvский, С. Портной, И. Шахнович. Энциклопедия WiMax. Шлях до 4G.
4. Launay Frédéric, Perez André. LTE Advanced Pro: Towards the 5G Mobile Network
5. Ge Xiaohu, Zhang Wuxiong. 5G Green Mobile Communication Networks
6. Yang Yang, Xu Jing, Shi Guang, Wang Cheng-Xiang. 5G Wireless Systems: Simulation and Evaluation Techniques
7. Лохвицкий М.С., Сорокин А.С., Шорин А.А. Мобильная связь. Стандарты, структуры, алгоритмы, планирование
8. А. Н. Степутин, А. Д. Николаев. Мобильная связь на пути к 6G
9. Большие данные: архитектура сети и технологии 5G. URL: <https://wirelesse.ua/gsm/5g/big-data-5g/>
10. Jackson Cyrus. The 5G Network Architecture
11. Zhang L., Zhao G., Imran M.A. (eds.) Internet of Things and Sensors Networks in 5G Wireless Communications
12. Что такое 5G, и как сети пятого поколения изменят нашу жизнь. URL: <https://msk.tele2.org/journal/article/what-is-5G>
13. Интернет вещей и 5G. <https://habr.com/company/unet/blog/336936/>
14. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Белов. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
15. 5G New Radio (5G NR): особенности проектирования новых архитектур и решений. URL: <https://networkguru.ru/5g-new-radio-nr/>
16. Three Services from 5G: Massive Machine Type Communications. URL: <https://blogs.cisco.com/sp/3services5gmassmachine>

17. Радиоинтерфейс систем 5G. URL: <https://habr.com/ua/post/263865/>
18. В.О. Тихвинский. Сети мобильной связи 5G. Технологии, архитектура и услуги
19. 3GPP Release 16. URL: <https://www.3gpp.org/release-16>
20. Федоров С.О., Правило В.В. Надширокополосный мобильный зв'язок як один із перших сервісів 5G // «Перспективи телекомунікацій 2020»
21. Medium Access Control:
https://en.wikipedia.org/wiki/Medium_access_control
22. Ядро 5G: <https://www.viavisolutions.com/ru-ru/5g-architecture>
23. MME: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/management-entity>

ДОДАТОК А

GENERAL ANALYSIS OF THE MAIN STANDARDS OF CELLULAR COMMUNICATION

A.1 History and development of cellular communication

The evolution of cellular communication does not stand still, because the need to increase the speed of processing and the quality of data transmission is growing every day. During the entire existence of the mobile network, the following generations can be distinguished: 1G, 2G, 3G, 4G and the new 5G.

The first generation of mobile communication (1G)

The official date of birth of mobile communication is considered to be April 3, 1973, when the head of Motorola's mobile communications division, Martin Cooper, called Joel Engel, head of research and development at AT & T Bell Laboratories, on a busy street in New York. These two companies were at the birth of mobile telephony. This technology was commercially implemented a few years later, in 1984, in the form of the first generation (1G) mobile networks, which were based on the analog method of information transmission. [1]

The main analog mobile communication standards were AMPS (Advanced Mobile Phone Service) (USA, Canada, Central and South America, Australia), TACS (Total Access Communications System) (England, Italy, Spain, Austria, Ireland, Japan) and NMT (Nordic Mobile Telephone) (Scandinavian countries and many other countries). There were other analog mobile communication standards - Z-450 in Germany and Portugal, RTMS (Radio Telephone Mobile System) in Italy, Radiocom 2000 in France. In general, the mobile communication of the first generation was a patchwork of incompatible standards. [1]

At the beginning of the evolution of 1G, no one even thought about data services - they were analog systems designed and built exclusively for voice calls and some other modest functions. There were modems, but since wireless

communication is more prone to noise and distortion than conventional wired communication, transmission speeds were incredibly slow. Also, in the 80s, the price per minute of talk was so high that a cell phone could be considered a luxury. [1]

All analog standards use frequency (AM) or phase (FM) modulation to transmit speech and frequency manipulation to transmit control information. This method has a number of significant disadvantages: the possibility of listening to conversations by other participants, the lack of effective methods of combating the fading of signals under the influence of the surrounding landscape and buildings or due to the movement of participants. Different parts of the frequency spectrum are used to transmit information on different channels - the method of multiple access with frequency division of channels (Frequency Division Multiple Access - FDMA) is used. [2]

The main drawback of analog systems is directly related to this - relatively low throughput, which is a consequence of insufficiently rational use of the allocated frequency band when distributing channel frequencies. [2]

The second generation of mobile communication (2G)

In 1982, CEPT (French: Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications) created a working group called GSM Special Group (French: Groupe Spécial Mobile) to study and develop European cellular mobile communications of general application - the second generation of mobile phone systems (2G). The name of the GSM working group was also used as the name of the mobile communication system. In 1989, CEPT's responsibilities were transferred to the European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Initially, GSM was intended only for ETSI member countries. [1]

However, many other countries have also implemented GSM, such as Eastern Europe, the Middle East, Asia, Africa, the Pacific, and North America (with a GSM derivative called PCS1900). The name GSM came to mean "global system of mobile communication", which corresponds to its essence. [1]

The first mobile networks of the second generation (2G) appeared in 1991. Their main difference from the networks of the first generation was the digital way of transmitting information, thanks to which the short messaging service SMS (English Short Messaging Service) appeared, which many loved. When building second-generation networks, Europe followed the path of creating a single standard - GSM, in the USA, most 2G networks were built on the basis of the D-AMPS (Digital AMPS) standard, which is a modification of analog AMPS. By the way, it was this circumstance that led to the creation of the American version of the GSM standard - GSM1900. With the development and spread of the Internet for mobile devices of 2G networks, WAP (Wireless Application Protocol - wireless data transfer protocol) was developed - a protocol for wireless access to the resources of the global Internet network directly from mobile phones. [1]

The GSM standard uses access to several multiplexing stations with time division (channel compression - TDMA), which allows placing 8 voice channels simultaneously on one carrier frequency [4]. GSM supports intensive transmission (270 kbit / s), provides roaming (that is, automatic monitoring of the transition of a mobile user from one cell to another), includes the integration of speech, data and communication with public networks. [4]

There are several types of cellular communication standards, namely: GSM-900, which operates in frequency bands, within 890-960MHz. And micro cellular communication, which performs its work in the range of 1710-1880 MHz [1]. The fact that the area of the honeycomb is small and there is a large attenuation gave rise to the name: "Micro honeycomb". [4]

The general GSM architecture is shown in Figure 1.1. Each has a base station BTS (BaseTranscieverStation), which provides reception and transmission of radio signals to subscribers. A BTS has a frequency band different from the bands of neighboring cells. The mobile cell listens to the neighboring BTS and informs the base station controller (BSC - BaseStationController) about the reception quality so that the BSC can switch to the required BTS cell in time. The switching center (MSC

- MobileservicesSwitchingCentre) carries out switching and routing, directing the calls of the desired subscriber, including to external public networks [6]. The database stores information about the location of users, technical characteristics of mobile stations, data for user identification. Figure A.1 shows the scheme of operation of this standard.

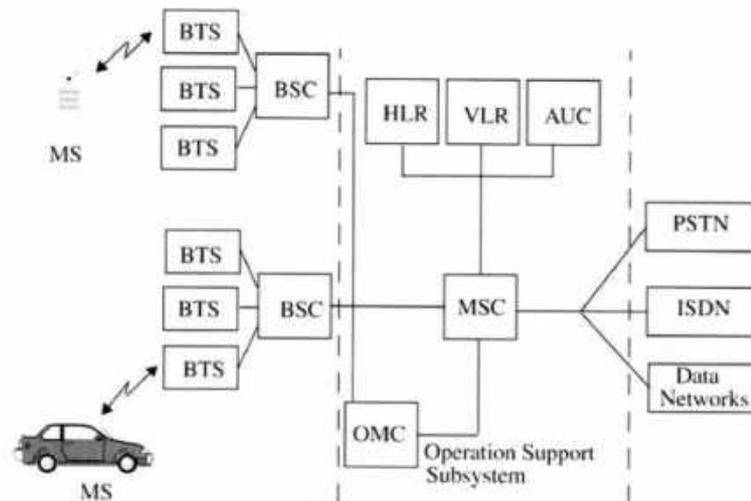


Figure A.1 – Structure diagram of the GSM standard

The creation of the GSM standard can be divided into two stages:

The first stage, which began in 1991. The services of this stage include: call forwarding, call barring, call waiting, call holding, global roaming.

With the development of cellular network technologies, additional services were provided to subscribers.

The second stage of GSM development was completed in 1997 and, together with the services of the first stage, provided subscribers with new services: identification of the calling line number, anti-identifier of the number, group call, creation of a closed group, information on the cost of the call, advice on payment, maintenance of an additional line, reception of short text messages, voice message system.

Compared to other widely used digital standards, GSM provides better and higher energy efficiency, quality, security and privacy of communication.

The main advantages of 2G networks over their predecessors were that telephone conversations were encrypted using digital encryption; The 2G system provided data transmission services starting with SMS messages.

The growing need of mobile users to use the Internet from mobile devices became the main driving force behind the creation of networks of the 2.5G generation, which was the transition between 2G and 3G. 2.5G networks use the same mobile communication standards as 2G networks, but support packet data transmission technologies in GSM networks - GPRS (General Packet Radio Transmission), EDGE (Extended Data Rate for GSM Evolution). The use of packet data transfer made it possible to increase the speed of information exchange to 384 Kbit/s when working with the Internet from mobile devices instead of 9.6 Kbit/s in 2G networks.

The third generation of mobile communication (3G)

The transition to the third generation (3G) became the further development of mobile communication networks. 3G is a mobile digital communication standard, which under the abbreviation IMT-2000 (English International Mobile Telecommunications - international mobile communication 2000) combines five standards - W-CDMA, CDMA2000, TD-CDMA / TD- SCDMA, DECT (Digital Enhanced Cordless). Telecommunications). Of the listed 3G components, only the first three represent full-fledged third-generation mobile communication standards. DECT is a wireless telephony standard for home or office purposes, which can only be used to organize access points in these networks within the framework of third-generation mobile technologies.

The IMT-2000 standard provides a clear definition of 3G networks - a mobile network of the third generation means an integrated mobile network that provides: for stationary subscribers, the speed of information exchange is at least 2048 kbit/s, for subscribers moving at the maximum speed. 3 km/h - 384 kbit/s, for participants moving at a maximum speed of 120 km/h - 144 kbit/s. For global satellite coverage,

3G networks must provide an exchange speed of at least 64 kbit/s. Code division multiple access protocols are the basis of all third generation standards.

A.2. The fourth generation of mobile communication (4G)

In March 2008, the radio sector of the International Telecommunication Union (MSE-P) defined several requirements for the international standard for mobile wireless broadband 4G, which was called the International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced) specification. Data rate requirements for subscribers: 100 Mbps should be provided to highly mobile subscribers (eg trains and cars) and 1 Gbps to less mobile subscribers (eg pedestrians and stationary subscribers) [2].

Because the first versions of mobile WiMAX (English Worldwide Interoperability for Microwave Access) and LTE (English Long Term Evolution) support speeds well below 1 Gbps, they cannot be called IMTAdvanced technologies, even though service providers often call them 4G technologies. On December 6, 2010, ITU-R recognized 4G as the most advanced technology.

The main, basic technology of the fourth generation is the technology of orthogonal frequency compression OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). For maximum transmission speed, the technology of data transmission using N antennas and their reception using M antennas - MIMO (English Multiple Input / Multiple Output - many inputs / many outputs) is also used. In this technology, the transmitting and receiving antennas are spaced to achieve low correlation between adjacent antennas.

LTE

LTE technology is the main direction of development of third generation (3G) mobile communication networks. In January 2008, the Third Generation Partnership Project (3GPP), an international association that develops forward-looking mobile

communication standards, approved LTE as the next standard for mobile broadband networks after UMTS [1].

The International Telecommunication Union has chosen two technologies, LTE-Advanced and WirelessMAN-Advanced (based on the WiMAX standard) as standards for fourth-generation (4G) wireless broadband. According to the criteria, some experts consider the standard of wireless communication the fourth generation of technology that provides a peak data transfer speed of 100 Mbit/s in traffic and 1 Gbit/s in stationary use. Advanced LTE and WiMAX networks, often referred to as 4G for marketing purposes, do not meet the requirements published by the ITU (their bandwidth is about three times lower than the established criteria). LTE provides a theoretical peak data transfer rate of up to 326.4 Mbit/s from the base station to the user (de facto 5-10 Mbit/s) and up to 172.8 Mbit/s in the reverse direction. For comparison, second-generation (2G) networks are theoretically capable of providing peak data transfer speeds of 56-114 Kbit/s using GPRS technology and up to 473.6 Kbit/s using EDGE. Third generation (3G) networks provide data transfer speeds of up to 3.6 Mbit/s.

LTE Advanced

In May 2012, Takehiro Nakamura, head of the 3GPP Radio Access Networks Working Group, director of NTT DoCoMo Radio System Design Group, published the results of field tests of the promising LTE Advanced technology, which represents a new stage in the development of mobile networks. The data transfer rate stated in this specification shall be 1 Gbps to the subscriber and 500 Mbps from the subscriber. Experiments carried out in the DoCoMo network confirmed the high performance of LTE Advanced in the test area, which showed a speed of 600 Mbps down and 200 Mbps up in a dense city environment while driving in a car [3].

LTE Advanced is the next generation of LTE networks, the fourth generation of mobile communications. It differs from "basic" LTE by a higher data transfer rate and the ability to spread the same signal to several bands at once. For these networks, there is also the development of directional antennas that will be able to transmit a

signal only in the direction of the subscriber. In addition, LTE Advanced supports the possibility of retransmission - access to the network of one device through another [3].

It should also be noted that LTE technology can work in more frequency bands than other mobile communication technologies.

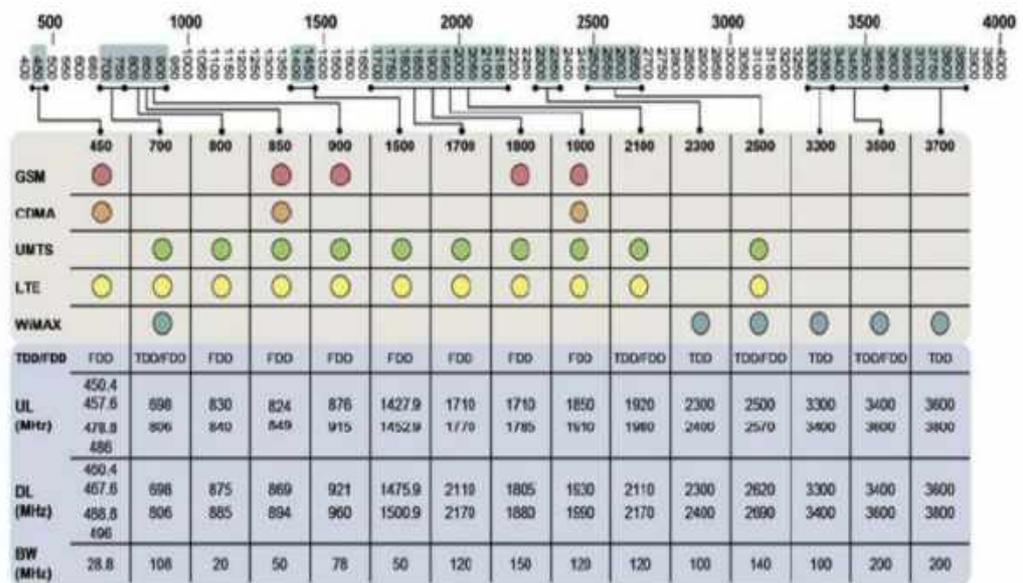


Figure A.2 - Allocation of frequency resources between technologies

A.3 Planning and technologies of the LTE standard

Let's briefly consider what standards exist in general based on Table A.1

Table A.1 - Generation of mobile communication systems

Generation	Name of standards
0G	PTT, MTS, IMTS, AMTS, Mobitex, Autotel/PALM, ARP
1G	NMT, AMPS, Hicap
2G	GSM, iDEN, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, GPRS, HSCSD, WiDEN

Continuation Table A.1 - Generation of mobile communication systems

2.75G	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA, FOMA), CDMA2000, TD-SCDMA, WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA, HSDPA, HSUPA), CDMA2000 (EV-DO Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+), CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX, LTE
5G	WiMAX, LTE, CDMA

Since the standards of the fourth generation are now the most relevant, and have better characteristics and technical indicators than others, we wanted to make a comparison in their planning.

The differences between LTE and other standards in network planning and construction are shown in Table A.2

Table A.2 - Difference between planning standards

Name	Standards		
	LTE	GSM	WCDMA
Switching	Packages (IP)	Packages and channels	Packages and channels
Signal and information transmission	OFDM	Narrowband signal	Broadband signal
Availability of a regular planning method	Absent	Available	Available for high-speed and high-speed transmission

Continuation Table A.2 - Difference between planning standards

Frequency resource planning	Distribution of fragments of the system band between BS users	Allocation of frequency channels between BS	Does not need
Traffic profile	Background traffic, streaming video, mobile Internet, VoIP	Background traffic, mobile internet,	Background traffic, mobile Internet, streaming video
Service	VoIP is a CMO with failover. Mobile Internet - SMO with queues and priorities. Streaming video - SMO without delays	The language is CMO with disclaimers. Mobile Internet - SMO with queues and priorities.	The language is CMO with disclaimers. Mobile Internet - SMO with queues and priorities. Streaming video - SMO without delays

The stages of planning a mobile communication network of GSM, WCDMA, LTE standards are given in Table A.3

Table A.3 – Standards planning stages

Standard	Stages of planning
GSM	<ol style="list-style-type: none"> 5. Selection of the type of frequency channel 6. Determination of the spatial parameters of the network 7. Determination of parameters of base stations (based on the loss budget) 8. Drawing up a frequency plan

Continuation Table A.3 - Standards planning stages

WCDMA	<ol style="list-style-type: none"> 5. Determination of the number of traffic channels on the cell depending on intra-system interference (network loading) 6. Determination of the spatial parameters of the network 7. Calculation of parameters of base stations (based on the fact that the signal is group; calculation according to the pilot signal) 8. Distribution of code shifts by sector
LTE	<ol style="list-style-type: none"> 5. Determination of the spatial parameters of the network 6. Frequency planning 7. Estimation of bandwidth for a given traffic profile 8. Refinement of parameters of base stations and service area based on traffic

The speeds that LTE technology can provide in the downlink and outbound channels (from the base station to the mobile device and back) depend on many important factors - the method of channel duplexing, the available frequency range, the type of carrier modulation, the method of data coding, resistance to interference, use MIMO technologies, consumption of management resources, duration of cyclic prefixes, etc. [9]

A preliminary evaluation of the parameters of the planned LTE network can be carried out under three scenarios, as shown in Figure 1.3, namely: single connection (Single-Downlink), single cell with many users (Single-Cell MultiUser), many cells with many users (Multi-Cell Multi-User).[9]

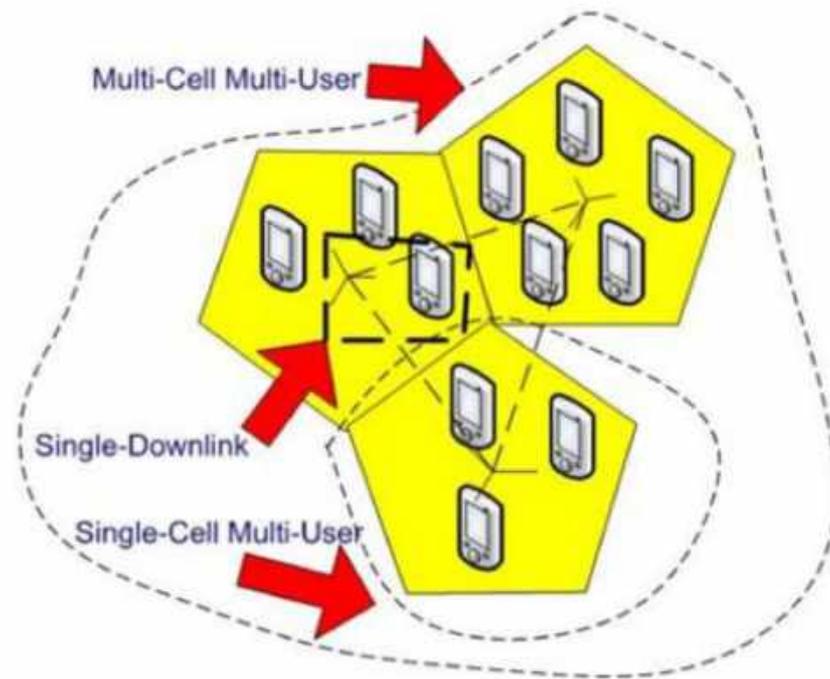


Figure A.3 - Scenarios for evaluating network parameters of the LTE standard

Single-Downlink – a scenario in which only one downlink between the base station and the subscriber equipment of one user is evaluated. From the planning side, in this way, service parameters can be checked and calculated for a channel user, as well as the efficiency of MIMO algorithms. [9]

Single-Cell Multi-User – a scenario in which the connection is evaluated for the potential of active users in a single cell (cell). It also allows for additional investigation of radio network parameters taking into account intra-cell loading and radio resource planning procedures, as well as the effectiveness of multi-user MIMO modes. [9]

Multi-Cell Multi-User - a scenario in which the main parameters of the network are evaluated. Allows you to explore all parameters of a real radio network, taking into account intra-system interference from neighboring cells. [9]

A.4 MIMO technology

MIMO technology (Multiple Input Multiple Output) is the use of multiple antennas on the receiving and transmitting sides, allowing you to increase the bandwidth without expanding the frequency band or increasing the signal strength. In this technology, the data transfer rate increases almost proportionally to the number of antennas and the signal quality is improved by receiving the signal through several antennas at the same time.

For mobile systems, a special interface is the Multi-User MIMO (MU-MIMO) technology, which allows for the transmission of independent data streams to different users at the same time. This technology is shown in Figure A.4.

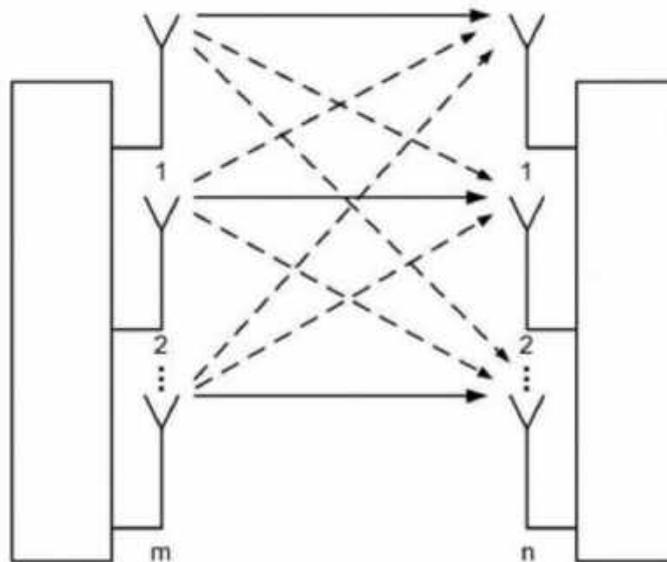


Figure A.4 – MIMO technology

There are several options for using MIMO - to increase subscriber capacity, while different information is transmitted from different antennas and to improve coverage. In the second case, the same signal is transmitted from several antennas. Information that allows the subscriber device to combine the signal from different antennas, which increases its quality.

A.5 Frequency planning

Today, the majority of LTE networks operate in the paired spectrum in the FDD (Frequency Division Duplex) mode - the frequency difference of the input and output channels, in which signal reception and transmission occur at different frequencies), but interest in LTE TDD networks continues to grow - yes, more and more countries implementing LTE technology support the TDD (Time Division Duplex) mode - signal reception and transmission occur on the same frequency, but with time division. The technology is best suited for applications with asymmetric traffic.

In total, more than 40 frequency bands (bands) have been allocated for LTE technology, while the use of the spectrum for LTE has regional features. For example, in the USA the most popular bands are 700 MHz (mainly band 13 and band 17) and AWS (AWS band (Advanced Wireless Services band) - paired frequencies in the ranges 1710-1755 MHz (transmission) and 2110-2155 MHz (reception) (1.7 / 2.1 GHz), in Europe - bands 1800 MHz (band 3) and 2600 MHz (band 7), in the future - 800 MHz (band 20). In Japan, the first launches of LTE took place in the band 800/ 850 MHz; 1.5 GHz; 1.7 GHz and 2.1 GHz (operator dependent). There is a lot of interest worldwide in reforming GSM frequencies for use in LTE networks. This is especially true for the 1800 MHz band, and in some cases, 900 MHz, while most regulators favor a technology-neutral approach where operators can use the frequencies they have, regardless of the specific technology.

The development of LTE at a frequency of 1800 MHz is on average 60% more economical than the construction of networks in high-frequency bands. The use of this range allows you to reduce the time to market LTE technology and accelerate its development. Those companies that can carry out reforming for the lower frequencies of 800-900 MHz, where the deployment of LTE networks is several times cheaper than in the bands above 2 GHz, will be in a more favorable position.

The deployment of networks in the low-frequency region of the spectrum is more attractive from the point of view of costs and is optimally suitable for covering areas with low population density (suburbs and rural areas). Low frequencies, compared to high ones, provide significantly better penetration inside buildings and a large area of coverage, which, on the one hand, allows providing communication to large areas, and on the other hand, seriously limits the density of base stations and exacerbates the problem of intra-system interference.

High frequencies are excellent for building LTE systems in densely populated areas where high data rates are required. However, if you work only in the high-frequency range, problems with radio coverage inevitably arise. Femtocells installed in places with a high concentration of subscribers (traffic) and indoors help reduce "shadow" areas in the coverage. Femtocells are necessary to improve network coverage on the first floors of buildings, in basements, and in warehouses, as well as to solve subscriber problems associated with peak hour network congestion.

A.6 Advantages and disadvantages of LTE

Advantages of LTE:

- **High bandwidth:** High data rates can be achieved in both the downlink and the uplink. This causes high throughput.
- **Low Latency:** The time required to connect to the network is in the range of hundreds of milliseconds, and power-saving states can now be entered and exited very quickly.
- **FDD and TDD on the same platform:** Frequency Division Duplex (FDD) and Time Division Duplex (TDD), both schemes can be used on the same platform.
- **Excellent end-user interaction:** Optimized signaling for connection establishment and other radio interface procedures and mobility management further improved user interaction. Reduced latency (up to 10ms) for a better user experience.

- Seamless connectivity: LTE will also support seamless connectivity with existing networks such as GSM, CDMA and WCDMA.

- Plug and play: the user does not need to manually install device drivers. Instead, the system automatically recognizes the device, downloads new drivers for the hardware if necessary, and starts working with the newly connected device.

- Simple architecture: low operating costs (OPEX) due to simple architecture.

Disadvantages of LTE

- Lack of continuity to UMTS / HSPA technology.

- The need to modernize the transport network of the communication operator for quality service provision.

Conclusions

So, in this section, the history and development of cellular communication, the fourth generation of mobile communication and its LTE technology, the analysis of the architecture and its components were considered. LTE is compared with other most common standards. A study of the advantages and disadvantages of this standard was also conducted. Mobile network technologies are developing at a rapid pace, and therefore require greater speed, bandwidth, overall growth in uploads, downloads, and lower latency. The LTE network performed well in all components compared to older technologies of the first, second and third generations.

ДОДАТОК Б

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ, ЕЛЕКТРОНИКИ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

НА ТЕМУ: «Модернізована система стільникового зв'язку м. Лубни на основі європейського стандарту 5G»

ВИКОНАВ: студент групи 601-ТТ Адаменко М.К.
КЕРІВНИК: к.т.н., доцент Сокол Г. В.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – процес зв'язку у мобільній мережі стандарту 5G.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ – методи розрахунку основних характеристик мережі зв'язку стандарту 5G.

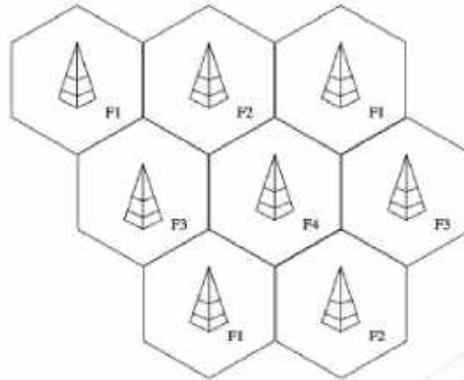
МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ – модернізація мережі зв'язку на основі європейського стандарту 5G.

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ – аналітичний з використанням комп'ютерних технологій.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

- Обґрунтування необхідності розгортання системи стільникового зв'язку.
- Вибір обладнання системи стільникового зв'язку.
- Розрахунок основних характеристик системи стільникового зв'язку.

Стільниковий зв'язок — один із видів мобільного радіозв'язку, в основі якого лежить стільникова мережа. Тобто, особливість стільникового зв'язку полягає в тому, що зона покриття ділиться на «стільники», що визначається зонами покриття окремих базових станцій. На Рисунку зображена узагальнена схема побудови стільникової мережі.



3

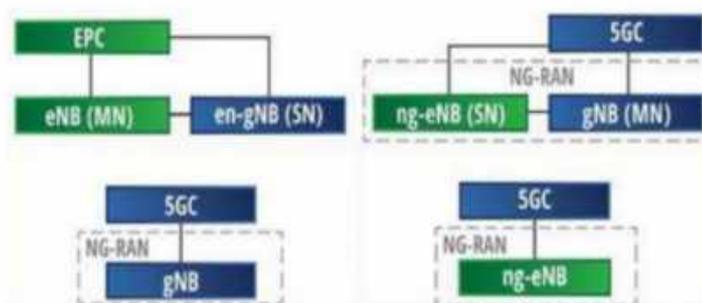
Покоління систем мобільного зв'язку

Покоління	Найменування стандартів
0G	PTT, MTS, IMTS, AMTS, Mobitex, Autotel/PALM, ARP
1G	NMT, AMPS, Hicap
2G	GSM, iDEN, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, GPRS, HSCSD, WiDEN
2.75G	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDM A, FOMA), CDMA2 00 0, TD- SCDMA, WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA, HSDPA, HSUPA), CDMA2000 (EV-DO Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+), CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX, LTE
5G	WiMAX, LTE, CDMA

4

Порівняння між LTE та 5G

Характеристики	Стандарти	
	5G	LTE
Трафік даних	50 ексабайт/місяць	7.2 ексабайт/місяць
Доступний спектр	30 ГГц	3 ГГц
Пікова швидкість передачі даних	20 гігабайт в секунду	1 гігабайт в секунду
Щільність з'єднання	1 мільйон з'єднань на км ²	100 тисяч з'єднань на км ²
Затримка пакетів (пінг)	Менше 1 мілісекунди	≈ 10 мілісекунд



Standalone (SA) - передбачають використання тільки однієї технології радіодоступу (LTE або NR - New Radio);

Non-Standalone (NSA) - використання і LTE і NR, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі.

Вибір обладнання для моделювання мережі 5G



- Зовнішній вигляд BaseBand 6630

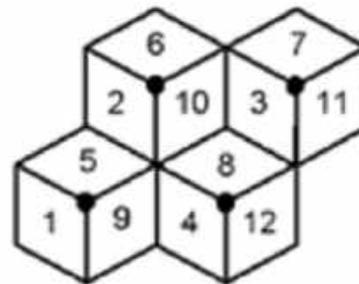


- Зовнішній вигляд IRU 8846



- Зовнішній вигляд Dot 4470 (NR)

7



За основу стільникового зв'язку – було обрано кластер типу 4/12. Даний тип кластеру був обраний за його завадостійкість, адже він має великий захисний інтервал. В цьому кластері наявно 12 секторів, а кожен стільник має по три частотних канали.

8

Обраховані дані

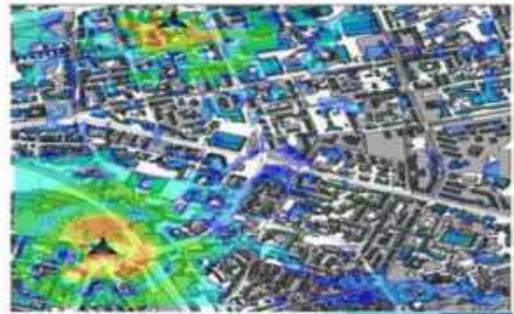
Кількість частот в стільнику	3
Кількість частот в кластері типу 4/12	12
Допустиме число абонентів в стільнику, $M_{ст}$	913
Кількість потенційних абонентів в мережі, N_A	34 534
Пропускна здатність мережі, A_A	268
Кількість базових станцій в мережі, N_{BC}	27
Число стільників в мережі, $q_{ст}$	52
Площа стільника, $S_{ст}$	0,575
Радіус кожного стільника в даній мережі, $R_{ст}$	0,937

Карта загальної забудови даного району

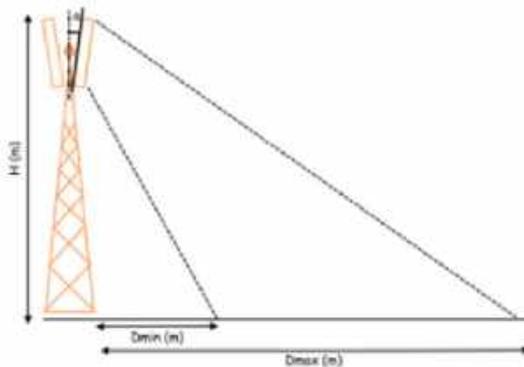
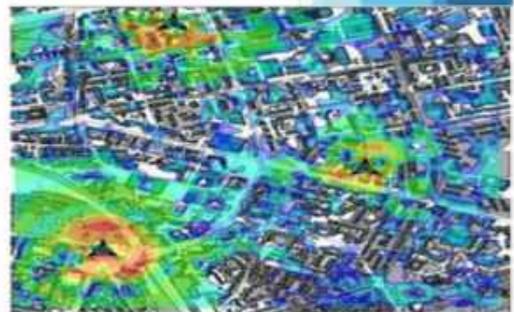


11

Після завантаження карти місцевості в ПЗ, маємо можливість розташувати дві БС на найвищі точки даного регіону, щоб можна було побачити як працює розповсюдження сигналу між ними.



Після виконаної операції, спостерігається незадовільне покриття сигналу, як зображено вище. Тому були вирішено додати ще одну БС на дану територію, як зображено на даному рисунку.



12

Збільшення куту нахилу впливає на дальність розповсюдження та покриття сигналу від радіорелейної станції (РРС).



Розповсюдження сигналу за моделлю Окамура-Хатта

13
Результат розповсюдження сигналу для 4-х БС та регулювання кута нахилу антен



Висновки

14
В даній роботі, було виконано всі поставлені завдання в повному обсязі. Проаналізовано основні стандарти мобільного зв'язку, наведено спектри частот та схеми їх роботи. Проаналізований основний стандарт LTE, та виконано порівняння даного стандарту з 5G. Розглянуто переваги та недоліки цих стандартів.

Перед виконанням основних розрахунків, було визначено, яке саме обладнання буде використовуватись в розрахунках даного типу зв'язку. В ході роботи обрано, якою саме буде антена, висота її підйому та кут нахилу.

Висновки

Були виконані розрахунки основних характеристик системи стільникового зв'язку, а саме: допустиме число абонентів в стільнику, пропускна здатність мережі, кількість базових станцій, число стільників, площа стільника, радіус кожного стільника в даній мережі.

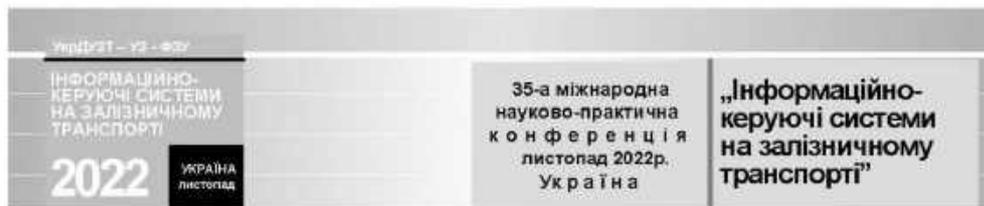
На основі виконаних обчислень, в програмному забезпеченні Atoll, була змодельована система стільникового зв'язку на території міста Лубни.

Дякую за увагу!

ДОДАТОК В



Міністерство освіти і науки України
 Акціонерне товариство „Українська
 залізниця”
 Транспортна академія України
 Федерація залізничників України
 Український державний університет
 залізничного транспорту



Оргкомітет:

Голова:

Панченко С. В., д.т.н., ректор Українського державного університету залізничного транспорту

Члени оргкомітету: Бабаєв М. М., д.т.н. (Україна), Бунчуков О. А. (Україна), Бутько Т. В., д.т.н. (Україна), Гаврилюк В. І., д.ф.м.н. (Україна), Гончаренко В. І. (Україна), Доценко С. І., д.т.н. (Україна), Жуковицький І. В., д.т.н. (Україна), Каргін А. О., д.т.н. (Україна), Климаш М. М., д.т.н. (Україна), Збігнев Лукасік, д.т.н. (Польща), Марек Мезитис, д.т.н. (Латвія), Мойсеєнко В. І., д.т.н. (Україна), Приходько С. І., д.т.н. (Україна), Рубан І. В., д.т.н. (Україна), Самсонкін В. М., д.т.н. (Україна), Серков О. А., д.т.н. (Україна), Скалозуб В. В., д.т.н. (Україна), Терещенко Ю. М. (Україна), Трубочанінова К. А., д.т.н. (Україна), Тьері Хорсін (Франція), Шиш В. О., к.т.н. (Україна), Штомпель М. А., д.т.н. (Україна)

2022 р.
 11 листопада

м. Харків,
 Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

**ТЕЗИ СТЕНДОВИХ ДОПОВІДЕЙ ТА ВИСТУПІВ
УЧАСНИКІВ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**HIGHLIGHTS OF REPORTS AND PRESENTATIONS OF
PARTICIPANTS TO THE CONFERENCE**

СПИСОК АВТОРІВ

A-Z

Hordiienko D. A.	25, 26
Lazurenko B.	16
Nerubatskyi V. P.	25, 26
Osauleiko V.	28
Philipjeva M. V.	26
Serkov A.	16
Sharoval A.	28
Sharoval G.	28
Trubchaninova K.	16
Tsybina I. Yu.	28

А

Адаменко М. К.	55
Анисьєва О. М.	7
Антонова М. О.	60
Афанасов Г. М.	39
Афанасова О. Ф.	39

Б

Бабаєв М. М.	7, 63
Бантоков С. С.	56
Бантокова С. О.	56
Білок І. Г.	15
Бриксін В. О.	5
Бутенко В. М.	30, 31, 32

В

Веселовський А. В.	50
--------------------	----

Г

Гавєський В. В.	22, 46
Геворкян Е. С.	27
Гершій О. А.	53
Глазунов В. В.	31
Головко О. В.	30, 31, 32
Гордієнко Д. А.	27
Горжій Д. О.	29
Григорова С. І.	19
Грищенко Н. В.	11
Грищенко О. А.	56

Д

Давиденко М. Г.	63, 64
Давидов І. В.	5
Дідусенко В. В.	52
Добросєко О. О.	40
Дрогалєв М. М.	2
Дудін О. А.	6
Дятченко В. О.	32

Є

Єлизаренко А. О.	7, 35
Єлизаренко І. О.	7

Ж

Жученко О. С.	21, 29
---------------	--------

З

Зіненко О. В.	2
Зінченко О. Є.	64
Змій С. О.	6, 8
Золотарьова О. Ф.	51
Зуб С. В.	36

І

Івниць С. В.	9
--------------	---

К

Каргін А. О.	57
Карлук В. Ю.	21
Кічєтова Д. В.	8
Клименко Л. А.	48
Ковтун І. В.	17, 18, 38
Косіневський О. А.	18
Костенко К. К.	13
Кошевий С. В.	44
Кравченко М. А.	52
Крашєнін О. С.	18
Кривуля Г. Ф.	49
Кузьмінська Д.	34
Кустов В. Ф.	4

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Л

Лагута В. В.	12, 13
Лазарев О. В.	59
Лазарева Н. М.	59
Лебедько І. О.	32
Ліфінцев А. С.	63
Ломотько Д. В.	39

М

Мазішвілі А. Р.	9
Малахова О. А.	42, 43
Мірошник М. А.	48
Мищенко М. С.	38
Мойсенко В. І.	46
Музикін М. І.	33, 34

Н

Назаренко О. С.	62
Незус І. О.	9
Нерубацький В. П.	27
Нестеренко Г. І.	33, 34
Нізковський С. Г.	51
Новіков О. В.	51
Нотченко Д. А.	10

П

Павлузенко К. О.	40
Павченко В. В.	16, 63
Перець К. Г.	9
Петренко Т. Г.	40
Піддубчак І. С.	42
Примаченко Г. О.	19
Приходько С. І.	36
Прохорченко А. В.	50, 51
Прохорченко Г. О.	51
Проценко С. С.	6

Р

Ряц В. О.	33
Резвущкіна П. Є.	3
Рибальченко Л. І.	56, 60, 62

С

Самсонкін В. М.	15
Сверіпа О. В.	62
Седякін І. І.	48
Сенько М. В.	10
Ситнік Б. Т.	5
Сіконенко Г. М.	40, 41
Сілін С. Л.	57
Сіренко С. Р.	35
Сіроклин І. М.	6
Скоблова А. М.	6
Сокол Г. В.	36, 53, 55
Соколов А. К.	31
Сондей О. В.	51
Сотник В. О.	7
Спрингач Т. В.	62
Стратович В. М.	41
Стрелко О. Г.	33

Т

Тарасов К. О.	19
Терлюшкін М. Ю.	53
Ткаченко С. М.	2
Токарєв В. В.	49
Транько Т. Г.	52
Трубчанінова К. А.	2, 3, 10

Ф

Фенько В. В.	20
-------------------	----

Х

Халіна Я. В.	42
Харламов П. О.	60
Харламова О. М.	60
Харченко Д. Р.	50

Ч

Черкаська Д. В.	43
Черкашин С. А.	3

Ш

Шандер О. Е.	62, 63
Шапатіна О. О.	18
Шефер О. В.	20
Шмонін Є. О.	8
Штомпель М. А.	36, 38
Шульк Р. В.	62

Щ

Щербак В. К.	49
Щербина Р. С.	34

*Скож Г. В., к.т.н., доцент,
Адаменко М. К., магістрант
(Національний університет «Полтавська
політехніка імені Юрія Кондратюка»)*

УДК 621.39

МОДЕРНІЗОВАНА СИСТЕМА СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ М. ДУБНИ НА ОСНОВІ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СТАНДАРТУ 5G

На сьогоднішній день триває активне зростання мереж мобільного зв'язку. Тому результатом розвитку технологій є поява мереж п'ятого покоління (5G). Вважається, що мережі четвертого покоління (4G) будуть домінуючими в усьому світі і після 2022 року, через що можна говорити не про заміну існуючих технологій на 5G, а про їх розвиток і доповнення новими технологіями радіодоступу, призначеними для конкретних сценаріїв і певних цілей.

З метою реалізації даної стратегії 3GPP запропонував кілька можливих сценаріїв (або опцій) впровадження 4G (LTE) і 5G (NR) [1]. Всі опції розділені на дві основні групи:

1. Standalone (SA) - передбачають використання тільки однієї технології радіодоступу (LTE або NR - New Radio);
2. Non-Standalone (NSA) - використання і LTE і

NR, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі.

Для розгортання 5G за сценарієм Non-Standalone необхідна модернізація базових станцій мережі 4G-LTE до рівня eLTE (або enhanced LTE) з метою підтримки розширеного функціоналу взаємодії з базовими станціями 5G (gNB).

Важливим аспектом для реалізації Non-Standalone опцій, є концепція подвійного підключення (Dual Connectivity), специфіковані 3GPP та потрібне підключення користувальницьких терміналів (UE) в стані RRC_CONNECTED одночасно до двох базових станцій (Master eNB і Secondary eNB). Реалізація Non-Standalone накладає додаткові вимоги до складності користувальницьких терміналів (UE), включаючи забезпечення одночасної роботи двох модемів, збільшений розмір буфера прийому і додаткове навантаження на процесорні ресурси рівня PDCP для відновлення порядку проходження пакетів [2].

Варіанти розгортки 5G в режимі Standalone та Non-Standalone (рис. 1):

- об'єднаний режим з мультипідключенням (NSA), а саме: E-UTRA-NR з подвійним підключенням (EN-DC), перехід до віртуальних платформ SDN/NFV в 5G;
- автономний режим (SA) двох типів: NR в автономному режимі (NR SA), E-UTRA з підключенням до 5GC (E-UTRA/5GC).

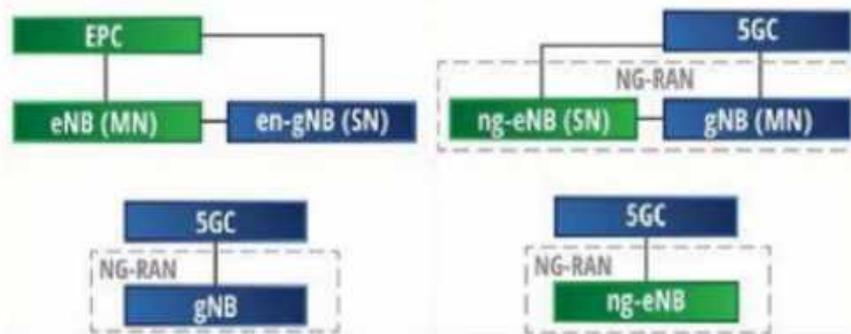


Рис. 1. Варіанти розгортки 5G в режимі Standalone та Non-Standalone

Це все передбачає використання тільки однієї технології, або сумісне існування двох поколінь, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі. Звісно, настане час, коли 5G почнуть ставити вже на базі Standalone архітектур, і це дасть змогу розвинути мережу п'ятого покоління ще більше і ще краще. Схожі функції, побудова частот та архітектури двох останніх поколінь дають змогу їх інтеграції.

Список використаних джерел

1. Jackson Cyrus. The 5G Network Architecture, 2020. – 90 с.
2. Zhang L., Zhao G., Imran M.A. (eds.) Internet of Things and Sensors Networks in 5G Wireless Communications, 2019. – 224 с.