

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 ЗОНИ ПОКРИТТЯ ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ФАЗОВАНОЇ
АНТЕННОЇ РЕШІТКИ У ТЕХНОЛОГІЇ 5G»**

Виконав:

студент 4-го курсу

денної форми навчання

спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка

ОП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»

Строгий Владислав Олегович _____

Науковий керівник:

к.т.н., ас. Аль Шурайфі МУШТАК _____

Рецензент:

к.т.н., доц. Резніков Михайло Ігорович _____

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 _____

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ I: Зона покриття в телекомунікаціях	4
1.1 Базова станція (БС), характеристики	4
1.2 Покриття в телекомунікаціях	6
1.3 Типи зон покриття	7
1.4 Види розповсюджень	8
РОЗДІЛ II: : Визначення та розрахунок зон покриття	12
2.1 Реактивна зона: розрахунок	12
2.2 Зона Френеля: формула та розрахунок	13
2.3 Handover: розрахунок	17
РОЗДІЛ III : Покращення зони покриття в 5G	20
3.1 Методи покращення	20
3.2 Покращення зони покриття за рахунок технології MIMO	21
ВИСНОВКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	26

ВСТУП

У сфері телекомунікацій 5G є технологічним стандартом п'ятого покоління для широкосмугових стільникових мереж, який компанії стільникового зв'язку почали розгортати по всьому світу в 2019 році, і є запланованим наступником мереж 4G, які забезпечують підключення до більшості сучасних мобільних телефонів.

Якісне підключення 5G має потенціал для покращення цифрових послуг на місцевому рівні, відіграючи ключову роль у підтримці тривалого економічного відновлення та соціальної єдності. Технологія 5G у розумних спільнотах допоможе модернізувати соціально-економічні чинники в багатьох секторах, зокрема в охороні здоров'я, освіті, державному управлінні та транспорті, зробивши їх більш ефективними та стійкими.

Забезпечуючи високу швидкість передачі даних, низьку затримку, ширше покриття та більшу надійність мережі, технологія 5G підвищить поширеність систем Інтернету речей (IoT), які мають величезний потенціал для збільшення вартості фізичних об'єктів при підключенні.

Оскільки фазовані антенні решітки є невід'ємною частиною в електроніці, управлінні сучасними засобами електроніки та набули широкого використання у радіозв'язку, то досить актуальним є подальше дослідження і розвиток технології, а також покращення її зони покриття.

Об'єкт роботи : покращення зони покриття у технології 5G.

Предмет роботи : покращення зони Френеля в технології 5G за допомогою математичної формули.

Мета роботи :розробка нового математичного дослідження зони покриття за допомогою фазованої антенної решітки в технології 5G.

РОЗДІЛ I: Зона покриття в телекомунікаціях.

Вступ: 5G — це п'яте покоління технології бездротового зв'язку, яке має вищу швидкість, меншу затримку та покращене підключення. Данна технологія задовольняє зростаючий попит на програми з інтенсивним об'ємом даних і зростаючу кількість підключених пристроїв у повсякденному житті. Впровадження мереж і пристроїв 5G має вирішальне значення, щоб йти в ногу зі стрімким технологічним прогресом і потребами нашого сучасного суспільства.

Ціль дослідження: дослідження роботи базової станції та типи покриття.

Актуальність: активне використання та дослідження базової станції, різних типів покриття, оскільки вони використовуються не лише комерційними підприємствами, а й звичайними користувачами.

1.1 Базова станція (БС), характеристики.

Базова станція (БС) — це телекомунікаційна інфраструктура, яка використовується для полегшення бездротового зв'язку між абонентським пристроєм і мережею оператора зв'язку. Абонентським пристроєм може бути мобільний телефон, бездротовий Інтернет-пристрій, а мережею оператора може бути платформа GSM, CDMA або TDMA.

Типова БС складається з трансивера (TRX), який:

- 1) обробляє передачу та прийом сигналів;
- 2) надсилає та приймає сигнали до або від вищих мережевих об'єктів;

- 3) об'єднує канали з кількох TRX, щоб їх можна було надіслати через одну антену, таким чином зменшуючи кількість антен, які потрібно встановити;
- 4) слугує як підсилювач потужності, який допомагає підсилювати сигнал від TRX для передачі через антену;
- 5) є дуплексом, який використовується для розділення надісланого та отриманого сигналів до або від антени;
- 6) є антенною, яка є зовнішньою частиною БС.

Обладнання БС зазвичай розміщується в укритті, яке захищає телекомунікаційне обладнання від зовнішніх умов, таких як пил, корозія, іржа, крадіжка тощо. Таким чином, укриття складається з вище згаданого обладнання БС , кондиціонера, який використовується для охолодження простору в результаті тепла, що виділяється обладнанням, акумуляторної батареї, яка забезпечує обладнання електроенергією, і охоронного освітлення. (Рис. 1.1)

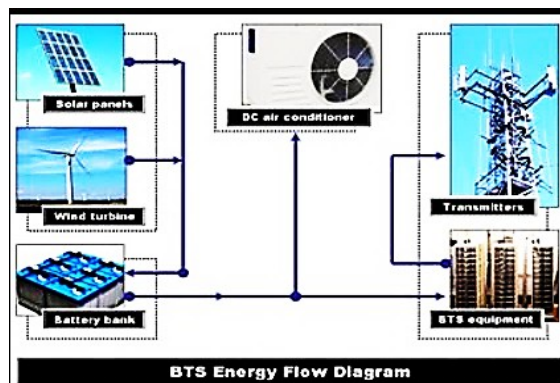


Рис. 1.1: склад типової базової станції(gNB).

Потреба телекомунікаційного обладнання в енергії залежить від характеристик мережі (Таблиця 1.1). З неї можна зробити висновок щодо того, яка потужність потрібна якій базовій станції [1].

Таблиця 1.1: вимога до навантаження БС (gNB).

Типи базових станцій	Вимоги до навантаження (кВт)
GSM базова станція 2/2/2	1.8 – 2
GSM базова станція 4/4/4	2.3 – 3.5
UMTS Node B Macro/ fibre4/4/4 базова станція	1.7 – 2.0
Large WiMaxі базова станція	1.6 – 1.8

Температура телекомунікаційного укриття під час роботи перевищує 55 градусів за Цельсієм для України, що є поганою умовою для роботи електронного обладнання БС. Це вимагає встановлення кондиціонера, особливо в тропіках, щоб підтримувати температуру в укритті на рівні 25 градусів за Цельсієм, щоб продовжити термін придатності як обладнання БС, так і акумуляторів [1].

Відносна вологість також має велике значення, тому її підтримують на рівні нижче 60%, щоб уникнути конденсації рідини (води) на обладнанні. У більшості випадків кондиціонер виконує подвійну функцію охолодження та осушення з метою підтримки прийняттого рівня вологості.

1.2 Покриття в телекомунікаціях.

У телекомунікаціях покриття радіостанції - це зона, де станція може передавати дані. Транслятори та телекомунікаційні компанії часто

створюють карти покриття, щоб вказати користувачам зону обслуговування станції (Рис.1.2).

Покриття залежить від кількох факторів, таких як орфографія (тобто гори) і будівлі, технології, радіочастоти і, можливо, найголовніше для двостороннього телекомунікаційного зв'язку, чутливість і ефективність передачі споживчого обладнання. Деякі частоти забезпечують краще регіональне покриття, тоді як інші частоти краще проникають через перешкоди, такі як будівлі в містах.

Можливість підключення мобільного телефону до базової станції залежить від потужності сигналу. Його можна підвищити за рахунок потужності передачі, кращих антен, вищих антенних щоглів або альтернативних рішень, таких як вбудовані пікосоти. Звичайні сигнали Macro-Cell потрібно посилити, щоб проходити через будівлі, що є особливою проблемою при проектуванні мереж для великих мегаполісів із сучасними хмарочосами, отже, нинішня тенденція до малих стільників, мікро- та пікосот. Сигнали також не поширюються глибоко під землю, тому для забезпечення покриття мобільного зв'язку в таких зонах, як підземні паркінги та поїзди метро, використовуються спеціальні рішення для передачі [2].

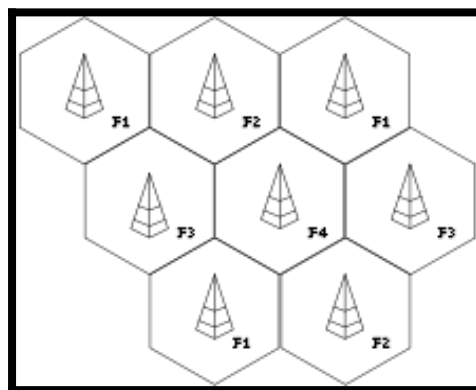


Рис.1.2: Зона обслуговування мобільної мережі.

1.3 Типи зон покриття.

У телекомунікаційній системі існують різні типи зон покриття:

- 1) Покриття макростільника: покриття макростільника відноситься до зони покриття великої комірки в стільниковій мережі. Ці стільники зазвичай використовуються в районах з високою щільністю населення та забезпечують покриття великої географічної території;
- 2) Покриття мікростільника: покриття мікростільника відноситься до зони покриття невеликої комірки в стільниковій мережі. Ці осередки зазвичай використовуються в місцях з високою інтенсивністю руху, таких як аеропорти, вокзали та торгові центри;
- 3) Покриття Пісоселл: покриття Пісоселл відноситься до зони покриття дуже маленької комірки в стільниковій мережі. Ці стільники зазвичай використовуються для забезпечення покриття в невеликих закритих приміщеннях, таких як будівлі та тунелі;
- 4) Покриття фемтостільникового зв'язку: покриття фемтосотового зв'язку стосується зони покриття дуже маленького стільникового зв'язку, що використовується в житлових приміщеннях або невеликих офісах. Фемтостільники використовуються для покращення покриття всередині приміщень і можуть бути підключені до Інтернету для надання послуг голосу та даних;
- 5) Покриття Wi-Fi: покриття Wi-Fi стосується зони покриття бездротової локальної мережі (WLAN). Ці мережі зазвичай використовуються для забезпечення бездротового доступу до Інтернету та знаходяться в будинках, на підприємствах і в громадських місцях, таких як аеропорти та кафе.

1.4 Види розповсюджень.

Зона покриття може поділятися на декілька варіацій:

- Реактивна зона (reactive zone);
- Зона френеля (Fresnel zone);
- Передача обслуговування абонента (handover);

1. Реактивна зона, також відома як область ближнього поля або реактивна зона ближнього поля, — це область, яка безпосередньо оточує антену, де електромагнітні поля все ще адаптуються до навколишнього середовища. Реактивну зону важливо враховувати при проектуванні та оцінці антен та інших телекомунікаційних систем, оскільки вона може вплинути на продуктивність і ефективність системи. У деяких випадках може бути бажаним мінімізувати розмір реактивної зони, тоді як в інших випадках може знадобитися врахувати реактивну зону, щоб оптимізувати продуктивність системи.
2. Зона Френеля — це еліпсоїдна область простору, яка оточує шлях прямої видимості між двома точками телекомунікаційної системи. Зона названа на честь французького фізика Огюстена-Жана Френеля, який розробив математичну теорію для опису поведінки світлових хвиль під час їх поширення в просторі. У телекомунікаціях зону Френеля важливо враховувати при проектуванні мікрохвильових каналів зв'язку та інших систем прямої видимості. Зона представляє область, де на сигнали, що передаються між двома точками, можуть впливати такі перешкоди, як будівлі, пагорби, дерева та інші об'єкти, які можуть спричинити дифракцію, відбиття та заломлення сигналу (Рис.1.3) [3].

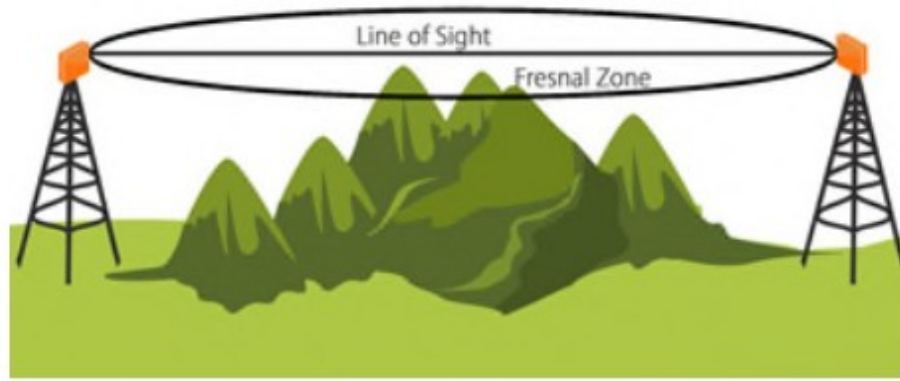


Рис. 1.3: Зона Френеля.

3. Handover (хендовер, також відомий як естафетна передача) —це процес передачі поточного дзвінка або сеансу даних з однієї клітинки або базової станції на іншу без переривання дзвінка чи сеансу. Зазвичай це робиться, коли мобільний пристрій переміщується із зони покриття однієї базової станції до іншої або коли мережа хоче збалансувати навантаження на базові станції.

Під час передачі мобільний пристрій підтримує виклик або сеанс, встановлюючи зв'язок із новою базовою станцією, одночасно від'єднуючись від старої базової станції. Процес передачі контролюється мережею та передбачає обмін сигналами між мобільним пристроєм, старою базовою станцією та новою базовою станцією.

Хендовер важливий у стільникових мережах для забезпечення безперервного з'єднання та високоякісного зв'язку. Без хендовера виклик або сеанс передачі даних буде перервано, коли мобільний пристрій виходить за межі діапазону базової станції, що призведе до поганої взаємодії з користувачем [4].

Існує два типи передачі:

- Жорсткий хендовер: миттєвий хендовер, під час якого наявне з'єднання розривається та встановлюється з'єднання з каналом призначення. Це також відоме як передача перерви перед

виготовленням. Процес настільки миттєвий, що користувач не чує жодних помітних перерв [5].

- М'який хендовер: суттєвий хендовер, коли з'єднання з новим каналом здійснюється до того, як з'єднання з вихідного каналу розривається. Це виконується шляхом паралельного використання каналів джерела та призначення протягом певного періоду часу. М'які передачі обслуговування дозволяють паралельне з'єднання між трьома або більше каналами для забезпечення кращого обслуговування. Цей тип хендовера дуже ефективний у зонах із поганим покриттям (Рис.1.4).

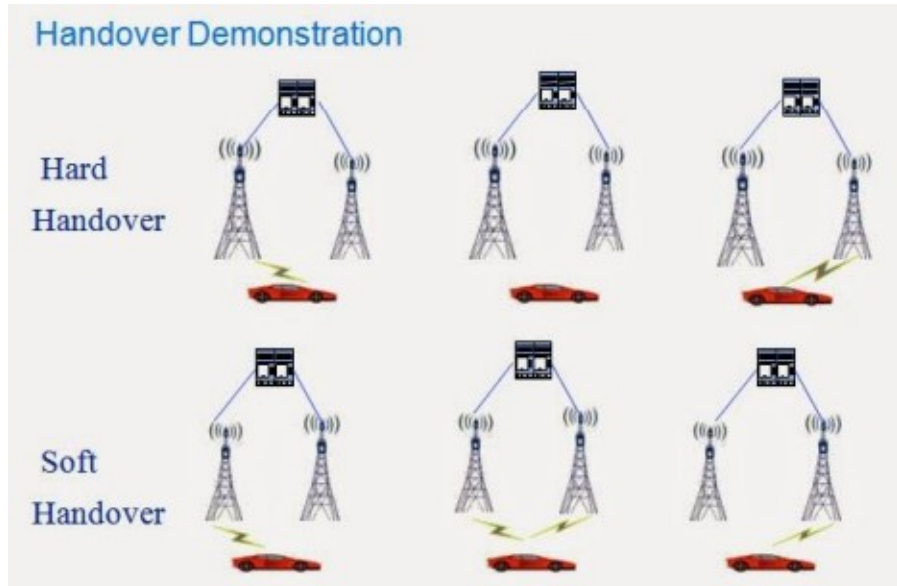


Рис. 1.4: Типи передачі.

РОЗДІЛ II: Визначення та розрахунок зон покриття.

Вступ: зона покриття відноситься до географічного регіону, де бездротова мережа забезпечує покриття сигналу та послуги. Це необхідно для забезпечення того, щоб користувачі могли отримати доступ до мережі та отримувати надійні послуги у визначеній зоні, а також для оптимізації ефективності мережі та зменшення перешкод сигналу, в другому розділі будемо досліджувати визначення та розрахунок розповсюдження хвиль в зоні покриття. В результаті буде стрімкий розвиток та активне використання технології 5G.

2.1 Реактивна зона: розрахунок.

Реактивна зона визначається відстанню від антени, де компоненти електричного та магнітного полів мають однакову величину, і зазвичай вважається, що вона поширюється на відстань приблизно до половини робочої довжини хвилі антени.

Реактивну зону можна змодельювати за допомогою рівнянь електричного та магнітного полів для випромінюючої антени, які задані за формулою (2.1-2.2):

$$E = (j\omega\mu/4\pi r) \times (U \times dL) \times \sin((\theta))/r \quad (2.1)$$

$$B = (j\omega\varepsilon/4\pi r) \times (U \times dL) \times \sin((\theta))/r \quad (2.2)$$

Де:

E = напруженість електричного поля (вольт на метр);

B = напруженість магнітного поля (ампер на метр) ;

ω = кутова частота (радіани на секунду) ;
 μ = магнітна проникність вільного простору (генрі на метр) ;
 ϵ = електрична проникність вільного простору (фарад на метр) ;
 r = відстань від антени (метри) ;
 I = струм в антені (ампери) ;
 dL = різниця довжини антени (метри) ;
 θ = кут між антеною та точкою спостереження (радіани) ;

2.2 Зона Френеля: формула та розрахунок.

Значення зони Френеля базується на тому, що в будь-якій хвильовій передачі між передавачем і приймачем деяка кількість випромінюваної хвилі поширюється поза осею (не на шляху прямої видимості між передавачем і приймачем). Це показано на рис. 2.1.

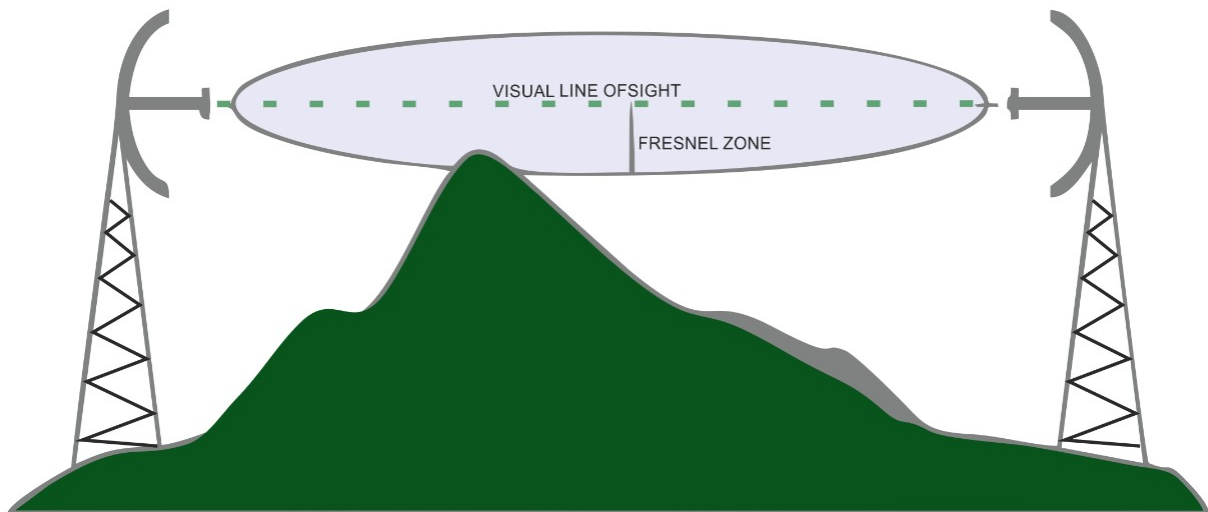


Рис. 2.1: Візуальне зображення зони Френеля.

Якщо прийняти зображення за двовимірну модель, то ми маємо

зображення між двома точками. Групи овального індикатора зони Френеля будуть основою для прямої видимості, яка базується на прямій видимості. Радіообладнання вимагає прямої видимості між радіочастотним викликом, тож слід враховувати два типи прямої видимості: візуальну лінію видимості та радіочастотну лінію видимості.

Передавач і приймач можуть бачити один одного лише в зоні видимості, тож має бути безперешкодний огляд, щоб був успішним бездротовий зв'язок між передавачем і приймачем. Безперешкодна лінія видимості означає, що на шляху радіочастотних сигналів між пристроями мало перешкод або немає перешкод.

Радіочастота і безперешкодна лінія видимості між приймачем і радіопередавачем є прямою лінією. Лінію радіопередачі оточує зона так званої зони Френеля.

Якщо ж загальна площа Френеля більше ніж на 40% заблокована, радіочастота або радіопередача прямої видимості між передавачем і приймачем може бути порушена та ослаблена. Ці блокування можуть бути результатом різних джерел, таких як дерева, будівлі, місцевість або інші перешкоди, такі як кривизна Землі [6].

До недоліків зони Френеля слід віднести те, що ефективність радіозв'язку може знизитися:

- 1) під час дощу, який може виникнути через кілька годин після того, як дощ продовжився;
- 2) з тим, що пов'язано з морською поверхнею;
- 3) через випромінювання та відбиті хвилі, що викликають проблеми з поверхнями, які відбивають видимі та невидимі хвилі. Це вразить хвилі, що призведе до ерозії хвиль передачі. Це, мабуть, одна з найважливіших причин наполягати на встановленні обладнання на

найвищій висоті цього питання.

Хоча за межами зони Френеля потужність набагато менша, але у випадку відбиття це сильно впливає на загальну продуктивність радіолінії. На рис. 2.2 це показано наочно:

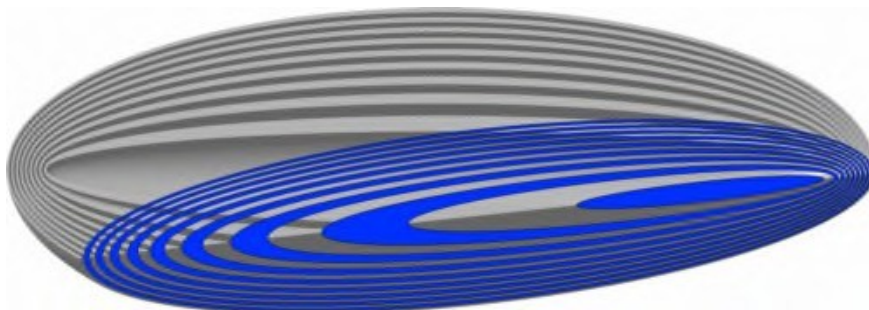


Рис.2.2: Хвилі відволікання.

Основна хвиля сірого кольору на зображенні вище позначає відображення зовнішніх схилів, як правило - це хвилі відволікання. Іноді це спричиняє різке зниження продуктивності, а в деяких випадках потрібен повний розрив радіозв'язку [7].

Тож формулою є (2.3):

$$F_n = \sqrt{\frac{d_1 d_2}{2n}} \quad (2.3)$$

Де:

F_n - радіус n-ої зони Френеля в метрах;

d_1 - відстань P від одного кінця в метрах;

d_2 - відстань P від іншого кінця в метрах;

λ - довжина хвилі переданого сигналу в метрах;

До прикладу, можна розрахувати радіус дії сигналу антен за рис. 2.3:

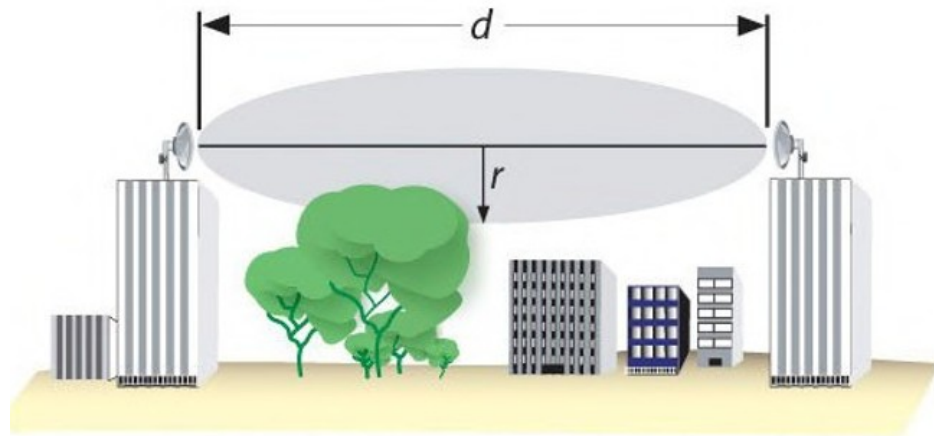


Рис. 2.3: Розрахунок радіусу дії сигналу антен у житловому масиві.

В даному випадку ми можемо скористатися формулами розрахунку (2.4-2.5):

$$r = 17.32 \times \sqrt{d} \quad (2.4)$$

В цьому випадку:

d_1 - відстань один від одного кінця в метрах;

n = розрахунок площі;

d_1, d_2 = відстань до кожного радіозагородження в метрах;

d = вся відстань зв'язку в метрах;

f = частота in МГц;

r = радіус сигналу в метрах;

Або ж можна виразити за формулою на (2.5):

$$r = 8.657 \times \sqrt{d} \quad (2.5)$$

В даному випадку:

d = загальна відстань у кілометрах;

f = частота виражену у ГГц

В даній схемі використовується повністю чиста та вільна від шуму територія та можливість використання наявного обладнання[8].

2.3 Handover: розрахунок.

Процес забезпечення безперебійного з'єднання та якісного зв'язку може бути описаним певними формулами.

● Запас хендовера (НОМ): це мінімальна різниця в потужності сигналу, необхідна між старою та новою базовими станціями (СБМ, НБМ) для здійснення хендовера. Він розраховується за формулою (2.6):

$$НОМ = RxLev(СБС) - RxLev(НБС) \quad (2.6)$$

Де:

$RxLev(СБС)$ — потужність отриманого сигналу на мобільному пристрої від старої базової станції;

$RxLev(НБС)$ — потужність сигналу, отриманого мобільним пристроєм від нової базової станції;

● Час до запуску (ТТТ): Це час затримки між надсиланням звіту про вимірювання з мобільного пристрою в мережу та ініціюванням процесу передачі. Він розраховується за формулою (2.7):

$$ТТТ = \frac{\text{Порогове значення звітності}}{\text{Рівень звітності}} \quad (2.7)$$

Де:

Поріг звітування – це мінімальна різниця потужності сигналу, яка запускає звіт про вимірювання;

Частота звітування – це швидкість, з якою звіти про вимірювання надсилаються з мобільного пристрою в мережу;

● Рівень успішних передач (HSR): це відсоток передач, які успішно завершено без розривів або перерв. Він розраховується за формулою (2.8):

$$HSR = \text{кількістьуспішнихпередач} / \text{загальнакількістьпередач} \times 100\% \quad (2.8)$$

Схема, що ілюструє процес передачі, показана на рис. 2.4:

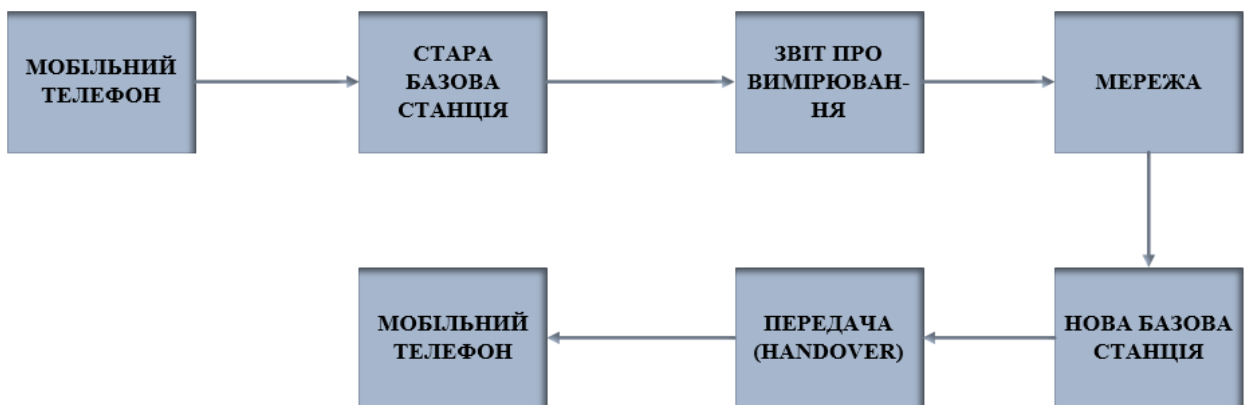


Рис. 2.4: Процес передачі на базових станціях.

На цій схемі мобільний пристрій спочатку спілкується зі старою базовою станцією. Коли мобільний пристрій виходить із зони дії старої базової станції, він надсилає в мережу звіт про вимірювання, в якому вказується, що потужність сигналу від старої базової станції слабшає. На основі цього звіту та інших факторів мережі, мережа вирішує розпочати передачу на нову базову станцію з потужнішим сигналом. Передача завершується встановленням зв'язку між мобільним пристроєм і новою базовою станцією з одночасним від'єднанням від старої базової станції [9].

РОЗДІЛ III : Покращення зони покриття в 5G.

Вступ: покращення зони покриття є необхідним для усунення прогалин у з'єднанні, забезпеченні безперебійного зв'язку під час мобільності, підвищенню громадської безпеки, забезпеченню кращого досвіду користувача та стимулюванню економічного зростання. Це важливий крок у розбудові пов'язаного суспільства, де кожен може отримати доступ до сучасних комунікаційних технологій і скористатися ними. Тому темою 3 розділу буде покращення зони покриття та моделювання у програмному середовищі Matlab.

3.1 Методи покращення.

Щоб покращити зону покриття за використанням фазованих антенних решіток у технології 5G, можна розглянути такі підходи:

- 1) Розміщення та конфігурація антени: оптимізація розміщення та конфігурація фазованих антенних решіток (формування променя та керування променем, щоб зосередити покриття в певних напрямках);
- 2) Розмір антенної решітки: збільшення кількості антен у решітці може покращити зону покриття. Більший масив забезпечує точніше управління променем і більшу гнучкість у спрямуванні сигналу;
- 3) Багатопроменева робота: використання багатопроменевої роботи для одночасного обслуговування кількох користувачів або секторів. Розділивши зону покриття на менші сектори та створивши окремі промені для кожного, можливо збільшити зону покриття та потужність системи;
- 4) Гібридне формування променя: реалізація комбінації методів аналогового та цифрового формування променя. Аналогове формування променя може

забезпечити широке покриття, тоді як цифрове формування променя може запропонувати точне керування променями. Гібридний підхід використовує переваги обох методів для покращення зони покриття та точності променя;

- 5) Стільники, що перекриваються: розгортання кілька фазованих антенних решіток у стільниках, що перекриваються, щоб забезпечити безперебійну передачу покриття між стільниками. Це забезпечує безперебійне підключення для користувачів, які переміщуються по зоні покриття.
- 6) Повторне використання частоти та малі комірки: використання методів повторного використання частоти та розгортання малих комірок в областях із високою щільністю користувачів. Розділивши зону покриття на менші комірки та повторно використовуючи частоти, можна збільшити ємність і ефективність покриття;
- 7) Динамічний доступ до спектру: реалізація методів динамічного доступу до спектру для ефективного використання доступних діапазонів частот. Шляхом динамічного розподілу частот на основі попиту та умов перешкод можна оптимізувати покриття та пропускну здатність;
- 8) Технологія MIMO: поєднання фазованих антенних решіток з технологією Multiple Input Multiple Output (MIMO), щоб покращити покриття, ємність і загальну продуктивність системи. MIMO дозволяє використовувати кілька антен для передачі та прийому, покращуючи якість сигналу та зменшуючи перешкоди [10];

3.2 Покращення зони покриття за рахунок технології MIMO.

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) — це технологія, яка використовується в системах бездротового зв'язку для підвищення пропускну

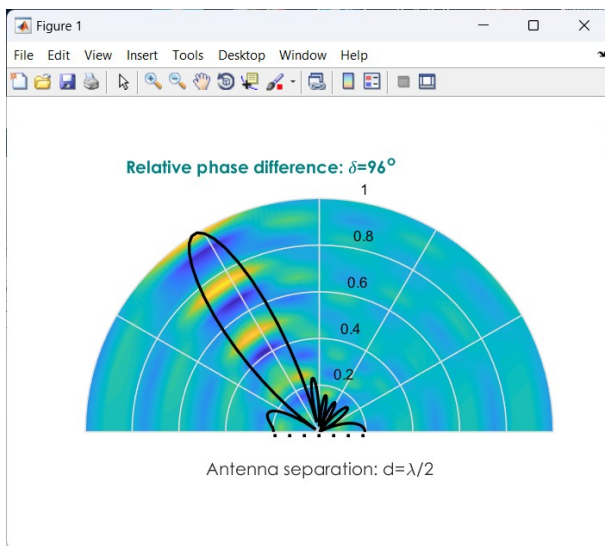
здатності, надійності та спектральної ефективності бездротових з'єднань. Це передбачає використання кількох антен як на передавач, так і на приймач для передачі та отримання кількох потоків даних одночасно[11].

Технологія MIMO реалізується за допомогою різних методів, таких як:

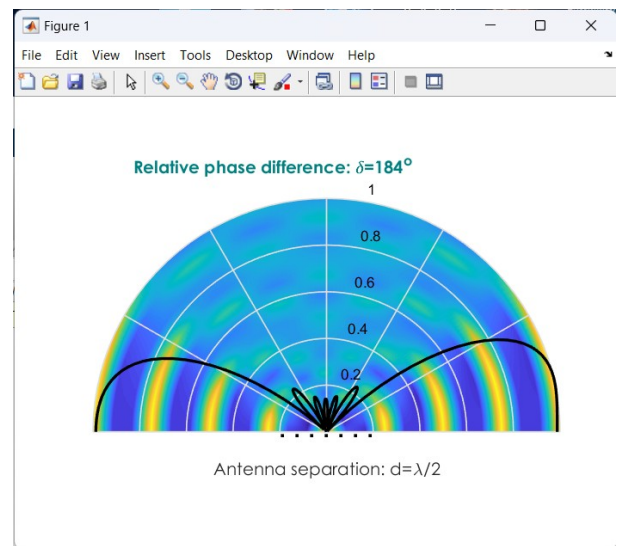
- 1) Формування променя передачі: передавач використовує кілька антен для формування та спрямування сигналу до призначеного приймача, збільшуючи потужність отриманого сигналу та зменшуючи перешкоди.
- 2) Формування променя при прийомі: приймач використовує кілька антен для посилення бажаного сигналу шляхом комбінування прийнятих сигналів з різною вагою, таким чином максимізуючи якість сигналу.
- 3) Просторове мультиплексування: кілька потоків даних передаються одночасно з різних антен, використовуючи просторовий вимір для збільшення пропускної здатності системи[12].

Тож, оскільки технологія MIMO відіграє вирішальну роль у сучасних системах бездротового зв'язку, використовуючи кілька антен для збільшення пропускної здатності, підвищення надійності та підвищення спектральної ефективності, проведемо відповідні моделювання у програмному середовищі Matlab, щоб сформувані промені фазованої антенної решітки та дослідити їх[13].

Для порівняння як себе поведуть промені, проведемо моделювання (Рис.3.1, 3.2) в програмному середовищі Matlab на частоті 30 GHz для $\lambda/2$ та $\lambda/4$, використовуючи 7 активних антен:



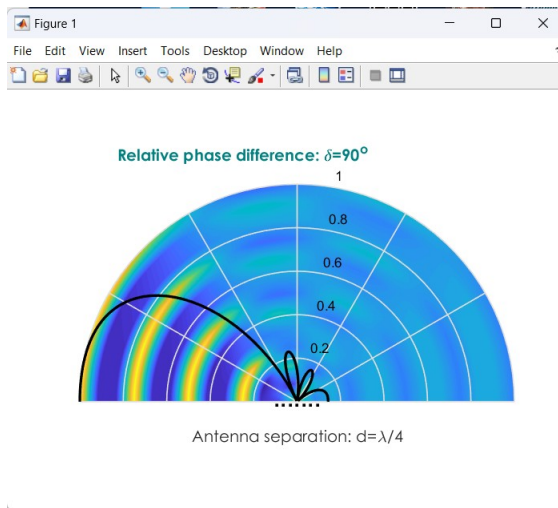
a)



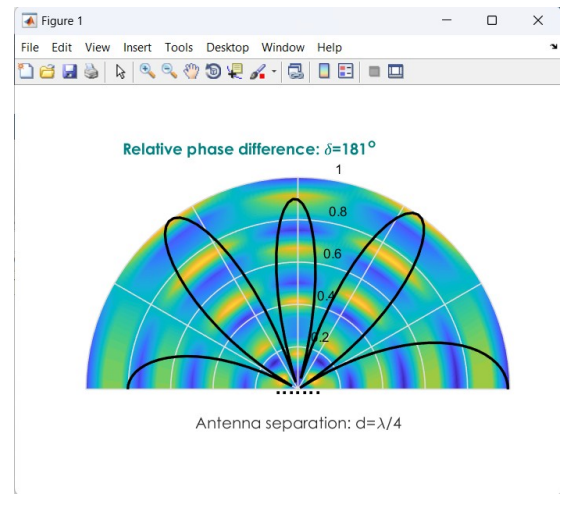
б)

Рис.3.1: Формування сигналу при $\lambda/2$ (а) $\delta=96^\circ$ та б) 184° в Matlab).

З рис.3.1 видно, що на епюрі (а) активний сигнал променя формується в одному напрямку на відстань від 0 до 1 та безліч інших сигнали, що направлені в різні сторони. На епюрі (б) видно, що активних променів більше (їх 2, направлені в різні сторони) та 4 в проміжку 75° на відстані від 0 до 0,23.



a)



б)

Рис.3.2: Формування сигналу при $\lambda/4$ (а) $\delta=90^\circ$ та (б) 181° в Matlab).

Як видно з епюр рис.3.2, при однакових відносних різницях фаз маємо різні результати. На епюрі (а) маємо доволі сильний сигнал, що поширюється в одному напрямку та 3 менші. На епюрі (б) ми бачимо майже однакові за довжиною та шириною 5 сигналів (від 0,82 до 1).

Тож, виходячи з моделювання можна зробити висновок, що для покращення зони покриття на основі технології MIMO можна збільшити кількість антен (в нашому випадку їх 7) та використовувати фазу з найсильнішими формуваннями променів передачі для збільшення потужності отриманого сигналу та зменшуючи перешкоди.

ВИСНОВКИ

У ході даної дипломної роботи було проаналізовано принцип роботи технології 5G, види розповсюджень та методи покращення технології.

Так як технологія 5G є досить широкоживаною, то дослідженням даної роботи стала фазована антенна решітка (ФАР) та зона її покриття. Було спроектовано моделювання в програмному середовищі Matlab, щоб дослідити поведінку променів при певних частотах та при різній фазовій частоті.

Мережі 5G у зоні Фраунгофера охоплюють різні топології вертикальних мереж і покращують позиції кожного терміналу користувача, що і було підтверджено в новій математичній формулі для зони покриття з використанням фазованої антенної решітки для збільшення швидкості передачі даних і покращення пропускної здатності каналу.

Оскільки 5G активно набирає оберти у використанні, то потребує високий рівень передачі сигналу. Тож доцільність подальшого розвитку технології антен є досить актуальною і потребує активних технологічних досягнень у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wyrzykowski, Robert (January 2023). "Mobile Network Experience 5G Report – USA". OpenSignal. Archived from the original on May 27, 2023. Retrieved May 27, 2023.
2. Fogg, Ian (June 22, 2022). "Benchmarking the Global 5G Experience – June 2022". OpenSignal. Archived from the original on May 27, 2023. Retrieved May 27, 2023.
- I, Chih-Lin; Han, Shuangfeng; Bian, Sen (2020). "Energy-efficient 5G for a greener future". *Nature Electronics*. 3 (4): 182–184. doi:10.1038/s41928-020-0404-1. S2CID 257095960.
3. "What is the Latency of 5G?". Retrieved February 6, 2024.
"The first real 5G specification has officially been completed". *The Verge*. Archived from the original on January 7, 2019. Retrieved June 25, 2018.
4. Flynn, Kevin. "Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020". 3gpp.org. Archived from the original on January 7, 2019. Retrieved January 6, 2019.
5. Dave. "5G NR Only 25% to 50% Faster, Not Truly a New Generation". *wirelessone.news*. Archived from the original on June 20, 2018.
6. Witze, Alexandra (April 26, 2019). "Global 5G wireless networks threaten weather forecasts". *Nature*. 569 (7754): 17–18. Bibcode:2019Natur.569...17W. doi:10.1038/d41586-019-01305-4. PMID 31040411. S2CID 140396172.
7. Brackett, Ron (May 1, 2019). "5G Wireless Networks Could Interfere with Weather Forecasts, Meteorologists Warn". *The Weather Channel*. Archived from the original on May 5, 2019.
8. Samenow, Jason (March 8, 2019). "Critical weather data threatened by FCC 'spectrum' proposal, Commerce Dept. and NASA say". *The Washington Post*. Archived from the original on March 31, 2019. Retrieved May 5, 2019.
9. Samenow, Jason (March 13, 2019). "FCC to auction off wireless spectrum that could interfere with vital weather data, rejecting requests from U.S. House and

science agencies". The Washington Post. Archived from the original on May 9, 2019. Retrieved May 29, 2019.

10. Paul, Don (May 27, 2019). "Some worry 5G may pose huge problems for weather forecasting". The Buffalo Post. Archived from the original on May 30, 2019. Retrieved May 29, 2019.

11. Witze, Alexandra (November 22, 2019). "Global 5G wireless deal threatens weather forecasts". *Nature*. 575 (7784): 577. Bibcode:2019Natur.575..577W.

12. "WMO expresses concern about radio frequency decision" (Press release). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. November 27, 2019. Retrieved November 30, 2019.

13. Freedman, Andrew (November 26, 2019). "Global 5G deal poses significant threat to weather forecast accuracy, experts warn". The Washington Post. Archived from the original on November 27, 2019. Retrieved December 1, 2019.