

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

До захисту допущено:

«На правах рукопису»

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Ігор АНІСІМОВ

« \_\_ » червня 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

**«ПОКРАЩЕННЯ ШВИДШОГО З'ЄДНАННЯ V2X І ЗОНИ ПОКРИТТЯ»**

**Виконав:**

студент 4-го курсу

денної форми навчання

спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка

ОП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»

Губатий Дмиро Іванович \_\_\_\_\_

**Науковий керівник:**

к.т.н., ас. Аль Шурайфі МУШТАК \_\_\_\_\_

**Рецензент:**

д.т.н., проф. Хлапонін Юрій Іванович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі

немає запозичень з праць інших авторів без

відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_

Робота допущена до захисту в ЕК рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем від «22» червня 2023 р., протокол № 21.

Завідувач кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем,

доктор фіз.-мат. наук, професор

Анісімов Ігор Олексійович \_\_\_\_\_

1.4	Діапазон спектру 5G.....	8
1.5	Multi-Access Edge Computing .....	9
1.6	Архітектура 5G.....	10
1.6.1	Зона покриття 5G.....	11
1.6.2	Архітектура ядра 5G.....	15
1.7	Переваги 5G NR .....	17
1.8	Vehicle-to-everything .....	17
1.9	Використання 5G NR V2X.....	18
РОЗДІЛ 2. Handover.....		
	....	22
2.1	Тлумачення handover(передача).....	23
2.1.1	Вертикальна передача.....	23
2.1.2	Горизонтальна передача.....	24
2.2	Передача зв'язку транспортних засобів у мережах 5G.....	26
РОЗДІЛ 3. Аналіз передачі даних 5G NR (TBS).....		
3.1	Розмір транспортного блоку 5G NR (TBS).....	27
3.2	Симуляція передачі даних в мережі за допомогою Packet Tracer.....	30
ВИСНОВКИ.....		32
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....		34

## ВСТУП

**Актуальність роботи** залишається в 3 пунктах:

**Вивчення технології 5G:** вивчення архітектури та спектру частот які охоплює мережа 5G.

**Вивчення зони покриття:** масиви антет які покриватимуть більшу площу та забезпечать швидшу передачу сигналу.

**Аналіз трафікової мобільності:** новий радіоінтерфейс і технології радіодоступу для стільникових мереж на прикладі 5G NR.

**Об'єкт роботи:** є дослідження MEC(Multi-Access Edge Computing) в 5 покоління на основі технології MIMO.

**Предмет роботи:** є аналіз діапазону частот та виділення правильних частот на різних зонах покриття за допомогою Packet Tracer.

**Мета роботи:** дослідження швидшого з'єднання на основі V2X і зони покриття.

## Розділ 1. Архітектура 5G

### 1.1 Принцип роботи технології MIMO

Абревіатура MIMO розшифровується як Multiple Input Multiple Output, тобто множинні входи та множинні виходи. Технологія є антиподом SISO (Single-Input Single-Output), коли один вхід та один вихід.

Основний принцип просторового мультиплексування передача сигналів від двох або більше різних антен з різними потоками даних і сигналом за допомогою обробки в приймачі розділення потоків даних, отже, збільшуючи пікові швидкості передачі даних з коефіцієнтом 2 (або 4 з 4-шляхом -4 конфігурація антени). При попередньому кодуванні сигнали, що передаються від різних антен, зважуються, щоб максимізувати прийняте співвідношення сигнал / шум (SNR).

Різноманітність передачі залежить від надсилання одного і того ж сигналу від безлічі антен з деяким кодуванням, щоб використати вигоди від незалежного затухання між антенами. Використання MIMO було включено раніше у специфікації WCDMA, як описано в [1], але функціонує дещо інакше, ніж у LTE, оскільки задіяна операція розповсюдження. Природа OFDMA добре підходить для роботи MIMO. За міру того як успішна операція MIMO, вимагає досить високого SNR, з в системі OFDMA може отримати вигоду з локально (в частотній / тимчасовій області) високого SNR, яке можна досягти. Основний принцип MIMO буде представлений на рисунку 1.1, де різні потоки даних, що подається на попереднє кодування операції, а потім вперед до відображення сигналу і генерування сигналу OFDMA.

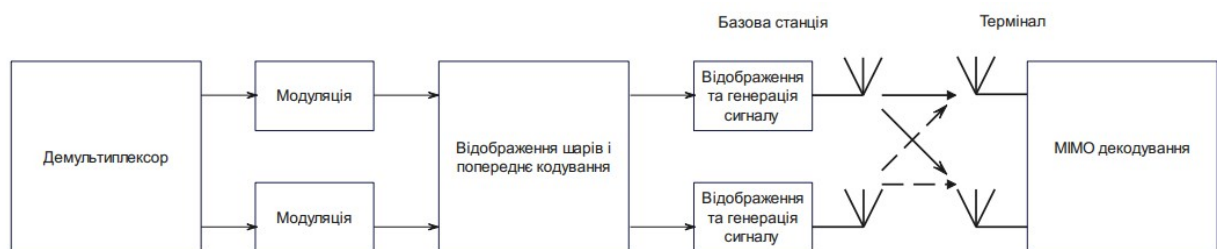


Рис.1.1 MIMO - принцип конфігурації два на два антен [1]

Символи передачі дозволяють отримувачеві відокремлювати різні антени одна від одної. Щоб уникнути передачі від іншої антени, яка може спотворити оцінку каналу, необхідну для розділення потоків MIMO, кожна передавальна антена повинна використовувати лише свій власний ресурсний символ. Цей принцип проілюстровано на рисунку 1.2, де символи передачі та порожні елементи ресурсів показані для чергування між антенами. Цей принцип також може бути розширений для охоплення більше ніж двох антен, наприклад, перший реліз LTE охоплює до чотирьох антен. Зі збільшенням кількості антен зростає складність передавача/приймача та накладні витрати на контрольний символ, а також необхідний SNR.

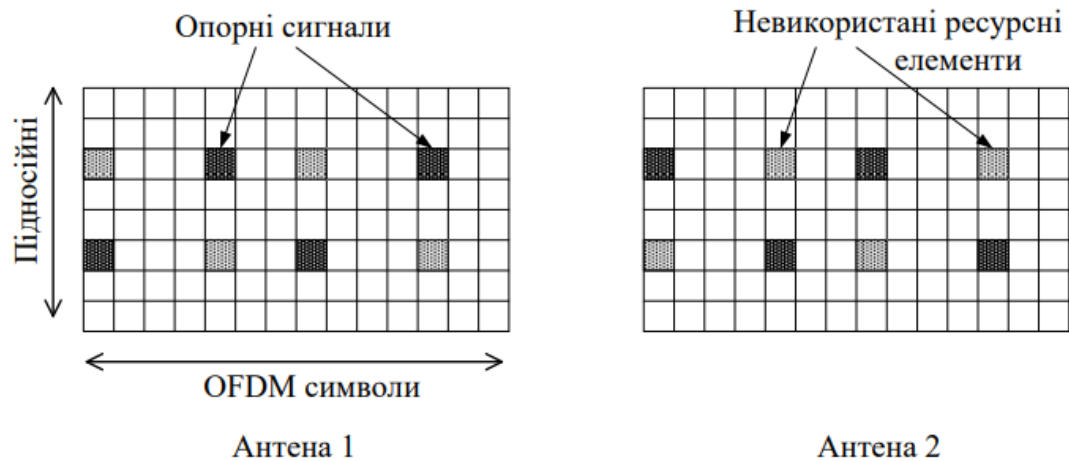


Рис.1.2 Опорні символи OFDMA для підтримки двох передавальних антен eNodeB [1]

## 1.2 Massive MIMO

Спектр застосування MIMO містить наступні режими:

- Однокористувацький режим SU-MIMO (Single User);
- Розрахований на багато користувачів режим MU-MIMO (Multiple User);
- Масований режим Massive MIMO [5].

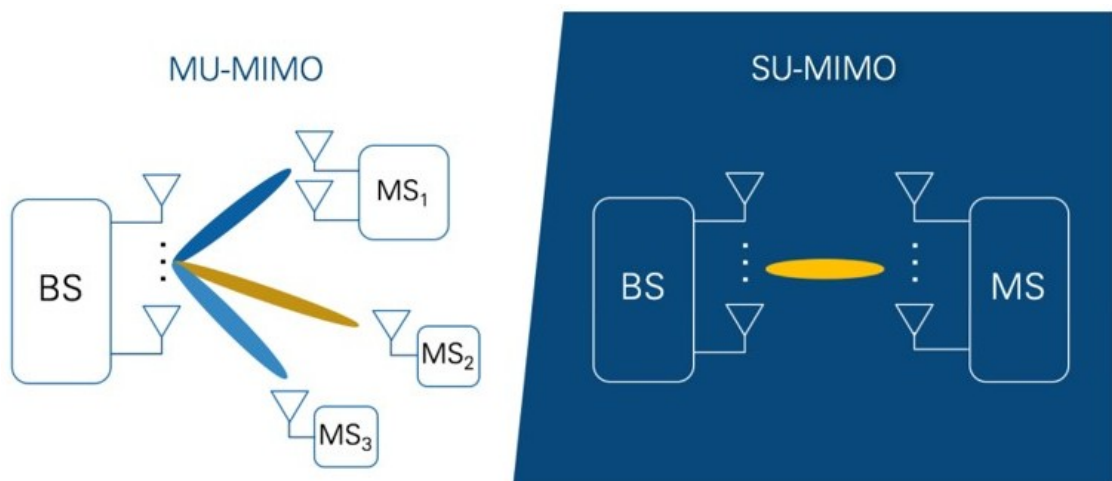


Рис. 1.3 SU-MIMO и MU-MIMO[5]

Приклади деяких конфігурацій різних режимів MIMO базової станції (BS) та мобільних терміналів (MS) показані в таблиці нижче (у таблиці показані не всі можливі конфігурації) [3].

Таблиця 1. Приклади деяких можливих конфігурацій MIMO

Massive MIMO – режим, коли число антен на базовій станції набагато більше, ніж число антен на мобільному терміналі, за умови використання єдиного тракту сигналізації. У такому режимі використання частотного ресурсу набагато ефективніше. При цьому також значно підвищується кількість пристроїв, які можуть бути обслужені на одному частотному та тимчасовому каналі всередині однієї стільниці, порівняно із сучасними системами 4G, як показано на рисунку 1.4. Базові станції 5G будуть оснащені набагато більшою кількістю маленьких антен (Small Cells), ніж традиційні базові станції 3/4G, щоб мати можливість підтримувати різні застосування IoT та інші мережі 5G.



Рис. 1.4 Порівняння рішення Massive MIMO в мережах 5G з антенами для мереж 4G [6]

### 1.3 Переваги MIMO

Навіть висхідна лінія зв'язку LTE підтримує використання технології MIMO. Поки пристрій використовує лише одну передавальну антену, швидкість передачі даних для одного користувача не може бути збільшена за допомогою MIMO. Максимальна швидкість передачі даних на рівні комірки може бути подвоєна, однак, виділенням двох пристроїв з ортогональними опорними сигналами. Таким чином, передача в базовій станції трактується як передача MIMO, як показано на рисунку 1.5, а потік даних відокремлюється

обробкою приймача MIMO. Цей тип "віртуального" або "багатокористувацького" MIMO підтримується у випуску LTE release 14 і не представляє жодної складної реалізації з точки зору пристрою, оскільки модифікується лише послідовність опорних сигналів. З боку мережі необхідна додаткова обробка, щоб відокремити користувачів один від одного. Release 17 включає покращення SRS (звукових опорних сигналів), які використовуються для передачі інформації про канал між приладами. Це дозволяє покращити точність передачі та отримання сигналів і забезпечує більш ефективне використання радіоресурсів.

Використання " класичної " передачі MIMO з двома антенами не є особливо привабливим через наслідки впливу пристрою, тому обговорення щодо підтримки пристроїв передачі багатоантенного пристрою, як очікується, відбудеться в наступних випусках 3GPP. SC-FDMA (Single-carrier frequency-division multiple access) добре підходить для використання в MIMO, оскільки користувачі є ортогональними (всередині комірки), і, отже, локальний SNR може бути дуже високим для користувачів, розташованих поруч з базовою станцією . OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) в поєднанні з MIMO також є потужним комбінаційним рішенням для покращення ефективності та продуктивності бездротових мереж. Комбінація OFDMA та MIMO дозволяє досягти ще більшої продуктивності та надійності бездротового зв'язку. OFDMA забезпечує ефективне розподілення ресурсів між користувачами, а MIMO використовує просторову множинність для підвищення пропускної здатності та забезпечення якісного зв'язку.

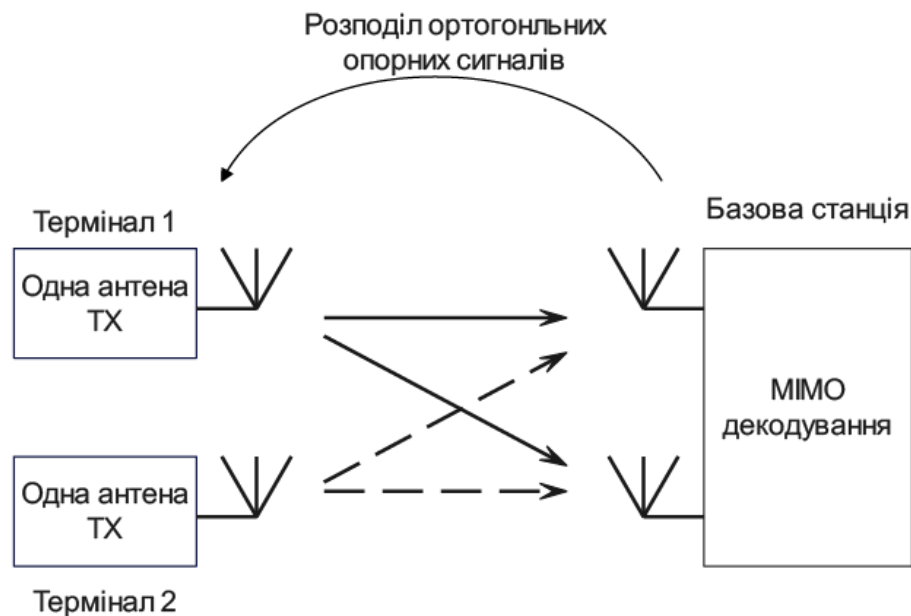


Рис.1.5 Багатокористувацький принцип MIMO з пристроями з однією передавальною антеною

#### 1.4 Діапазон спектру 5G

Спектр 5G охоплює широкий діапазон від 410 МГц до 52600 МГц. Високий кінець спектра падає в міліметровому діапазоні, який є новим для 5G. Завдяки своїй високій пропускну здатності, він забезпечує високу пропускну здатність, наднизьку затримку додатків.

Стандарт визначає два діапазони частот: FR1 (410-7125 МГц) і FR2 (24250-52600 МГц).

FR1 визначає діапазони в спектрі суб-6 ГГц (хоча 7125 МГц є максимальним), а FR2 визначає діапазони в спектрі mmWave. Через більш високі частоти носіїв в FR2, він має більш високу максимальну пропускну здатність. Пропускна здатність включає 5-100 МГц (FR1) і 50/100/200/400 МГц (FR2). Відповідно, дійсні значення інтервалу підкачки також відрізняються: 15/30/60 кГц (FR1) і 60/120 кГц (FR2). У FR2 інтервал між підоб'ємом 240 кГц дозволений лише для SS/PBCH з допустимою пропускну здатністю 100/200/400 МГц.

MIMO низхідного каналу відрізняється: 8x8 (FR1) і 2x2 (FR2). FR1 обслуговує макроелементи, високу мобільність і багатьох користувачів. Діапазони FR1 також відчувають багатопрохідні ефекти. Таким чином, MIMO вищого порядку дозволяє просторове мультиплексування та багатокористувацький MIMO (MU-MIMO). З іншого боку, FR2 призначений для невеликих клітин, низької мобільності та кількох користувачів. Багатопрохідні ефекти менш виражені, ніж у FR1. Таким чином, MIMO нижчого порядку дозволяє формувати промінь. Ці відмінності означають, що спектральна ефективність в FR1 вище, ніж у FR2.

## 1.5 Multi-Access Edge Computing

Multi-Access Edge Computing (MEC) є важливим елементом архітектури 5G. MEC - це еволюція в хмарних обчисленнях, яка приносить додатки з централізованих центрів обробки даних до краю мережі, і, отже, ближче до кінцевих користувачів та їх пристроїв. Це, по суті, створює ярлик у доставці вмісту між користувачем і хостом, а також довгий мережевий шлях, який колись розділяв їх.

Ця технологія не є ексклюзивною для 5G, але, безумовно, є невід'ємною частиною її ефективності. Характеристики MEC включають низьку затримку, високу пропускну здатність і доступ в режимі реального часу до RAN-інформації, які відрізняють архітектуру 5G від її попередників. Це зближення RAN і основних мереж вимагатиме від операторів використовувати нові підходи до тестування та валідації мережі.

Мережі 5G на основі специфікацій 3GPP 5G є ідеальним середовищем для розгортання MEC. Специфікації 5G визначають можливості для периферійних обчислень, дозволяючи MEC і 5G спільно маршрутизувати трафік. На додаток до затримки і переваг пропускну здатності архітектури MEC, розподіл обчислювальної потужності дозволить краще забезпечити великий обсяг підключених пристроїв, властивих розгортанню 5G і зростанню Інтернету речей (IoT) [2].

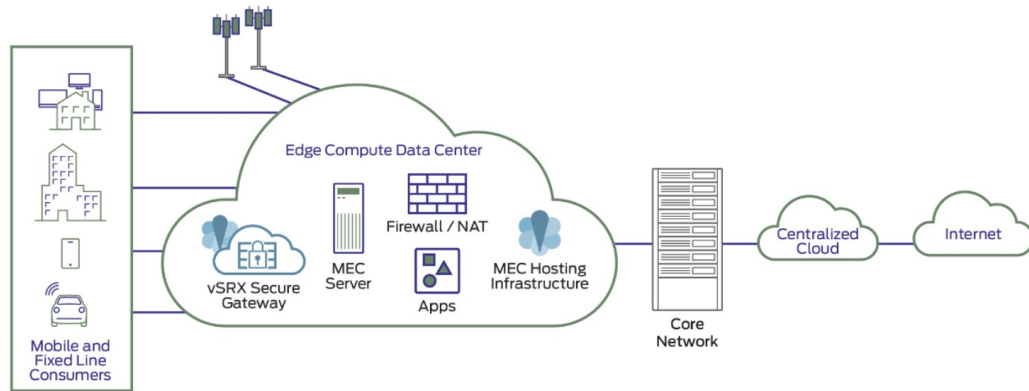


Рис.1.6 Схема роботи MEC

## 1.6 Архітектура 5G

Ключові принципи архітектури мережі 5G полягають в наступному:

- Поділ мережевих вузлів на елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини користувача» (UP - User Plane) і елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини управління» (CP - Control Plane), що значно збільшує гнучкість в частині масштабування і розгортання (допускаючи централізоване і децентралізоване розміщення окремих складових мережевих вузлів).
- Поділ мережевих елементів на мережеві шари (Network Slicing), орієнтуючись на послуги, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів.
- Реалізація мережевих елементів у вигляді віртуальних мережевих функцій - VNF (Virtual Network Functions).
- Підтримка одночасного доступу до централізованих і локальних служб, що дозволяє реалізовувати концепції хмарних (fog computing) і граничних (edge computing) обчислень.
- Визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу (AN - Access Network) - 3GPP (New Radio - NR) і не 3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN - Core Network).
- Підтримка єдиних алгоритмів і процедур аутентифікації (в не залежності від типу мережі доступу).

- Підтримка мережевих функцій без збереження стану (stateless), де обчислювальний ресурс відділений від ресурсу зберігання.
- Підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню мережу (Home routed), так і з локальним приземленням (Local breakout) в гостьовій мережі (VPLMN).

В архітектурі 5G взаємодія між мережевими функціями представлена двома способами:

- сервіс-орієнтоване, коли одні мережеві функції (наприклад, AMF) дозволяють іншим авторизованим мережевим функціям отримувати доступ до їх сервісів.
- частиною інтерфейсу, що показує яка взаємодія існує між сервісами мережевих функцій, описаних як взаємодія точка-точка (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF і SMF).

Мережеві функції на площині управління 5G повинні використовувати тільки сервіс-орієнтовані інтерфейси для їх взаємодії.

### 1.6.1 Зона покриття 5G

На рисунку 1.7 показані радіочастотне покриття і сигнал моделювання сили семи клітинних ділянок, кожен з трьох секторів. Він показує порівняння покриття RF(Radio frequency) масиву 8 на 8 та 16 на 16. [3] Встановлено, що масив 8 на 8 забезпечує відмінну потужність сигналу (тобто більш високу ніж 50 дБм) по всій області розгортання, бут масиву 16 на 16 забезпечує дуже бідні. Середня потужність сигналу по всій області. Якийсь області, які знаходяться в полі зору кожного сектор отримати максимальну RF signal (тобто вище, ніж 40 дБ) завдяки високонаправленому антени, але більшість областей не матиме мінімальний рівень отриманого сигналу для задоволення вимоги до мережі. Хоча мережа 5G буде підтримувати до 16-на-16 масив для роботи 30 ГГц частота, традиційна трисекторальна клітинна архітектура не забезпечить кращого покриття RF і SINR(Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio) завдяки високонаправленому антена промінь. Таким чином, цей документ пропонує секторалізація вищого порядку для передових масивів, де кожна клітина матиме шість секторів замість трьох.

Фазована антенна решітка (ФАР) — тип антен, у вигляді групи антенних випромінювачів, в яких відносні фази сигналів змінюються комплексно, так, що ефективно випромінювання антени посилюється в якомусь одному, бажаному напрямку і подавляється у всіх інших напрямках. Управління фазами (фазування) дозволяє:

- формувати (при досить різноманітних розташуваннях випромінювачів) необхідну діаграму спрямованості (ДС) ФАР (наприклад, гостронаправлених ДС — промінь);
- змінювати напрям променя нерухомою ФАР і т. ч. здійснювати швидко, у ряді випадків практично безінерційне, сканування — хитання променя;
- керувати в певних межах формою ДС — змінювати ширину променя, інтенсивність (рівні) бічних пелюсток тощо (для цього в ФАР інколи здійснюють також управління і амплітудами хвиль окремих випромінювачів). Діаграма спрямованості (англ. chart orientation чи Antenna diagrams, рос. диаграмма направленности) — графічна характеристика антени, що являє собою умовну криву лінію, проведену по кінцівках векторів потужностей електро-магнітного поля умовно-однакової величини, що наводяться у даній антені при прийманні сигналу чи генеруються даною антенною при роботі її на передачу.

Види діаграм спрямованості:

- Штирь
- Диполь
- Хвильовий канал

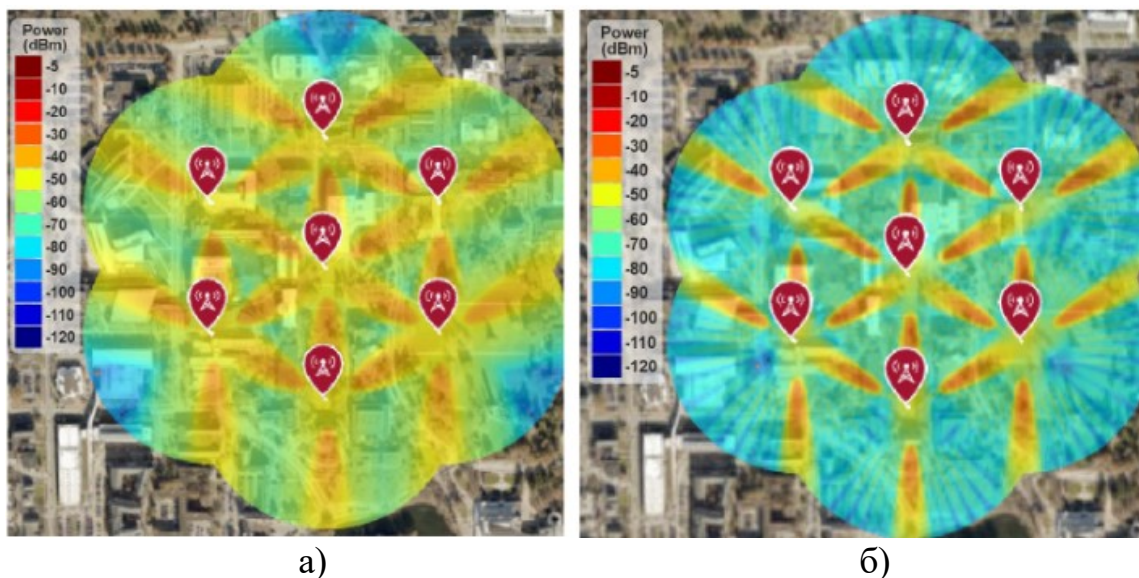


Рис.1.7 Радіочастотне покриття та рівень сигналу для робочої частоти 30 ГГц, а) антенний масив 8 на 8, б) антенний масив 16 на 16 [3]

Промінь, що передається, дуже широкий в нижньому частотному спектрі (наприклад, 4G мережі), з антеною меншого масиву (наприклад, 4-by-4 масиву) для кожного сайту передавача. Це корисно покрити широку площу, але це також обмежує кількість секторів на сайт комірки завдяки погане втручання перевізника до інтерференції (C/I). Вища осекторалізація (наприклад, шестисекторальна і дев'ятисекційна секторної комірки) можлива тільки в тому випадку, якщо ми використовуємо вузький промінь і високонаправлені антени, які пропонує високий C / I. Оскільки масив 16 на 16 забезпечує дуже вузький і дуже спрямований промінь, ми можемо використовувати шість секторів на комірку замість трьох. Рисунок 1.8 показує архітектуру клітинок з направленими антенами, три сектори (по  $120^\circ$  кожен) і шість секторів (по  $60^\circ$ ).

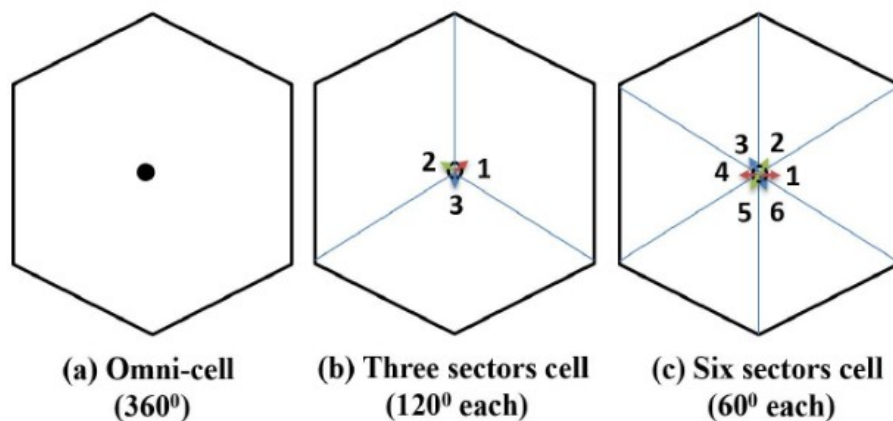
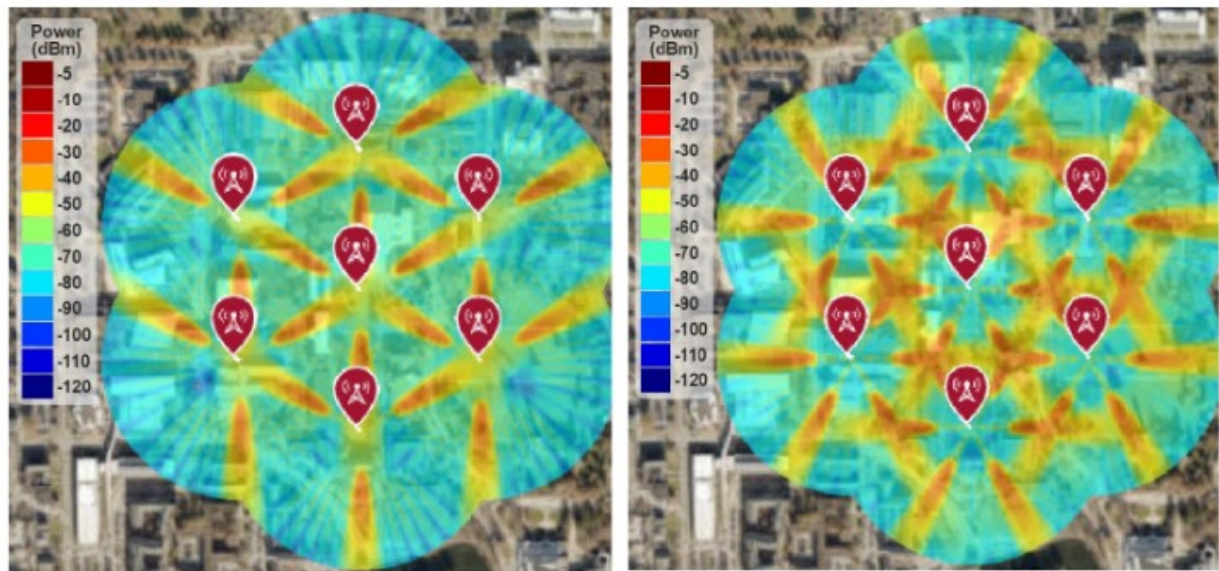


Рис.1.8 Секторалізація за допомогою спрямованих антен

На рисунку 1.8 показані радіочастотне покриття і сигнал результати моделювання сили 16 на 16 масив з трисекторальними і шестисекторальними осередками. Встановлено, що середня сила сигналу покращується, додаючи більше секторів до кожної клітинки, як показано на рисунок 1.9 б). Середній сигнал міцність вище, ніж 50 дБм на більшій частині території області. Однак рівень сигналу все ще залишається не рівномірно розподілені, а деякі райони все ще не мають відповідного рівня радіочастотного сигналу.



а)

б)

Рис1.9 а) Антенний масив 16 на 16 з 3 секторами і  $15^\circ$  антени вниз, б) Антенний масив 16 на 16 з 6 секторами і  $15^\circ$  антени вниз [3]

На початкових етапах розвитку мережі, мережа 5G буде оперувати в суміщеному режимі з існуючими покриттями стільникового зв'язку, такими як 3G і 4G. Це означає, що 5G буде використовувати існуючу інфраструктуру та антени, що забезпечують покриття 3G/4G, для передачі 5G сигналів.

Такий підхід дозволяє поступово впроваджувати 5G, забезпечуючи сумісність з попередніми поколіннями мобільних мереж і підтримуючи безперервний зв'язок для користувачів. Коли 5G мережа буде більш широко розгорнута і стабільна, засоби інфраструктури, пристрої та послуги будуть поступово оновлюватися та вдосконалюватися, щоб повністю використовувати потужність та переваги, які надає мережа 5G.

Це підходить також із-за технічних вимог, пов'язаних з розгортанням 5G мережі, таких як висока частота хвиль, обмежена проникність та велика кількість нових інфраструктурних елементів, які потрібно встановити для повного покриття. З використанням наявних структур та інфраструктури 3G/4G, витрати та зусилля, пов'язані з розгортанням 5G, можуть бути знижені, а користувачам забезпечено поступове оновлення до нових можливостей, які пропонує мережа 5G [3].

### 1.6.2 Архітектура ядра 5G

Архітектура основної мережі 5G лежить в основі нової специфікації 5G і забезпечує підвищений попит на пропускну здатність, який повинен підтримувати 5G. Нове ядро 5G, як визначено в 3GPP, використовує хмарну архітектуру на основі послуг (SBA, Smart Business Architecture), яка охоплює всі функції та взаємодії 5G, включаючи аутентифікацію, безпеку, управління сеансами та агрегацію трафіку з кінцевих пристроїв. Ядро 5G також підкреслює NFV як цілісну концепцію дизайну з віртуалізованими функціями

програмного забезпечення, здатними бути розгорнутими з використанням інфраструктури MEC, яка є центральною для архітектурних принципів 5G [4].

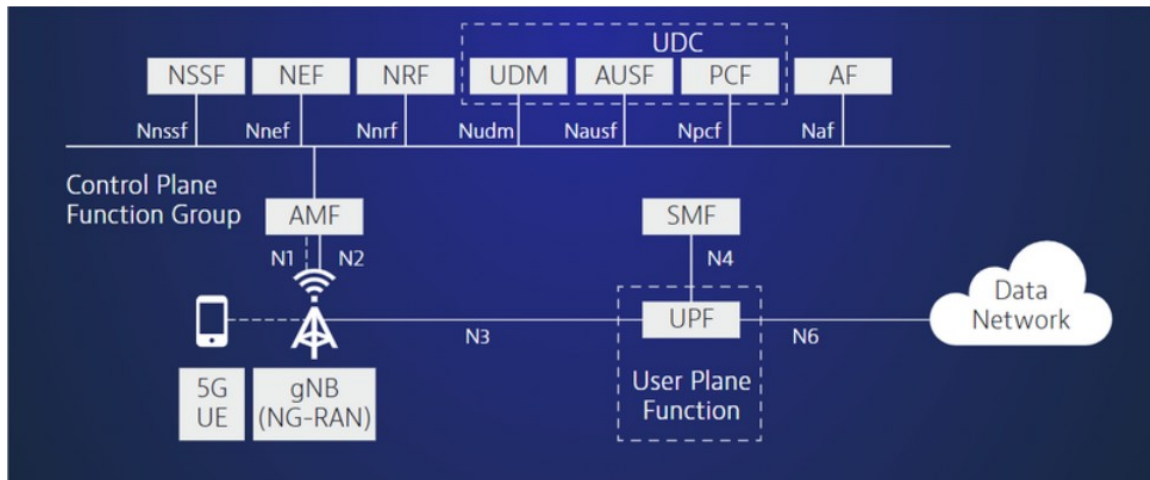


Рис.1.10 Архітектура ядра 5G з використанням інфраструктури MEC

Варіанти архітектури 5G, що долають розрив між 4G і 5G, вимагатимуть додаткових кроків і добре організованого плану. Символом цього зсуву стане поступовий перехід від автономного режиму до автономного режиму варіантів архітектури 5G. Автономний стандарт 5G був завершений в кінці 2017 року і використовує існуючі LTE RAN і основні мережі як якір, з додаванням носія компонентів 5G. Незважаючи на залежність від існуючої архітектури, автономний режим збільшить пропускну здатність, натиснувши на міліметрові частоти хвиль.

Автономний режим 5G - це, по суті, розгортання 5G з нуля з новою архітектурою ядра та повним розгортанням всього обладнання, функцій та функціональних можливостей 5G. Оскільки автономний режим поступово поступається місцем новому розгортанню архітектури мобільної мережі 5G, ретельне планування та впровадження зробить цей перехід безперебійним для бази користувачів [3].

## 1.7 Переваги 5G NR

5G - це п'яте покоління бездротових технологій, яке включає новий радіоінтерфейс і технологію радіодоступу під назвою NR (New Radio). NR є методом фізичного з'єднання для радіозв'язку в стільникових мережах. Він відрізняється від інших технологій радіодоступу, таких як Bluetooth, Wi-Fi і 4G LTE.

5G NR дозволить мережі підтримувати адаптивну пропускну здатність. Ключові переваги 5G NR будуть включати в себе більшу ємність для бездротових користувачів, поліпшення зв'язків між користувачами (так менше часу затримки і втрати мережі), а також підвищену швидкість передачі даних. Завдяки цим кінцевим користувачам / споживачам переваги,

5G NR приречений на користь нашого повсякденного життя. Наприклад, 5G може принести користь муніципальному транспорту за допомогою надшвидкого машинного навчання, щоб допомогти виявити і класифікувати рух автобусів, велосипедів і пішоходів.

## 1.8 Vehicle-to-everything

V2X(Vehicle-to-everything), також відомий як транспортний засіб до всього рисунок 1.11, охоплює як технологію V2V (vehicle-to-vehicle), так і V2I (vehicle-to-infrastructure), V2N (vehicle-to-network), V2D (vehicle-to-device). Технологія V2X робить кожен автомобіль на дорозі розумнішим і безпечнішим, надаючи їм можливість «спілкуватися» з дорожньою системою, включаючи інші автомобілі та інфраструктуру. V2X може повідомляти водіїв про небезпечні погодні умови, аварії та затори поблизу, а також про інші небезпечні поведінки, що відбуваються на близькій відстані. V2X надає багато інформації, яку ми маємо, як люди, безпосередньо до автомобіля або вантажівки, зменшуючи час реакції, необхідний водієві для реагування. V2X також полегшує процес водіння, автоматизуючи платежі за проїзд та паркування.

Стандартизація V2X на основі довгострокової еволюції (LTE та 5G) активно проводиться в рамках 3GPP, щоб забезпечити рішення для зв'язку V2X, який виграє від глобального розгортання та швидкої комерціалізації систем LTE. Завдяки широкому розгортанню мереж LTE та 5G, послуги V2I та V2N можуть бути забезпечені високою швидкістю передачі даних, підтримкою комплексної якості обслуговування (QoS), повсюдним покриттям та високим рівнем проникнення [4]. Тим часом LTE може бути розширений для підтримки прямого зв'язку V2V на основі конструкції бічного зв'язку між пристроями (D2D) для задоволення вимог QoS, таких як низька затримка, висока надійність і висока швидкість у разі високої щільності транспортного засобу.



Рис1.11 Охоплення технологій зв'язку

## 1.9 Використання 5G NR V2X

5G NR V2X розроблено для доповнення LTE V2X. LTE V2X підтримує базову активну безпеку та керування трафіком варіанти використання, тоді як 5G NR V2X підтримує розширені варіанти використання та вищий рівень автоматизації. Є варіанти використання 5G NR V2X визначено 3GPP Services and System Aspects (SA). 3GPP і 5GAA організують варіанти використання груп, а варіант використання може бути членом кількох груп.

### A. Технічний 3GPP release

3GPP release (TR) 22.886(технічний звіт)[6] і TS 22.186(ідентифікатором технічної специфікації)[7] представлений вичерпний опис випадків використання NR V2X і вимоги відповідно. Для кожного випадку використання 3GPP також розрізняє різні ступені автоматизації рівнів, автоматизація SAE від 0 (без автоматизації) до 5 (повна автоматизація). Як правило, вища автоматизація рівня варіанту використання, тим суворіше QoS NR V2X вимоги є. Випадки використання поділяються на наступні чотири групи [6]:

1) Транспортні засоби взводу: ця група включає варіанти використання для динамічного формування та управління групами транспортних засоби у взводах. Транспортні засоби в взводному обміні дані періодично, щоб забезпечити коректне функціонування взводу. Відстань між транспортними засобами в взвод може залежати від доступного QoS.

2) Розширене керування: ця група включає варіанти використання можливість на половину автоматизованого або повністю автоматизованого

водіння. В цій групі транспортні засоби обмінюються даними, отриманими з їх локальні датчики з навколишніми транспортними засобами. Крім того, транспортні засоби поділяють свої наміри водіння щоб координувати свої траєкторії або маневри, таким чином підвищення безпеки та підвищення ефективності руху.

3) Розширені датчики: Ця група дозволяє обмінюватися дані датчика – необроблені або оброблені – зібрані за допомогою локальні датчики між транспортними засобами, RSU, пристроями пішоходів і серверами додатків V2X. Мета полягає в тому, щоб покращити сприйняття навколишнього середовища за межами можливості сприйняття власних датчиків транспортних засобів.

4) Віддалене водіння: ця група дозволяє віддаленому водієві (телекерованому) або програмі V2X керувати транспортним засобом. Основні варіанти використання призначені для пасажирів, які не можуть керувати самостійно, для транспортних засобів, розташованих у небезпечних середовищах (наприклад, на будівельних майданчиках або в місцях з несприятливими погодними умовами), а також для складних ситуацій якими автоматизовані транспортні засоби не в змозі безпечно керувати.

#### В. 5GAA Групи варіантів використання

1) Безпека: ця група включає варіанти використання, які забезпечують безпеку для транспортних засобів та інших учасників дорожнього руху. Це включає основні випадки використання безпеки, такі як надзвичайні ситуації гальмування, попередження про зіткнення тощо [8], а також інше розширені випадки використання, що вимагають більш високих рівнів автоматизації (наприклад, управління перехрестями).

2) Управління транспортними засобами: до цієї групи входять варіанти комерційного використання, спрямовані на покращення роботи транспортних засобів для різних типів користувачів (наприклад, власники/водії транспортних засобів, транспортні компанії тощо). Приклади

включають моніторинг датчиків, оновлення програмного забезпечення, дистанційна підтримка тощо.

3) Зручність: Ця група включає різноманітний набір використання випадки, які забезпечують цінність і зручність для будь-якого водій або компанія з управління автопарком, яка керує транспортним засобом. Приклади включають інформаційно-розважальну програму, допомогу навігація та розумна парковка.

4) Автономне водіння: до цієї групи входять розширені керування, дистанційне керування та розширені групи датчиків визначено 3GPP.

5) Взвод: ця група така ж, як і транспортні засоби 3GPP група варіантів використання взводу.

6) Ефективність руху та екологічність: це група включає варіанти використання, які забезпечують підвищену цінність до інфраструктурних або міських провайдерів у районах, де транспортні засоби працюватимуть. Приклади включають зелений Light Optimal Speed Advisory (GLOSA), затоп інформація, поради щодо маршруту тощо.

7) Суспільство та спільнота: Ця група включає варіанти використання які становлять цінність та інтерес для суспільства та громадськості. Прикладами цієї групи є вразливі учасники дорожнього руху (VRU) захист, аварійний автомобіль наближається, аварійний відповіді на бали тощо.

#### С. Вимоги до варіантів використання

1) Вимоги 3GPP: 3GPP WG SA1 визначено у Release 14 [9] та Release 15 [9] ключові вимоги до послуг V2X наступним чином:

- Корисне навантаження відноситься до обсягу даних, необхідних для певної служби та згенерованих програм.

- Швидкість передачі – це кількість повідомлень за одиницю часу передавач генерує, а приймач очікується отримувати з урахуванням інших відповідних вимог (наприклад, розмір корисного навантаження, затримка, діапазон зв'язку тощо).

- Максимальна наскрізна затримка є максимально дозволеною час між генерацією повідомлення в програмі передавача і отриманням повідомлення в заява отримувача.

- Надійність визначається як імовірність того, що передане повідомлення буде правильно прийнято протягом заданого часу максимальна наскрізна затримка відповідно до інших відповідних вимог (наприклад, розмір корисного навантаження, зв'язок діапазон тощо).

- Швидкість передачі даних являє собою загальну кількість необхідних даних одержувати одержувач за одиницю часу. Це пов'язано безпосередньо до корисного навантаження та швидкості Tx і вимірюється в бітах на секунду (bps). Вона також підпорядкована іншим вимоги (наприклад, затримка, надійність тощо)

- Необхідний діапазон зв'язку визначає мінімум відстань між передавачем і призначеним для нього приймачем забезпечення зв'язку з цільовим розміром корисного навантаження, максимальна затримка, надійність і швидкість передачі даних.

2) Вимоги 5GAA: для кожного випадку використання визначає 5GAA кілька можливих [10] сценаріїв використання, де сценарії відрізняються з точки зору конфігурації доріг, залучених учасників, потоків послуг тощо. 5GAA доповнює в основному мережеві вимоги, викладені 3GPP, з концепцією послуги Вимоги до рівня (SLR, Sending Loudness Rating). Дзеркальні фотоапарати більше зосереджуються на Вимоги, орієнтовані на автомобілебудування (наприклад, надійність рівня обслуговування, сумісність, позиціонування тощо), а також розглянути системний рівень аспекти (наприклад, щільність транспортних засобів), які необхідно підтримувати мережі для конкретного сценарію використання. Встановлюються дзеркальні фотоапарати для кожної історії користувача, визначеної в рамках варіанту використання. Історія користувача описує, з точки зору користувача, сценарій використання, який призводить до отримання конкретного SLR. 5GAA досі не провів вичерпного аналізу

вимоги до рівня обслуговування для всіх випадків використання. Швидше, це забезпечило у [10] деякі приклади варіантів використання, сценаріїв та історій користувачів для кожної групи варіантів використання. Приклад випадків використання 5GAA та користувача. Описи історій можна знайти в [10].

## **Розділ 2. Хендовер**

### **2.1 Глумачення handover (хендовер)**

Зі збільшенням кількості автомобілів на дорогах щодня DC з мобільними мережами 5G став постійною потребою. Термін «хендовер» відноситься до процесу переходу від однієї комірки до іншої і вимагає глибоких знань мережі. Під час передачі є важливі фактори, такі як:

- 1.Затори
- 2.Покриття стільникового зв'язку
- 3.Мобільність
- 4.Організація доступних ресурсів в мережу
- 5.Протоколи
- 6.Параметри топології

Перехід має здійснюватися, щоб підтримувати контакт між пристроями, коли вони віддаляються один від одного. Крім того, коли пристрій (наприклад, реле D2D або головка кластера D2D) віддаляється від точки доступу, до якої він призначений, виникає питання про передачу його іншій точці доступу зі стандартним носієм [10]. Існують різні форми хендовера. Вертикальний і горизонтальний хендовер є добре відомими прикладами. Найчастішим механізмом запуску, який включає як QoS, так і вартість, є вертикальний хендовер.

#### **2.1.1 Вертикальний хендовер**

У гетерогенних бездротових мережах процедура передача ділиться на дві частини:

- 1.Процес прийняття рішення про передачу;
- 2.Порядок оформлення прийому-передачі.

Додаткові мережеві дані збираються під час процесу виконання передачі, наприклад, коли потрібно ідентифікувати адресу в Mobile IPv6 і коли процедури переходу та прийняття рішення про відкриття збігаються. Під час процесу прийняття рішення про перехід, мобільний вузол і мережа вирішують, коли відбудеться доставка [12].

Основні можливості вертикальних передач порівняно з горизонтальними:

- Вертикальний хендовер використовує іншу технологію доступу.
- Вертикальний хендовер використовує кілька мережевих інтерфейсів.
- Кілька IP-адрес використовуються під час вертикального хендоверу.
- Параметри QoS можна змінити під час вертикального хендовера, і використовується кілька параметрів.
- Кілька мережевих підключень використовуються у вертикальному хендовері [12].

### 2.1.2 Горизонтальний хендовер

Механізм вертикального хендовера незначно відрізняється від механізму горизонтального хендовера; вони поділяються на дві групи залежно від частоти сигналу:

1. Висхідна класифікація VHO (Vertical Handover);
2. Низхідна класифікація VHO [14].

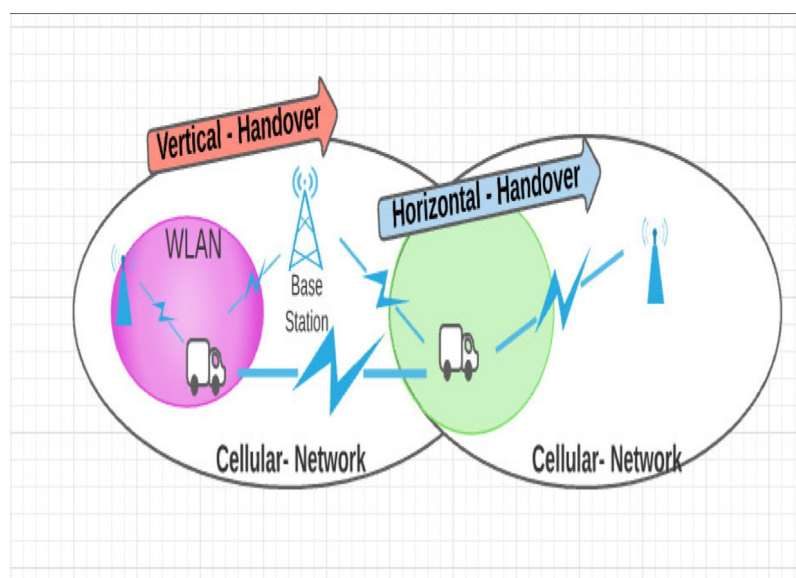


Рис.2.1 Вертикальний і горизонтальний хендовер.

Наслідки міжоператорської передачі. Коли регіон розділений між декількома операторами, UE вимагає передачі між операторами. При переїзді з одного регіону в інший виникають такі наслідки:

1. Реплікація повідомлень необхідна, оскільки для завершення передачі між операторами частина Wi-Fi має від'єднатися від одного оператора та повторно підключитися до іншого, що призведе до переривання обслуговування, яке може тривати до 300 мс [15]. Потім передача повинна бути виконана вчасно, щоб забезпечити отримання повідомлення до цього UE, який здійснює міжоператорську передачу, а потім взаємодіє з двома операторами до отримання сповіщення від оператора, з яким було розірвано з'єднання. Щоб уникнути втрати повідомлення, кожен оператор повинен надіслати повідомлення принаймні двічі. Щоб зменшити затримку, перше спілкування має бути здійснено якнайшвидше. Після завершення процесу прийняття рішення про доставку починається фаза виконання доставки [15].

2. Найгірший сценарій передачі відбувається, коли UE переміщується з однієї області в іншу та надсилає повідомлення. І навпаки, інше UE надсилає повідомлення одночасно, що призводить до затримки до 660 мс, що є непотрібним. Повідомлення має бути надіслано на всі стільники, зона обслуговування яких пролягає між регіонами, які обслуговуються різними операторами.

3. Інформація про місцезнаходження: Серверу ITS може знадобитися внести деякі зміни, щоб визначити BS. Основним фактором затримки при передачі між операторами є затримка підключення до мережі з оператором призначення. Чисельний аналіз показує, що рішення швидкої передачі має затримку 20 мс у найкращому випадку та 70 мс у гіршому випадку. Важко підтримувати постійний рівень QoS програми під час передачі у V2I для гетерогенних мереж різного розміру. Цей вузол відстежує та передає повідомлення від BS на локальний сервер додатків BS [15].

## 2.2 Передача зв'язку транспортних засобів у мережах 5G

У дуже неоднорідному світі з макростільниками, малими комірками та ретрансляторами мережі 5G передавали в 1000 разів більше трафіку, ніж мережі 4G. 5G є перспективним варіантом для інтенсивного відеоконтенту на мобільних пристроях у будь-який час і в будь-якому місці [17]. У автомобільній мережі 5G керування мобільністю є проблемою. Через варіації у вимогах, таких як високошвидкісна мобільність, рішення щодо хендоверу для підключених транспортних засобів у надшільних мережах 5G мають сучасні рішення та методи хендоверу, відмінні від методів (4G і LTE). Швидкість автомобілів, які вибирають перехід і впливають на QoS, що надається користувачеві, згадується як фактор, що впливає на підключені транспортні засоби в надшільних мережах 5G [17].

Механізм передачі даних у мережах 5G. Робочий цикл операції передачі виглядає наступним чином: віртуалізація за допомогою віртуалізації мережевих функцій (NFV) має вирішальне значення для створення

екземплярів пропозицій v-cells, які приймають програмно визначені параметри мережевого контролера. Кожен транспортний засіб підключено до v-cell, створеного та керованого NFV, який містить кластер антен на базових станціях. Комунікації V2V, V2I та V2X є частиною цього процесу [14]. Дуже важливо розробити систему, яка транслює інформацію про безпеку дорожнього руху по магістралі та через двонаправлену передачу даних між RSU та транспортними засобами, що дозволяє пристрою визначати своє місцезнаходження. Програми 5G можуть досягти дуже високої ємності даних із вищою пропускнуою здатністю та меншою затримкою для підтримки мультимедійних послуг. Оскільки вимоги до додатків 5G зростають, удосконалення RAT (Radio Access Technology) стає більш придатним для них. 3GPP має багато випробувань визначення специфікацій і програм 5G. 5G — це дуже складна радіотехнологія для підтримки обговорюваних раніше потреб високої якості обслуговування V2X і складних специфікацій високомобільних середовищ. Такі проекти, як Альянс мобільних мереж наступного покоління (NGMN) і 5G Automotive Association (5GAA), працюють над оцінкою 5G-New Radio (5G-NR) і V2X на основі LTE у співпраці з автомобільною промисловістю [18].

### **Розділ 3. Аналіз передачі даних 5G NR (TBS)**

#### **3.1 Розмір транспортного блоку 5G NR (TBS)**

У новому радіо 5G (NR) TBS розшифровується як розмір транспортного блоку (Transport Block Size). Він означає обсяг даних, який може бути переданий в одному радіокадрі від базової станції (або gNB, що в 5G означає gNodeB) до користувачького обладнання (UE), зазвичай відомого як мобільний пристрій.

TBS визначається кількома факторами, включаючи схему модуляції і кодування (MCS), кількість блоків ресурсів, виділених для передачі, і кількість рівнів, що використовуються при передачі. MCS визначає рівень кодування з корекцією помилок, що застосовується до даних, в той час як ресурсні блоки і шари визначають просторові і частотні ресурси, виділені для передачі.

У 5G NR значення TBS можуть змінюватися в залежності від конкретної конфігурації радіолінії і умов каналу. Зазвичай TBS визначається кількістю бітів, які можуть бути передані в одному транспортному блоці. Вищі значення TBS означають більші обсяги даних, які можуть бути передані в кожному радіокадрі, що призводить до вищих швидкостей передачі даних.

Важливо відзначити, що конкретні значення TBS можуть змінюватися в залежності від сценарію розгортання, умов каналу та інших факторів. Тому фактичне значення TBS, що використовується в конкретному каналі 5G NR, може відрізнятися в різних реалізаціях.

Для визначення значення TBS (Transport Block Size) в 5G NR (New Radio) використовується певна формула, яка враховує різні параметри конфігурації передачі даних. Зазвичай, ця формула складається з трьох основних елементів: MCS (Modulation and Coding Scheme), кількість ресурсних блоків (RB) та кількість шарів передачі (layers) [20]

Основна формула для визначення TBS в 5G NR може виглядати наступним чином:

$$\text{TBS} = k * (C \times \log_2(M) - R \times (\text{NRI} + Q_m))$$

- TBS: значення Transport Block Size (кількість біт), яке ми хочемо визначити.
- k: фактор масштабування (scaling factor), який зазвичай має значення 1, 2 або 4. Він використовується для адаптації TBS до різних конфігурацій.
- C: кількість ресурсних блоків, які призначені для передачі даних.
- M: кількість модуляційних символів, яка залежить від вибраної модуляції (наприклад, QPSK, 16-QAM, 64-QAM і т. д.).
- R: коефіцієнт кодування, який також залежить від вибраної MCS.
- NRI: кількість слотів, в яких передаються "нерозкодовані" біти (Non-Redundant Information). Цей параметр може залежати від режиму передачі, як-от SISO (Single Input, Single Output), SU-MIMO (Single User Multiple Input, Multiple Output) або MU-MIMO (Multi-User Multiple Input, Multiple Output).
- $Q_m$ : кількість бітів, які кодуються в одному символі (наприклад, 2 біта для QPSK, 4 біта для 16-QAM і т. д.).

Значення MCS, кількості ресурсних блоків та кількості шарів передачі вибираються відповідно до конкретних умов передачі даних, каналу зв'язку та можливостей обладнання. Зазвичай, в системах 5G NR ці значення можуть бути налаштовані з урахуванням як вимог до пропускної здатності, так і якості зв'язку.

```

>> modulation = '16QAM';
nlayers = 4;
nPRB = 16;
NREPerPRB = 120;
tcr = 0.64;
xOh = 6;
tbScaling = 0.58;
tbs = nrTBS(modulation,nlayers,nPRB,NREPerPRB,tcr,xOh,tbScaling)

tbs =

    10760

```

Рис 3.1 Обчислення Transport Block Size за допомогою програмного забезпечення MATLAB

Таблиця 2. Залежність обчислювальної пропускної здатності від конфігурації між субносіями

При розрахунку 5G (NR) TBS та пропускної здатності змінювались тільки інтервали між субносіями. Максимальна кількість шарів MIMO дорівнює 4, кількість запланованих символів OFDM ( $N_{sh\ symb}$ ) 16, кількість RE для DM-RS на PRB ( $N_{prb\ dmrs}$ ) 4.  $N_{prb}$ -загальна кількість виділених PRB для UE 12, MCS індекс 16.

Конфігурація інтервалів між субносіями залежить від швидкості руху:

- 15кГц, 30кГц: для високої швидкості переміщення
- 30кГц, 120кГц, 240кГц: для низької швидкості переміщення

### 3.2 Симуляція передачі даних в мережі за допомогою Packet Tracer

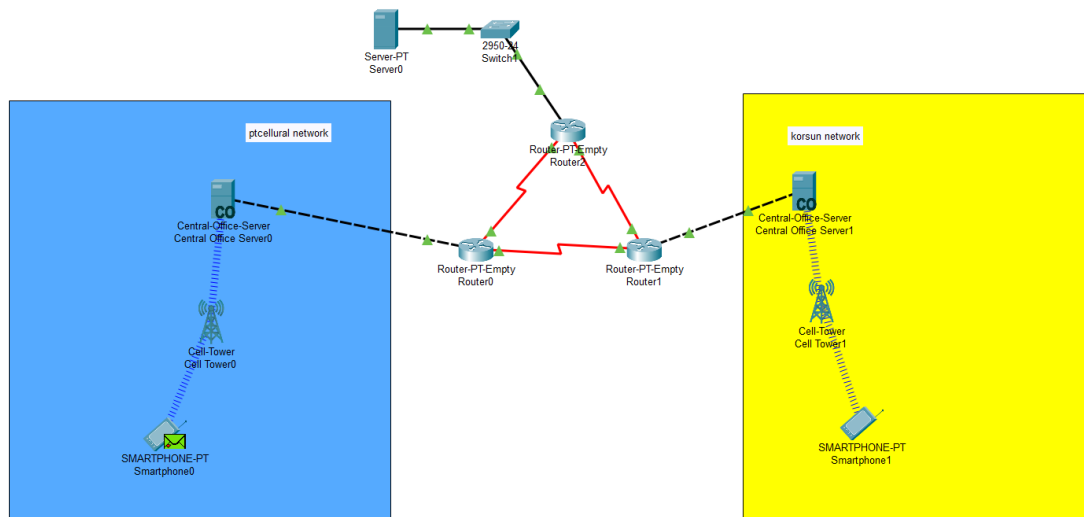


Рис 3.2 Схема реалізації передачі повідомлення на прикладі двох базових станцій

Simulation Panel

Vis.	Time(sec)	Last Device	At Device	Type
	0.000	--	Smartphone1	ICMP
	0.001	Smartphone1	Cell Tower1	ICMP
	0.002	Cell Tower1	Central Office Server1	ICMP
	0.003	Central Office Server1	Router1	ICMP
	0.004	Router1	Router0	ICMP
	0.004	--	Cell Tower1	ICMP
	0.005	Cell Tower1	Smartphone1	ICMP
	0.005	Router0	Central Office Server0	ICMP
	0.006	Central Office Server0	Cell Tower0	ICMP
	0.007	Cell Tower0	Smartphone0	ICMP
	0.008	--	Smartphone0	ICMP
	0.009	Smartphone0	Cell Tower0	ICMP
	0.010	Cell Tower0	Central Office Server0	ICMP
	0.011	Central Office Server0	Router0	ICMP
	0.012	Router0	Router1	ICMP
	0.013	--	Cell Tower0	ICMP
	0.013	Router1	Central Office Server1	ICMP
	0.013	--	Central Office Server1	ICMP
	0.014	Cell Tower0	Smartphone0	ICMP
	0.014	Central Office Server1	Cell Tower1	ICMP
	0.015	Cell Tower1	Smartphone1	ICMP
	0.016	--	Central Office Server1	ICMP
	0.017	Central Office Server1	Cell Tower1	ICMP
	0.018	Cell Tower1	Smartphone1	ICMP
	0.018	--	Central Office Server0	ICMP
	0.019	Central Office Server0	Cell Tower0	ICMP
	0.020	Cell Tower0	Smartphone0	ICMP

Reset Simulation  Constant Delay Captured to: 484.770 s

Play Controls

Event List Filters - Visible Events  
FTP, ICMP, TCP, Telnet

Edit Filters Show All/None

Рис 3.3 Процес передачі повідомлення

Послідовність передачі повідомлення від користувача UE(Smartphone1) до UE(Smartphone0):

1. Повідомлення від UE(Smartphone1) передається на базову станцію.
2. Від базової станції до серверу.
3. Від серверу до мережі роутерів.
4. Від мережі роутерів до серверу.

5. від серверу до базової станції.
6. Від базової станції до користувача UE(Smartphone0).
7. Після отримання повідомлення UE(Smartphone0) повертає повідомлення до UE(Smartphone1), повідомлення проходить такий самий шлях.

## **Висновки**

У даній роботі було досліджено та розроблено підходи до покращення швидшого з'єднання V2X (Vehicle-to-Everything) і зон покриття. Використовуючи аналіз існуючих проблем та обмежень, були запропоновані рішення, які виявилися ефективними у поліпшенні QoS та забезпеченні стабільного з'єднання між транспортними засобами і інфраструктурою дороги.

В роботі було проведено теоретичний аналіз технологій V2X і розглянуто основні проблеми, пов'язані зі швидкістю з'єднання та зонами покриття. На основі цього аналізу були виявлені ключові фактори, що впливають на ефективність зв'язку V2X, такі як перешкоди на дорозі, інтерференція, шум та розташування антен.

Для покращення швидкого з'єднання V2X були запропоновані різні стратегії. Впровадження передових алгоритмів маршрутизації та розподілення ресурсів дозволило оптимізувати шляхи передачі даних та розподілити навантаження між вузлами мережі. Крім того, були розглянуті методи покращення антенних систем, такі як багатошарова антенна система та антенна зворотного смугу, що забезпечили більшу направленість та збільшену чутливість приймачів.

Щодо зон покриття, розроблені методи виявлення та аналізу слабких сигналів дозволили вчасно виявляти та вирішувати проблеми зі зонами покриття. Запропоновані алгоритми адаптивної корекції покриття забезпечили автоматичне налаштування параметрів передачі для забезпечення оптимальної якості зв'язку.

На основі результатів порівняльного аналізу було показано, що запропоновані підходи до покращення швидшого з'єднання V2X і зон покриття дозволяють досягти значної покращення ефективності комунікаційного зв'язку та QoS. Висновок отриманих результатів свідчить про те, що розроблені рішення будуть успішно впроваджені в реальному середовищі V2X, що сприятиме покращенню безпеки, розширенню функціональності та забезпеченню більш ефективного використання транспортної інфраструктури.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Holma, H., Toskala, A., 'WCDMA for UMTS', 4th edition, Wiley, 2007.
2. Insun Jang, Sukjin Choo, Myeongsu Kim, Sangheon Pack, György Dán, "The Software-Defined Vehicular Cloud: A New Level of Sharing the Road", 2017.
3. 5G Network Coverage Planning and Analysis of the Deployment Challenges by Md Maruf Ahamed and Saleh Faruque, 3 October 2021
4. Amadeo, C. Campolo, and A. Molinaro, "Information-centric networking for connected vehicles: a survey and future perspectives," IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 2, pp. 98-104, 2016.
5. "Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services (v16.2.0, release 16)," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TR 22.886, Dec. 2018.
6. Service Requirements for Enhanced V2X Scenarios (V16.2.0, Release16), 3GPP Standard TS 22.186, Jun. 2019.
7. "Study on LTE support for vehicle-to-everything (V2X) services (v14.0.0, release 14)," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TR 22.885, Dec. 2015
8. 5GAA. White Paper C-V2X Use Cases: Methodology, Examples and Service Level Requirements. Accessed: Jun. 2019. [Online]. Available: [https://5gaa.org/wp-content/uploads/2019/07/5GAA\\_191906\\_WP\\_CV2X\\_UCs\\_v1.pdf](https://5gaa.org/wp-content/uploads/2019/07/5GAA_191906_WP_CV2X_UCs_v1.pdf)
9. H. Hussein, H. Elsayed and S. Abd El-kader, Intensive Benchmarking of D2D communication over 5G cellular networks: prototype, integrated features, challenges, and main applications, Wireless Networks, vol. 26, no. 5, pp. 3183-3202, 2019.
10. Rami Khoder, Naja Rola, Mouawad Nadia, Tojme Samir Vertical handover network selection architecture for VLC vehicular platoon driving assistance 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE (2020), pp. 1-6
11. Livinus Tuyisenge, Ayaida Marwane, Tohme Samir, Afilal Lissan-Eddine A mobile internal vertical handover mechanism for distributed mobility management in VANETs Veh. Commun., 26 (2020), Article 100277

12. Sahirul Alam, Sulistyoyo Selo, Mustika I., Adrian Ronald Utility-based horizontal handover decision method for vehicle-to-vehicle communication in VANET *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, 13 (13) (2020), pp. 1-10
13. Sahirul Alam, Sulistyoyo Selo, Wayan Mustika I., Adrian Ronald Fuzzy adaptive hysteresis of RSS for handover decision in V2V VANET *Int. J. Commun. Netw. Inf. Secur.*, 12 (12) (2020), pp. 433-439
14. Abbas A.H., Habelalmateen Mohammed I., Alduais N.A.M. A novel intelligent cluster-head (ICH) to mitigate the handover problem of clustering in VANETs *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, 10 (10) (2019), pp. 194-203
15. Shih Mei-Ju, *Mobility management in D2D*. Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online. 2019. pp. 1-22.
16. Vincent Nyangaresi Omollo, Rodrigues Anthony Joachim, Abeka Silvanse Onyango Efficient group authentication protocol for secure 5G enabled vehicular communications 2020 16th International Computer Engineering Conference, ICENCO, IEEE (2020), pp. 25-30
17. Carlos R. Storck, de O. Efrem E., de O. Guilherme G., Mini Raquel A.F., Duarte-Figueiredo Fátima FiVH: A solution of inter-V-Cell handover decision for connected vehicles in ultra-dense 5G networks *Veh. Commun.*, 28 (2021), Article 100307
18. Junseok Kim, Kim Dongmyoung, Choi Sunghyun 3GPP SA2 architecture and functions for 5G mobile communication system *ICT Express*, 3 (3) (2017), pp. 1-8
19. N. N. Ei, M. Alsenwi, Y. K. Tun, Z. Han and C. S. Hong, "Energy-Efficient Resource Allocation in Multi-UAV-Assisted Two-Stage Edge Computing for Beyond 5G Networks," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 9, pp. 16421-16432, Sept. 2022, doi: 10.1109/TITS.2022.3150176.
20. Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology* 1st Edition - August 9, 2018

