

ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий (Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

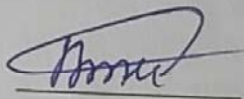
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Технологія 5G для пристроїв IoT

ДРМТР 2021066.00.00

Виконав: студент 2 курсу, група ТРМ-20-1




підпис

В.О. Зоря

Ініціали, прізвище

Керівник: к-т техн. наук, доц.



підпис

Д.А. Макаришкін

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.



підпис

В.В. Мартинюк

Ініціали, прізвище

9 12 2021 р.

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій
Освітній рівень другий (магістерський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою АКІТ
В.В. Мартинюк
« 2 » 09 2021р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Зоря Віталій Олегович

1 Тема роботи: Технологія 5G для пристроїв IoT
керівник роботи Макаришкін Д.А., к.т.н, доцент.

Затверджено наказом по університету від «25» серпня 2021р. № 102.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 02.12.2021р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи – визначення факторів застосування технології 5G за умов існування міської інфраструктури та різних кліматичних умов.

Об'єкт дослідження – технологія передачі інформації в мережі 5G з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц

Предмет дослідження – методи передачі інформації по електричних мережах загального застосування за умов існування завад різного походження

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

- 1 Аналіз літературних джерел та визначення проблематики дослідження.
- 2. Рішення 5G для IOT 3. Особливості проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови 4. Моделювання проектування мережі 5G за умов багатоповерхової забудови

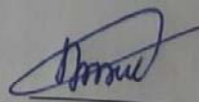
Завдання отримав [підпис]

Науковий керівник [підпис]

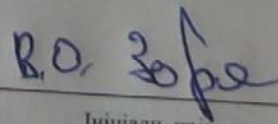
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	06.09.21-17.09.21	виконано
2	Написання 1 розділу	07.09.21-17.09.21	виконано
3	Визначення проблеми дослідження	06.09.21-17.09.21	виконано
4	Написання 2 розділу	06.09.21-01.10.21	виконано
5	Розробка моделі	06.09.21-01.10.21	виконано
6	Написання 3 розділу	06.09.21-22.10.21	виконано
7	Теоретичне та практичне моделювання	11.10.21-05.11.21	виконано
8	Написання 4 розділу	25.10.21-19.11.21	виконано
9	Оформлення роботи	08.11.21-28.11.21	виконано
10	Оформлення презентації	29.11.21-03.12.21	

Студент



Підпис

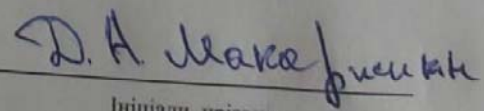


Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис



Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	
ПРОБЛЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Загальні відомості	9
1.2 Вступ.....	10
1.3 Інтернет речей та мережі п'ятого покоління	12
1.4 Основні вектори розвитку радіотехнологій 5G	14
1.4.1 Інтеграція різних технологій радіодоступу	14
1.4.2 Використання прямого підключення пристроїв	16
1.4.3 Підвищення енергетичної ефективності пристроїв.....	17
Висновки з розділу	19
РОЗДІЛ 2 РІШЕННЯ 5G ДЛЯ ІОТ.....	20
2.1 Вступ.....	20
2.2 Ультранадійний зв'язок низькою частотою (URLLC).....	20
2.3 Непублічні мережі.....	21
2.4 Можливості, переваги та варіанти використання 5G IoT	22
2.4.1 Можливості та переваги для мобільних операторів.....	22
2.4.2 Підключення рухомих засобів	25
2.4.3 Використання 5G для підприємства.....	27
2.4.4 Розумне місто	28
2.5 Використання 5G та охорона здоров'я	30
2.6 Виробництво	31
2.7 Можливості та вигоди для споживачів	32
2.8 Розширена мобільна ширококутова система доступу (EMBB)	33
2.9 Фіксований бездротовий доступ (FWA).....	34
2.10 Мобільний IoT — частина 5G.....	35
2.11 Актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку та способи їх вирішення у мережах зв'язку п'ятого покоління.....	36

	5
2.11.1 Поточна ситуація.....	36
2.12 Поточні проблеми та основні причини появи мереж 5G.....	38
2.13 Вирішення актуальних проблем у мережах п'ятого покоління.....	40
2.14 Технологічні рішення мереж п'ятого покоління.....	42
2.14.1 Massive MIMO.....	42
2.14.2 Перехід у сантиметровий та міліметровий діапазони.....	43
2.14.3 Мультитехнологічність.....	44
2.14.4 D2D (Device-to-device).....	44
2.14.5 M2M (Machine-to-machine).....	44
2.14.6 Використання нових сигнально-кодових конструкцій у мережах 5G.....	45
2.14.7 Нова архітектура мережі.....	45
Висновки з розділу.....	47
РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G В УМОВАХ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ.....	48
3.1 Особливості поширення сигналу за умов щільної багатоповерхової забудови.....	49
3.2 Аналіз використання мобільного зв'язку в діапазоні міліметрових хвиль в умовах багатоповерхової забудови.....	53
Висновки з розділу.....	58
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G ЗА УМОВ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ.....	59
4.1 Моделювання мережі 5G в Wireless InSite.....	59
4.1.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для моделювання мережі 5G.....	59
4.2 Результати моделювання мережі 5G в Wireless InSite.....	60
Висновки з розділу.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

Перелік умовних скорочень**ПОЗНАЧЕННЯ****ВИЗНАЧЕННЯ**

3G	3rd Generation of Mobile Telecommunications Networks
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4th Generation of Mobile Telecommunications Networks
5G	5th Generation of Mobile Telecommunications Networks
5G NR	5G New Radio
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
CPU	Central Processing Unit
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
IoT	Internet of Things
LPWA	Low Power Wide Area
LTE	Long-Term Evolution
LTE-M	Long-Term Evolution Machine Type Communications
MCC	Mission Critical Communications
MIoT	Mobile IoT
mMTC	Massive Machine Type Communications
NB-IoT	Narrowband IoT
URLLC	Ultra-reliable low latency communications
VR	Virtual Reality

ВСТУП

Актуальність теми.

Об'єктом дослідження є мережа 5G за умов багатоповерхової забудови. Предметом дослідження є аналіз особливостей проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO та хвиль сантиметрового та міліметрового діапазонів. Метою дослідження є визначення особливостей проектування мережі 5G за умов багатоповерхової забудови.

У практичній частині роботи проводиться моделювання прототипу мережі 5G. В результаті моделювання можна визначити зміну прийнятої потужності залежно від розташування пристрою щодо базової станції. Це дозволяє дізнатися, як тип антени, частота і розташування базової та мобільної станцій, що використовується, впливають на якість зв'язку і вибрати оптимальний варіант.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська робота виконана відповідно до поточних та перспективних планів наукової роботи Хмельницького національного університету за тематикою покращення методів формування, генерування, прийому та обробки сигналів.

Мета роботи – визначення факторів застосування технології 5G за умов існування міської інфраструктури та різних кліматичних умов.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити **наступні завдання:**

1. Провести аналіз проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO і хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів.

2. Визначити актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку.

3. Провести аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови з врахуванням високої щільності забудови і наявності великої кількості рослинності.

4. Провести моделювання прототипу мережі п'ятого покоління з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц.

Об'єкт дослідження – технологія передачі інформації в мережі 5G з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц.

Предмет дослідження – методи передачі інформації по електричних мережах загального застосування за умов існування завад різного походження.

Методи дослідження – теоретичний аналіз стану мережі п'ятого покоління моделі розповсюдження SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO із застосуванням інструментів візуального моделювання.

Науково-практична новизна роботи. На основі проведених досліджень, представлено оцінку розповсюдження сигналів на частотах 3,55 і 30 ГГц за умов щільної міської будівлі та кліматичних умов.

Публікації. На основі матеріалів магістерської роботи опублікована стаття у збірнику наукових праць студентів ХНУ.

Структура та об'єм магістерської роботи

Робота складається з 4-х розділів, загальним обсягом 82 сторінки. В роботі використано 41 посилань на літературні джерела.

В роботі 25 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості

Зараз триває початкове розгортання комерційних стільникових мереж 5G. Впровадження 5G та Інтернету речей зумовлюється низкою факторів, зокрема збільшенням попиту з боку споживачів і підприємств, а також наявністю більш доступних пристроїв. Значні інвестиції операторів у технологію, спектр та інфраструктуру 5G разом із впровадженням глобальних стандартів також сприяють зростанню та підвищенню інтересу ринку до IoT.

Мобільні стільникові мережі 5G, які розгортаються сьогодні, розвиваються з існуючих мереж 4G, які й надалі обслуговуватимуть багато випадків.

Розрахований на майбутнє, 5G може задовольнити поточні вимоги, такі як інтелектуальні енергетичні програми, а також очікувані випадки використання, до яких ще залишився деякий час, як-от самокеровані автомобілі. Керуючи розвитком технологій, оператори мобільного зв'язку повинні будуть переконатися, що їхні мережі підтримують як поточні, так і майбутні вимоги використання. Розважливі оператори керуватимуть своїми інвестиціями, щоб забезпечити підтримку клієнтів при переході мереж на 5G.

Більшість випадків використання 5G можна згрупувати за трьома основними категоріями – розширений мобільний широкопasmовий доступ (eMBB), масивний Інтернет речей і критичні комунікації, кожен з яких має свої вимоги до швидкості, потужності та затримки. Хоча 4G і надалі використовуватиметься для багатьох випадків використання Інтернету речей споживачів і підприємств, 5G надає низку переваг Інтернету речей, які недоступні з 4G або іншими технологіями. Серед них — здатність 5G підтримувати величезну кількість статичних і мобільних пристроїв IoT, які

мають різноманітні вимоги до швидкості, пропускної здатності та якості обслуговування. У міру розвитку Інтернету речей гнучкість 5G стане ще більш важливою для підприємств, які шукають підтримки для суворих вимог критичних комунікацій. Ультранадійність і низька затримка 5G дозволять безпілотним автомобілям, розумним енергетичним мережам, розширеній автоматизації заводу та іншим вимогливим додаткам стати реальністю.

Хмарні обчислення, штучний інтелект і периферійні обчислення допоможуть обробляти обсяги даних, що генеруються IoT, оскільки 5G збільшує пропускну здатність мережі. Подальші вдосконалення 5G, такі як розділення мережі, непублічні мережі та ядро 5G, зрештою допоможуть реалізувати бачення глобальної мережі IoT, яка підтримує величезну кількість підключених пристроїв.

1.2 Вступ

Перші мережі 5G розгортаються по всьому світу сьогодні на тлі очікувань, що ця передова мобільна технологія зіграє значну роль у цифровій трансформації та економічному успіху багатьох країн.

Перші комерційні мобільні стільникові мережі 5G та наявність більш доступних пристроїв стимулюють попит і інтерес ринку як серед споживачів, так і підприємств. У цій статті розглядається вплив 5G на Інтернет речей та розглядаються деякі унікальні особливості та переваги 5G порівняно з іншими технологіями. У ньому також представлені випадки використання Інтернету речей, які можна підтримувати за допомогою існуючих технологій стільникового зв'язку, таких як 3G і 4G, і обговорюються випадки використання, коли 5G є важливим. Орієнтована на розгортання стільникових технологій для додатків IoT, ця стаття призначена як навчальний документ для нетехнічних користувачів і замовників комунікаційних систем на підприємствах.

Очікується, що кількість підключень IoT зросте протягом наступних п'яти років. За прогнозами GSMA Intelligence, до 2025 року загальна

кількість IoT-з'єднань зросте до 25,2 мільярдів. За оцінками, 3,1 мільярда з них використовуватимуть технології стільникового зв'язку, у тому числі малопотужні глобальні мережі мобільного Інтернету речей [1].

Пристрої IoT сьогодні використовують широкий спектр бездротових технологій. Сюди входять технології короткого радіусу дії, які зазвичай використовують неліцензійний спектр, наприклад WiFi, Bluetooth, ZigBee і Z-wave, а також технології широкого стільникового зв'язку, що використовують ліцензований спектр, наприклад GSM, LTE і 5G. Також доступні альтернативні рішення, такі як технології малої потужності, що працюють у неліцензійному спектрі, зокрема LoRa та Sigfox. Стільникові технології, що працюють у ліцензованому спектрі, пропонують низку переваг для пристроїв IoT, включаючи розширене надання, керування пристроями та надання послуг. Що ще більш важливо, стільникові мережі пропонують глобальне покриття та високий рівень надійності, безпеки та продуктивності, необхідні навіть для найвимогливіших додатків IoT.

Сучасні мережі LTE або 4G продовжуватимуть співіснувати з 5G, пропонуючи достатнє покриття та ємність для широкого кола випадків використання, оскільки покриття 5G розшириться у всьому світі в найближчі роки [2].

Однак 5G дає ряд переваг для IoT, які недоступні з 4G або іншими технологіями. Серед них — здатність 5G підтримувати величезну кількість статичних і мобільних пристроїв IoT, які мають різноманітні вимоги до швидкості, пропускної здатності та якості обслуговування. Більшість із них можна згрупувати за трьома основними категоріями – розширений мобільний широкосмуговий доступ (eMBB), масовий Інтернет речей (відомий як mMTC) та критичні комунікації. Мережі 5G, які розгортаються сьогодні, будуються на мережах 4G, які використовують технології LTE для машин (LTE-M) і вузькосмугового IoT (NB-IoT), при цьому 5G забезпечує функціональність, необхідну для підтримки як існуючих, так і майбутніх випадків використання.

GSMA очікує, що 5G забезпечить високошвидкісний, надійний і безпечний мобільний ширококутовий зв'язок із низькими затримками на ранніх етапах розгортання. З часом величезна кількість пристроїв IoT буде підключено до мереж 5G, забезпечуючи підтримку наднадійного зв'язку з низькими затримками. Комбінація 5G та бездротових передових технологій підтримуватиме вимогливі випадки використання, такі як автономне водіння, критичні за часом промислові виробничі процеси IoT та доповнена та віртуальна реальність (AR/VR).

Мобільні мережі Інтернету речей, які використовують стільникові технології LTE-M або NB-IoT, продовжують набирати популярність для додатків, які вимагають підключення до глобальної території (LPWA) з низьким рівнем енергоспоживання [2]. Станом на жовтень 2019 року мобільні оператори запустили 123 комерційні мережі LTE-M і NB-IoT. Ці мережі продовжуватимуть розвиватися та працюватимуть безперебійно як із існуючими мережами, так і з підключенням 5G NR (Нове радіо).

З точки зору базової мережі, як існуюче ядро LTE (Enhanced Packet Core/EPC), так і нове ядро 5G (5GC) продовжуватимуть підтримувати еволюцію мобільного Інтернету речей у майбутньому.

1.3 Інтернет речей та мережі п'ятого покоління

Поява 5G пов'язана з розвитком «Інтернету речей». Поняття «Інтернет речей» набуло широкого поширення, але масової присутності на ринку ця технологія поки що не отримала. За прогнозами Cisco, протягом двох років після початку впровадження 5G число смартфонів та інших підключених до інтернету пристроїв збільшиться на 4...5 млрд. У 2015 році на кожну людину у світі припадало по 2,5 підключених пристроїв, до 2020 року ця цифра зросте до шести пристроїв. З 26 до 216 мільярдів збільшиться кількість механізмів, з 1,9 до 8,9 трильйонів доларів – оборот промисловості [38].

Зараз широко поширене підключення до стільникової мережі вендінгових автоматів, терміналів, лічильників, систем охорони та інших пристроїв. Даним пристроям потрібно періодично передавати інформацію в

сервісний центр. Це можуть бути показання приладів обліку або датчиків системи охорони, інформація про те, що в апараті закінчилася кава та інше. Така концепція отримала назву M2M (Machine-to-machine). Найчастіше таким M2M пристроям не обов'язково бути підключеними до мережі інтернет, вони можуть спілкуватися з навколишнім світом через SMS.

Дещо відрізняється від M2M концепція «Інтернету речей». Тут йдеться про «розумні» пристрої, яким потрібен постійний доступ в інтернет для обміну інформацією один з одним. «Інтернет речей» – це дуже важливий напрямок розвитку людства та технологічного прогресу в цілому. Під цим терміном ховається концепція інформаційної комунікаційно-обчислювальної мережі між великою кількістю різних фізичних об'єктів (речей), які будуть оснащені необхідним обладнанням для зв'язку із зовнішнім середовищем або один з одним. У цьому виді дана мережа може повністю виключити людину з частини операцій та дій [39].

Інтернет речей дозволить реалізувати динамічні мережі, що складаються з мільярдів різноманітних пристроїв, що обмінюються інформацією один з одним. Внаслідок цього може виникнути зовсім нове середовище, в якому інтелект, реалізований через програмні програми, зможе оцінювати речі, що відбуваються у фізичному світі, брати до уваги накопичений раніше досвід та відомості для підтримки прийняття рішень. У такому середовищі будуть створені якісно нові умови, як ведення бойових дій, так мирних цілей.

Є три проблеми, які можуть зробити значні труднощі у розвиток «Інтернету речей»: необхідність перейти на новий протокол IPv6, підтримка необхідного рівня електроживлення величезної кількості датчиків і опрацювання та прийняття загальних стандартів. Якщо перша і остання з перелічених проблем нині мають більше організаційний характер, то друга їх матеріальна і досить важка для реалізації з технічної точки зрення. Можливим вирішенням цієї проблеми можуть стати різні альтернативні джерела енергії, такі як сонячна енергія.

1.4 Основні вектори розвитку радіотехнологій 5G

1.4.1 Інтеграція різних технологій радіодоступу

Разом з місткістю мережі і швидкістю стільникового з'єднання, рівномірність мережевого покриття є важливим чинником, що впливає на якість обслуговування і сприйняття послуг користувачем.

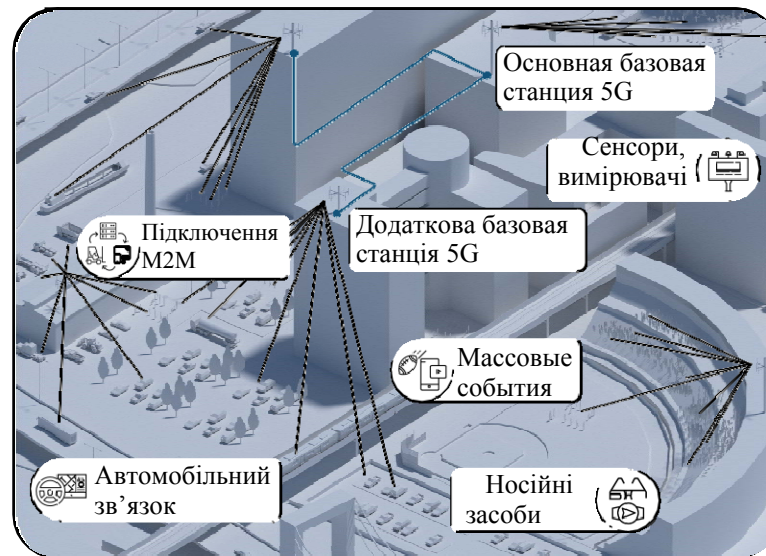


Рисунок 1.1 – Особливості перспективних гетерогенних мереж 5G

Абонентські термінали, розміщені на краю стільникового покриття, зазвичай мають безпроводне з'єднання нижчої якості зважаючи на значну віддаленість від обслуговуючої їх базової станції, а також через підвищений рівень інтерференції. Надійність стільникового покриття усередині приміщень також залишається незадовільною.

Націлені на забезпечення більше однакового і безшовного з'єднання, перспективні системи 5G вимушені застосовувати агресивні механізми переиспользования спектрального ресурсу і просунуті засоби управління інтерференцією. Оскільки ці технології були запропоновані порівняно недавно, межі їх застосовності в практичних гетерогенних мережах ще не встановлені остаточно.

Іншим важливим аспектом є той факт, що стільникові системи в ліцензованому спектрі часто поєднуються географічно з мережами, що функціонують на неліцензованих частотах (наприклад, WiFi). З іншого боку, сучасні абонентські термінали придбавають можливість використання декількох технологій радіодоступу одноразово.

Усе зростаюча популярність таких пристроїв з підтримкою різних радіотехнологій дозволяє, зокрема, розвантажувати стільникові мережі за допомогою прямих з'єднань між пристроями в неліцензованому спектрі.

З урахуванням обмеженої смуги ліцензованих частот зростає необхідність в ефективній координації всіляких гетерогенних технологій радіодоступу. В зв'язку з цим розподілені мережі в неліцензованому спектрі можуть скористатися підтримкою з боку централізованих стільникових систем, що використовують ліцензовані частоти.

У міру того як скорочуються зони покриття малих сотів, ефективні радіуси дії стільникових, локальних і персональних мереж доступу починають значною мірою перекриватися. Ця обставина створює можливість одночасного використання декількох радіотехнологій для підвищення якості безпроводного зв'язку. Проте такому спільному використанню мереж доступу було приділено значно менше уваги, ніж оптимізації роботи окремих радіотехнологій.

Таким чином, інтеграція різних технологій радіодоступу стає важливим напрямом дослідження в мережах 5G, особливо у світлі тенденції до ущільнення стільникового покриття. В результаті безпроводні технології ближнього і далекого радіусу дії повинні взаємодіяти тісніше для досягнення бажаних показників якості обслуговування і сприйняття послуги.

Представляє інтерес розгляд ефективних методів управління трафіком, пов'язаних з вибором радіотехнології як на стороні абонентського терміналу, так і безпосередньо інфраструктурною стільниковою мережею. Як наслідок, підвищується ефективна швидкість передачі даних і знижується амплітуда її коливань, а середня спектральна ефективність зберігається при цьому на

прийнятному рівні. Інтеграція різних технологій радіодоступу в надщільних гетерогенних мережах стає у край затребуваним напрямом досліджень не лише для підтримки безлічі традиційних сценаріїв мобільного зв'язку, але також для забезпечення перспективних застосувань Інтернету речей.

1.4.2 Використання прямого підключення пристроїв

Згідно з рядом прогнозів об'єми мобільного трафіку, що передається по безпроводних мережах зв'язку, продовжать істотно зростати упродовж подальших років . Відповідно, розгорнуті нині системи широкосмугового доступу будуть схильні до значних перевантажень, що викликаним недостатньою місткістю радіомереж і призводять до різкого зниження якості обслуговування їх користувачів.

Проте очікується, що істотного приросту в спектральній ефективності вдасться добитися при використанні прямого підключення абонентських пристроїв. Взагалі кажучи, застосування зв'язку «пристрій - пристрій» дозволяє кардинально підвищити міру переиспользования радіоресурсів в просторі. Зокрема, сусідні абонентські термінали можуть взаємодіяти безпосередньо, без залучення мережевої інфраструктури до процесу передачі своїх даних.

Взагалі кажучи, використання прямого з'єднання призначених для користувача пристроїв у рамках централізованої архітектури стільникової мережі стає новим напрямом для підвищення її спектральної ефективності. При цьому вважається, що за допомогою інтенсивної взаємодії між абонентськими терміналами можна досягти лінійного росту місткості системи зв'язку зі збільшенням числа задіяних пристроїв.

Ця обставина дозволяє значним чином підвищити доступну мережеву місткість в перспективних системах 5G. Проте цей напрям досліджень отримав недостатню увагу в наявній технічній літературі. Окремі відомі в цій області підходи не враховують в належній мірі безліч важливих чинників,

таких як реальна архітектура мережі, практичні механізми забезпечення її роботи, а також характеристики безпроводного каналу зв'язку.

Для подолання обмежень, властивих наявним результатам, в роботі пропонується провести вивчення прямих з'єднань в перспективних мережах зв'язку 5G.

Слід звернути увагу на фундаментальні підходи до аналізу таких систем відносно їх просторово-часової динаміки, а також практичні методи управління вивантаженням трафіку з інфраструктурної стільникової мережі на з'єднання «пристрій - пристрій». Цей напрям роботи призводить до повнішого розуміння потенціалу гетерогенних мереж 5G, забезпечених функціоналом прямого підключення пристроїв, в плані їх доступної місткості, якості безпроводного покриття і надійності встановленого з'єднання. При проведенні відповідного дослідження слід використати математичний аналіз і імітаційне моделювання. Отримані відомості дозволяють розробляти практичні механізми розвантаження стільникових систем 5G за допомогою прямої взаємодії терміналів.

Таким чином, очікуваним результатом проведеного дослідження стає значне збільшення фактичної швидкості передачі даних, а також підвищення пікової швидкості обміну інформацією в порівнянні з аналогічними показниками в системах, позбавлених підтримки прямих з'єднань.

Саме по собі безпроводна взаємодія «пристрій - пристрій» є важливим режимом функціонування системи не лише для передачі мобільного трафіку в перспективних мережах, орієнтованих на обслуговування традиційних користувачів, але і для забезпечення широкого кола сценаріїв, що виникають при здійсненні міжмашинної взаємодії у рамках концепції Інтернету речей.

1.4.3 Підвищення енергетичної ефективності пристроїв

Зростаюча поширеність мультимедіа-застосувань і сервісів, що породжують об'ємні потоки даних, а також більш висока складність конструкції абонентських терміналів, що підтримують декілька технологій

радіодоступу, в сукупності призводять до значного енергоспоживання призначених для користувача пристроїв.

Більше того, існує цілий ряд сценаріїв, що включають широку безліч застосувань Інтернету речей, в яких тисячі пристроїв підключаються до однієї і тієї ж соте, де висока енергетична ефективність роботи крайового устаткування є визначальний.

Необхідність підтримки таких масових сервісів створює додаткові труднощі при оптимізації міжмашинної взаємодії. З урахуванням обмеженого росту місткості акумуляторної батареї висока енергетична ефективність пристроїв є важливою вимогою в мережах 5G.

Тоді як переважна більшість досліджень в розвитку технологій 5G було націлено на підвищення спектральної ефективності, розгляд енергетичної ефективності стає усе більш актуально в тих сценаріях застосування мереж 5G, які орієнтовані на обслуговування терміналів з у край обмеженим ресурсом акумуляторної батареї. Це, наприклад, облаштування Інтернету речей і ношене устаткування. Необхідність забезпечення безперервного безпроводного підключення не повинна при цьому призводити до швидкого виснаження батареї малогабаритних пристроїв, а збільшення часу їх роботи без заряджання є важливим практичним завданням. З урахуванням цього обмеження виникають нетривіальні обмінні співвідношення між характеристиками продуктивності окремих пристроїв і мережі в цілому.

Висновки з розділу

1. Перші мережі 5G розгортаються по всьому світу сьогодні на тлі очікувань, що ця передова мобільна технологія зіграє значну роль у цифровій трансформації та економічному успіху багатьох країн.

2. 5G надає низку переваг, яких немає в інших технологіях. До них відноситься гнучкість 5G для підтримки величезної кількості статичних і мобільних пристроїв IoT, які мають різноманітні вимоги до швидкості, пропускної здатності та якості обслуговування.

3. У міру розвитку IoT гнучкість 5G стане ще більш важливою для підприємств. 5G підтримуватиме важливі зв'язки з ще більш жорсткими вимогами до продуктивності. Наднадійність і низька затримка 5G можуть допомогти втілити в реальність самокеровані автомобілі, розумні енергетичні мережі, розширену автоматизацію виробництва та інші передові програми.

РОЗДІЛ 2 РІШЕННЯ 5G ДЛЯ ІОТ

2.1 Вступ

Організація стандартів 3GPP внесла ряд удосконалень в архітектуру мережі 5G і специфікації NR, щоб покращити підтримку пристроїв IoT, які використовуються споживачами та підприємствами.

3GPP Випуск 16, другий етап специфікацій 5G, планується завершити до грудня 2019 року. Випуск 16 розширить можливості 5G NR і представить підтримку таких ключових функцій, як:

- Ультранадійні комунікації з низькою затримкою (URLLC)
- Непублічні мережі

2.2 Ультранадійний зв'язок низькою частотою (URLLC)

Стійкість буде ключовою в епоху 5G, оскільки мобільну мережу прямо просять підтримувати наднадійні та критичні системи, такі як автоматичне керування промисловими пристроями та автономними самокерованими транспортними засобами. За даними GSMA, це важливий момент для продажу 5G і відображається в ідентифікації URLLC як одного з ключових стовпів можливостей 5G.

URLLC має вирішальне значення для корпоративних випадків використання IoT, а також у споживчому секторі для додатків для розумного міста та розумного дому. Наприклад, розумні міста можуть використовувати пристрої URLLC IoT для ефективнішого управління трафіком, запобігання заторам і попередження про майбутні аварії, що принесе користь користувачам дорожнього руху. У розумних будинках можливості URLLC принесуть ряд переваг, підтримуючи онлайн-ігри та пристрої AR/VR. Швидший час відгуку та вища надійність зменшать затримки передачі, забезпечуючи більш захоплюючий досвід.

Низька затримка підключення важлива для машин, які керують самостійно, наприклад автономних транспортних засобів, або виконують критичні завдання, наприклад, керування промисловими пристроями. Низька затримка дозволить оптимізувати мережу 5G для обробки величезних обсягів даних, що змінюються в режимі реального часу, що неможливо з іншими технологіями.

Підсумовуючи, можна сказати, що надійність і низька затримка, необхідні для критичного Інтернету речей, найкраще забезпечать технологія 5G, яка підтримується світовими стандартами.

2.3 Непублічні мережі

Промислові програми IoT часто вимагають високого рівня безпеки та надійності. До них належать:

- Промислові роботи
- Заводські транспортні засоби
- Прогнозне обслуговування
- Підключені інструменти
- Технології для носіння [2]

Типові загальнодоступні мережі можуть не відповідати суворим вимогам, необхідним підприємствам для цих додатків.

3GPP Rel-16 визначає непублічні мережі, які часто називають «приватними мережами», як мережі, які обслуговують потреби підприємств. Ряд незалежних варіантів спектру, включаючи виділені діапазони частот IoT, спільні діапазони та неліцензійні діапазони, можна використовувати для включення непублічних мереж. Крім того, оператори можуть виділити частину своїх активів спектру для підтримки цих мереж.

Непублічні мережі можуть підключатися до загальнодоступних мереж або обмежуватися певним заводом чи місцем, залежно від вимог. Знову ж

таки, технологія 5G дає підприємствам гнучкість для задоволення їхніх індивідуальних потреб. Деякі потенційні варіанти використання включають мережі кампусів в університетах, лікарнях або військових базах, а також у морських портах, виробничих майданчиках або транспортних вузлах.

Технологія нарізки мережі може запропонувати альтернативу приватній мережі: GSMA опублікувала документ [3], що представляє розділення мережі, показуючи, як її можуть використовувати бізнес-клієнти для задоволення їхніх індивідуальних потреб, подібно до приватної мережі.

2.4 Можливості, переваги та варіанти використання 5G IoT

Оператори мобільного зв'язку мають явну можливість отримати вигоду від 5G: нові варіанти використання стільникового з'єднання забезпечать додатковий прибуток для операторів і ширшої телекомунікаційної галузі. Дослідження GSMA/TMG 2018 року підрахувало [4], що 5G додасть понад 2,2 трильйона доларів США до глобального ВВП і 588 мільярдів доларів США до світових податкових надходжень у сукупності за період з 2020 по 2034 рік.

І підприємства, і споживачі мають намір отримати вигоду від еволюції 5G. У цьому розділі розглядаються можливості, переваги та варіанти використання, пов'язані з розгортанням 5G IoT, а не з іншими технологіями.

2.4.1 Можливості та переваги для мобільних операторів

Корпоративний сегмент буде найбільшим джерелом додаткових доходів від 5G для мобільних операторів. 5G надасть нові можливості та гнучкість для обслуговування конкретних потреб різних корпоративних клієнтів, вартість яких, за оцінками GSMA, може становити до 400 мільярдів доларів США на рік для операторів до 2025 року [5].

Ще два дослідження GSMA підкреслюють важливість корпоративного сегмента для мобільних операторів. У жовтні 2016 року в глобальному опитуванні 750 генеральних директорів майже 70% респондентів вказали, що

розглядають корпоративний сегмент як найважливішу можливість для мобільної індустрії в епоху 5G [6]. Нещодавнє опитування, проведене у квітні 2018 року, показало, що галузь прагне отримувати 40% своїх доходів від підприємств через п'ять років після 5G [7].

Для підприємств стільникові з'єднання 5G принесуть ряд переваг у порівнянні з попередніми стільниковими технологіями, такими як 4G. Він базується на 4G у ряді ключових областей, включаючи швидкість, ємність та затримку.

Хоча 4G використовується в усьому світі, він не зможе відповідати швидкості 5G, а також не зможе керувати величезною кількістю пристроїв у мережі. Як обговорювалося в попередньому розділі, затримка [8] також є ключовою відмінністю для 5G. Низька затримка, яку підтримує 5G, означає, що підприємства можуть покращити виробничі процеси на фабриках, наприклад, шляхом збільшення використання автоматизованої робототехніки та транспортних засобів.

У містах 5G дозволить покращити управління трафіком, підтримуючи величезну кількість IoT-з'єднань до світлофорів, камер і датчиків руху. Розумні лічильники, які підтримуються недорогими датчиками та з'єднаннями 5G IoT, відстежуватимуть споживання енергії та допоможуть зменшити споживання.

Недавнє дослідження [9] ринку GSMA Intelligence показало, що більшість підприємств уже використовують Інтернет речей. Було виявлено, що 65% опитаних підприємств впровадили рішення IoT. Більшість розгортань є невеликими, але розмір розгортань збільшиться з приходом 5G.

Ділові та технічні переваги 5G для підприємств узагальнено на наступних сторінках, на яких описано варіанти використання та бізнес-моделі, які забезпечує 5G, а також ключові вимоги та майбутні потенційні ролі операторів у міру розвитку технології 5G.

Отже, основні переваги:

- Підключення з високою пропускну здатністю для забезпечення безперебійної та високої якості обслуговування для інформаційно-розважальних, навігаційних та інших послуг.

- Низька затримка і висока пропускна здатність підключення можуть підтримувати взвод, що покращує паливну ефективність і зменшує кількість необхідних водіїв.

- У майбутньому з'єднання з низькою затримкою та високою пропускну здатністю можуть підтримувати дистанційне керування автомобілем та дистанційну підтримку (наприклад, технічне обслуговування транспортних засобів), що може відкрити нові послуги/зеконормити витрати.

- Слайси мережі надають менеджерам доріг/інфраструктури гнучкість для кращого керування їхньою інфраструктурою – фрагменти можуть бути виділені для певних функцій.

Бізнес рішення:

- Бізнес-моделі на основі даних стають доступними для виробників автомобілів; вони можуть монетизувати активи даних (наприклад, інформація про дорожній рух та моделі водіння) з іншими зацікавленими сторонами, такими як страхові компанії та керівники автопарку, яким ця інформація може бути цінною.

Ключові вимоги:

- MNO має надати чіткі угоди про рівень обслуговування (SLA) для мережевих сегментів.

- Необхідні більш тісні відносини між телекомунікаційними компаніями та виробниками автомобілів.

Потенційні можливості:

- Панрегіональні мережі.
- Державно-приватні партнерства (ДПП) з урядами/розумними містами, але дуже залежні від ринку.

2.4.2 Підключення рухомих засобів

Незважаючи на те, що розвиток автономних транспортних засобів привертає велику увагу, малоймовірно, що протягом кількох років буде масове впровадження повністю безпілотних транспортних засобів на дорогах загального користування. Однак, як крок у напрямку майбутнього без водія, підключені та розумні транспортні засоби все більше застосовуються. Наприклад, 75% автомобілів, відвантажених у 2020 році в Австралії, імовірно, мають підключення [10, 11]. У найближчі роки підключення транспортних засобів використовуватиметься не тільки для потокової музики та звітів про погоду: транспортні засоби спілкуватимуться з дорожньою інфраструктурою, іншими транспортними засобами на дорозі і навіть пішоходами – найближчі можливості, які можуть допомогти 5G та IoT.

Під час випробування підключеного транспортного засобу в Австралії оператор Telstra співпрацював із виробником транспортних засобів Lexus Australia для реалізації проекту стільникового зв'язку V2X (автомобілем до всього), який встановлює реальний вплив передових технологій підключення на підвищення безпеки дорожнього руху. Випробування Advanced Connected Vehicles Victoria (ACV2), спонсороване дорожнім органом VicRoads і Комісія з транспортних аварій (ТАС), має на меті продемонструвати шість варіантів використання, що підвищують безпеку. Усі ці варіанти використання (показані нижче) включають інтерфейс людини і машини (НМІ), щоб попереджати водіїв підключених транспортних засобів про потенційні небезпеки.

Ці попередження надходять через мережу Telstra 4G, яка була адаптована для надання послуг, подібних до 5G. Оскільки більшість із вищезазначених додатків є критичними за часом (при цьому своєчасне попередження про зіткнення є особливо важливим у потенційному сценарії життя або смерті), Telstra створила службу з низькою затримкою спеціально для пробної версії. Ця послуга знаходиться на вершині мережі 4G і використовує функції програмного забезпечення RAN (на базових станціях

4G), щоб забезпечити надійне з'єднання з меншою затримкою для обміну повідомленнями, що стосуються транспортних засобів, випереджаючи якість обслуговування, яке 5G може надати в найближчі роки. . Хоча ця послуга добре працює для поточних цілей, 5G (і зокрема URLLC) допоможе з наданням такого роду можливостей у масштабі.

Telstra створила значну зону для випробувань у Мельбурні, Австралія, з покриттям як міських, так і сільських доріг. Випробувальна діяльність включала як контрольоване випробування, так і випробування на дорозі, особливою особливістю проекту є «віртуалізація» придорожньої інфраструктури. Замість того, щоб встановлювати фізичні бокси на перехрестях, щоб транспортні засоби отримували інформацію про місцеве середовище, мобільний зв'язок із хмарною платформою, що зв'язує транспортні засоби з системами, керованими дорожніми органами, такими як SCATS (Сіднейська координована адаптивна система руху), обходить необхідність для розгалуженої фіксованої інфраструктури. Це не лише демонструє, як використання мобільних мереж може допомогти зменшити витрати на розгортання, але й підкреслює переваги, які може принести постійне вдосконалення мережі. Обробка всієї екосистеми взаємопов'язаних транспортних засобів та їх віртуального зв'язку з мережею доріг є одним із нових можливостей використання додаткової пропускної здатності, наданої 5G.

У автомобілях Lexus, які використовувалися в випробуванні (див. вище), також використовуються високоточні антени QZSS (супутникова система Quasi-Zenith), щоб гарантувати, що транспортні засоби можуть повідомляти про своє місцезнаходження з точністю на рівні смуги руху. Це дає змогу використовувати системи безпеки, такі як "помічник при повороті направо", коли автомобіль, який повертає на жвавій дорозі, сповіщається про те, що перед ним перетинають потенційно затьмарені пішоходи. Такий варіант використання, який вимагає як точності визначення місцезнаходження, так і низької затримки підключення, може зробити дороги

безпечнішими в короткостроковій перспективі. У довгостроковій перспективі такий точний обмін інформацією, який може надати екосистема 5G cellular-V2X, повинен допомогти надати напів- і повністю автономним транспортним засобам очі та вуха, необхідні для безпечного масштабного використання на наших дорогах.

2.4.3 Використання 5G для підприємства

Основні переваги:

- Для передачі відео високої роздільної здатності в режимі реального часу потрібна висока пропускна здатність і низька затримка 5G.

- Хмарні ігри вимагають низької затримки та високої пропускної здатності 5G. Пограничні обчислення також можуть допомогти обробляти великі обсяги даних, тобто гарнітура AR/VR сама по собі не потребує розширених можливостей обробки.

- Низька затримка та висока пропускна здатність 5G можуть підтримувати пряму трансляцію за допомогою смартфонів та інтерактивний і захоплюючий досвід VR.

- У секторі роздрібною торгівлі 5G дозволить використовувати віртуальну реальність для покращення якості обслуговування клієнтів при покупці/парковці тощо.

- Рекламні можливості для медіа/постачальника контенту, наприклад захоплююча роздрібною торгівля.

- Підприємство може мати власну приватну мережу. Однак це може бути дуже дорогим, оскільки для управління та роботи потрібні ресурси.

Основні вимоги:

- Вміст у прямому ефірі вимагає низької затримки, високої пропускної здатності та високої надійності підключення.

- Програвачам медіа та контенту потрібні оператори, щоб краще співпрацювати та домовитися про загальні інтерфейси програмного забезпечення (API) для розробників.

Потенціальні можливості:

- Програвачі медіа та контенту готові експериментувати з варіантами використання 5G.

- Компанії, що працюють у меншій екосистемі, цінують охоплення та маркетингові витрати, до яких можна отримати доступ через партнерство з операторами мобільного зв'язку.

- Бізнес-моделі розподілу доходу для нових послуг із залученням кількох сторін.

- Запатентовані платформи допомагають операторам диверсифікуватися, підвищувати доходи та просуватися далі в ланцюжку створення вартості.

- Хмарні обчислення є ключовими для обробки великих обсягів відеотрафіку: оператори можуть надавати пов'язані хмарні послуги доставки медіа та вмісту.

У цьому звіті розповідається про те, як Інтернет речей допомагає зробити ігри більш захоплюючими та привабливими, ніж будь-коли раніше.

2.4.4 Розумне місто

Використання 5G та основні переваги [22]:

- Підключені транспортні засоби для поліції, підключені до світлофорів.

- Масове переведення в цифру державних послуг. Наприклад, поліцейські зі смартфонами, здатними передавати високоякісний голос і відео з місць злочину.

- Розумне управління містом. Наприклад, загальноміські моніторинги якості повітря, щоб інформувати громадськість про потенційні небезпеки.
- Розрізання мережі для забезпечення більш високої безпеки та надійності для критично важливих служб.

Переваги:

- Державний сектор цінуватиме ефективність витрат, безпеку та надійність.
- Муніципалітет може мати власну приватну мережу. Однак це може бути дуже дорогим, оскільки для управління та роботи потрібні ресурси.

Ключові вимоги:

- Потрібна гарантія на обслуговування.
- Потрібен пріоритет мережі для екстрених служб.
- Потрібне недороге та надійне підключення від 5G.

Потенційні можливості:

- Оператори мають потенціал перепродати послуги, що надаються державному сектору, приватному сектору. Наприклад, перепродаж послуг з визначення пріоритетів з надбавкою підприємствам.

Так, таке місто як Чикаго (США) переживає трансформацію. Використовуючи потужність великих даних і Інтернету речей, місто фундаментально покращує свої послуги та економіку. 5G ще більше покращить аналіз величезної кількості даних, які генеруються пристроями IoT, використовуючи периферійні обчислення для обробки даних майже в реальному часі. У цьому короткому відео адміністрація міста та AT&T обговорюють, як співпраця була життєво важливою для успіху різних ініціатив Чикаго¹ «розумне місто» [14].

¹ <https://www.gsma.com/iot/resources/smart-city-chicago/>

2.5 Використання 5G та охорона здоров'я

Використання 5G у сфері охорони здоров'я надає такі основні переваги [15]:

- Навчання молодших лікарів для хірургічного втручання з використанням AR/VR, що надається через низьку затримку та високу пропускну здатність 5G.
- Дротові з'єднання в операційних можна замінити на безпечні бездротові з'єднання з низькою затримкою, які стали можливими завдяки 5G.
- Покращення віддаленої діагностики в режимі реального часу шляхом надання високоякісного відео через 5G.
- Використання роботів для відпуску фармацевтичних препаратів, підтримки діагностики та, зрештою, виконання хірургічних операцій, при цьому 5G забезпечує необхідну низьку затримку та високу пропускну здатність підключення.
- Аналітика даних у медичних записах, наприклад, КТ, може допомогти визначити пріоритети пацієнтів.

Суттєві переваги застосування:

- Більше про оптимізацію витрат, ніж про нові бізнес-моделі. Основна увага буде зосереджена на забезпеченні найкращого досвіду для пацієнтів і лікарів.

Ключові вимоги:

- 5G має забезпечувати таку саму затримку, що й дротові мережі, без перерв, оскільки безпека пацієнтів має першорядне значення.
- Низька ціна на стільникове підключення для діагностичних пристроїв, пропонуючи таку ж високу продуктивність, як і оптоволоконне підключення.

Потенційні можливості:

- Оператори можуть надавати хмарні сховища/центри обробки даних, передаючи ці активи на аутсорсинг іншим сторонам, які недостатньо великі, щоб мати власні.
- Диверсифікація потоків доходів.
- Уряди шукають інноваційних партнерів та моделі ДПП для використання медичних послуг

Щільне населення міст може ускладнити надання медичних послуг і прискорити поширення хвороби. Технологія 5G та IoT може покращити моніторинг здоров'я населення міста, надаючи екстреним службам нові інструменти для покращення часу реагування на надзвичайні ситуації. Цей варіант використання описує, як оператор надав інструменти для ефективного припинення спалаху смертельної лихоманки.

2.6 Виробництво

Бездротове підключення великої кількості пристроїв безпечним і економічно ефективним способом, оскільки дротові з'єднання дорогі та негнучкі.

Увімкнення віртуального керування машинами з низькою затримкою підключення 5G. Це призводить до оптимізації витрат, оскільки на одному поверсі потрібно менше ЦП (центрального процесора).

Телеметрія/обмін інформацією між великою кількістю взаємопов'язаних пристроїв у режимі реального часу. Комбінація хмарних обчислень, eMBB і mMTC може використовуватися для передачі інформації в режимі реального часу з високою роздільною здатністю.

Частини мережі можна зарезервувати для певних функцій.

Нові бізнес-моделі, що досягаються:

- Надання послуг клієнтам на основі аналізу даних, які генеруються підключеними пристроями. Наприклад, прогнозне обслуговування або надання хмарних обчислень.

- Інновації продуктів на основі мережевого обладнання та машин.

Ключові вимоги до впровадження технології:

- Мінімальна вимога для 5G – забезпечити подібну затримку до фіксованої мережі для критично важливих додатків.

- Може знадобитися підтримка зворотної сумісності з пристроями більш раннього покоління.

- Чітко повідомляйте, що NB-IoT і LTE-M і надалі підтримуватимуться як частина 5G, а також надайте чіткі терміни розгортання та технологічної підтримки.

Потенційні можливості

- Надання послуг з кібербезпеки.

- Потенціал для операторів використовувати їх глобальний охоплення та допомогти забезпечити «заготовку» підключення, щоб спростити розгортання пристроїв.

- Потенціал для операторів стати постачальниками платформ даних.

Цей приклад ілюструє, як Ericsson використовує мобільний Інтернет речей 5G та інші стільникові мережі для підтримки широкого спектру різних виробничих випадків, оптимізуючи виробничі процеси за допомогою єдиної комунікаційної системи.

2.7 Можливості та вигоди для споживачів

Перші мережі 5G налаштовані на трансформацію мобільного широкопasmового доступу для споживачів, забезпечуючи швидкість завантаження понад 1 Гбіт/с, щоб забезпечити стабільно високоякісний

мобільний широкосмуговий доступ із надійним доступом до Інтернету вдома, в офісі та в дорозі. Цей покращений, надійний і високошвидкісний мобільний широкосмуговий доступ доповнюватиметься пристроями та додатками IoT, за допомогою мобільних мереж Інтернету речей операторів.

Одним із остаточних тестів для 5G буде захоплення величезної кількості даних, створених споживчими пристроями IoT. Тут 5G має бути найкращим завдяки своїй ємності, пропускній здатності та можливостям з низькою затримкою, які можуть підтримувати периферійні обчислення, машинне навчання та штучний інтелект, щоб збирати, аналізувати та реагувати на запити споживачів у режимі реального часу.

Як обговорювалося раніше, транспорт є однією з важливих сфер, де споживачі мають отримати вигоду, оскільки пристрої Інтернету речей, підключені до 5G, забезпечують ряд посиленних заходів безпеки для водіїв. До них належать розширені можливості попередження, виявлення зіткнень, виявлення вразливих користувачів, використання вбудованих датчиків IoT та покращені інформаційно-розважальні засоби.

У червні 2017 року 3GPP завершила стандартизацію технології Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X). Ця стільникова технологія, заснована на LTE, призначена для підключення транспортних засобів один до одного, до придорожньої інфраструктури, до інших учасників дорожнього руху та до хмарних сервісів через Інтернет речей. Поєднання технологій 5G NR, URLLC, граничних, хмарних і мережевих технологій дозволить додаткам, які прокладають шлях до автомобілю з системою допомоги та повністю автономних транспортних засобів. Автомобілісти отримають вигоду від меншої кількості аварій, підвищеного комфорту водіння та більш економічного дорожнього транспорту.

2.8 Розширена мобільна широкосмугова система доступу (EMBB)

GSMA очікує, що 5G розширить ринок споживчого Інтернету речей, забезпечуючи високошвидкісний, надійний і безпечний розширений

мобільний широкосмуговий доступ (eMBB) на ранніх етапах його впровадження [11]. Розширений MBW підтримуватиме доставку споживчого відео високої чіткості (наприклад, телебачення та ігри), занурюючі комунікації, такі як відеодзвінки та доповнена та віртуальна реальність, а також послуги розумного міста, включаючи відеокамери IoT для спостереження.

Найбільшою перевагою 5G буде його здатність підтримувати великі обсяги трафіку даних і велику кількість користувачів, включаючи пристрої IoT. За деякими оцінками, 5G забезпечить ємність щонайменше 100 ГБ на місяць на кожного клієнта [12]. Крім того, вартість за біт зменшиться, що потенційно робить можливими «необмежені» пакети даних.

5G також підтримуватиме низьку затримку та високу пропускну здатність послуги IoT для споживачів. «Тактильний Інтернет», що забезпечує контроль пальців над віддаленими активами, і «занурюючі комунікації», такі як відеоконференції високої чіткості, є прикладами споживчого використання, які отримують вигоду від менших затримок 5G, які, за прогнозами, становитимуть лише 1 мс між пристрій і базова станція.

2.9 Фіксований бездротовий доступ (FWA)

Системи фіксованого бездротового доступу (FWA) можна використовувати для забезпечення доступу до Інтернету в будинках за допомогою бездротових технологій, а не фіксованих ліній.

5G FWA дозволяє швидко та економічно налаштувати послуги домашнього широкосмугового доступу в районах, які не мають доступу до домашнього широкосмугового фіксованого зв'язку. Споживчий 5G FWA, ймовірно, матиме великий вплив як на ринках, що розвиваються, так і на розвинутих, забезпечуючи доступність широкосмугового доступу до сільських районів, які не обслуговуються операторами фіксованого зв'язку. Основною перевагою FWA для споживачів є продуктивність: FWA забезпечить швидкість, подібну до послуг на основі волокон. Крім того,

вартість розряду підключення домогосподарства до широкосмугового зв'язку за допомогою FWA може бути на 74% нижчою, ніж на дротове з'єднання [13]. Для клієнтів поява 5G означає, що раніше не підключені домогосподарства та спільноти усвідомлять переваги більшої швидкості, ємності та пропускної здатності для підтримки зростаючої кількості пристроїв IoT.

Оскільки клієнти всюди вимагають високої пропускної здатності та низької затримки підключення, як мобільні, так і фіксовані мережі потрібно буде згущувати, щоб ефективно обслуговувати випадки використання як споживачами, так і бізнес.

FWA може надати економічний засіб для досягнення згущення мережі, забезпечуючи широкосмугову мережу в регіонах, де інфраструктура дротових мереж відсутня або існує лише інфраструктура мідних проводів. Цей документ GSMA зосереджується на FWA на основі стандартів 3GPP, включаючи 4G LTE і 5G NR [23].

2.10 Мобільний IoT — частина 5G

Багато додатків IoT добре підтримуються існуючими стільниковими мережами 4G, включаючи ті, що використовують технології LTE-M і NB-IoT. Але 5G ще більше покращить ці мережі мобільного Інтернету речей.

Масове підключення до Інтернету речей на основі глобальних мереж малої потужності стане менш дорогим і менш складним у міру розвитку технології, створюючи основу для енергоефективних інтелектуальних послуг.

3GPP включив LTE-M і NB-IoT в специфікації 5G, підтверджуючи їх довгостроковий статус як частину майбутніх стандартів 5G.

Масштабне розгортання 5G прискориться, коли IoT стане вбудованим у корпоративні та споживчі програми, багато з яких розробляються малими та середніми підприємствами.

Наведені нижче приклади показують, як мобільні додатки IoT, що використовують технології LTE-M і NB-IoT, розгортаються для підтримки широкого спектру випадків використання.

У Китаї провідні мобільні оператори використовують технології Mobile IoT для підключення мільйонів споживчих пристроїв, приладів і машин.

Розроблений для підключення пристроїв із низькими вимогами до пропускної здатності, NB-IoT значно покращує енергоспоживання користувальницьких пристроїв, ємність системи та ефективність використання спектру, порівняно з іншими бездротовими технологіями, особливо глибоко в приміщенні та в інших важкодоступних місцях. Термін служби батареї пристрою більше 10 років можливий для широкого кола випадків використання [21].

2.11 Актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку та способи їх вирішення у мережах зв'язку п'ятого покоління

2.11.1 Поточна ситуація

На початок 2017 року більше половини населення світу покладається на 2G, а мережі 3G доступні переважно у розвинених регіонах. Мережі 4G знаходяться у процесі розгортання. На сьогоднішній день їх розвиток активно продовжується. Найбільш актуальними стандартами є LTE Advanced (LTE-A) та WiMAX 2 (WMAN-Advanced, IEEE 802.16m) [26].

На сьогоднішній день у світі існує більше 470 мережі 4G/LTE. На початок 2017 року, за даними стільникових операторів, у зоні покриття перебуває понад 70% населення. Кількість базових станцій мобільного зв'язку стандарту LTE та подальших його модифікацій у 2016 році в Європі збільшилася на 54,4 % – до 111,519 тисяч з 72,2 тисяч у 2015 році. Варто зважити, що різні оператори забезпечують різний рівень покриття. Іноді мережа запускається лише у адміністративних центрах регіонів. Для організації голосових дзвінків в даний час використовується підхід CSFB, проте йде тестування та планується до запуску VoLTE [28].

Оператори стільникового зв'язку домовляються про використання та будівництво мережі за принципом Radio Access Network sharing. Це дозволяє суттєво зменшити витрати на будівництво та обслуговування мереж, тому що фактично потрібна лише одна мережа, яка використовується двома компаніями одночасно.

На рисунку 2.1 показано ступінь розвитку мереж LTE у різних країнах.



Рисунок 2.1 – Впровадження технології LTE станом на кінець 2016 року

Разом з тим, не можна не наголосити на негативних факторах, що стримують розвиток ринку:

- девальвація національної валюти та складності в економіці;
- зумовлене вищезазначеними економічними причинами зростання ціни смартфонів та планшетів з LTE;
- зростання витрат на інфраструктуру в операторів, які закупають обладнання іноземній валюті.

- Середня ціна LTE-смартфонів, як і раніше, відчутно вище середньої ціни звичайних у 2..3 рази.

На рисунку 2.2 наведено порівняння середньої швидкості в технологіях 2G, 3G, 4G та Wi-Fi.

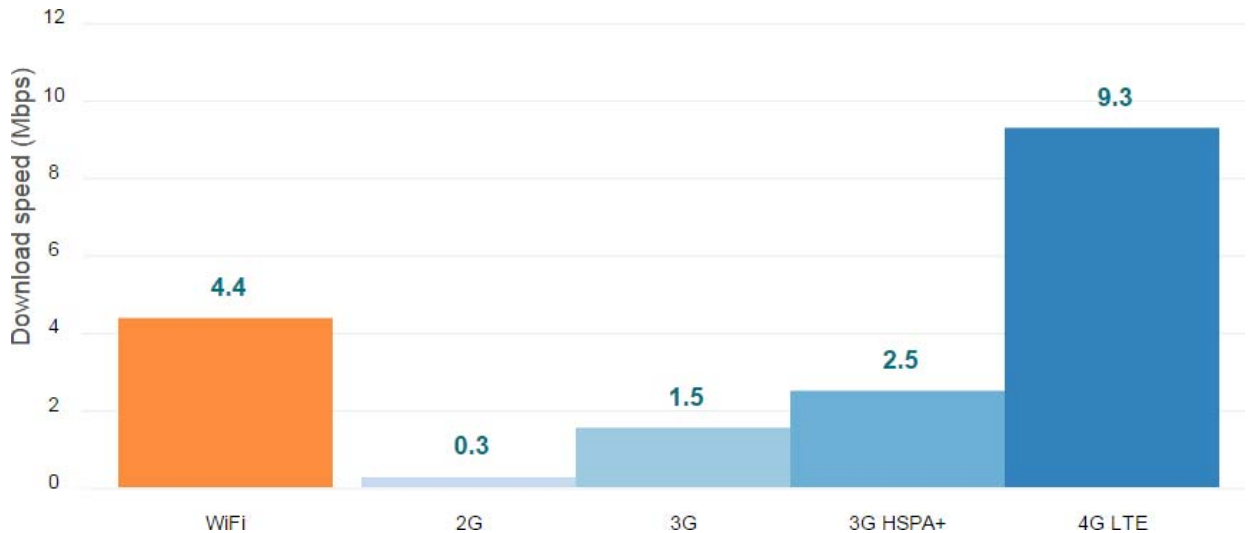


Рисунок 2.2 – Порівняння середньої швидкості у технологіях 2G, 3G, 4G та Wi-Fi

2.12 Поточні проблеми та основні причини появи мереж 5G

Останніми роками мобільний трафік впевнено зростає, і цей тренд збережеться найближчим часом. Згідно з різними прогнозами, після 2024 року кількість трафіку, що обробляється системами мобільного зв'язку, перевищуватиме нинішні показники більш ніж у 100 разів [30].

Потокове відео, файлообмінні мережі та хмарні послуги будуть все більш затребуваними, стимулюючи збільшення швидкості передачі даних. У районах із щільною багатоповерховою забудовою необхідно буде забезпечити швидкість передачі даних у кілька Гбіт/с. Це забезпечить синхронізацію локальних сховищ з хмарними та мережними дисками, передачу відео надвисокої чіткості та підтримання роботи програм віртуальної та доповненої реальності.

В даний час у всьому світі працює понад 5 млрд. мобільних пристроїв, підключених до мережі Інтернет. Згідно з прогнозами, кількість підключених пристроїв, що використовуються в розумних містах, розумних будинках та інтелектуальних енергомережах, перевершить кількість пристроїв у 10 ... 100 разів [31].

Збільшення кількості підключених до мережі пристроїв призводить до виникнення нових способів їх використання, що дозволяє визначити нові вимоги до мереж, які змінюються в залежності від пристрою та від сценарію його використання.

Вартість будівництва, експлуатації та обслуговування мережі, а також вартість пристроїв повинні бути на такому рівні, щоб була можливість надання послуг за привабливою для абонентів ціною, але водночас бути вигідними для мобільних операторів.

Неабияке значення для досягнення малої вартості експлуатації мереж має ефективність енергоспоживання. Незважаючи на те, що сьогодні викиди вуглекислого газу в секторі інформаційно-комунікаційних технологій становлять лише близько 2% від викидів по всьому світу, важливо працювати над зміною ефективності енергоспоживання, знижуючи викиди CO₂.

Для вирішення цих проблем проводиться розробка мереж мобільного зв'язку нового покоління, що відповідають таким вимогам:

- швидкість передачі даних більше 1 Гбіт/с для підтримки відео високої роздільної здатності та додатків віртуальної реальності та 10 Гбіт/с для підтримки мобільних хмарних сервісів;
- час затримки та відгуку менше 1 мілісекунди для забезпечення керування в реальному часі та додатків/комунікацій, пов'язаних з транспортними засобами;
- час перемикання до 10 мілісекунд між різними технологіями радіодоступу задля забезпечення безперервного надання сервісів;
- дуже велика мережева ємність та постійна готовність;

- споживання енергії: енергоспоживання для 1 біт інформації має бути знижено для збільшення часу життя акумуляторної батареї підключеного пристрою.

2.13 Вирішення актуальних проблем у мережах п'ятого покоління

Існуючі технології мобільного широкосмугового доступу, такі як HSPA та LTE, будуть і надалі розвиватися та забезпечать основу нового стандарту мереж п'ятого покоління. Висока якість доступу до високошвидкісних мобільних сервісів стане можливою завдяки впровадженню інтелектуальних антен з великою кількістю керованих елементів та освоєння нових частотних діапазонів. Крім того, зміни полягатимуть у суттєвому розширенні міжмашинної взаємодії.

З метою обробки значного обсягу користувальницького трафіку та досягнення швидкості передачі даних у кілька Гбіт/с у конкретних сценаріях планується надщільне розгортання мереж, базові станції у яких будуть використовувати дуже широку смугу пропускання у верхніх діапазонах частот за допомогою нових технологій радіодоступу.

Надщільні мережі будуть складатися з малопотужних базових станцій, які мають набагато вищу щільність порівняно з тим, як базові станції встановлюються сьогодні. У крайніх випадках всередині приміщень базові станції встановлюватимуться у кожній кімнаті, а поза приміщеннями вони розміщуватимуться по відношенню один до одного на відстані освітлювальних стовпів. Для підтримки гігабітних швидкостей надщільні мережі повинні забезпечувати смугу пропускання не нижче за кілька сотень мегагерц з можливістю розширення до декількох гігагерц. Надщільні мережі будуть працювати більшою мірою в діапазоні частот 10...100 ГГц. Актуальним є питання про використання даних частот для глобального розгортання, у тому числі щодо загасання сигналу при його проникненні в приміщення. Розглянуті частоти більше підходять передачі даних на короткі відстані, властиві надщільним мережам. Високочастотні діапазони

полегшують завдання забезпечення широкої смуги пропускання, необхідної підтримки гігабітних швидкостей передачі даних [32].

Незважаючи на те, що надщільні мережі працюватимуть в іншому діапазоні і, швидше за все, будуть засновані на нових технологіях радіодоступу, вони повинні бути добре інтегровані з вже побудованим рівнем стільникових мереж. При цьому користувач не повинен відчувати жодного дискомфорту при переміщенні із зони покриття надщільних мереж і назад.

У тих ситуаціях, коли користувачі знаходяться на малій відстані один від одного, і коли інформація специфічна для конкретного місця використання (безпека руху, державна безпека, охорона громадського порядку та загальні служби ближньої дії), є сенс в організації обміну даними безпосередньо між пристроями за протоколом "пристрій" (D2D). Під управлінням мережевого протоколу D2D запропонує локальним службам надійність класу оператора мобільного зв'язку, оскільки мережа зможе управляти трафіком D2D у ліцензованому діапазоні. Крім того, D2D зможе послужити важливим компонентом для програм охорони громадського порядку, оскільки дозволяє використовувати локальний зв'язок навіть у разі пошкодження мережевої інфраструктури [33].

Надійність значною мірою залежить від архітектури та конфігурації мережі, а також достатньої кількості ресурсів для обробки пікових навантажень. Щодо інфраструктурного обладнання нового покоління необхідно диференціювати різні види трафіку на рівні мережі, і в першу чергу обробляти критично важливі. Значна складність полягає у поєднанні малого часу затримки та високої надійності. Для цього потрібно переглянути взаємодію елементів сьогodнішніх систем мобільного широкосмугового доступу, які в основному націлені на пропускну здатність, покриття та швидкість передачі даних. Для оптимізації мереж та забезпечення малих значень часу затримки слід змінити співвідношення між конструкцією керуючого каналу, кодуванням, адаптивною модуляцією та керуванням радіоресурсами. Там, де необхідно вкрай малий час затримки, потрібно буде

впровадити нову технологію, що дозволить забезпечити коротші часові інтервали передачі [34].

Як було зазначено вище, у майбутньому ще важливішу роль відіграватиме енергоефективність, яка має стати важливою метою при проектуванні всіх рішень 5G. Скорочення радіуса сотів у щільних мережах, а також мінімізація сигнального трафіку при виявленні мережі та синхронізації значно зменшать енергоспоживання у мережах п'ятого покоління.

Технології п'ятого покоління до 2020 року і в наступний період вимагають значно ширшого діапазону частот і більш високих несучих з метою підтримки очікуваного приросту трафіку і ще більш високих швидкостей передачі даних, не рахуючи вже робіт з пошуку нових частотних діапазонів для сучасних систем LTE і HSPA . До 2020 року й надалі будуть необхідні нові частотні спектри, як у вже використовуваних сьогодні, так і більш високочастотних діапазонах. Перше необхідно для покращення якості обслуговування на глобальному рівні, а друге забезпечить ширші смуги для надвисокої якості обслуговування у конкретних ситуаціях.

2.14 Технологічні рішення мереж п'ятого покоління

2.14.1 Massive MIMO

Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) полягає у використанні декількох антен на приймальній та передавальній сторонах, що дозволяє збільшити пропускну здатність без розширення смуги частот або збільшення потужності сигналу (рисунок 3). У даній технології швидкість передачі даних зростає практично пропорційно до кількості антен, при цьому якість сигналу покращується за рахунок прийому сигналу відразу декількома антенами [35].

Для мобільних систем особливий інтерес має технологія Multi-User MIMO (MU-MIMO), що дозволяє забезпечувати передачу незалежних потоків даних різним користувачам одночасно.

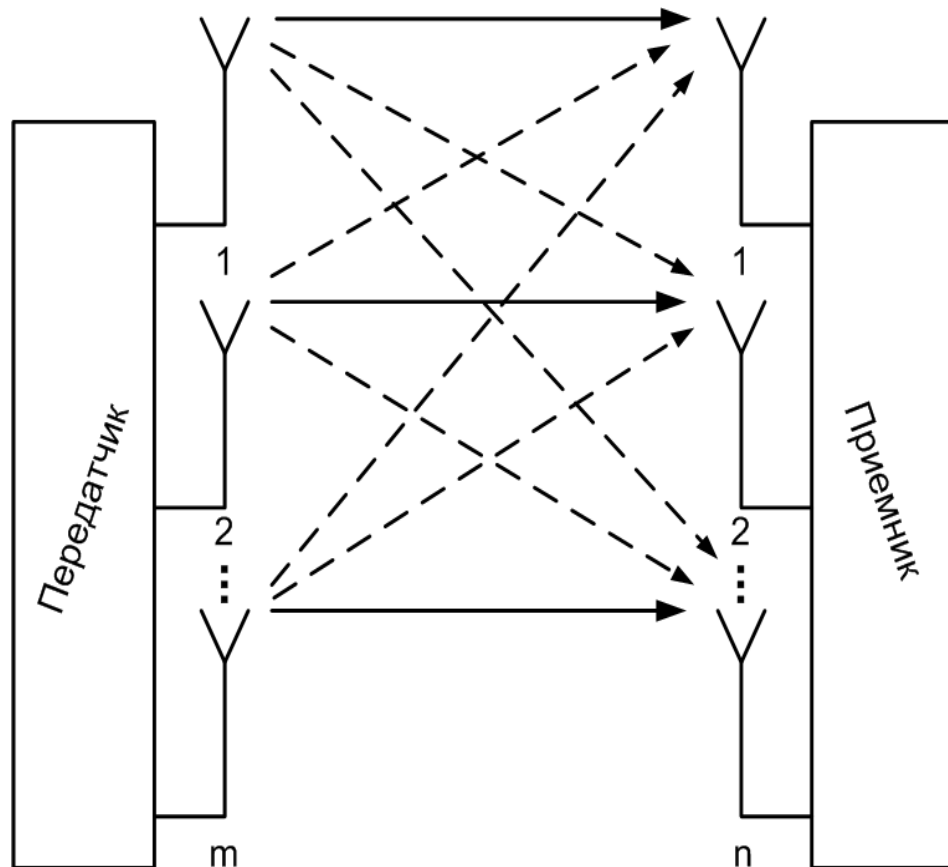


Рисунок 2.3 – Технологія MIMO

2.14.2 Перехід у сантиметровий та міліметровий діапазони

На сьогоднішній день мережі третього та четвертого поколінь працюють у частотних діапазонах менше 3 ГГц. Передбачається, що перехід у вищі діапазони буде здійснено в мережах п'ятого покоління. На дальність зв'язку в міліметровому діапазоні значний вплив надає атмосферне згасання, пов'язане з поглинанням енергії радіохвиль молекулами різних речовин, насамперед води та кисню (рисунок 2.4).

Вирішити цю проблему можна підвищуючи потужність передачі, обмежену санітарними нормами. Базові станції мереж п'ятого покоління планується розміщувати щільніше, ніж зараз, що необхідно для створення більшої ємності мережі, а також для вирішення проблеми затухання сигналу в діапазоні міліметрових хвиль.

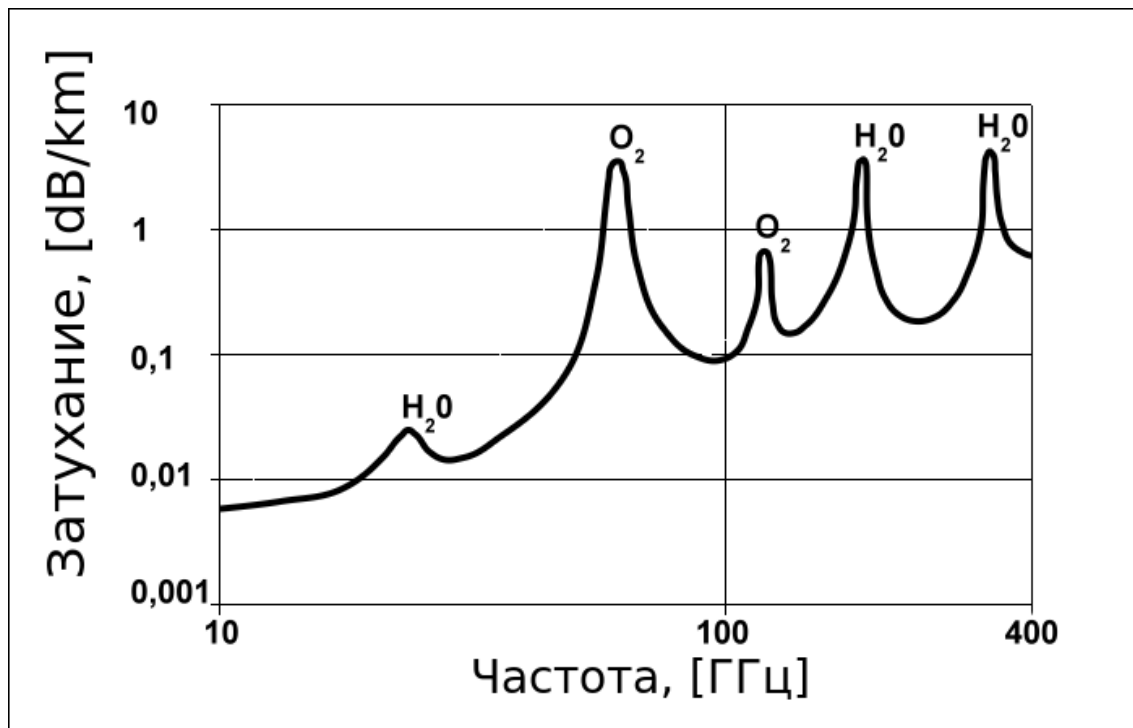


Рисунок 2.4 – Графік залежності загасання в атмосфері від частоти у діапазоні КВЧ

2.14.3 Мультитехнологічність

Для забезпечення високої якості обслуговування в мережах 5G необхідна підтримка існуючих стандартів, таких як GSM, UMTS, LTE, а також Wi-Fi. Базові станції, що працюють за технологією Wi-Fi, можна використовувати для розвантаження трафіку в особливо завантажених місцях.

2.14.4 D2D (Device-to-device)

Технологія device-to-device дозволяє пристроям, які знаходяться на малій відстані один від одного, здійснювати обмін даними безпосередньо без участі мережі 5G, через ядро якої проходить лише сигнальний трафік.

2.14.5 M2M (Machine-to-machine)

Міжмашинна взаємодія (M2M) – загальна назва технологій, які дозволяють машинам обмінюватися інформацією один з одним, або

передавати її в односторонньому порядку. Система M2M складається з кількох елементів: периферійні вузли, комунікаційне обладнання та програмне забезпечення. Периферійні вузли це найчастіше датчики, що визначають стан довкілля та умови роботи фізичних пристроїв. Після збору докладної інформації вона негайно перетворюється на цифрові сигнали, які передаються потім через мережу. Передавання даних до програм та інших вузлів забезпечує комунікаційне обладнання. Програмне забезпечення на основі аналізу даних, отриманих від датчиків, приймає рішення та надсилає команди пристроям. Використання такої бездротової технології має цілу низку незаперечних переваг. Застосування M2M-обладнання дозволяє заощадити на прокладці кабельної інфраструктури і зберегти дорогоцінний час, скоротити кількість персоналу, що обслуговується, зробити бізнес більш ефективним і легко керованим [36].

2.14.6 Використання нових сигнально-кодових конструкцій у мережах 5G

Однією з умов майбутнього розвитку 5G буде підвищення спектральної ефективності сигналів, що передаються за рахунок застосування нових сигнально кодових конструкцій на основі неортогональних сигналів і FTN-сигналів, відмінних від OFDM-сигналів, що використовуються в мережах 4G [37].

2.14.7 Нова архітектура мережі

На думку ряду експертів, мережі 5G повинні стати «пристрої орієнтованими», а не «сот-орієнтованими». Передбачається, що в мережах 5G пристрої одночасно зв'язуватимуться з кількома сотами, що забезпечить їм надійне з'єднання з мережею.

Зараз мережі радіодоступу складаються з великих (макро-) стільник, які забезпечують безперервність покриття/мобільність абонентів, і малих (мікро-) стільник, які встановлюються в місцях з найбільшою щільністю абонентів (хотспотах) і забезпечують там необхідну додаткову ємність.

Розмір макросот, переважно, визначається використовуваним діапазоном частот. Для радіомереж стандартів 2G/3G/4G зараз у Росії використовуються частоти від 800 до 2600 МГц. Якщо для мереж 5G не будуть задіяні вищі частоти, щільність установки базових станцій, що формують макростільники, не потрібно збільшувати. Що ж до мікросот, їх кількість (щільність установки) пропорційно необхідної ємності. Оскільки вимоги до ємності зростають на порядки від покоління до покоління мобільного зв'язку, можна прогнозувати значне зростання необхідної кількості мікросот при впровадженні 5G.

Висновки з розділу

1. Мережі 5G можуть обслуговувати дуже широкий спектр пристроїв та їх різноманітні вимоги до обслуговування, мережі 5G також можуть безпечно обробляти величезний обсяг даних, які будуть створюватися пристроями IoT. Хмарні обчислення, штучний інтелект і периферійні обчислення також допоможуть обробляти обсяги даних, створених Інтернетом речей.

2. Глобальна технологія 5G впроваджується послідовно з використанням міжнародних стандартів 3GPP. Він був розроблений для забезпечення підтримки Інтернету речей, і він продовжує розвиватися з постійними вдосконаленнями узгоджених стандартів. Спираючись на підтримку Інтернету речей 4G, випуски 15 і 16 специфікацій 3GPP забезпечать додаткову підтримку пристроїв IoT з функціями 5G, включаючи наднадійність і низьку затримку.

3. Подальші вдосконалення 5G, такі як розділення мережі, непублічні мережі та ядро 5G, в кінцевому підсумку призначені для того, щоб допомогти реалізувати бачення глобальної мережі IoT, підтримуючи величезну кількість підключених пристроїв із різноманітними вимогами до мобільності та доступності.

РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G В УМОВАХ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ

На сьогоднішній день продовжується активне зростання мереж мобільного зв'язку. Можливості, які відкриваються мобільними технологіями, давно перейшли за рамки голосових послуг. Експонентне зростання трафіку в мережах по всьому світу пояснюється широким розповсюдженням пристроїв, підключених до мереж мобільного зв'язку.

У процесі розвитку мобільних мереж до них пред'являються нові та різні вимоги. Вектор розвитку технологій прагне до збільшення продуктивності та зростання кількості можливостей.

На додачу до існуючих технологій третього і четвертого поколінь, скоро з'являться технології, що дозволяють вирішувати ті завдання, які в рамках сучасних поколінь мобільного зв'язку вирішити неможливо. Грамотна інтеграція існуючих та нових технологій призведе до підвищення якості обслуговування та появи великої кількості нових послуг.

Результатом розвитку технологій стане поява мереж п'ятого покоління (5G). Вважається, що мережі четвертого покоління (4G) будуть домінуючими у всьому світі та після 2020 року, через що прийнято говорити не про заміну існуючих технологій на 5G, а про їх розвиток та доповнення новими технологіями радіодоступу, призначеними для конкретних сценаріїв та певних цілей [24].

Вочевидь, що поява мереж нового покоління з низки причин має найбільшу актуальність у містах. Це пов'язано з високими запитами щодо швидкості передачі даних, пропускної спроможності, ємності мережі, а також з вимогами до малого часу відгуку та низького енергоспоживання мобільних пристроїв. Ключовими технологічними рішеннями для реалізації мереж п'ятого покоління прийнято вважати технологію MIMO та перехід у сантиметровий та міліметровий діапазони частот [25].

Об'єктом дослідження є мережа 5G за умов багатоповерхової забудови. Предметом дослідження є аналіз особливостей проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO та хвиль сантиметрового та міліметрового діапазонів.

Метою дослідження є визначення особливостей проектування мережі 5G за умов багатоповерхової забудови. До завдань дослідження відносяться виявлення актуальних проблем сучасних мереж зв'язку, способів вирішення актуальних проблем у мережах п'ятого покоління, сценаріїв використання мереж п'ятого покоління, способів технічної реалізації мереж п'ятого покоління, аналіз особливостей проектування та будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови, моделювання прототипу мережі п'ятого покоління у програмі Wireless InSite.

Виявлення актуальних проблем сучасних мереж зв'язку дозволяє визначити вимоги до технологій п'ятого покоління, спрогнозувати сценарії їх використання, після чого розглянути способи технічної реалізації. У практичній частині роботи проводиться моделювання прототипу мережі 5G, де використовується базова станція з малою сотою. Розглядається кілька сценаріїв з різними типами антен – одиночної, MIMO та Massive MIMO, що працюють на частотах 3,55 ГГц та 30 ГГц.

Мобільний пристрій переміщується за заданим маршрутом зі швидкістю 10 м/с, в результаті моделювання можна визначити зміну прийнятої потужності залежно від розташування пристрою щодо базової станції. Це дозволяє визначити, як тип антени, частота і розташування базової та мобільної станцій, що використовується, впливають на якість зв'язку і вибрати оптимальний варіант.

3.1 Особливості поширення сигналу за умов щільної багатоповерхової забудови

У мобільному радіозв'язку параметри каналу змінюються у часі, оскільки пересування абонента у просторі призводить до зміни умов

поширення сигналу. Швидкість зміни умов поширення визначає швидкість замирань. Найчастіше мобільний канал зв'язку характеризується відсутністю прямої видимості між передавачем і приймачем, насамперед, за умов щільної міської забудови.

Якщо є велика кількість багаторазово відбитих променів, і немає прямої видимості, огинаюча отриманого сигналу може статистично описана за допомогою релеєвської функції ймовірності. Характер замирань у разі називають релеєвским. На рисунку 3.1 показаний багатопроменевий характер поширення сигналу внаслідок відбитків.

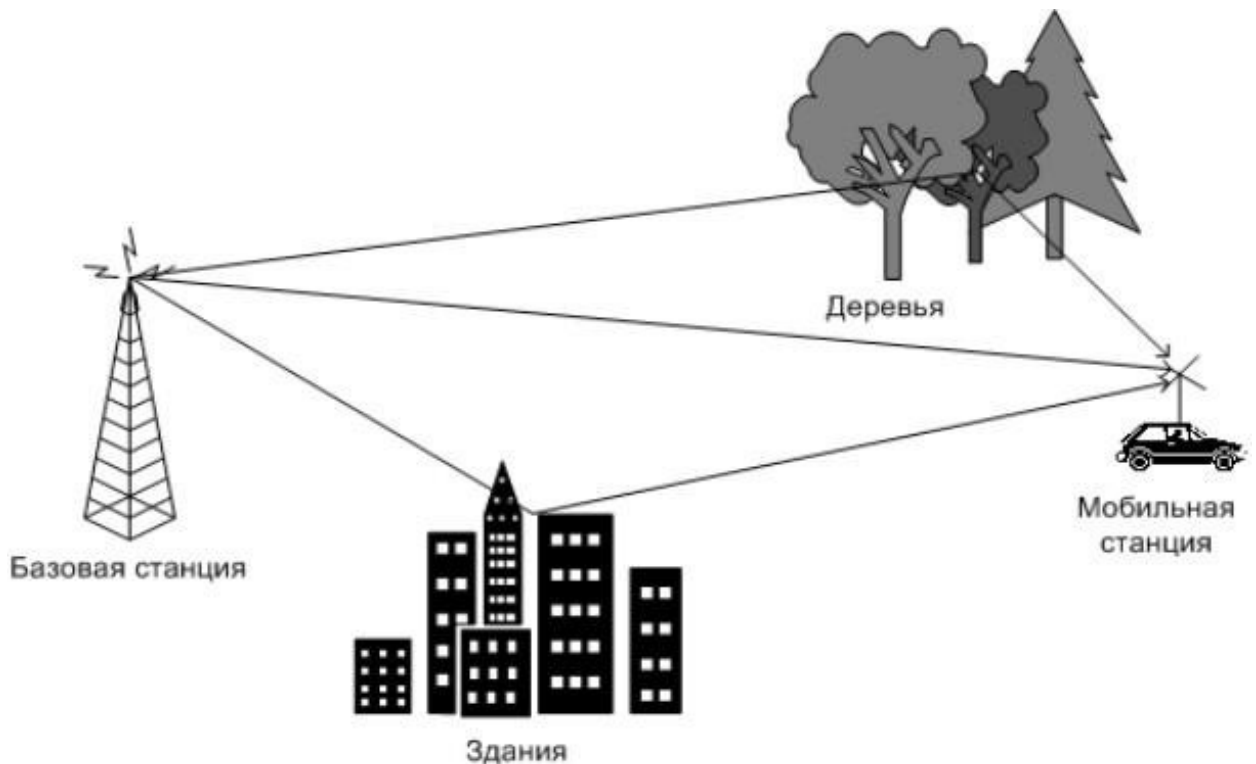


Рисунок 3.1 – Приклад багатопроменевого характеру розповсюдження сигналу внаслідок відображення

У мобільному каналі зв'язку сигнал зазнає впливу різних типів спотворень.

Багатопроменеве поширення виникає в результаті відображення, розсіювання та дифракції електромагнітних хвиль при взаємодії з різними

об'єктами у просторі. Таким чином, сигнал у приймальній антені містить суму хвиль з різними затримками, амплітудами та фазами. Суперпозиція цих хвиль призводить до зміни амплітуди і фази сигналу, що приймається.

Доплерівський зсув виникає через переміщення абонента у просторі. Виникає зміна амплітуди і фази сигналу, що приймається в часі. Навіть невеликі переміщення на відстані, сумірні з довжиною хвилі сигналу, що передається, можуть викликати істотні зміни параметрів прийнятого сигналу. Зміни параметрів сигналу в часі, спричинені рухом абонента та багатопроменевим поширенням радіохвиль, називаються швидкими завмираннями.

Величина доплерівського зсуву пропорційна частоті передачі та швидкості руху. Чим менше рознесення між несучими в сигналі OFDM, тим більш сприйнятлива система до зсуву доплерівського частоти. Різні режими передачі дозволяють отримати компроміс між рівнем сприйнятливості до міжсимвольної інтерференції та доплерівського зсуву частоти.

Затінення викликається об'єктами, такими як будівлі, пагорби, дерева тощо, що опиняються на шляху сигналу та обмежують пряму видимість між передавачем та приймачем. Зміни параметрів сигналу в часі, викликані затіненням, зазвичай відносять до повільних завмирань.

Втрати у тракті характеризуються як залежність падіння середньої потужності сигналу від відстані між передавачем та приймачем. У відкритому просторі середня потужність зменшується пропорційно квадрату відстані між передавачем та приймачем.

У мобільному радіоканалі, де пряма видимість часто відсутня, ця характеристика часто представляється як функція ступеня від 3 до 5. Спотворення, спричинені втратами в тракті та затіненням (повільні завмирання) зазвичай компенсуються за допомогою систем керування потужністю.

Боротьба зі швидкими завмираннями, викликаними рухом і багатопроменевим поширенням хвиль, є складнішим завданням і вимагає

застосування складної обробки сигналу як на приймальній, так і на стороні, що передає.

Мобільний радіоканал характеризується змінним у часі імпульсним відгуком або змінною у часі функцією передавальної каналу. Імпульсний відгук каналу – це відгук у час t на дельта-імпульс, що у момент часу $t - \tau$. Мобільний радіоканал сприймається як стаціонарний у сенсі випадковий процес, тобто. завмирання залишаються незмінними протягом короткого часу або невеликих відстанях.

При багатопроменовому поширенні імпульсний відгук каналу містить велику кількість розсіяних імпульсів, прийнятих як різні промені. Затримки вимірюються щодо приходу до приймача першого променя. Наслідком багатопроменового поширення радіохвиль є спотворення форми сигналу, що приймається. Багатопроменева інтерференція властива будь-якому типу сигналів, але особливо негативно позначається на широкосмугових сигналах.

Справа в тому, що при використанні широкосмугового сигналу в результаті інтерференції певні частоти складаються синфазно, що призводить до збільшення рівня сигналу, а деякі навпаки, протифазно, викликаючи ослаблення сигналу на даній частоті [40].

Міжсимвольна інтерференція найбільше впливає на спотворення сигналу. Оскільки символ – це дискретне стан сигналу, що характеризується значеннями частоти несучої, амплітуди і фази, то різних символів змінюються амплітуда і фаза сигналу, отже, відновити вихідний сигнал вкрай складно.

Щоб хоча б частково компенсувати ефект багатопроменового поширення, використовуються частотні еквалайзери, однак у міру зростання швидкості передачі даних або внаслідок збільшення символної швидкості або через ускладнення схеми кодування ефективність використання еквалайзерів падає.

У традиційних системах з однією несучою боротьба з міжсимвольною інтерференцією зазвичай ведеться шляхом адаптивного вирівнювання. Цей

процес використовує адаптивну фільтрацію для апроксимації імпульсного відгуку каналу.

Потім інверсний фільтр використовується для відтворення копій спотворених символів. Цей процес, однак, досить складний, через високу складність адаптивного еквалайзера. У випадках, коли міжсимвольна інтерференція стає досить високою, процес втрачає ефективність.

3.2 Аналіз використання мобільного зв'язку в діапазоні міліметрових хвиль в умовах багатопверхової забудови

Для проведення моделювання слід проаналізувати розрахунок загасання міліметрових хвиль в листі дерев і в дощову погоду. Для України характерна достатньо висока щільність дерев у міських умовах.

Загасання хвиль в листі розраховується по формулі:

$$L = 0,2 \cdot f^{0,3} \cdot R^{0,6}$$

де L - втрати поширення, дБ; f - частота, МГц;

R - глибина шару листя, м, що перекривається; Формула застосовна для $R < 400$ м.

Для розрахунку загасання хвиль в дощ розмір крапель можна зіставимо з довжиною хвилі (міліметр). Послаблення (у дБ/км) можна розрахувати залежно від інтенсивності дощу (мм/ч).

Результати розрахунків приведені на рисунку 3.2.

Тоді як сигнали з нижчою частотою можуть легко проникати крізь стіни будівель, міліметрові хвилі не проходять через більшість твердих матеріалів.

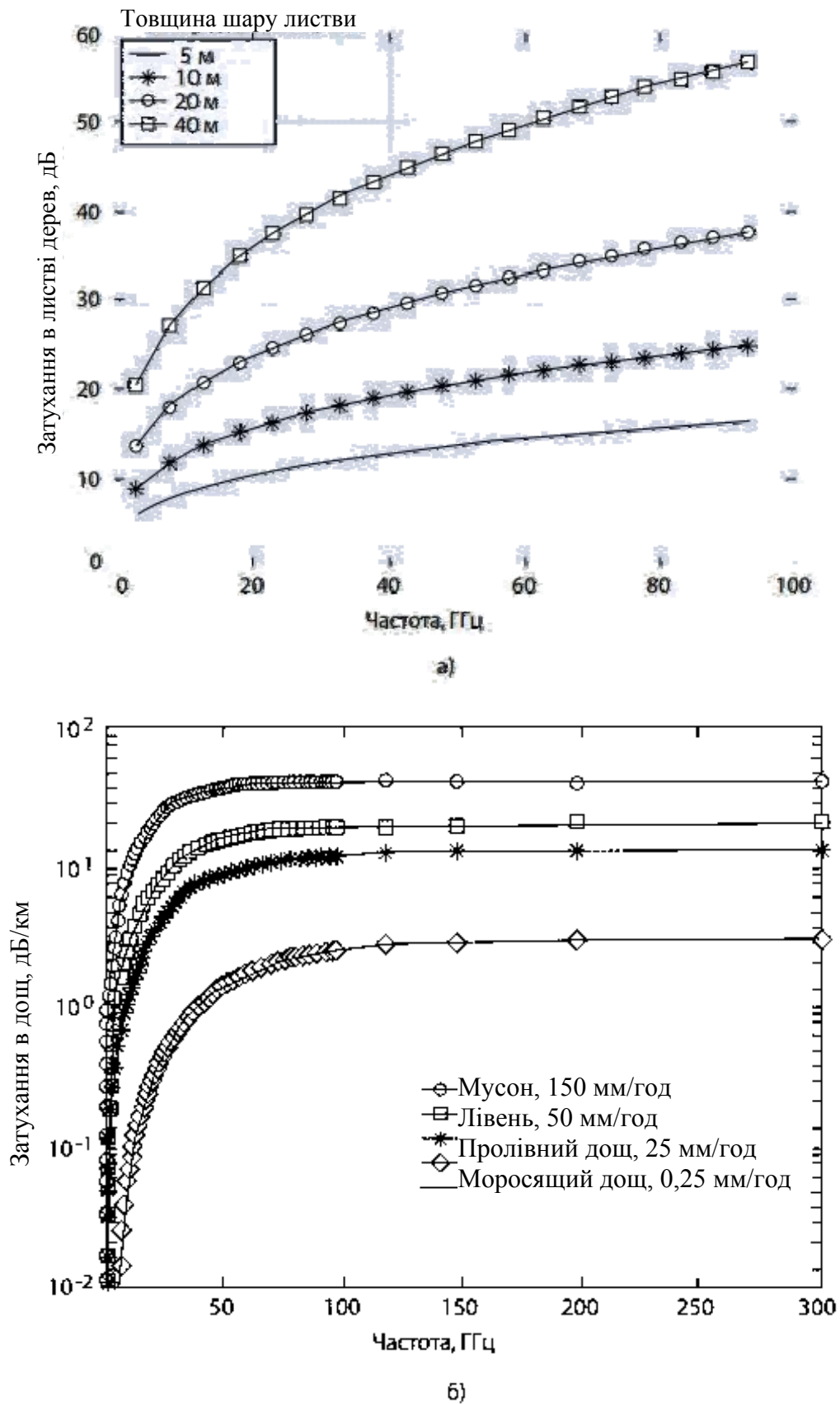


Рисунок 3.2 - Загасання радіохвиль в листі дерев і в дощі:

а - втрати на листі, б - загасання при дощі

Високий рівень загасання для певних будівельних матеріалів, таких як цеглину і бетон, не пропускає всередину будівель міліметрові хвилі, що випромінюються вуличними базовими станціями і іншими зовнішніми джерелами, хоча деякі сигнали можуть потрапити всередину крізь вікна і дерев'яні двері.

В цьому випадку усередині приміщень можуть використовуватися інші безпроводні технології, такі як міліметрові фемтосоти або Wi-Fi. Вже розроблено нове покоління технології Wi-Fi, з використанням 60-ГГц діапазону – стандарт IEEE 802.11ad. У разі застосування діапазону міліметрових хвиль для мобільного зв'язку потрібне спільне застосування макросотів і мікросотів різних розмірів, що забезпечують хороше покриття на усій ділянці.

Матеріал	Толщина, см	Затухание		
		<3 ГГц [6, 8]	40 ГГц [7]	60 ГГц [6]
Гипсокартон	2,5	5,4	–	6,0
Офисная перегородка	1,9	0,5	–	9,6
Чистое стекло	0,3/0,4	6,4	2,5	3,6
Стеклообои	0,3	7,7	–	10,2
ДСП	1,6	–	0,6	–
Дерево	0,7	5,4	3,5	–
Сухая штукатурка	1,5	–	2,9	–
Известковый раствор	10	–	160	–
Кирпичная стена	10	–	178	–
Бетон	10	17,7	175	–

Рисунок 3.3 – Коефіцієнт послаблення для різних матеріалів

На підставі цих даних проаналізуємо можливість використання мобільного зв'язку в міліметровому діапазоні хвиль на місцевості з щільною багатоповерховою забудовою, на прикладі типового мікрорайону.

Велика кількість дерев, щільна багатоповерхова забудова (панельні і монолітні будинки заввишки від 10 до 26 поверхів) ускладнюють поширення хвиль цього діапазону. Приймаємо кліматичні умови в тестовому мікрорайоні наступні:

- помірний клімат;
- річна кількість опадів дорівнює 400.500 мм, що створює сприятливу обстановку для використання міліметрових хвиль у безпроводному зв'язку.

На малюнку 15 представлений варіант застосування ліній зв'язку в місті. Базова станція «А» здійснює зв'язок по макростільникових мережах Б, В, Г, Д, що забезпечує обмін інформацією з об'єктами рухливого зв'язку. Проте, як видно з малюнка 14, також є 3 мікростільники (одна з них «З») і пикосоти виробничої будівлі «Ж» (№ 1,2,3,4 і так далі на окремих поверхах), призначені для зв'язку із стаціонарними і рухливими об'єктами.

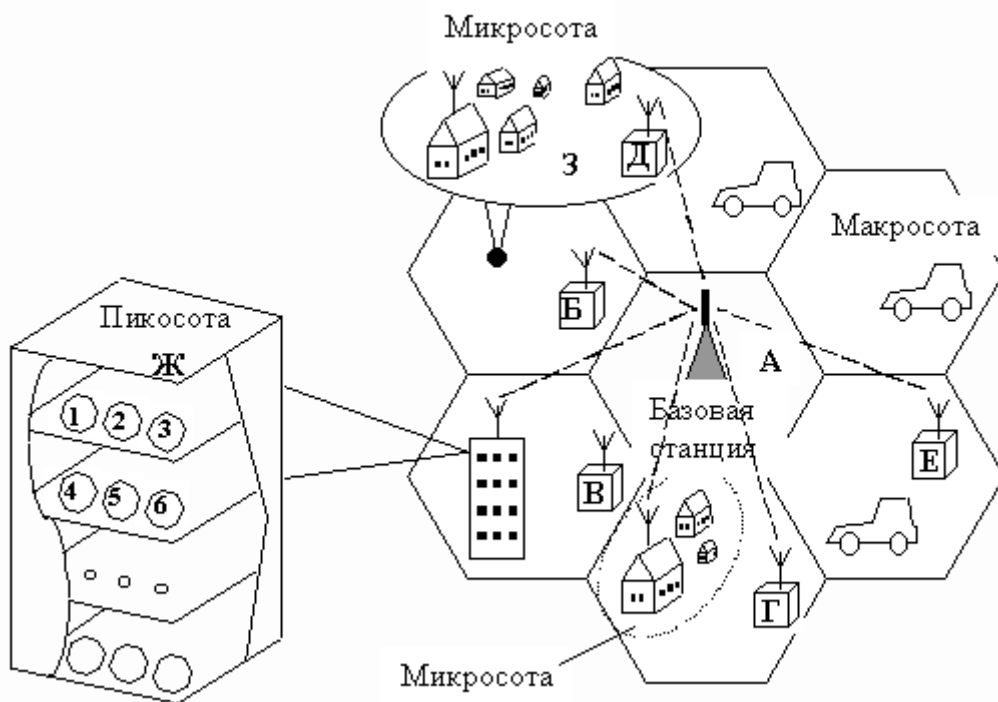


Рисунок 3.4 – Варіант застосування ліній зв'язку в місті

Зараз мережі радіодоступу складаються з великих (макро-) сотів, які забезпечують безперервність покриття/мобільність абонентів, і малих (мікро-) сотів, які встановлюються в місцях з найбільшою щільністю абонентів (хотспотах) і забезпечують там необхідну додаткову місткість. Розмір макросотів, в основному, визначається використанням діапазоном частот. Для радіомереж стандартів 2G/3G/4G зараз використовуються частоти від 800 до 2600 МГц. Якщо для мереж 5G не будуть задіяні більш високі частоти, щільність установки базових станцій, що формують макростільники, не потрібно буде збільшувати. Що стосується мікросотів, їх кількість (щільність установки) пропорційно необхідної місткості. Оскільки вимоги до місткості ростуть на порядки від покоління до покоління мобільного зв'язку, то можна прогнозувати значний ріст необхідної кількості мікросотів при впровадженні 5G.

Таким чином, на території мікрорайону з щільною багатоповерховою забудовою можливе використання мобільного зв'язку в діапазоні міліметрових хвиль, з умовою організації мікро-, піко та фемтосот.

Висновки з розділу

1. Визначено особливостей проектування мережі 5G за умов багатоповерхової забудови. Виявлено актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку, способів вирішення актуальних проблем у мережах п'ятого покоління, сценаріїв використання мереж п'ятого покоління, способів технічної реалізації мереж п'ятого покоління, аналіз особливостей проектування та будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови, моделювання прототипу мережі п'ятого покоління у програмі Wireless InSite.

2. Мережі радіодоступу складаються з великих (макро-) сотів, які забезпечують безперервність покриття/мобільність абонентів, і малих (мікро-) сотів, які встановлюються в місцях з найбільшою щільністю абонентів (хотспотах) і забезпечують там необхідну додаткову місткість.

3. Визначено, що якщо для мереж 5G не будуть задіяні більш високі частоти, щільність установки базових станцій, що формують макростільники, не потрібно буде збільшувати. Оскільки вимоги до місткості ростуть на порядки від покоління до покоління мобільного зв'язку, то можна прогнозувати значний ріст необхідної кількості мікросотів при впровадженні 5G.

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G ЗА УМОВ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ

Передбачається, що в мережах 5G пристроїв одночасно зв'язуватимуться з декількома стільниками, що забезпечить ним надійне з'єднання з мережею. Зараз мережі радіодоступу складаються з великих (макро-) сотів, які забезпечують безперервність покриття/мобільність абонентів, і малих (мікро-) сотів, які встановлюються в місцях з найбільшою щільністю абонентів (хот-спотах) і забезпечують там необхідну додаткову місткість. Розмір макросотів, в основному, визначається використовуваним діапазоном частот. Для радіомереж стандартів 2G/3G/4G в Світі використовуються частоти від 800 до 2600 МГц. Якщо для мереж 5G не будуть задіяні більш високі частоти, щільність установки базових станцій, що формують макростільники також не потрібно буде збільшувати. Що стосується мікросотів, їх кількість (щільність установки) пропорційно необхідної місткості.

З урахуванням того, що вимоги до місткості ростуть на порядки від покоління до покоління мобільного зв'язку, можна прогнозувати значний ріст необхідної кількості мікросотів при впровадженні 5G. Кількість підключених до мобільних мереж пристроїв, що росте з кожним роком, приведе до потреби будівництва в цих сучасних спальних районах мереж п'ятого покоління.

4.1 Моделювання мережі 5G в Wireless InSite

4.1.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для моделювання мережі 5G

Для вирішення завдань випускної кваліфікаційної роботи програмне забезпечення повинне забезпечувати:

- можливість проводити моделювання в діапазоні сантиметрових і міліметрових хвиль;

- можливість налаштування параметрів MIMO, а також можливість застосування Massive MIMO;
- точне прогнозування параметрів сигналу у будь-якій точці даної місцевості, з урахуванням багатопроменевого поширення і загасання в атмосфері.

Для оцінки ефективності використання розглянутих вище технічних рішень в умовах щільної багатоповерхової міської забудови було прийнято рішення проводити моделювання в програмі Wireless InSite. Це програмне забезпечення дозволяє оцінити поширення сигналів в заданому середовищі, а також оцінити вплив довкілля на їх параметри.

Програма Wireless InSite відповідає усім необхідним вимогам і надає можливість:

- проводити моделювання із застосуванням технології MIMO з необмеженим числом антенних елементів в діапазоні частот від 100 МГц до 100 ГГц;
- завантажувати 3D модель місцевості з ландшафтом і будовами, з урахуванням характеристик матеріалів усіх об'єктів, таких як провідність і діелектрична проникність;
- розміщувати передавальне і приймальне пристрої із заданими характеристиками у будь-якій необхідній точці 3D моделей;
- точно передбачати рівень сигналу у будь-якій точці даної моделі, з урахуванням багатопроменевого поширення сигналу, його загасання в атмосфері і інших чинників.

4.2 Результати моделювання мережі 5G в Wireless InSite

За допомогою функції MIMO Wireless InSite був створений сценарій з мікросотою в місті з щільною багатоповерховою забудовою в Россліне, штат Вірджинія (рисунки 4.1, 4.2). Базова станція розташована на ліхтарному стовпі на висоті 10 метрів над рівнем вулиці. Моделювана базова станція була визначена з двома конфігураціями: SISO (по одній антені на БС і на

МС) і МІМО (більше за одну антену на БС і на МС). У обох випадках використовується частота, що несе, 28 ГГц.

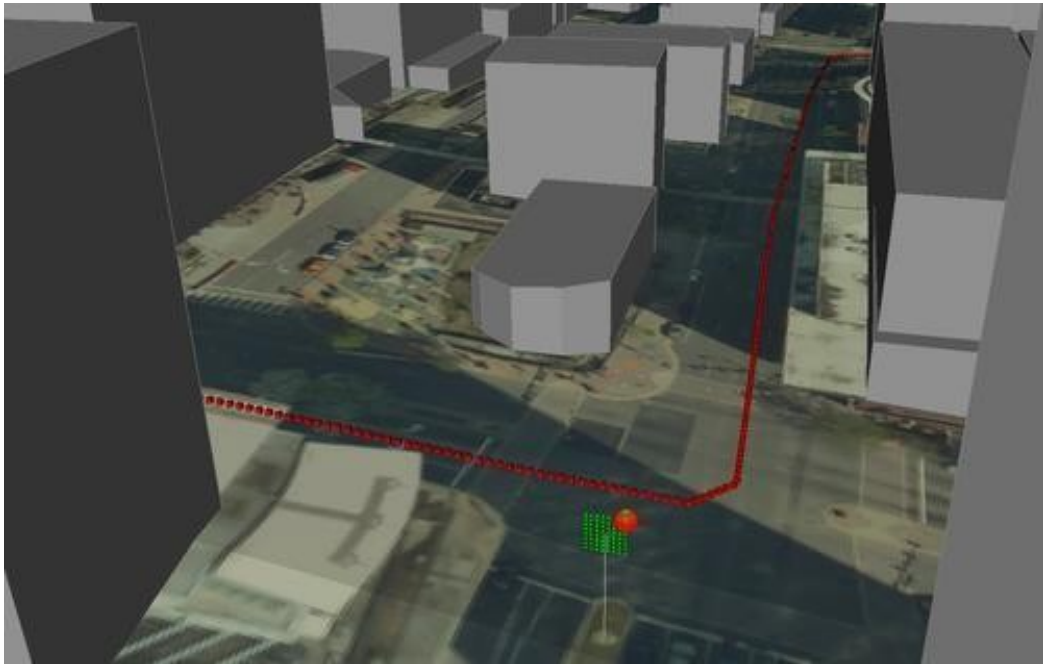


Рисунок 4.1 – Розташування базової станції

Модель міста, що імпортується, і ландшафт містять в цілому 3800 граней. Будівлям і рельєфу місцевості присвоєні властивості матеріалу з провідністю 0,484 См/м і діелектричною проникністю 5,31. Мобільний пристрій визначено, як що переміщається по заданому маршруту, наближається до базової станції із заходу, а потім що обертається наліво для руху на північ.

Wireless InSite MIMO містить конструктор масивів, який дозволяє користувачам створювати MIMO-масив розміром n елементів. Цей інструмент також дозволяє користувачам задавати характеристики антени, серед яких її діаграма спрямованості антени і обертання. На рисунку 4.3 показаний масив з 128 елементів. Для простоти цей масив був побудований з дипольними антенами, розміщеними на відстані півхвилі і розташованими як з вертикально поляризованими, так і з горизонтально поляризованими елементами, розміщеними в кожній з 64 позицій.



Рисунок 4.2 – Завантажена в Wireless InSite модель місцевості, з налагодженою базовою станцією і із заданим маршрутом руху мобільної станції

MIMO antenna properties

Short description: Element Rendered Size (m):

Waveform:

Available Antennas

Description	Type	Details
Half-wave dipole	Half-wave dipole	

Edit Array Elements

Index	Antenna	Position	Rotation
61	Half-wave dipole	(-0.018737, 0.00267672) m	(0, 0, 0)°
62	Half-wave dipole	(-0.018737, 0.00803016) m	(0, 0, 0)°
63	Half-wave dipole	(-0.018737, 0.0133836) m	(0, 0, 0)°
64	Half-wave dipole	(-0.018737, 0.018737) m	(0, 0, 0)°
65	Half-wave dipole	(-0.018737, -0.018737) m	(90, 0, 0)°
66	Half-wave dipole	(-0.018737, -0.0133836) m	(90, 0, 0)°
67	Half-wave dipole	(-0.018737, -0.00803016) m	(90, 0, 0)°
68	Half-wave dipole	(-0.018737, -0.00267672) m	(90, 0, 0)°
69	Half-wave dipole	(-0.018737, 0.00267672) m	(90, 0, 0)°

Рисунок 4.3 – Налаштування параметрів MIMO

Після цього виконуються симуляції з використанням однієї антени і антени MIMO. Wireless InSite виводить на екран вибрані користувачем вихідні дані, такі як прийнята потужність, шляхи поширення сигналу і тому подібне. Результатом аналізу є потужність, що приймається мобільним пристроєм, відображена або у вигляді карти покриття по площі, або як функція відстані по маршруту. На рисунку 4.4 представлена карта місцевості, що показує рівень покриття поблизу базової станції.

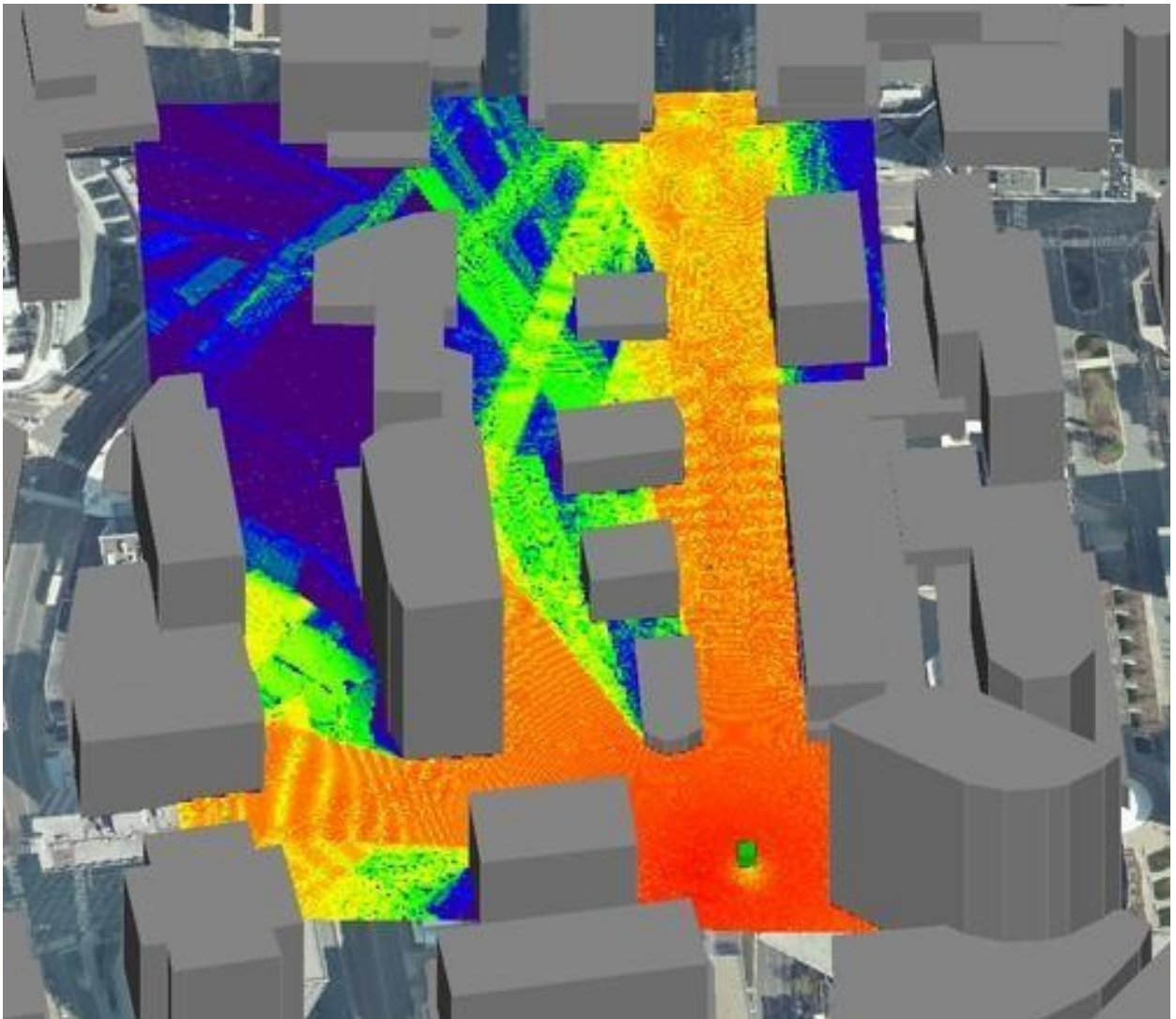


Рисунок 4.4 – Карта місцевості, що показує рівень покриття поблизу базової станції

На рисунку 4.4 червоний колір відповідає зонам з максимальним рівнем сигналу, а синій показує зони з мінімальним рівнем. Наочно можна

побачити багатопроменеве поширення сигналу і його загасання із-за перешкод, що зустрічаються, у вигляді будівель і різних споруд.

На рисунку 4.5 показаний графік потужності, що приймається мобільним пристроєм під час його просування по маршруту. Видно, що потужність збільшується, коли мобільний пристрій наближається до базової станції і падає, коли воно віддаляється, різко падає, коли воно повертає за кут і виходить з лінії прямої видимості. Ці ефекти пов'язані з багатопроменевими взаємодіями (відображеннями і дифракцією) з будівлями.

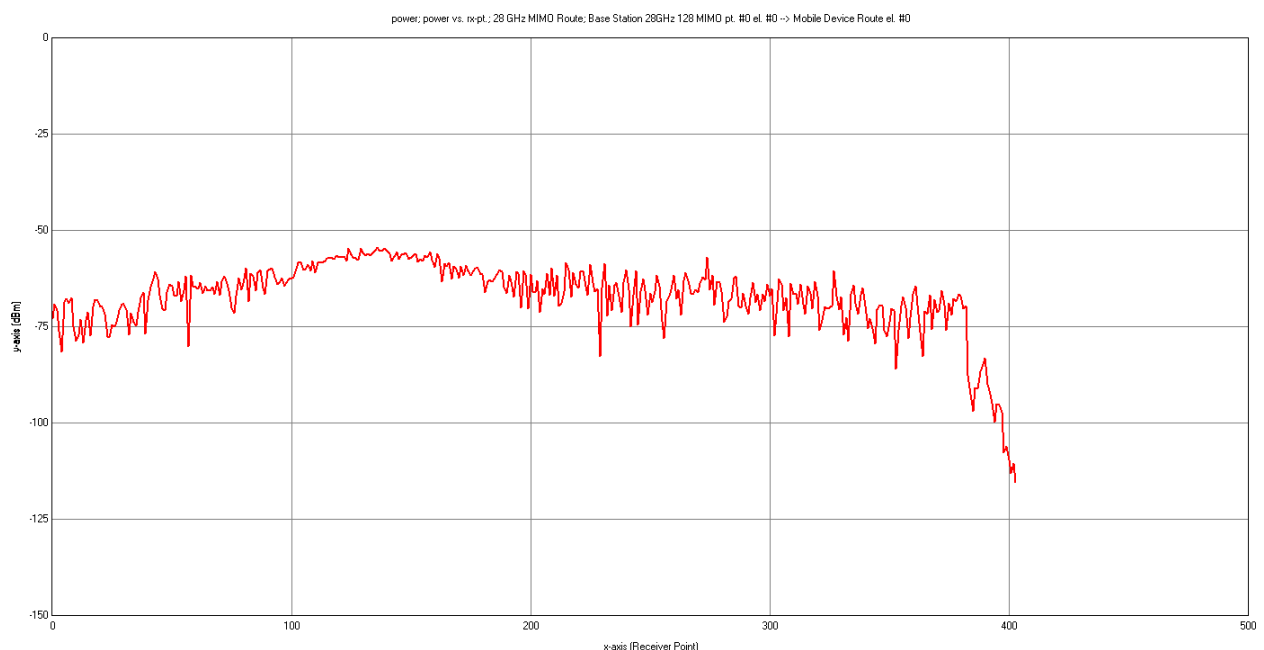


Рисунок 4.5 – Графік зміни рівня потужності, що приймається мобільним пристроєм

Іншим параметром, що відображається, як для поодиноких антен, так і для систем MIMO, являється складний імпульсний відгук, який є мірою багатопроменевого поширення. Імпульсний відгук каналу - це відгук у момент часу t на дельта-імпульс, що виник у момент часу $t - \tau$.

Мобільний радіоканал розглядається як стаціонарний в широкому сенсі випадковий процес, тобто замирання залишаються незмінними впродовж короткого часу або на невеликих відстанях.

При багатопроменовому поширенні імпульсний відгук каналу містить велике число розсіяних імпульсів, прийнятих як різних променів. Затримки вимірюються відносно приходу в приймач першого променя.

Наслідком багатопроменового поширення радіохвиль є спотворення форми сигналу, що приймається. Комплексна імпульсна характеристика вимірює потужність багатопроменових сигналів, що приймаються, залежно від часу їх прибуття або фази.

На рисунку 4.6 показані 25 варіантів шляхів поширення сигналу між базовою станцією і мобільним пристроєм в точці, що відповідає 240 метрам від початку її маршруту.

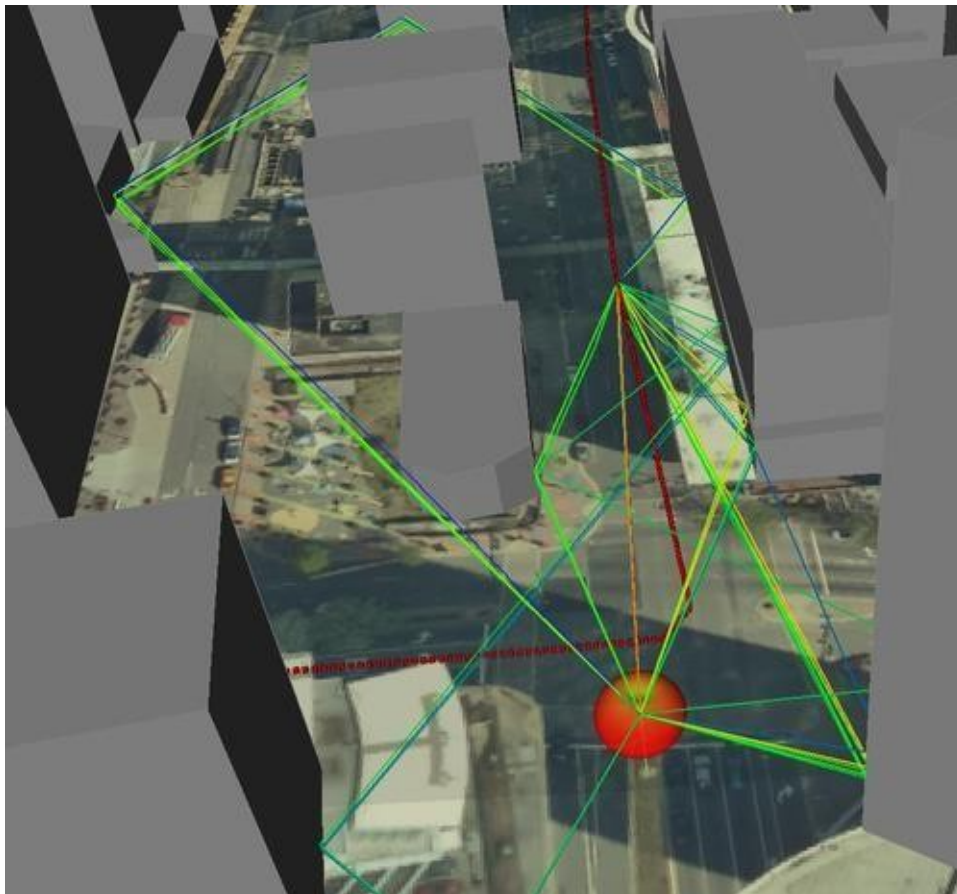


Рисунок 4.6 – Варіанти шляхів поширення сигналу між базовою станцією і мобільним пристроєм

Комплексний імпульсний відгук в цьому місці для базової станції з однією антеною показаний на рисунку 4.7.

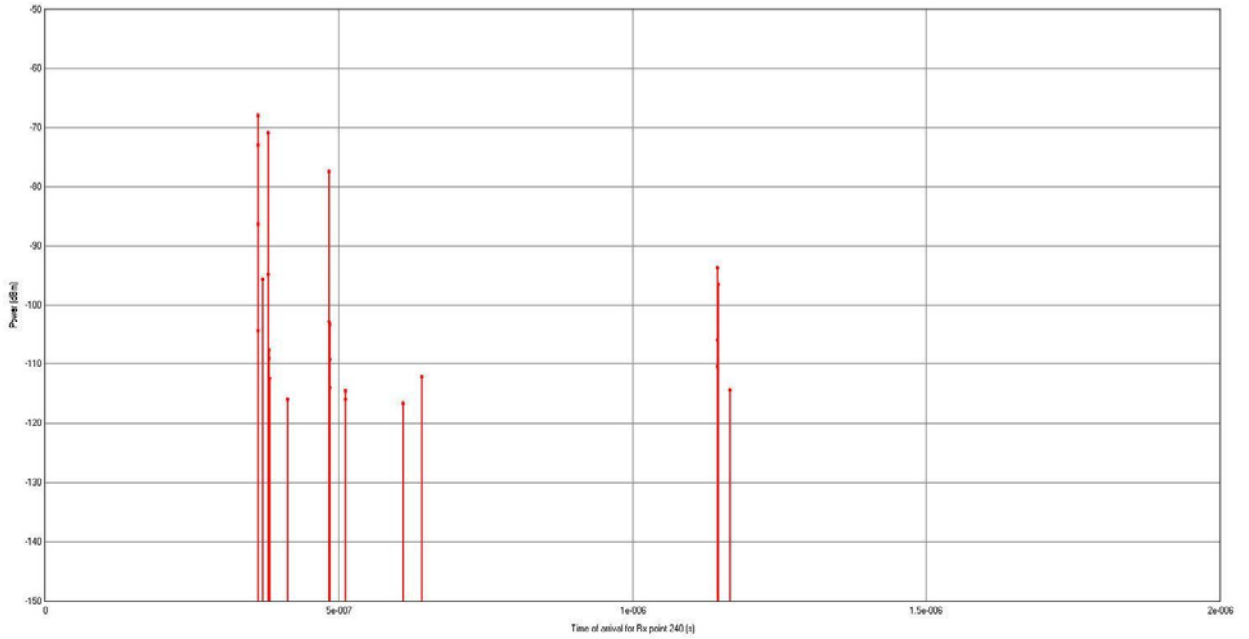


Рисунок 4.7 – Комплексний імпульсний відгук для мобільного пристрою на відстані 240 метрів від початку руху по маршруту

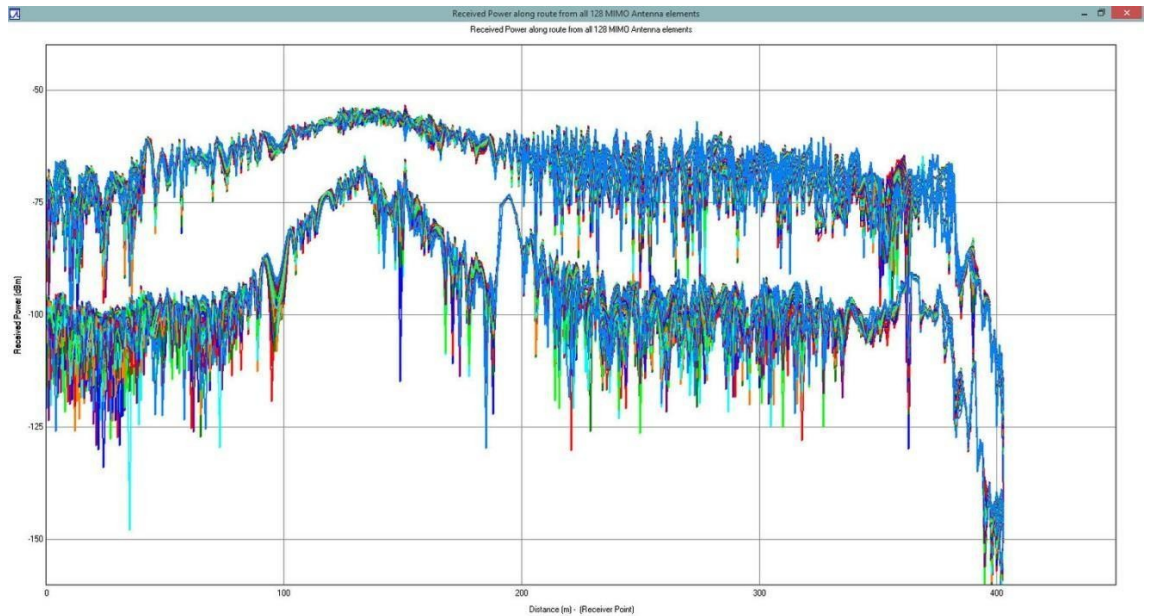


Рисунок 4.8 – Графік зміни рівня потужності, прийнятої мобільним пристроєм під час просування по маршруту від усіх 128 передавальних елементів базової станції MIMO

На рисунку 4.8 показаний рівень прийнятої мобільним пристроєм потужності під час його просування по маршруту для усіх елементів передавача.

Одним з найважливіших результатів, отриманих в результаті моделювання MIMO, є канална матриця або H-матриця.

H-матриця визначає характеристики багатопроменевого поширення хвиль з кожного елемента передавача на кожен елемент приймача і зазвичай використовується для формування діаграми спрямованості, пропускної спроможності каналу і інших параметрів системи MIMO.

Для точнішого визначення впливу параметрів антен MIMO і використовуваних частот, було проведено моделювання з трьома іншими сценаріями.

У першому використовується SISO (по 1 антені на передавальній і приймальній сторонах) на частоті 3,55 ГГц. У другому 4x4 MIMO на тій же частоті. У третьому на базовій станції застосовується Massive MIMO 8x8 з подвійною поляризацією на частоті 30 ГГц, а мобільний пристрій використовує MIMO 2x2.

Результати моделювання з використанням SISO представлені на рисунках 4.9, 4.10.

На рисунку 4.9 червоний колір відповідає зонам з максимальним рівнем сигналу, а синій показує зони з мінімальним рівнем.

Наочно можна побачити багатопроменеве поширення сигналу і його загасання із-за перешкод, що зустрічаються, у вигляді будівель і різних споруд.

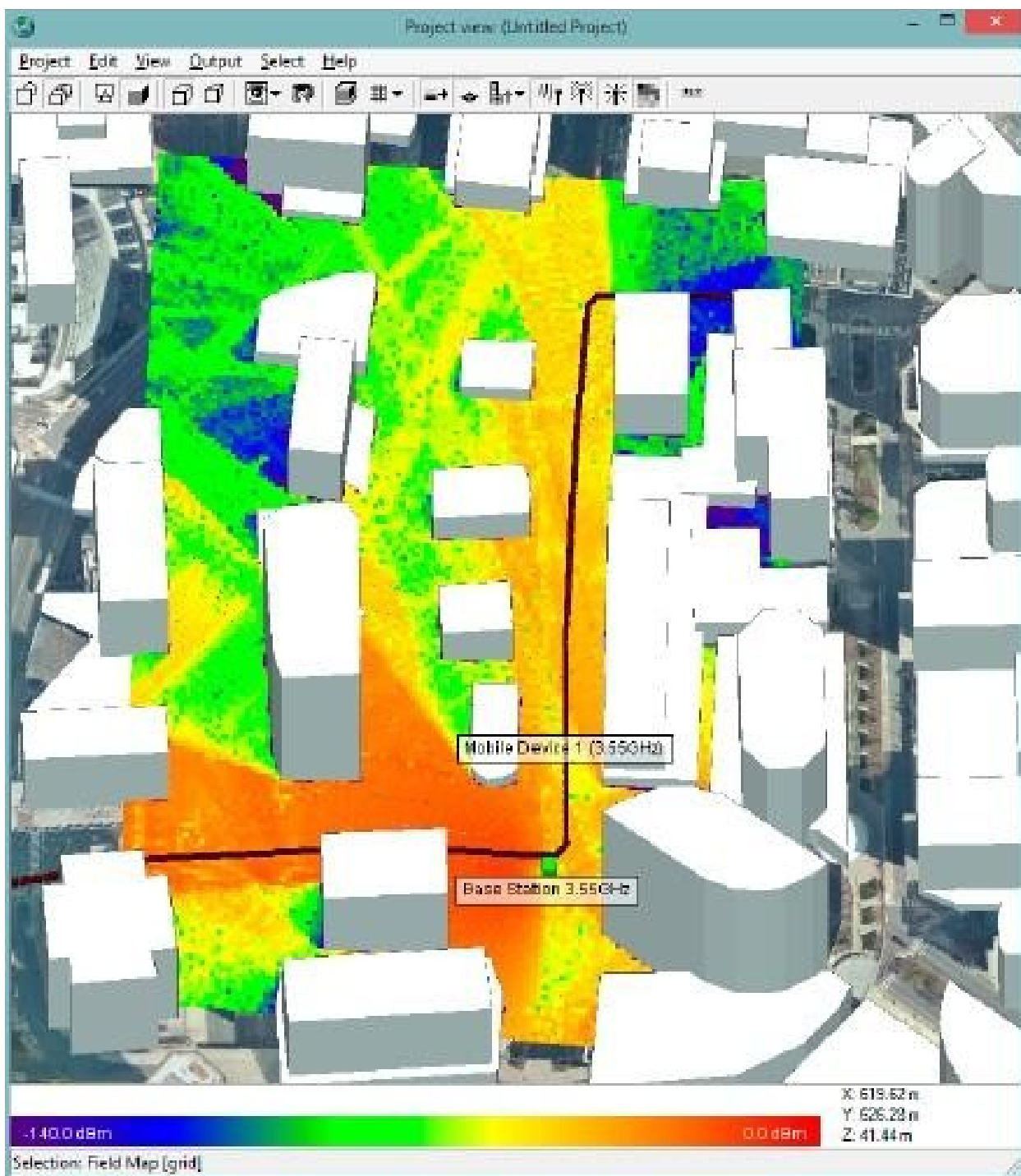


Рисунок 4.9 – Карта місцевості, що показує рівень покриття поблизу базової станції з використанням SISO

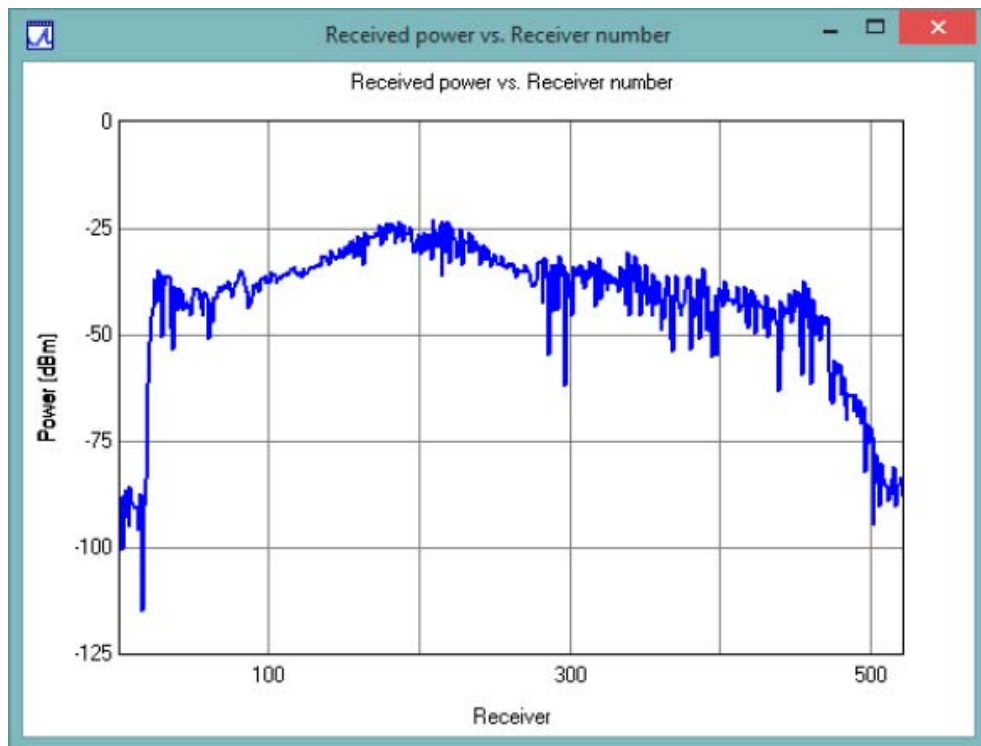


Рисунок 4.10 – Графік зміни рівня потужності, що приймається мобільним пристроєм, в сценарії з SISO, частота 3,55 ГГц

Як видно на рисунку 4.10, у більшій частині маршруту спостерігається хороший рівень сигналу. Є невелике затінювання на початку маршруту, пов'язане з ландшафтом місцевості (піднесеність між початковою точкою і базовою станцією) і різними спорудами. Також затінювання і подальше значне зниження рівня сигналу спостерігається у кінці маршруту, коли приймальний пристрій згорає за кут будинку, порушуючи пряму видимість між базовою і мобільною станціями. Уздовж усього маршруту спостерігається маломасштабні завмирання, що пов'язано з багатопроменевим поширенням сигналу.

У тому випадку, якщо використати SISO на частоті 30 ГГц, результати аналогічні з моделюванням на частоті 3,55 ГГц, але прийнята потужність на 20 дБ нижча, що пов'язано з більш високими втратами при поширенні міліметрових хвиль.

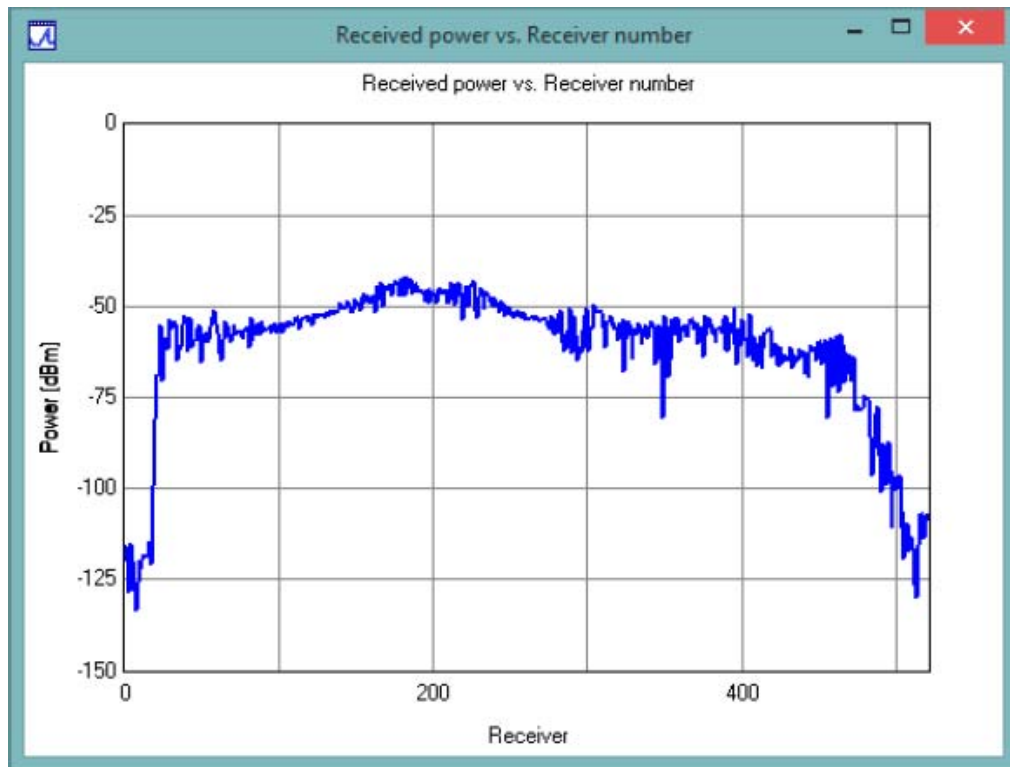


Рисунок 4.11 – Графік зміни рівня потужності, що приймається мобільним пристроєм, в сценарії з SISO, частота 30 ГГц

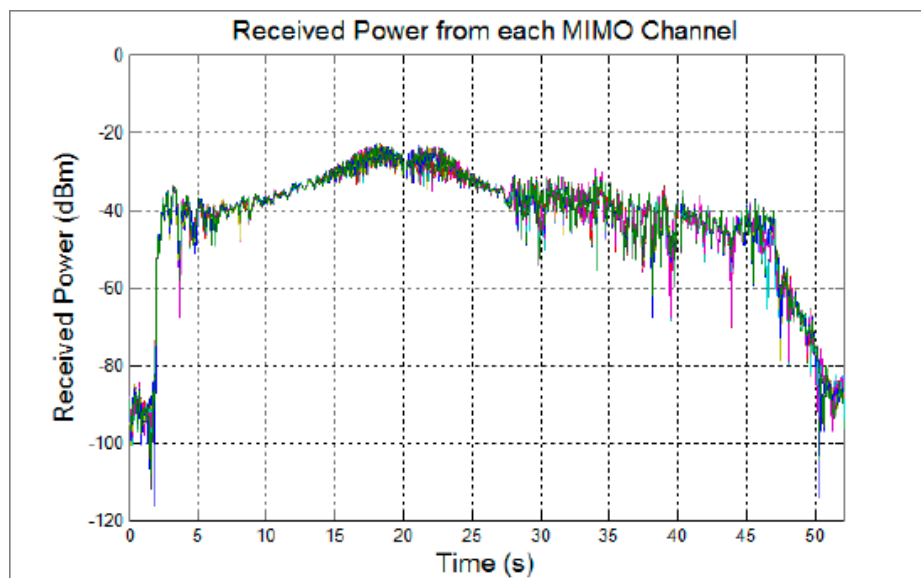


Рисунок 4.12 – Графік зміни рівня потужності, що приймається мобільним пристроєм, в сценарії з MIMO 4x4

Далі розглянемо випадок з використанням MIMO 4x4, з використанням чотирьохелементних масивів як на базовій, так на мобільній станції. Результати моделювання представлені на рисунку 4.12.

Як видно за результатами моделювання, використання технології MIMO дозволяє компенсувати завмирання за рахунок складання декількох копій одного і того ж сигналу двох або більше за канали, завмирання в яких відбуваються незалежно один від одного (рисунок 4.13).

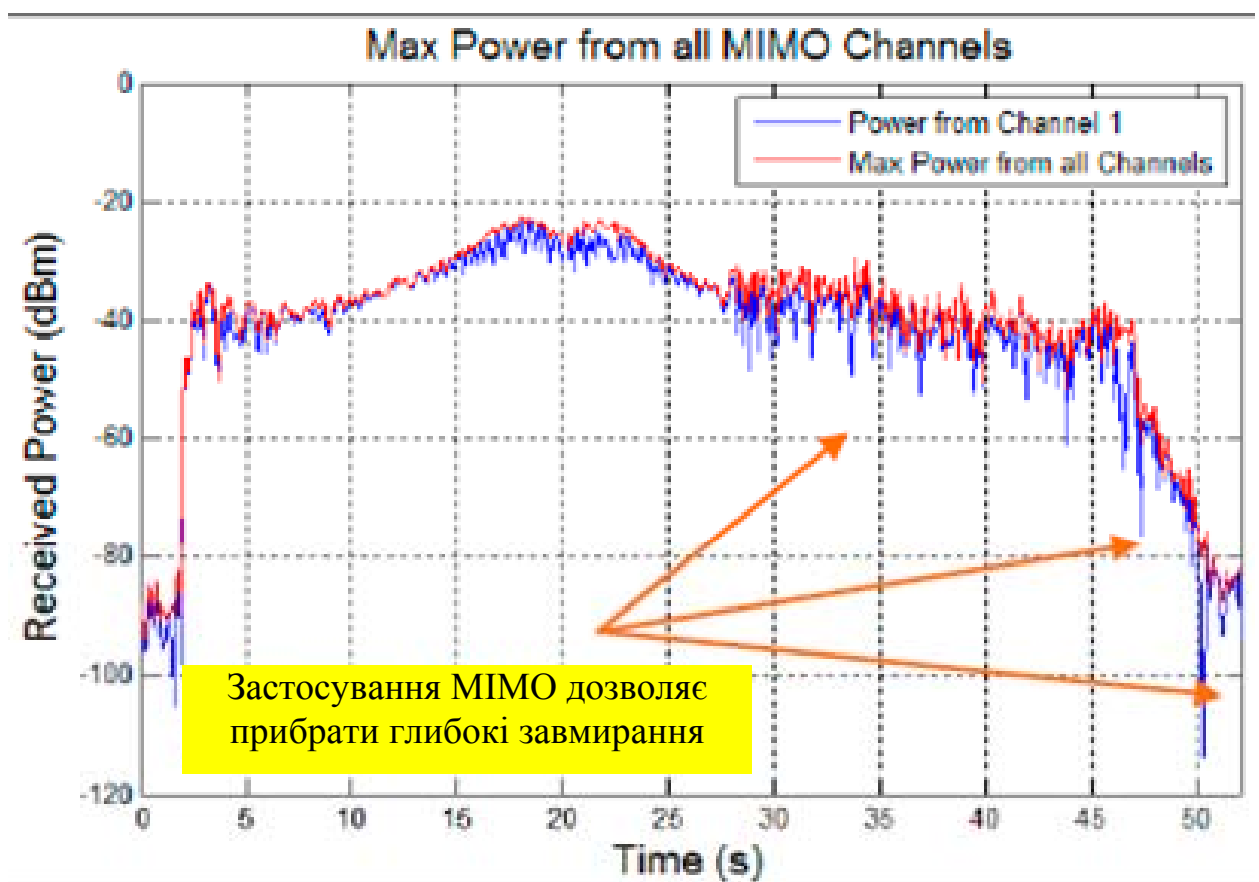


Рисунок 4.13 – Компенсація завмирань
за допомогою використання технології MIMO

На рисунку 4.14 показані імпульсні відгуки для каналів з максимальним і мінімальним рівнем сигналу.

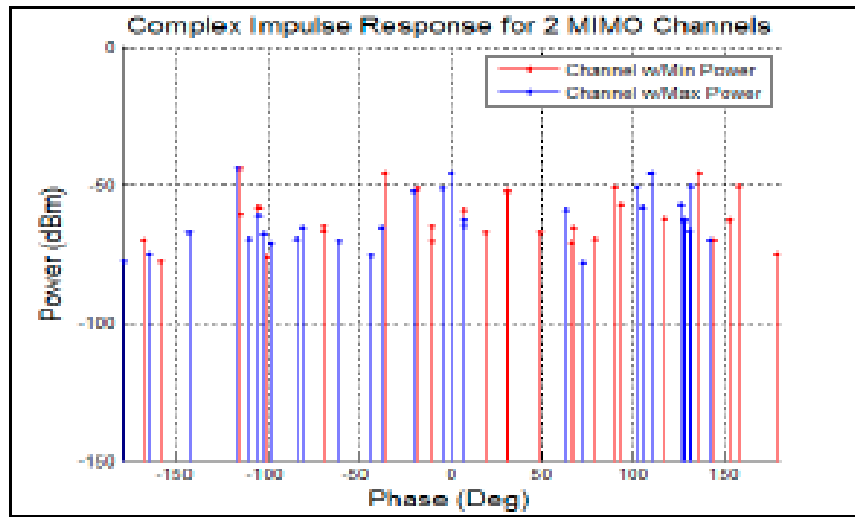
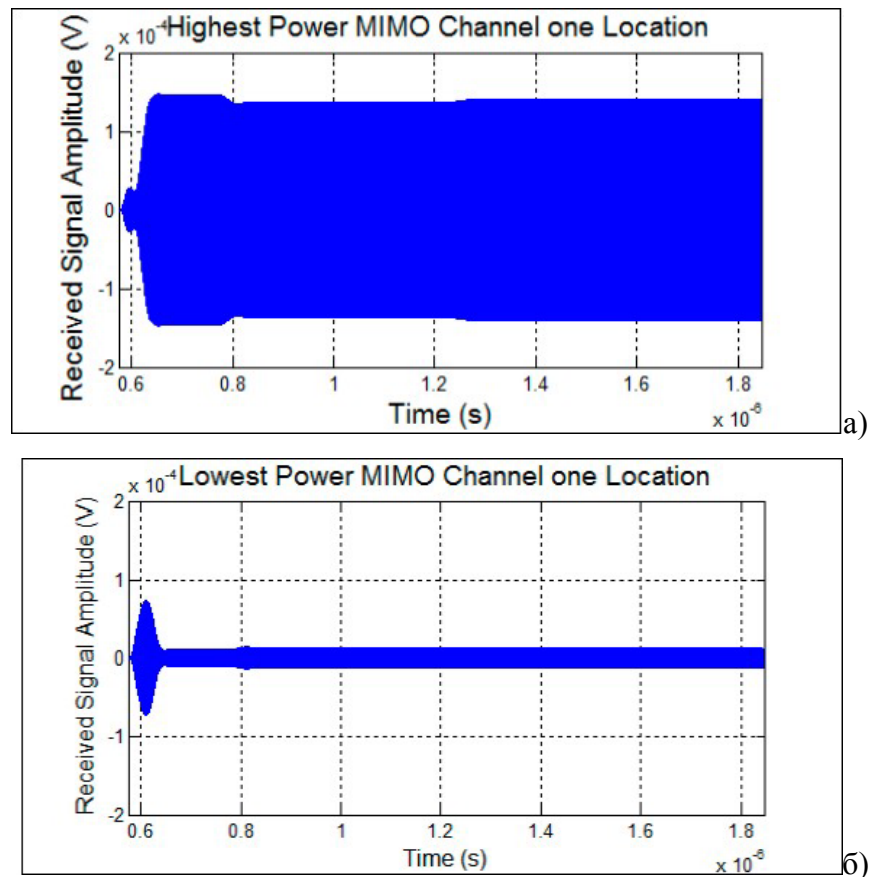


Рисунок 4.14 – Імпульсні відгуки для каналів з максимальним і мінімальним рівнем сигналу

На рисунку 4.15 показано, як зміна положення антен всього на декілька сантиметрів на кожному кінці змінила рівень сигналу.



а - максимальна потужність, б - мінімальна потужність

Рисунок 4.15 – Зміна рівня сигналу від зміни положення антен

Далі розглянемо випадок з використанням Massive MIMO. Для базової станції використовується 64-елементний масив (8x8) з подвійною поляризацією, для мобільного пристрою застосовується MIMO 2x2. Результати моделювання (рисунок 4.16) схожі з сценарієм, де була застосована система MIMO 4x4, але прийнята потужність на 20 дБ нижча, що пов'язано з більш високими втратами при поширенні міліметрових хвиль.

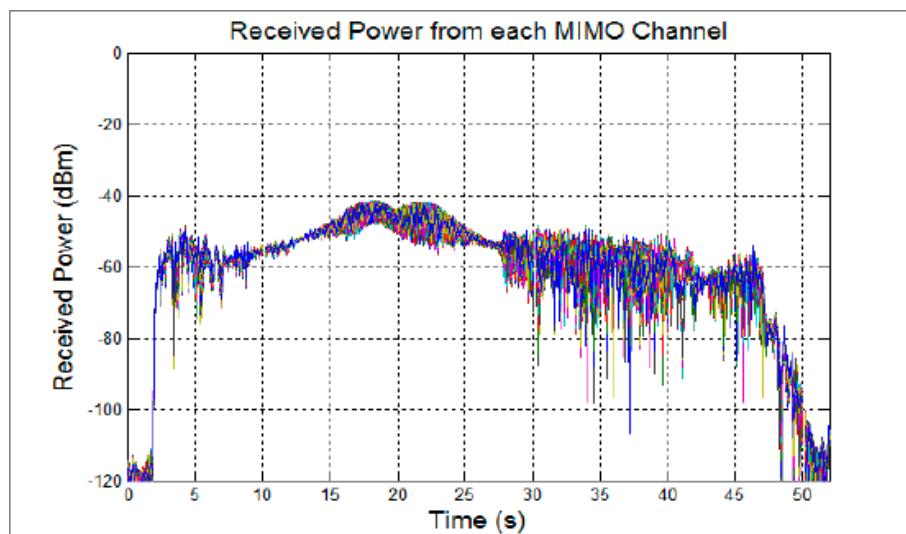


Рисунок 4.16 – Графік зміни рівня потужності, що приймається мобільним пристроєм, в сценарії з Massive MIMO

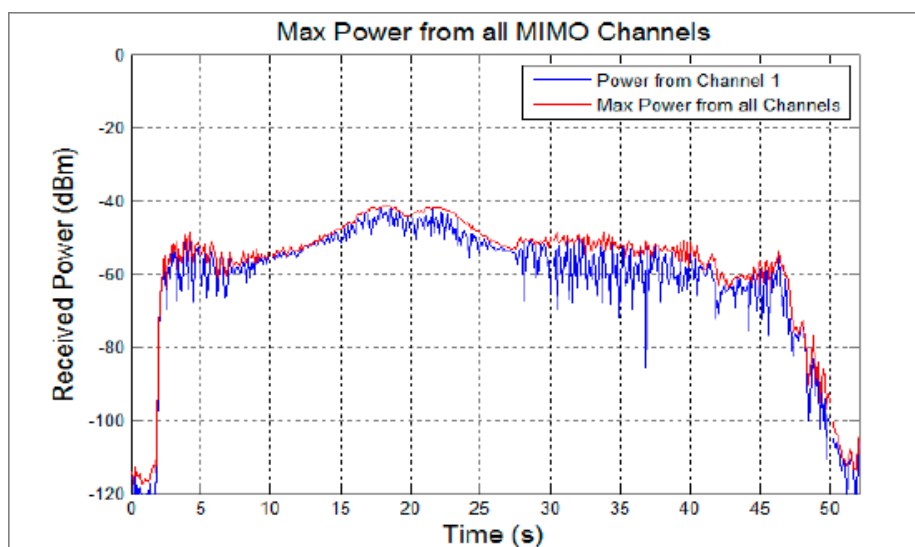


Рисунок 4.17 – Компенсація завмирань за допомогою використання технології MIMO

В даному випадку використання технології MIMO дозволяє ще ефективніше компенсувати завмирання (рисунок 4.17). На рисунку 4.18 показані імпульсні відгуки для каналів з максимальним і мінімальним рівнем сигналу.

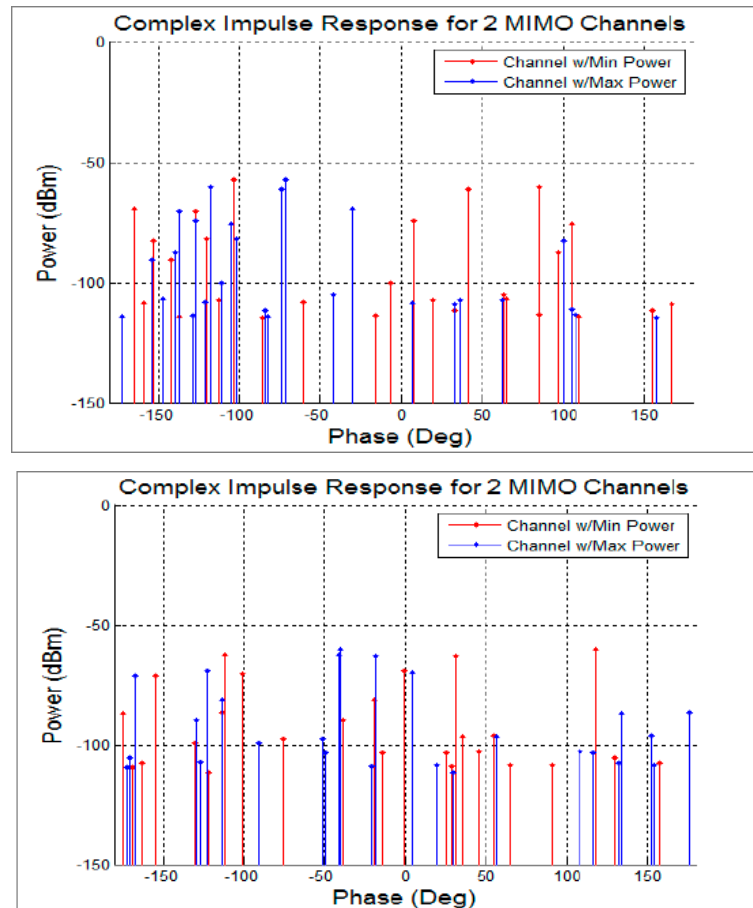


Рисунок 4.18 – Імпульсні відгуки для каналів з максимальним і мінімальним рівнем сигналу

За результатами моделювання можна зробити висновок, що реалізація мережі 5G із застосуванням технології MIMO і міліметрових хвиль в умовах щільної багатоповерхової можлива. Особливості поширення сигналу в діапазоні міліметрових хвиль для забезпечення якісного покриття вимагають організації малих сотів.

Висновки з розділу

1. Проведений аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови. До особливостей, які варто враховувати при проектуванні мереж мобільного зв'язку, відносяться висока щільність забудови і наявність великої кількості рослинності, що значно ускладнює поширення сигналів, а також швидко зростаюча кількість абонентів і їх щільність, що збільшується, що вимагає великої місткості мережі. Зі збільшенням числа пристроїв, що підключаються до мережі, ця проблема стає ще актуальнішою, що в майбутньому викличе потребу у будівництві мереж п'ятого покоління.

2. Розглянуто використання діапазону міліметрових хвиль в умовах даної місцевості. Зроблений висновок, що з урахуванням специфіки районів з щільною забудовою і планованого використання діапазону сантиметрових і міліметрових хвиль, зв'язок п'ятого покоління організовуватиметься з використанням малих сотів.

3. Проведено моделювання прототипу мережі п'ятого покоління в програмі Wireless InSite. Вибір цієї програми обумовлений можливістю проводити моделювання в діапазоні сантиметрових і міліметрових хвиль, функцією налаштування параметрів MIMO і можливістю застосування Multi - User MIMO, точним прогнозування параметрів сигналу у будь-якій точці даної місцевості, з урахуванням багатопроменевого поширення і загасання в атмосфері, а також зручним інтерфейсом, що надає можливість виведення необхідних параметрів сигналу на екран.

4. Проведено моделювання з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц. Зроблений висновок, що використання міліметрових хвиль приводить до меншого рівня сигналу, що приймається, що викликано великим загасанням хвиль цього діапазону в атмосфері і низькою здатністю долати перешкоди. Застосування MIMO виправдовує себе, оскільки дозволяє компенсувати завмирання. Таким чином, реалізація

мережі 5G із застосуванням Massive MIMO в діапазоні міліметрових хвиль в умовах щільної багатоповерхової забудови є можливою за умови організації малих сотів. Застосування цих технологій дозволить реалізувати вимоги до мереж п'ятого покоління.

ВИСНОВКИ

1. У роботі проведений аналіз проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO і хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів.

2. Виявлені актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку. На цій основі визначені вимоги до мереж п'ятого покоління, до яких відносяться швидкість передачі даних від 1 до 10 Гбіт/с, час затримки і відгуку менше 1, час перемикання до 10 мілісекунд між різними технологіями радіодоступу для забезпечення безперервного надання сервісів, велика мережева місткість і низьке споживання енергії. Далі розглянуті способи рішення актуальних проблем в мережах п'ятого покоління і їх технічна реалізація. Також розглянуті технології міжмашинної взаємодії M2M (Machine - to - Machine) і D2D (Device - to - Device), нова архітектура мережі (застосування малих сотів) і використання нових сигнально-кодових конструкцій в мережах 5G.

3. Проведений аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови. До особливостей, які варто враховувати при проектуванні мереж мобільного зв'язку, відносяться висока щільність забудови і наявність великої кількості рослинності, що значно ускладнює поширення сигналів, а також швидко зростаюча кількість абонентів і їх щільність, що збільшується, що вимагає великої місткості мережі. Зі збільшенням числа пристроїв, що підключаються до мережі, ця проблема стає ще актуальнішою, що в майбутньому викличе потребу у будівництві мереж п'ятого покоління. Розглянуто використання діапазону міліметрових хвиль в умовах даної місцевості. Зроблений висновок, що з урахуванням специфіки районів з щільною забудовою і планованого використання діапазону сантиметрових і міліметрових хвиль, зв'язок п'ятого покоління організовуватиметься з використанням малих сотів.

4. Проведено моделювання прототипу мережі п'ятого покоління в програмі Wireless InSite. Вибір цієї програми обумовлений можливістю проводити моделювання в діапазоні сантиметрових і міліметрових хвиль, функцією налаштування параметрів MIMO і можливістю застосування Multi-User MIMO, точним прогнозування параметрів сигналу у будь-якій точці даної місцевості, з урахуванням багатопроменевого поширення і загасання в атмосфері, а також зручним інтерфейсом, що надає можливість виведення необхідних параметрів сигналу на екран. Проведено моделювання з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц. Зроблений висновок, що використання міліметрових хвиль приводить до меншого рівня сигналу, що приймається, що викликано великим загасанням хвиль цього діапазону в атмосфері і низькою здатністю долати перешкоди. Застосування MIMO виправдовує себе, оскільки дозволяє компенсувати завмирання. Таким чином, реалізація мережі 5G із застосуванням Massive MIMO в діапазоні міліметрових хвиль в умовах щільної багатоповерхової забудови є можливою за умови організації малих сотів. Застосування цих технологій дозволить реалізувати вимоги до мереж п'ятого покоління.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/08/GSMA-IoT-infographic_18-19_2.png
2. The Mobile Economy 2018, GSMA Intelligence –
<https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-commercial-launches> –
<https://www.iotworldtoday.com/2017/09/20/top-20-industrial-iot-applications/>
3. <https://www.gsma.com/futurenetworks/5g/introduction-to-5g-network-slicing/>
4. <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/10/mmWave-5G-benefits.pdf>
5. The 5G Guide, A Reference for Operators, p.130, GSMA Intelligence
6. The 5g era: Age of boundless connectivity and intelligent automation, p.23, GSMA Intelligence
7. The 5G Guide: A Reference for Operators, p100, GSMA Intelligence
8. Latency is the time taken for information to be sent from a device until it can be used by the receiver.
9. <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=1578f93f699691a8a2f6285042e0fab3&download>
10. Business Insider Intelligence Connected Car Report (<https://www.businessinsider.com/connected-car-forecasts-top-manufacturers-leading-car-makers-2016-4-29/?r=AU&IR=T>)
11. 5GAA Forecast - The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligent automation, GSMA
12. The 5G Guide, A Reference for Operators, p.115 eMBB Drivers, GSMA Intelligence
13. <https://www.gsma.com/futurenetworks/technology/understanding->

5g/fixed-wireless-access/

14. <https://www.gsma.com/iot/resources/smart-city-chicago/>
15. <https://www.gsma.com/iot/smart-cities-resources/smart-cities-health/>
16. <https://www.gsma.com/iot/resources/ericsson-smart-industrial-factory/>
17. <https://www.mobileeurope.co.uk/press-wire/deutsche-telekom-partners-up-for-smart-factory-push>
18. <https://www.gsma.com/iot/resources/china-mobile-electric-smart-metering-internet-of-things-case-study/>
19. <https://www.mobileeurope.co.uk/press-wire/tim-demos-how-5g-could-reduce-port-emissions>
20. <https://www.gsma.com/iot/resources/mobile-iot-asia-pacific-case-study/>
21. https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/08/201902_GSMA_NB-IoT_Commercialisation_CaseStudy.pdf
22. <https://www.headstuff.org/entertainment/gaming/how-the-internet-of-things-is-changing-the-gaming-industry/>
23. <https://www.gsma.com/futurenetworks/5g/fixed-wireless-access-economic-potential-and-best-practices/>
24. Технологии мобильной связи пятого поколения (5G). Анализ и перспективы. – http://www.ericsson.com/ru/news/130919_wp_5g_254740124_c
25. Бурмистров, А.В. Современные технологии мобильной связи. / А.В. Бурмистров, М.С. Коган // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 122-123
26. LTE: взгляд изнутри. – <http://habrahabr.ru/post/136317>
27. J'son & Partners Consulting. Рейтинг LTE-покрытия операторов мобильной связи России по итогам 2014 года. – http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rejting-lte-pokrytiya-operatorov-mobilnoy-svyazi-rossii-po-itogam-2014-goda-20150127055011
28. The State of LTE. – <http://opensignal.com/reports/2015/02/state-of-lte->

q1-2015

29. J'son & Partners Consulting. Сети 4G LTE и перспективы появления и развития сетей мобильной связи пятого поколения (5G). – 2014.

30. Сети 4G LTE и перспективы появления и развития сетей мобильной связи пятого поколения (5G). [http://tssonline.ru/articles2/reviews/seti-4g-lte-i-perspektivu-rojavleniya-i-razvitiya-setey-mobilnoy-svyazi-pyatogo-pokoleniya-\(5g\)](http://tssonline.ru/articles2/reviews/seti-4g-lte-i-perspektivu-rojavleniya-i-razvitiya-setey-mobilnoy-svyazi-pyatogo-pokoleniya-(5g))

31. Оссейран, А. Технологии мобильной связи 5G: анализ и перспективы / А. Оссейран // Первая миля. – 2013. – Вып. 5. – С. 16–21.

32. Потенциальные технологии в стандарте 5G. – <http://1234g.ru/5g/chto-takoe-5g>

33. Стоянов В.Е. Технологии мобильной связи пятого поколения (5G) / В.Е. Стоянов // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции

34. «Сейфуллинские чтения – 9: Новый вектор развития высшего образования и науки» посвященная дню Первого Президента Республики Казахстан. – 2013. – Т.2, ч.2 – С. 50-52.

35. Соболева Л.А. Планирование радиочастотного ресурса в 5G мобильной связи / Л.А. Соболева // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения-12: Молодежь в науке – инновационный потенциал будущего» . – 2016. – Т.1, ч.3 – С. 296–297.

36. Theodore S. Rappaport. Smart Antennas Could Open Up New Spectrum For 5G. – <http://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/smart-antennas-could-open-up-new-spectrum-for-5g>

37. M2M (Machine-to-Machine). – <http://www.altalabs.ru/technology/m2mabout.php>

38. Перспективы развития сетей 5G: технологии и особенности использования спектра. – http://www.rpls.ru/seminar/piter2014/2014_Tikhvinskiy_5G.ppt

39. Попсулин, С. 5G: как изменится мобильная связь в ближайшие

5 лет. / С. Попсулин // CNews. – 2014. – № 71. – С. 52-55

40. Око планеты. Будущее на пороге: Интернет вещей. – <https://oko-planet.su/ekstrim/ekstrimday/print:page,1,228545-buduschee-na-porogeinternet-veschey.html>

41. Колесников, А.В. Исследование и разработка алгоритмов оценивания параметров канала и демодуляции в системах связи с ортогональным частотным мультиплексированием : дис. канд. техн. наук / А.В. Колесников. – М.: 2013. – 121 с.

Дипломна робота

магістра із спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

тема роботи:

Технологія 5G для пристроїв ІоТ

Студент:

Зоря Віталій Олегович, гр. ТРМ-20-1

Керівник

к.т.н., доц. Макаришкін Денис Анатолійович

Мета роботи:

Визначення факторів застосування технології 5G за умов існування міської інфраструктури та різних кліматичних умов

Об'єкт

технологія передачі інформації в мережі 5G з

дослідження:

використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц

Предмет

технологія передачі інформації в мережі 5G з

дослідження:

використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Провести аналіз проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO і хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів.
2. Визначити актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку.
3. Провести аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови з врахуванням високої щільності забудови і наявності великої кількості рослинності.
4. Провести моделювання прототипу мережі п'ятого покоління з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц.

Науково-практичне значення отриманих результатів

На основі проведених досліджень, представлено оцінку розповсюдження сигналів на частотах 3,55 і 30 ГГц за умов щільної міської будівлі та кліматичних умов..

СТАН ПРОБЛЕМАТИКИ НАДАННЯ ШИРОКОСМУГОВОДУ ДОСТУПУ

Очікується, що кількість підключень IoT зросте протягом наступних п'яти років. За прогнозами GSMA Intelligence, до 2025 року загальна кількість IoT-з'єднань зросте до 25,2 мільярдів. За оцінками, 3,1 мільярда з них використовуватимуть технології стільникового зв'язку, у тому числі малопотужні глобальні мережі мобільного Інтернету речей.

Пристрої IoT сьогодні використовують широкий спектр бездротових технологій. Сюди входять технології короткого радіусу дії, які зазвичай використовують неліцензійний спектр, наприклад WiFi, Bluetooth, ZigBee і Z-wave, а також технології широкого стільникового зв'язку, що використовують ліцензований спектр, наприклад GSM, LTE і 5G. Також доступні альтернативні рішення, такі як технології малої потужності, що працюють у неліцензійному спектрі, зокрема LoRa та Sigfox.

5G дає ряд переваг для IoT, які недоступні з 4G або іншими технологіями. Серед них — здатність 5G підтримувати величезну кількість статичних і мобільних пристроїв IoT, які мають різноманітні вимоги до швидкості, пропускної здатності та якості обслуговування. Більшість із них можна згрупувати за трьома основними категоріями – розширений мобільний широкосмуговий доступ (eMBB), масовий Інтернет речей (відомий як mMTC) та критичні комунікації. Мережі 5G, які розгортаються сьогодні, будуються на мережах 4G, які використовують технології LTE для машин (LTE-M) і вузькосмугового IoT (NB-IoT), при цьому 5G забезпечує функціональність, необхідну для підтримки як існуючих, так і майбутніх випадків використання.

ІНТЕГРАЦІЯ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РАДІОДОСТУПУ

Разом з місткістю мережі і швидкістю стільникового з'єднання, рівномірність мережевого покриття є важливим чинником, що впливає на якість обслуговування і сприйняття послуг користувачем.

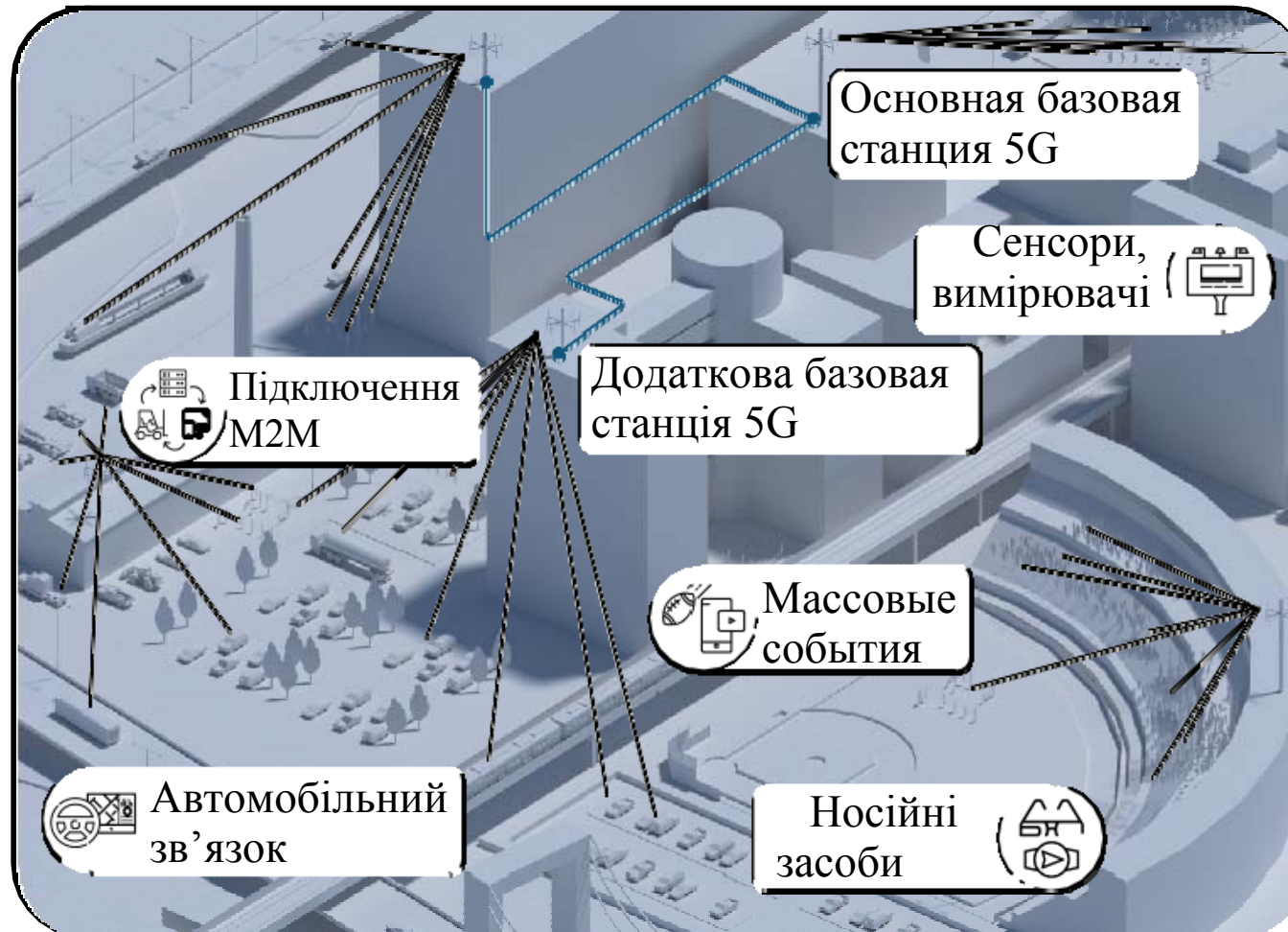


Рисунок 4.1 – Особливості перспективних гетерогенних мереж 5G

БАЗОВІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ 5G

Організація стандартів 3GPP внесла ряд удосконалень в архітектуру мережі 5G і специфікації NR, щоб покращити підтримку пристроїв IoT, які використовуються споживачами та підприємствами.

3GPP Випуск 16, другий етап специфікацій 5G, планується завершити до грудня 2019 року. Випуск 16 розширить можливості 5G NR і представить підтримку таких ключових функцій, як:

УЛЬТРАНАДІЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК НИЗЬКОЮ ЧАСТОТОЮ (URLLC)

Стійкість буде ключовою в епоху 5G, оскільки мобільну мережу прямо просять підтримувати наднадійні та критичні системи, такі як автоматичне керування промисловими пристроями та автономними самокерованими транспортними засобами. За даними GSMA, це важливий момент для продажу 5G і відображається в ідентифікації URLLC як одного з ключових стовпів можливостей 5G.

URLLC має вирішальне значення для корпоративних випадків використання IoT. У розумних будинках можливості URLLC принесуть ряд переваг, підтримуючи онлайн-ігри та пристрої AR/VR. Швидший час відгуку та вища надійність зменшать затримки передачі, забезпечуючи більш захоплюючий досвід.

ФІКСОВАНИЙ БЕЗДРОТОВИЙ ДОСТУП (FWA)

5G FWA дозволяє швидко та економічно налаштувати послуги домашнього широкопasmового доступу в районах, які не мають доступу до домашнього широкопasmового фіксованого зв'язку

НЕПУБЛІЧНІ МЕРЕЖІ

Промислові програми IoT часто вимагають високого рівня безпеки та надійності. До них належать:

- Промислові роботи
- Заводські транспортні засоби
- Прогнозне обслуговування
- Підключені інструменти
- Технології для носіння

РОЗШИРЕНА МОБІЛЬНА ШИРОКОСМУГОВА СИСТЕМА ДОСТУПУ (eMBB)

GSMA очікує, що 5G розширить ринок споживчого Інтернету речей, забезпечуючи високошвидкісний, надійний і безпечний розширений мобільний широкопasmовий доступ (eMBB) на ранніх етапах його впровадження [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

ЗАСТОСУВАННЯ 5G



Рисунок 6.1 – Порівняння середньої швидкості у технологіях 2G, 3G, 4G та Wi-Fi

ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

Massive MIMO

Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) полягає у використанні декількох антен на приймальній та передавальній сторонах, що дозволяє збільшити пропускну здатність без розширення смуги частот або збільшення потужності сигналу (рисунок 3). У даній технології швидкість передачі даних зростає практично пропорційно до кількості антен, при цьому якість сигналу покращується за рахунок прийому сигналу відразу декількома антенами [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

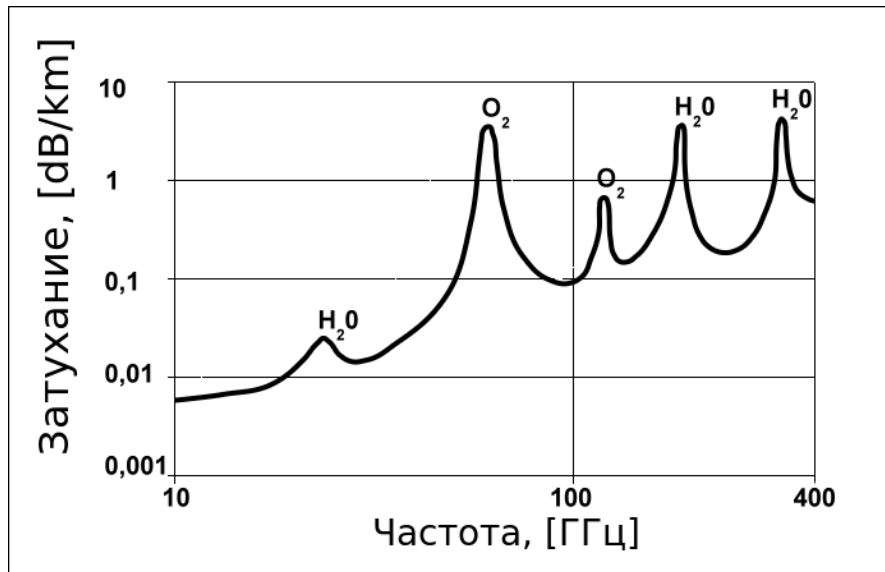


Рисунок 7.2 – Графік залежності загасання в атмосфері від частоти у діапазоні КВЧ

проблему можна підвищуючи потужність передачі, обмежену санітарними нормами. Базові станції мереж п'ятого покоління планується розміщувати щільніше, ніж зараз, що необхідно для створення більшої ємності мережі, а також для вирішення проблеми затухання сигналу в діапазоні міліметрових хвиль.

Для мобільних систем особливий інтерес має технологія Multi-User MIMO (MU-MIMO), що дозволяє забезпечувати передачу незалежних потоків даних різним користувачам одночасно.

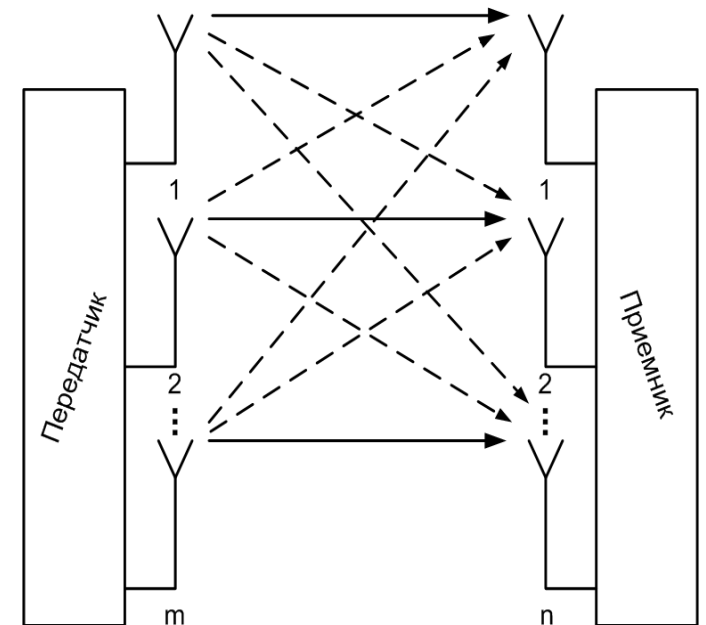


Рисунок 7.1 – Технологія MIMO

Перехід у сантиметровий та міліметровий діапазони

На сьогоднішній день мережі третього та четвертого покоління працюють у частотних діапазонах менше 3 ГГц. Передбачається, що перехід у вищі діапазони буде здійснено в мережах п'ятого покоління. На дальність зв'язку в міліметровому діапазоні значний вплив надає атмосферне згасання, пов'язане з поглинанням енергії радіохвиль молекулами різних речовин, насамперед води та кисню. Вирішити цю

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G В УМОВАХ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ

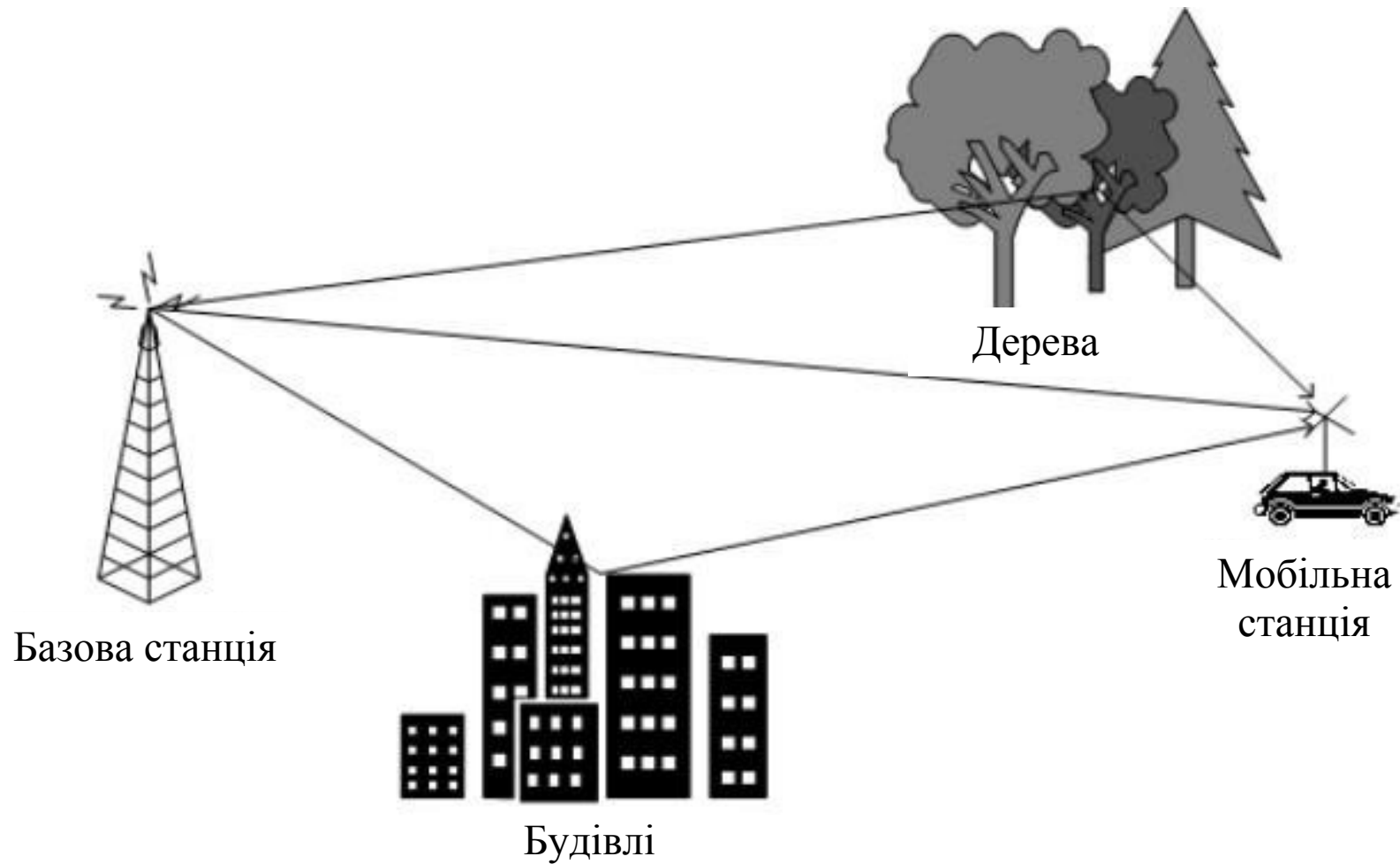
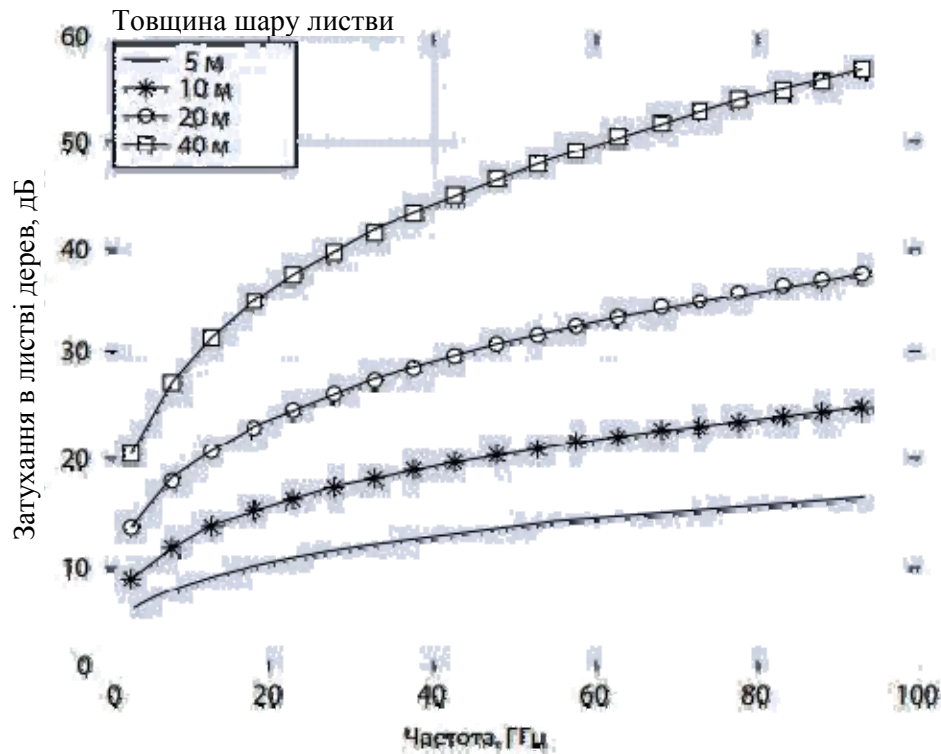
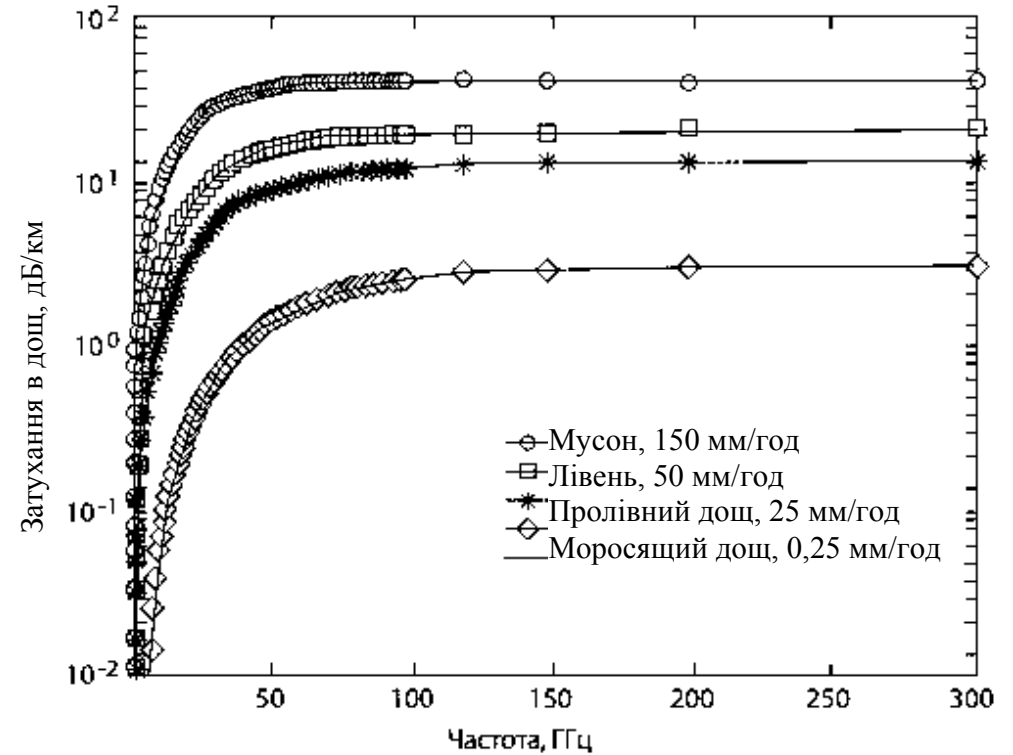


Рисунок 8.1 – Приклад багатопроменевого характеру розповсюдження сигналу внаслідок відбиття

ЗАГАСАННЯ СИГНАЛУ ПРИ РОЗПОВСЮДЖЕННІ



а)



б)

Рисунок 9.1 – Загасання радіохвиль в листі дерев і в дощі:
а - втрати на листі, б - загасання при дощі

Високий рівень загасання для певних будівельних матеріалів, таких як цеглину і бетон, не пропускає всередину будівель міліметрові хвилі, що випромінюються вуличними базовими станціями і іншими зовнішніми джерелами, хоча деякі сигнали можуть потрапити всередину крізь вікна і дерев'яні двері.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G ЗА УМОВ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ

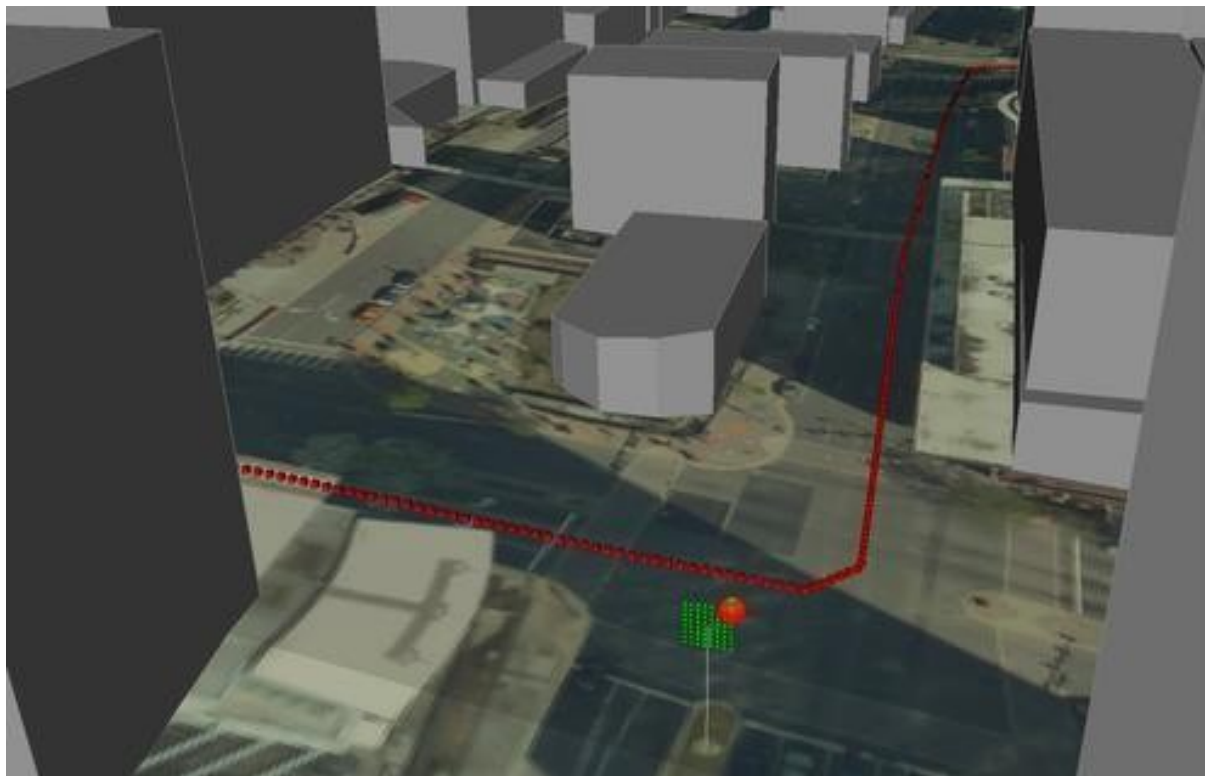


Рисунок 10.1 – Моделювання мережі 5G в Wireless InSite

Модель міста, що імпортується, і ландшафт містять в цілому 3800 граней. Будівлям і рельєфу місцевості присвоєні властивості матеріалу з провідністю 0,484 См/м і діелектричною проникністю 5,31.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G ЗА УМОВ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ ТИП: МІМО, 128 КАНАЛІВ

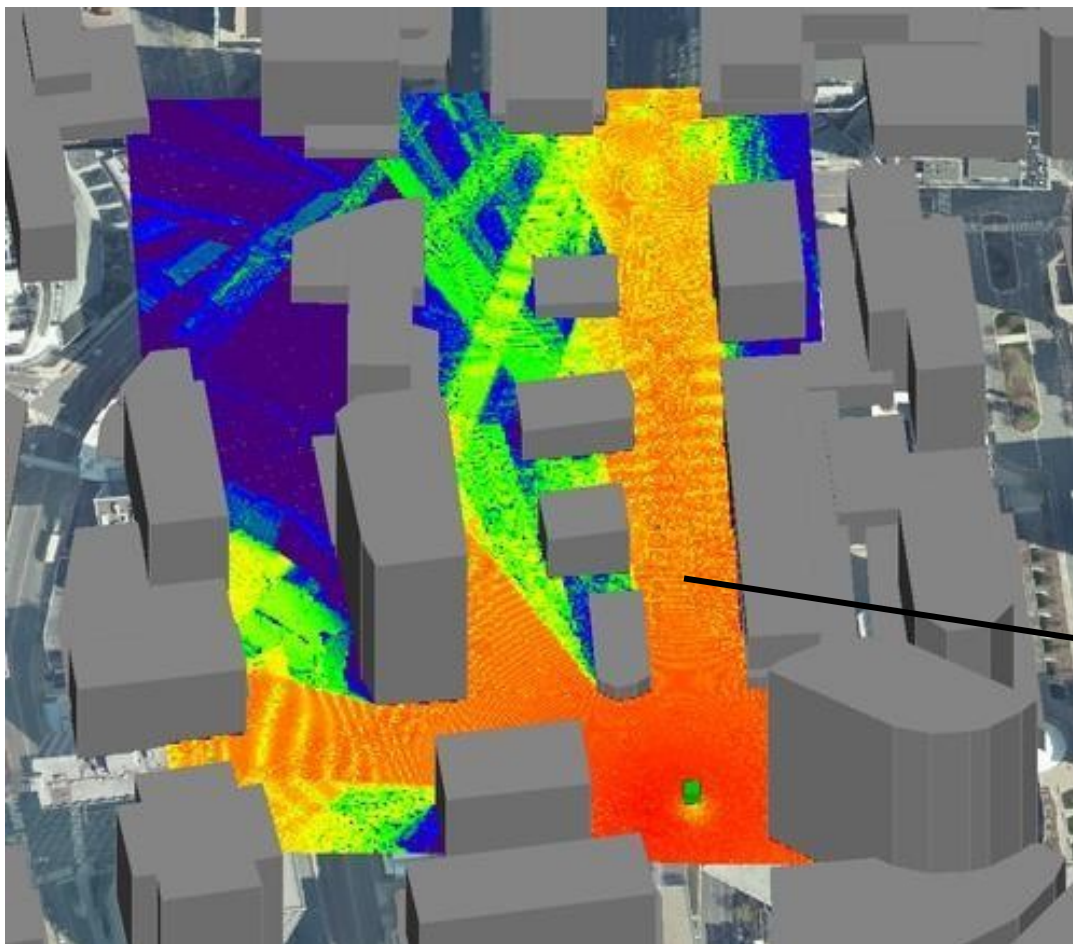


Рисунок 11.1 – Карта місцевості, що показує рівень покриття поблизу базової станції

червоний колір відповідає зонам з максимальним рівнем сигналу, а синій показує зони з мінімальним рівнем. Наочно можна побачити багатопроневе поширення сигналу і його загасання із-за перешкод, що



МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G ЗА УМОВ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ ТИП: SISO, 1 АНТЕНА, 3,55 ГГц

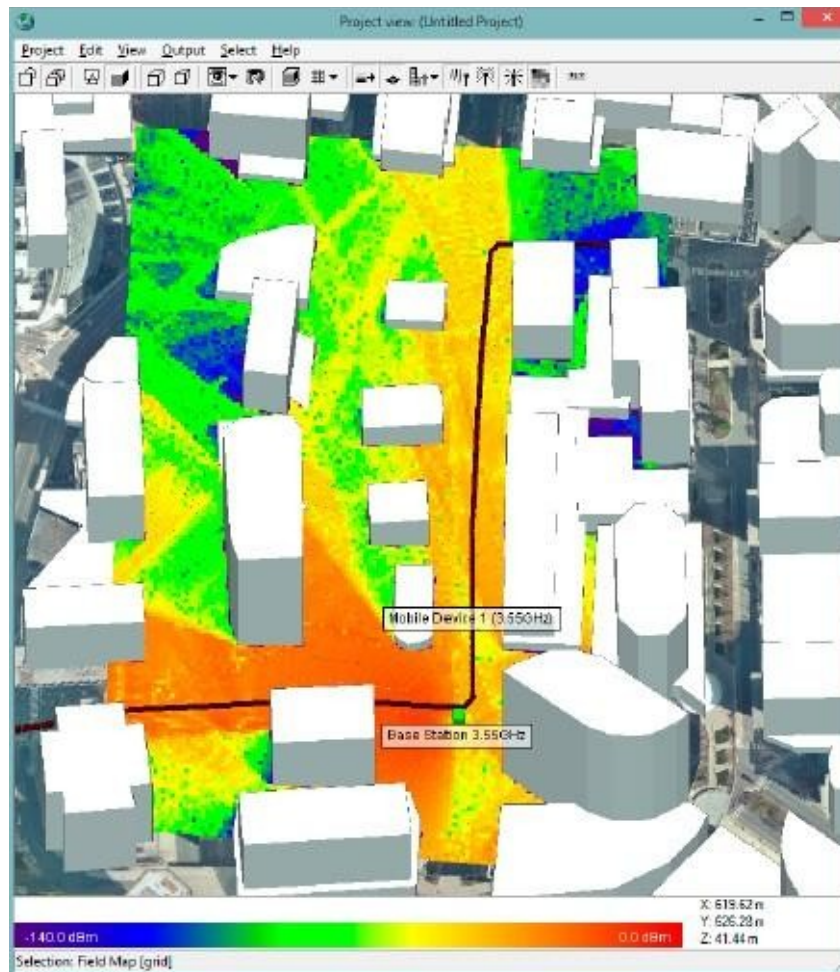


Рисунок 12.1 – Карта місцевості, що показує рівень покриття поблизу базової станції з використанням SISO

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ MIMO

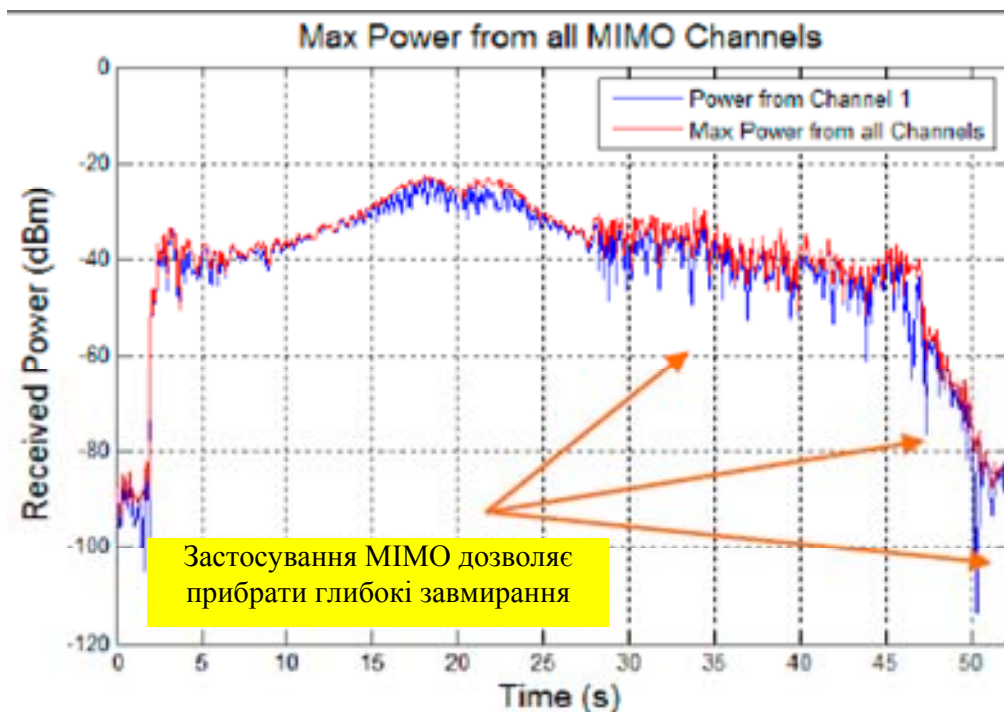


Рисунок 13.1 – Компенсація завмирань за допомогою використання технології MIMO

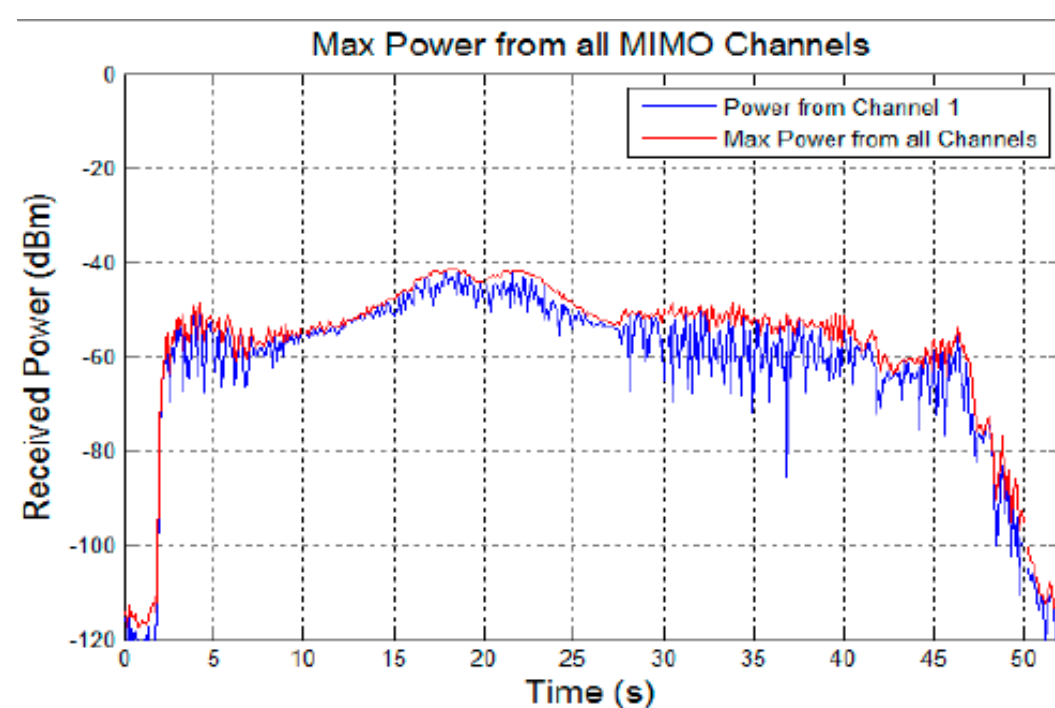


Рисунок 13.2 – Компенсація завмирань за допомогою використання технології Massive MIMO

За результатами моделювання можна зробити висновок, що реалізація мережі 5G із застосуванням технології MIMO і міліметрових хвиль в умовах щільної багатоповерхової можлива. Особливості поширення сигналу в діапазоні міліметрових хвиль для забезпечення якісного покриття вимагають організації малих сотів.

ВИСНОВКИ

1. У роботі проведений аналіз проектування мережі 5G в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO і хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів.

2. Виявлені актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку. На цій основі визначені вимоги до мереж п'ятого покоління, до яких відносяться швидкість передачі даних від 1 до 10 Гбіт/с, час затримки і відгуку менше 1, час перемикання до 10 мілісекунд між різними технологіями радіодоступу для забезпечення безперервного надання сервісів, велика мережева місткість і низьке споживання енергії. Далі розглянуті способи рішення актуальних проблем в мережах п'ятого покоління і їх технічна реалізація. Також розглянуті технології міжмашинної взаємодії M2M (Machine - to - Machine) і D2D (Device - to - Device), нова архітектура мережі (застосування малих сотів) і використання нових сигнально-кодових конструкцій в мережах 5G.

3. Проведений аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови. До особливостей, які варто враховувати при проектуванні мереж мобільного зв'язку, відносяться висока щільність забудови і наявність великої кількості рослинності, що значно ускладнює поширення сигналів, а також швидко зростаюча кількість абонентів і їх щільність, що збільшується, що вимагає великої місткості мережі. Зі збільшенням числа пристроїв, що підключаються до мережі, ця проблема стає ще актуальнішою, що в майбутньому викличе потребу у будівництві мереж п'ятого покоління. Розглянуто використання діапазону міліметрових хвиль в умовах даної місцевості. Зроблений висновок, що з урахуванням

специфіки районів з щільною забудовою і планованого використання діапазону сантиметрових і міліметрових хвиль, зв'язок п'ятого покоління організовуватиметься з використанням малих сотів.

4. Проведено моделювання прототипу мережі п'ятого покоління в програмі Wireless InSite. Вибір цієї програми обумовлений можливістю проводити моделювання в діапазоні сантиметрових і міліметрових хвиль, функцією налаштування параметрів MIMO і можливістю застосування Multi - User MIMO, точним прогнозування параметрів сигналу у будь-якій точці даної місцевості, з урахуванням багатопроменевого поширення і загасання в атмосфері, а також зручним інтерфейсом, що надає можливість виведення необхідних параметрів сигналу на екран. Проведено моделювання з використанням SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц. Зроблений висновок, що використання міліметрових хвиль приводить до меншого рівня сигналу, що приймається, що викликано великим загасанням хвиль цього діапазону в атмосфері і низькою здатністю долати перешкоди. Застосування MIMO виправдовує себе, оскільки дозволяє компенсувати завмирання. Таким чином, реалізація мережі 5G із застосуванням Massive MIMO в діапазоні міліметрових хвиль в умовах щільної багатоповерхової забудови є можливою за умови організації малих сотів. Застосування цих технологій дозволить реалізувати вимоги до мереж п'ятого покоління.

ДЯКУЮ

ЗА

УВАГУ !

Завідувачу кафедри

АКІТ

Мельничук В.Р.

здобувача вищої освіти (студента
ПШБ, факультет, «курс», «група»)

Зорка В.О.

ЗАЯВА

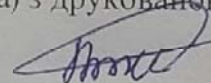
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

03.12.2021

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ ПО КАФЕДРИ АКІТ
 ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Технологія 5G для пристроїв IoT

Автор: В.О. Зорьє

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: Д.А. Макаришин

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

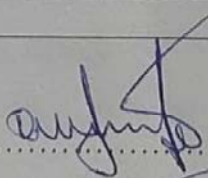
№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<u>Відповідно</u>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

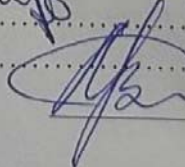
03.12.2021

9.12.2021

Дата



Макаришин Д.А.

 Мартинюк В.

Підписи

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 10%**

ID: 98303 Назва: Магістерська кваліфікаційна робота Додано в БД: 2021-12-07 Автора: Зоря В.О. Керівники: Макаришкін Д.А. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	150161	1201	1429 (1%)	21 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1009568743

Дата перевірки:
07.12.2021 11:19:09 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
07.12.2021 11:29:05 EET

ID користувача:
100005862

Назва документа: 02-2_Зоря

Кількість сторінок: 107 Кількість слів: 23879 Кількість символів: 181748 Розмір файлу: 3.27 MB ID файлу: 1009575571

8.04% Схожість

Найбільша схожість: 0.62% з Інтернет-джерелом (<https://www.manuelenriquemorales.com/literatura-sobre-aplicacione..>)

8.04% Джерела з Інтернету

537

Сторінка 109

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

6

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу студента групи ТРМ-20-1

Зорі Віталія Олеговича

" Технологія 5G для пристроїв IoT "

Дипломна робота присвячена розгляду питань впровадження 5G та Інтернету речей.

Актуальність теми підтверджується проблематикою застосування Інтернету речей для роботи в таких напрямках як хмарні обчислення, штучний інтелект і периферійні обчислення, що допомагають обробляти обсяги даних, що генеруються IoT, такі напрями як розділення мережі, непублічні мережі та ядро 5G.

В дипломній роботі магістра ставиться та виконується ряд завдань, серед яких:

- проаналізовано мережу 5G з точки зору проектування в умовах багатоповерхової забудови із застосуванням технології MIMO і хвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів.
- проведено аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови з врахуванням високої щільності забудови.
- застосовано програмні засоби моделювання для моделювання прототипу мережі п'ятого покоління з використанням технологій SISO, MIMO 4x4 і Massive MIMO на частотах 3,55 і 30 ГГц.

Робота складається з 4-х розділів, загальним обсягом 82 сторінок. В роботі використано 41 посилання на літературні джерела. В роботі 25 рисунків та 4 таблиці.

За змістом робота є цілісною та містить достатню кількість посилань на літературні джерела, висновки з отриманих результатів сформовані технічно грамотно.

Викладення матеріалу є послідовним та логічно пов'язаним, застосовується велика кількість ілюстрацій та додатків. Результати дослідження показують, що в реальній постановці завдання є багатокритерійними. Наведені у роботі формули, припущення та висновки мають достатнє обґрунтування та детальне пояснення. Мова викладення роботи є технічно грамотною, зрозумілою та не перенасиченою спеціальними термінами. Оформлення пояснювальної записки знаходиться на належному рівні, граматичних та стилістичних помилок дуже обмежена кількість.

Серед позитивних сторін магістерської роботи слід відмітити наступне:

1. 5G надає низку переваг, яких немає в інших технологіях. До них відноситься гнучкість 5G для підтримки величезної кількості статичних і мобільних пристроїв IoT, які мають різноманітні вимоги до швидкості, пропускну здатності та якості обслуговування.

2. Подальші вдосконалення 5G, такі як розділення мережі, непублічні мережі та ядро 5G, в кінцевому підсумку призначені для того, щоб допомогти реалізувати бачення глобальної


мережі IoT, підтримуючи величезну кількість підключених пристроїв із різноманітними вимогами до мобільності та доступності.

3. Визначено особливостей проектування мережі 5G за умов багатоповерхової забудови. Виявлено актуальні проблеми сучасних мереж зв'язку, способів вирішення актуальних проблем у мережах п'ятого покоління, сценаріїв використання мереж п'ятого покоління, способів технічної реалізації мереж п'ятого покоління, аналіз особливостей проектування та будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови, моделювання прототипу мережі п'ятого покоління у програмі Wireless InSite.

В цілому дипломна робота магістра Зорі Віталія Олеговича "Технологія 5G для пристроїв IoT " повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт магістра та заслуговує на оцінку "відмінно", а її автор – на присвоєння кваліфікаційного рівня магістра зі спеціальності 172 – "Телекомунікації та радіотехніка".

Рецензент:

Професор кафедри телекомунікаційних, медійних та інтелектуальних технологій, д.т.н., проф.



Юлій БОЙКО

ВІДГУК

на дипломну роботу студента групи ТРМ-20-1

Зорі Віталія Олеговича

" Технологія 5G для пристроїв IoT "

В роботі проведено аналіз та моделювання питань впровадження 5G та Інтернету речей.

Робота складається з 4-х розділів, загальним обсягом 82 сторінок.

В першому розділі розглянуто основні вектори розвитку радіотехнологій 5G. Націлені на забезпечення більше однакового і безшовного з'єднання, перспективні системи 5G вимушені застосовувати агресивні механізми переиспользования спектрального ресурсу і просунуті засоби управління інтерференцією. Оскільки ці технології були запропоновані порівняно недавно, межі їх застосовності в практичних гетерогенних мережах ще не встановлені остаточно. Показано, що іншим важливим аспектом є той факт, що стільникові системи в ліцензованому спектрі часто поєднуються географічно з мережами, що функціонують на неліцензованих частотах (наприклад, WiFi). З іншого боку, сучасні абонентські термінали придбавають можливість використання декількох технологій радіодоступу одноразово.

Другий розділ присвячено впровадженню технології IoT. На сьогоднішній день у світі існує більше 470 мережі 4G/LTE. На початок 2017 року, за даними стільникових операторів, у зоні покриття перебуває понад 70% населення. Кількість базових станцій мобільного зв'язку стандарту LTE та подальших його модифікацій у 2016 році в Європі збільшилася на 54,4 % – до 111,519 тисяч з 72,2 тисяч у 2015 році. Потоківідео, файлообмінні мережі та хмарні послуги будуть все більш затребуваними, стимулюючи збільшення швидкості передачі даних. У районах із щільною багатоповерховою забудовою необхідно буде забезпечити швидкість передачі даних у кілька Гбіт/с.

Третій розділ розглядає побудову мережі радіодоступу, що складаються з великих (макро-) сотів, які забезпечують безперервність покриття/мобільність абонентів, і малих (мікро-) сотів, які встановлюються в місцях з найбільшою щільністю абонентів (хотспотах) і забезпечують там необхідну додаткову місткість. Розмір макросотів, в основному, визначається використовуваним діапазоном частот. Для радіомереж стандартів 2G/3G/4G зараз використовуються частоти від 800 до 2600 МГц. Якщо для мереж 5G не будуть задіяні більш високі частоти, щільність установки базових станцій, що формують макростільники, не потрібно буде збільшувати. Оскільки вимоги до місткості ростуть на порядки від покоління до покоління мобільного зв'язку, то можна прогнозувати значний ріст необхідної кількості мікросотів при впровадженні 5G.

У четвертому розділі проведено симуляція з використанням технологій SISO, MIMO, Massive MIMO у середовищі Wireless InSite. Wireless InSite виводить на екран вибрані користувачем вихідні дані, такі як прийнята потужність, шляхи поширення сигналу і тому подібне. Результатом аналізу є потужність, що приймається мобільним пристроєм, відображена або у вигляді карти покриття по площі, або як функція відстані по маршруту. В результат отримується карта місцевості, що показує рівень покриття поблизу базової станції. Проведений аналіз особливостей проектування і будівництва мереж зв'язку в умовах щільної багатоповерхової забудови. До особливостей, які варто враховувати при проектуванні мереж мобільного зв'язку, відносяться висока щільність забудови і наявність великої кількості рослинності, що значно ускладнює поширення сигналів, а також швидко зростаюча кількість абонентів і їх щільність, що збільшується, що вимагає великої місткості мережі. Зі збільшенням числа пристроїв, що підключаються до мережі, ця проблема стає ще актуальнішою, що в майбутньому викличе потребу у будівництві мереж п'ятого покоління

В цілому дипломна робота магістра Зорі Віталія Олеговича "Технологія 5G для пристроїв IoT " повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт магістра та заслуговує на оцінку "відмінно", а її автор – на присвоєння кваліфікаційного рівня магістра зі спеціальності 172 – "Телекомунікації та радіотехніка".

Керівник :

доцент кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій, к.т.н., доц.



Денис МАКАРИШКІН

Д О В І Д К А

Засвідчує те, що стаття авторів МАКАРИШКІН Д.А., ЗОРЯ В.О. "ОГЛЯД ОСНОВНИХ ВЕКТОРІВ РОЗВИТКУ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ 5G ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОДНОЧАСНОГО ДОСТУПУ" прийнята до друку і буде надрукована в науковому журналі "Вісник хмельницького національного університету" № 6 за 2020 р. серії "Технічні науки".

Видання "Вісник Хмельницького національного університету" серії "Технічні науки" затверджений як фахове видання і включено до наукометричних баз: РИНЦ, Google Scholar, Index Copernicus, Polish Scholarly Bibliography.

8 грудня 2020 р.

Начальник відділу
інтелектуальної власності та
трансферу технологій,
відповідальний секретар Вісника ХНУ



Ю.В. Кравчик