ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис) Дмитро ШАРАН (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Дмитро ШАРАН

Керівник: Анатолій МАКАРЕНКО

Рецензент: О. Ткаленко

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шарану Дмитро Олеговичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами»,
керівник кваліфікаційної роботи Анатолій МАКАРЕНКО, д.т.н., професор,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Основні поняття про безпроводові сенсорні мережі та 5G мережі.
   2. Особливості визначення координат в безпроводових сенорних мережах з використанням 5G мереж.
   3. Дослідження 5G мереж для можливості інтеграції у безпроводові сенсорні мережі.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Застосування технології нарізки мережі 5G.
   2. Дослідження 5G NR для можливості інтеграції у безпроводові сенсорні мережі .
   3. Дослідження точності позиціонування при різній кількості опорних вузлів.
   4. Дослідження загасання сигналу при поширенні між передавачем і приймачем.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Основні поняття про безпроводові сенсорні мережі та 5G мережі	31.10.23	Викон.
3.	Особливості визначення координат в безпроводових сенорних мережах з використанням 5G мереж	15.11.23	Викон.
4.	Дослідження 5G мереж для можливості інтеграції у безпроводові сенсорні мережі	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти Дмитро ШАРАН

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи Анатолій МАКАРЕНКО

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Шарана Дмитра Олеговича

на тему: «Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами»

Актуальність:

У сучасному світі, на тлі швидкого розвитку безпроводових технологій та швидкого приходу 5G мереж, виникає належна необхідність удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою їхньої оптимальної інтеграції з передовими системами зв'язку.

Ця тема стає не лише актуальною, але і стратегічно важливою, оскільки вона адресує ключові виклики, пов'язані з підвищенням масштабів підключення, ефективним використанням ресурсів та покращенням якості обслуговування в контексті неперервно зростаючого попиту на швидку та надійну передачу даних.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показав високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.

2. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Широко використовується сучасна науково-технічна література, включаючи англомовні видання.

Недоліки:

1. В роботі недостатньо викладено матеріал про кожен з методів триангуляції.

2. В роботі не приведено аналізу використання безпроводових сенсорних мереж з 5G мережею в Україні .

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач ШАРАН Дмитро Олегович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ІПЗАС _____ Оксана ТКАЛЕНКО
(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Шаран Д.О. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Шаран Дмитро Олегович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Шарана Дмитра Олеговича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Шаран Д.О.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 88 стор., 46 рис., 6 табл., 24 дж.

Мета роботи – розробка алгоритму удосконалення інтеграції 5G в безпроводові сенсорні мережі.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії безпроводових сенсорних мереж та 5G-мереж.

Предмет дослідження – методи інтеграції 5G в безпроводові сенсорні мережі.

Короткий зміст роботи: У роботі досліджено питання нарізки 5G мережі та інтеграцію 5G NR у безпроводові сенсорні мережі. Основний акцент роботи спрямований на вирішення важливих викликів, таких як забезпечення масштабованості, енергоефективності та забезпечення високої якості обслуговування в умовах зростаючої кількості підключених пристроїв.

В роботі розгялдаються і аналізуються сучасні стандарти 5G і їх вплив на характеристики безпроводових сенсорних мереж. Зокрема, розглядається аспекти пропускної здатності, низької затримки та механізми масштабування. Робиться спроба визначити оптимальні стратегії для інтеграції сенорних мереж з високопродуктивними 5G мережами з метою покращення ефективності і забезпечення надійної передачі даних в умовах високого трафіку

.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ; **5G;** IEEE 802.15.4; Cell ID; ТРИАНГУЛЯЦІЯ; 3GPP

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 88 pages, 46 pictures, 6 table, 24 sources.

The purpose of the work – development of algorithmic advanced integration 5G in wireless sensory networks.

Object of research – process of interaction of wireless sensor networks and 5G networks.

Subject of research – methods of 5G integration into wireless sensor networks.

Summary of the work: This work has a 5G network power supply. Surrounding this is the integration of 5G NR in droneless sensor technology. The main focus of the work is aimed at addressing crucial challenges such as ensuring scalability, energy efficiency, and providing high-quality service in the face of a growing number of connected devices.

This work examines and analyzes contemporary 5G standards and their impact on the characteristics of Wireless Sensor Networks (BSN). Specifically, it delves into aspects of throughput capacity, low latency, and scalability mechanisms. An attempt is made to identify optimal strategies for integrating sensor networks with high-performance 5G networks to enhance efficiency and ensure reliable data transmission in conditions of high traffic

KEYWORDS: WIRELESS SENSOR NETWORK; 5G; IEEE 802.15.4; Cell ID; TRIANGULATION; 3GPP

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ТА 5G ТЕХНОЛОГІЮ 14
1.1 Початок безпроводових сенсорних мереж 14
1.2 Сучасні безпроводові мережі 15
1.3 Особливості безпроводових сенсорних мереж 17
1.4 Структура безпроводових сенсорні мереж та сенсора 18
1.5 Історія та загальний огляд технології 5G 22
1.6 Використання безпроводової сенсорної мережі на основі підходу 5G 24
1.7 Сценарії застосування п'ятого покоління (5G) 31
2. ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ 5G МЕРЕЖ 34
2.1 Особливості позиціонування всередині приміщення 34
2.2 Аналіз особливостей алгоритмів позиціювання 37
2.3 Програмно-апаратний комплекс стандарту ZigBee 44
2.4 Алгоритм оптимізації розрахунку покриття 5G на основі співпраці 4G/5G 55
3. ДОСЛІДЖЕННЯ 5G ДЛЯ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ У БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ 62
3.1 Застосування технології нарізки мережі 5G 62
3.2 Дослідження 5G NR для можливості інтеграції у безпроводові сенсорні мережі 69
3.3 Дослідення точності позиціонування при різній кількості опорних вузлів 74
3.4 Дослідження загасання сигналу при поширенні між передавачем і приймачем 79
ВИСНОВКИ 83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 85
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AOA	Angle of Arrival	Кут прибуття
AWACS	Airborne Warning and Control System	Бортова система попередження і контролю
BER	Bite Error Rate	Коефіцієнт бітових помилок
EPE	Ekahau Positioning Engine	Система позиціонування Ekahau
GPS	Global Positioning System	Глобальна система позиціонування
RSSI	Received Strength Signal Indication	Індикація рівня прийнятого сигналу
RTT	Round Trip Time або Return Time of Arrival	Час проходження туди і назад або Час прибуття назад
SDSTWR	Symmetric Double Sided Two Way Ranging	Симетричне двостороннє ранжування
SOSUS	Sound Surveillance System	Звукова система спостереження
TDOA	Time Difference of Arrival	Різниця часу прибуття
TOA	Time of Arrival	Час прибуття
UWB	Ultra Wide Band	Ультра широка смуга
VOR	VHS Omnidirectional Ranging	Всеспрямований азимутальний радіомаяк
WSN	Wireless Sensor Network	Бездротові сенсорні мережі
NFV	Network Functions Virtualization	віртуалізацію мережевих функцій
SDN	Networks with a soft definition	Мережі з м'яким визначенням
eMBB	Advanced mobile broadband	Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок
RRC	Radio Resources Connection	Режим підключення до радіо

		ресурсів
IoT	Internet of Things	Інтернет речей
WPAN	Wireless Personal Network	Безпроводова персональна мережа
RFID	Radio Frequency IDentification	Радіочастотна ідентифікація
GSA	Global association of mobile equipment suppliers	Глобальною асоціацією постачальників мобільного обладнання
Open RAN	Architecture of an open radio access network	Архітектура відкритої мережі радіодоступу
URLLC	Ultra-reliable, low-latency connection	Наднадійний зв'язок із малою затримкою
DSS	Dynamic spectrum sharing	Динамічний спільний доступ до спектру
CA	Carriers Aggregation	Технологія агрегації кількох несучих
БСМ	Wireless Sensor Network	Бездротові сенсорні мережі
ОС	Operating System	Операційна система
ПЧ	Frequency converter	Перетворювач частоти
ПЗП	Permanent memory device	Постійний запам'ятовуючий пристрій

ВСТУП

У нашому сучасному цифровому світі, який стрімко розвивається, бездротові сенсорні мережі та 5G мережі стали важливими технологічними стовпами, які формують майбутнє спільного використання інформації і комунікації. Бездротові сенсорні мережі здатні збирати великий обсяг різноманітних даних з оточуючого середовища, в той час як 5G мережі надають надзвичайно високі швидкості передачі даних та мінімальну затримку. Ці два напрями технологічного розвитку обіцяють перевернути наше розуміння та використання бездротових комунікацій.

Актуальність дослідження теми "Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами" визначається рядом факторів.

По-перше, це потенціал створення великого об'єднаного інфраструктурного середовища, де бездротові сенсорні мережі можуть стати "розумними сенсорами" для 5G мереж, які надають інформацію з найрізноманітніших джерел. Ця інтеграція відкриває двері до низки перспективних застосувань, від управління містами та автоматизації виробництва до медицини та наукових досліджень.

По-друге, актуальність полягає в тому, що інтеграція безпроводових сенсорних мереж та 5G мереж вимагає розробки та вдосконалення методів, які забезпечать ефективну спільну роботу цих технологій. Це охоплює аспекти маршрутизації, енергоефективності, безпеки даних та стандартизації.

Проте, разом з потенціалом бездротових сенсорних мереж приходять і складності та проблеми, які потребують ретельного розгляду та розв'язання. В даному контексті, виникають питання про енергоефективність, безпеку даних, оптимальне розміщення сенсорів, ефективну маршрутизацію даних, а також вартість розгортання та підтримки таких мереж. Дослідження і розробка рішень для цих проблем стають важливими завданнями в області бездротових сенсорних мереж.

У цьому контексті, важливо вивчити та зрозуміти проблематику бездротових сенсорних мереж для розробки більш ефективних та надійних систем, які сприяють покращенню якості життя та розвитку різних галузей, від медицини до науки та

промисловості. У даному тексті ми розглянемо ключові аспекти цієї проблематики та можливі шляхи її вирішення.

Ступінь наукової розробки: Наукова розробка у галузі "Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами" наразі перебуває на різних ступенях розвитку і має як зарубіжні, так і вітчизняні досягнення. Давайте коротко розглянемо їхній стан і визначимо аспекти, які можуть потребувати додаткового дослідження:

Аналіз стану у світовій науці: Зарубіжні дослідники активно працюють над інтеграцією безпроводових сенсорних мереж і 5G мереж. Було розроблено різні алгоритми маршрутизації та протоколи для забезпечення зв'язку між цими двома видами мереж. Проте, багато робіт фокусуються на різних аспектах безпеки та енергозбереження, а важливі аспекти, такі як ефективна координація інтегрованих систем у великих масштабах, можуть потребувати подальших досліджень.

Вітчизняні розробки: У вітчизняних дослідженнях також існують роботи, присвячені інтеграції безпроводових сенсорних мереж та 5G. Вони досліджують різні аспекти, включаючи енергозбереження та маршрутизацію. Проте, важливо звернути увагу на потребу більшого фокусу на питаннях стандартизації і практичної реалізації цих методів.

Недостатнє дослідження аспектів масштабування: Один з аспектів, який може потребувати додаткового дослідження, це масштабування інтегрованих систем для використання в великих масштабах, таких як міські мережі IoT. Це може включати розробку методів управління ресурсами та оптимізацію роботи системи в умовах великої кількості пристроїв.

Аспекти безпеки та приватності: Забезпечення безпеки та приватності даних у інтегрованих системах є критично важливим завданням, і дослідження в цій області повинні бути подальшим напрямком розвитку.

Отже, інтеграція безпроводових сенсорних мереж і 5G мереж вже отримала значну увагу у світовій і вітчизняній науковій спільноті. Проте, деякі аспекти, зокрема масштабування та питання стандартизації, можуть вимагати додаткового дослідження для повного використання потенціалу цієї інтеграції.

Практичне значення одержаних результатів: Отже, дана тема є актуальною і важливою для подальшого розвитку бездротових комунікацій та інформаційних технологій. Вона сприяє пошуку нових рішень і можливостей у великому спектрі галузей, що користуються безпроводовими та сенсорними технологіями, і є важливим напрямом наукових досліджень у сучасному інформаційному суспільстві.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ТА 5G ТЕХНОЛОГІЮ

1.1 Початок безпроводових сенсорних мереж

Створення безпроводових сенсорних мереж є відкриттям нового досі не знайомого комплексного напрямку в телекомунікаціях. Передумовами для створення даного напрямку є винайдення та створення таких технологій як: Інтернет речей(Internet of Things), безпроводові персональні обчислювальні мережі(WPAN), систем радіочастотної ідентифікації (RFID) та багато інших.

Основною відмінністю між бездротовими сенсорними мережами та добре відомими комп'ютерними та телефонними мережами є відсутність надійної платформи, що належить певному постачальнику послуг Інтернету або оператору зв'язку. Кожен компонент у сенсорній мережі здатний діяти і як транзитний вузол, і як кінцевий пристрій, як представлено на рисунку 1.1.

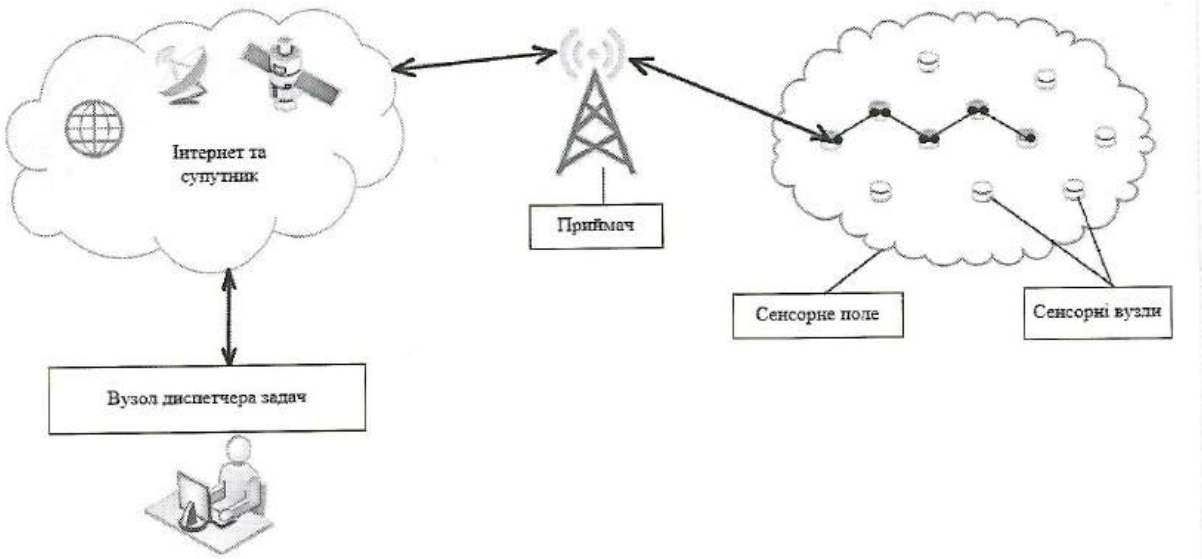


Рис. 1.1. Звичайна безпроводова сенсорна мережа

Система звукового спостереження, або скорочено SOSUS, була одним із найперших прототипів сенсорної мережі та призначена для ідентифікації та

виявлення підводних човнів.

Управління океанографії та атмосфери продовжує використовувати цю систему, яка пізніше була перекваліфікована для використання в цивільному секторі, для відстеження таких речей, як сейсмічна активність. Оборонні комплекси в континентальній частині США і Канади створили систему протиповітряної оборони під час холодної війни. Використання в цьому комплексі повітряних куль як станцій контролю та збору даних зробило його унікальним серед сенсорних мереж.

Початковий випуск стандарту IEEE 802.15.4[1] у 2003 році став важливою віхою в розвитку БСМ. Технологічний стандарт під назвою IEEE 802.15.4 визначає, як має функціонувати низькошвидкісна персональна бездротова мережа. Ця специфікація охоплює контроль доступу до медіа та фізичний рівень для LR-WPAN і підтримується робочою групою IEEE 802.15. Таким чином, в історії БСМ можна виділити два основних етапи.:

- До появи першої версії стандарту IEEE 802.15.4;
- Розвинення та покращення стандарту IEEE 802.15.4 та безпроводових систем і систем на її основі.

1.2 Сучасні безпроводові мережі

Зараз безпроводові сенсорні мережі використовує майже кожен на Землі й вони стали невіддільною частиною у сфері телекомунікацій[2]. Безпроводовий зв'язок має неймовірну кількість переваг: висока швидкість завантаження, мобільність, можливість з'єднання з іншими мережами, легкість створення та інші. Через це на ринку телекомунікацій це великий асортимент безпроводових технологій і кожен день тисячі компаній пропонують свої рішення в даній сфері. Найвідомішими прикладами безпроводової передачі даних є : Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, EDGE та ZigBee. Порівняє характеристики технологій BlueTooth, Wi-Fi та ZigBee представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Порівняльні характеристики сучасних технологій

Безпроводові технології	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee
Стандарт IEEE	802.15.1	802.11b	802.15.4
Пропускна здатність, кбіт/с	~723	~11000	~250
Діапазон дії, м	10-100	20-300	10-100
Частота діапазону, ГГц	2,4-2,483	2,4-2,483	2,4-2,483
Розмір стеку, кбайт	Більше 250	Більше 1000	32-64
Час безперервної автономної роботи від батареї, дні	1-10	0,5-5	100-1000
Максимальна кількість вузлів в мережі	7	10	65536
Сфера застосування	Заміщення дротового з'єднання	Передача мультимедійної інформації	Віддалений моніторинг та управління

Щоб вибрати правильно ту чи іншу технологію потрібно відштовхуватися від вимог, що потребуються від конкретної мережі. Критеріями для вибору можуть бути такі фактори як: стандарт IEEE, пропускна здатність, діапазон дії, частота діапазону, максимальна кількість вузлів в мережі та інші.

З таблиці 1.1 ми бачимо, що максимальна кількість вузлів, а також найбільший час роботи в автономному режимі від батареї в мережі у технології ZigBee, її стандартом є IEEE 802.15.4[3]. Дана технологія має й альтернативну назву таку як «Безпроводові сенсорні мережі (БСМ)» (WSN – Wireless Sensor

Network).

1.3 Особливості безпроводових сенсорних мереж

Саме по собі визначення «сенсорна мережа» має на увазі стійку до відмов мережу, що може самостійно організовуватися та має у своєму складі велику кількість малих за розміром і дешевих напівпровідникових пристроїв і виконуючих пристроїв які з'єднуються між собою за допомогою радіосигналу. Як я зазначав у пункті 1.1, одним із найперших прототипів сенсорної мережі була система SOSUS . Військові на морі отримали величезну користь від цієї стратегії. Через кілька років ця система була додана до літаків AWACS (Airborne Warning and Control System). Ці дві військові системи стали чудовими прикладами того, як сенсорні мережі створювалися на ранніх етапах їхнього розвитку, коли головною метою був аналіз продуктивності систем, а не підвищення ефективності, оптимізації, автономності чи економічної ефективності. Люди докладають зусиль, щоб сприяти роботі сенсорних мереж. Перед персоналом було поставлено завдання переконатися, що все пройшло гладко, а інші важливі елементи виконувалися вчасно. У середині 1990-х років почався швидкий розвиток технологій бездротових сенсорних мереж, а на початку 2000-х завдяки прогресу мікроелектроніки була створена відносно недорога елементна база для цих пристроїв. У міру розвитку технології бездротової сенсорної мережі це вплинуло на можливості моніторингу та керування, які є важливими для роботи деяких датчиків. Коли всі датчики в бездротовій сенсорній мережі з'єднані, вони створюють самоорганізовану, територіально розподілену систему для обробки, передачі та збору даних. Основною функцією сенсорних мереж є передача повідомлень від одного вузла до кожного іншого вузла в ланцюжку через з'єднання. Ця функція дає змогу створити передачу даних через сусідні вузли без втрати даних або часу у випадку збою одного ланцюжка. Найкращий шлях для інформаційних потоків визначає сама мережа. Ілюстрація об'єднання сенсорних мереж представлена на рис. 1.2.

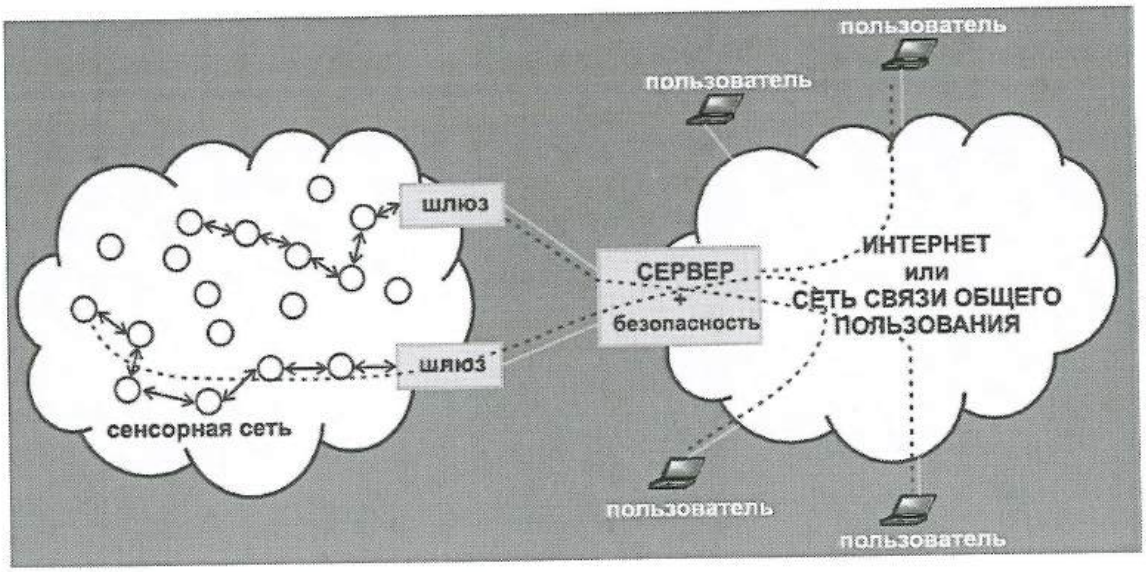


Рис. 1.2. З'єднання сенсорних мереж

1.4 Структура безпроводових сенсорні мереж та сенсора

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) поділяються на два види: самостійно сконфігуровані та безпроводові мережі які не мають інфраструктури моніторингу[4]. Спочатку ми зупинимося на другому виді, в самій назві зрозуміло що в цих мережах проблемою є отримання та аналізування фізичних або екологічних умов, через це вони не можуть передавати свої дані через мережу для основного місця розташування або приймача. Базова станція або приймач демонструють інтерфейс між користувачами та між приймачами. Необхідну інформацію яка знаходиться в мережі можна отримати ввівши запит і після цього зібравши результат приймача або базової станції.

Здебільшого БСМ маю у своєму складі сотні тисяч сенсорів. Сенсори здатні зв'язуватися між собою за допомогою безпроводового зв'язку. В структурі безпроводового сенсора є компоненти живлення, обчислювальні пристрої, радіоприймачі та сенсори. Дані сенсори обмежені певними ресурсами: швидкість обробки даних, місткість зберігання та комунікаційну здатність. Під час роботи БСМ коли сенсор розгорнутий, він бере відповідальність за самоналаштування до вибраної мережевої інфраструктури яка за часту має мультитранзитний зв'язок ділянок з сенсором. Після цього вбудовані сенсори розпочинають отримувати та

накопичувати необхідну інформацію.

Будова сенсорних датчиків поділяється на апаратну і програмні частину, як і будь-який телекомунікаційний вузол. Сенсор у своєму складі має 4 основних компоненти: блок обробки, блок приймача, блок живлення та вимірювальний блок. Ці компоненти відповідають за наступні підсистеми: обробка даних, живлення, прийняття інформації, моніторингу та комунікації між іншими сенсорами. Будова сенсора представлена на рисунку 1.3.

Тепер розглянемо кожну підсистему. Підсистема прийняття полягає в тому що аналоговий пристрій змінює певну статистику та аналого-цифровий перетворювач. Конструкція підсистеми обробки даних містить процесор і блок пам'яті, які дозволяють зберігати технічні дані на додаток до даних, отриманих датчиком. Від цієї інформації залежить правильна та правдива робота комунікаційної підсистеми. Датчик може збирати дані про навколишнє середовище завдяки підсистемі моніторингу. Інструменти позиціонування, такі як акселерометр або гіроскоп, можна додати до датчиків.

Щоб реалізувати сенсор малого розміру як телекомунікаційний пристрій потрібно враховувати багато аспектів. Отже, частота процесора повинна бути мінімум 20 МГц, оперативна пам'ять мінімум 4 Кбайт, швидкість обміну інформації мінімум 20Кбіт/с. Вдосконалення апаратної частини дозволить зменшити розміри сенсора, але понесе за собою збільшення його ціни. Для оптимізації процесів з урахуванням архітектури процесора потрібна операційна система (ОС). Обмеження в ресурси та невеликий розмір пам'яті заохочують розміщення ОС в пристрої постійно запам'ятовування. Зараз активно використовуються ОС з відкритим кодом TinyOS, які даю змогу досить гнучко керувати сенсорами різних виробників. В системі мережної взаємодії, зменшення розміру джерела живлення в сенсорах несе істотне обмеження на використання радіотехнологій. Обмеження в продуктивності процесора не дає змогу використовувати звичні протоколи маршрутизації IP-мереж – складність обчислення алгоритму бажаного шляху може довести процесор до перевантаження яке спричинить збої в роботі сенсора.

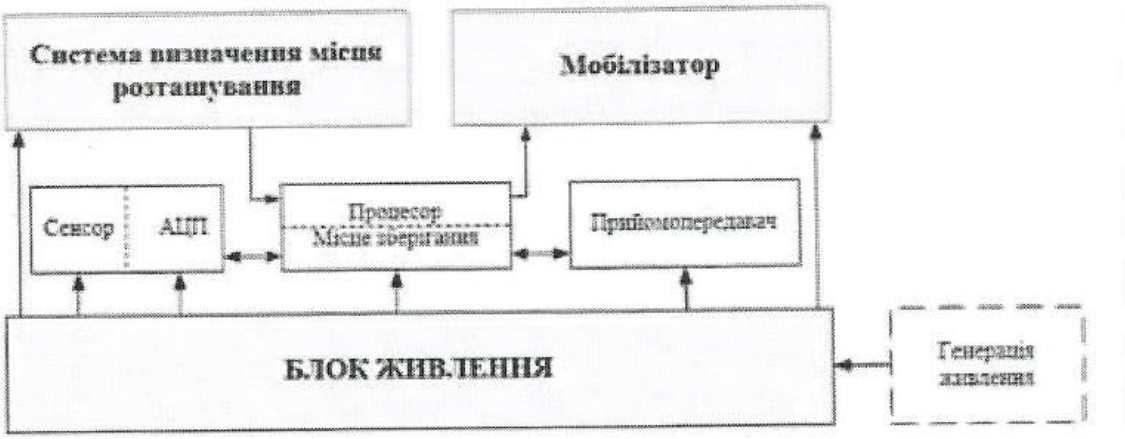


Рис. 1.3. Будова сенсору

Блок-схема функціонування універсального безпроводового сенсорапредставлена на рис. 1.4, розберемо її. Підхід використання модулів в даному проєкті надає можливість використовувати гнучку та універсальну платформу для задоволення потреб широкого кола програм.

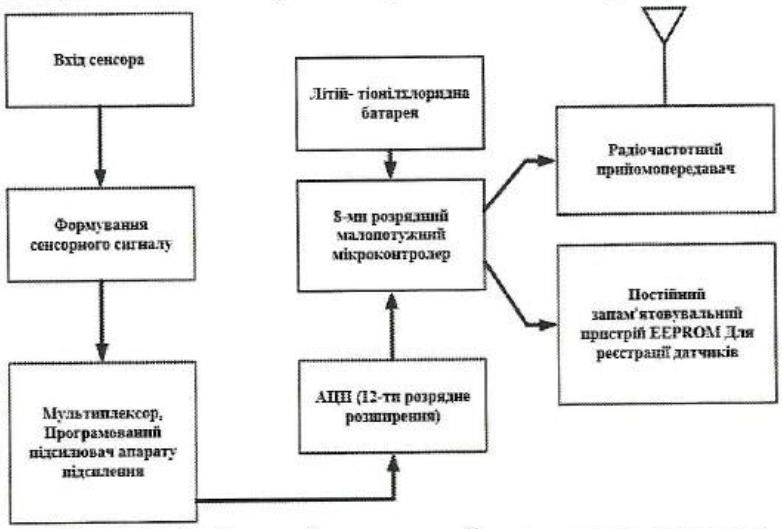


Рис. 1.4. Функціональна блок-схема сенсора

Задача розробки нових технологій для передачі даних в сенсорних мережах є, на даний час, найважливішою при побудові новітніх сенсорних мереж. Особливістю є специфічність архітектури та в системних характеристиках, вони мають велику кількість обмежень таких як :

- Лімітовані запаси енергії;
- Лімітовані в продуктивності центрального процесора;
- В один час працює велика кількість вузлів на обмеженому просторі;
- Рівнозначність вузлів;

- Робота в неліцензованому спектрі частот;

- Невелика вартість.

Зараз сенсорні мережі будуються на стандарті IEEE 802.15.4 або ZigBee. Альянсом ZigBee було передбачено, що в радіодоступ стандарту IEEE 802.15.4 буде використовуватися для моніторингу, автоматизації, безпеки, контролю та іншого. Тому додатки в сенсорних мережах можна поділити на декілька категорій:

- Медицина;

- Безпека;

- Погода;

- Заводи;

- Транспортні системи та автомобілі.

Зараз ми розглянемо приклади використання сенсорних мереж в категоріях які були записані раніше. Приклади будуть представлені як сценарії з реального життя.

Прикладом буде використання моніторингу в медицині. По статистиці яка була проведене у 2011 році у світі хворих на цукровий діабет 350 мільйонів людей, що до людей з ішемічною хворобою серця то за статистикою 2017 року лише в Україні було фіксовано 37571 пацієнт з даним видом хвороби. Це лише дані про найпоширеніші захворювання, але є і багато інших, які також важливі для життя багатьох людей. Для таких людей щоденний моніторинг таких показників як: тиск та пульс, цукор в крові, ЕКГ та інші є шансом прожити довге та чудове життя. Щоб розуміти в якому стані знаходиться людина потрібно робити статистику яка робиться з отримання показників з натільних медичних приладів або імплантованого сенсора потім ці дані передаються до централізованих бази даних. Потім медичний персонал обробляє отримані дані та може надати вчасну допомогу хворим людям. Але щоб даний сценарій працював як вказано в прикладі потрібно щоб лікарні були покриті безпроводовою сенсорною мережею. Така концепція дуже важлива з соціальної точки зору, тому що по статистиці великий процент людей які мають такі захворювання це літні люди та люди з обмеженими можливостями.

Також потрібно згадати що сенсорні мережі за своєю класифікацією поділяються на : комерційні та некомерційні. Дана класифікація полягає в тому що дані які отримані такою системою може переглянути будь-хто чи вона має корпоративний характер.

Розгляньмо переваги систем в будові яких використовується сенсорна мережа:

- Оперативність швидкість налаштування;
- Розташування в місцях де дротяні системи важко встановити або взагалі нереально;
- Надійність мережі;
- Управління кількістю підключених приладів в мережі;
- Висока проникність через перешкоди;
- Час життя без заміни елементів живлення.

Через наведені переваги безпроводові сенсорні мережі зайняли високу нішу у сучасних телекомунікаціях. Прикладом є розумні будинки(Smart House) та розумні міста (Smart City), системи позиціювання не лише у військових сферах, автоматизація в будівництві, управління у сфері автомобілебудування і ще в багатьох сферах.

1.5 Історія та загальний огляд технології 5G

У міру розвитку стільникових технологій літера «G» позначає їх. Кожна ітерація технології мобільного зв'язку, від найдавніших мереж 1G до сучасних мереж 5G, додала нові функції та можливості.

У 1980-х роках було випущено 1G, або перше покоління мобільних технологій. Оскільки він використовував аналогову технологію, передача мови здійснювалася як безперервні хвилі. Через те, що 1G міг обробляти лише голосові виклики і не мав можливостей передачі даних, він мав обмежені можливості.

Друге покоління, або 2G, дебютувало в 1990-х роках і стало значним прогресом у стільникових технологіях. Оскільки 2G був цифровим, голосові

сигнали надсилалися як пакети даних. Це дозволило надсилати тексти та здійснювати дзвінки з кращою якістю зв'язку. Перші можливості передачі даних, які стали можливими завдяки 2G, забезпечили простий доступ до Інтернету.

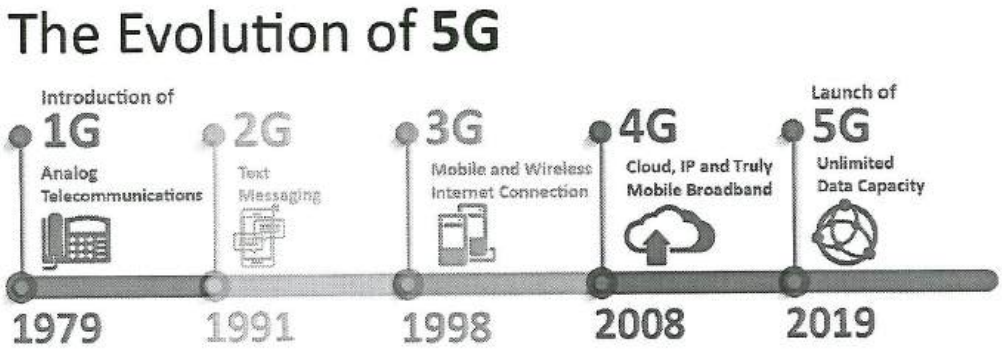


Рис. 1.5. Еволюція 5G

Починаючи з початку 2000-х років, третє покоління, або 3G, стало ще одним значним прогресом. Завдяки 3G з'явилися швидші швидкості передачі даних і можливість надсилати мультимедійні повідомлення, включаючи фотографії та відео. Це дозволило швидше отримати доступ до Інтернету та відкрило двері для розробки смартфонів.

У другій половині 2000-х років було представлено четверте покоління (4G), яке принесло з собою значно вищу швидкість передачі даних, а також можливість потокової передачі музики та відео. Завдяки 4G також став можливим Інтернет речей (IoT), який дозволяє об'єднувати різноманітні пристрої, крім смартфонів і комп'ютерів.

Зараз ми перебуваємо на етапі раннього впровадження 5G, або п'ятого покоління. Завдяки вищій швидкості передачі даних, меншій затримці та здатності обслуговувати величезну кількість пристроїв 5G готова знову змінити стільникову технологію. Завдяки 5G стануть можливими нові випадки використання та додатки, такі як доповнена та віртуальна реальність, безпілотні автомобілі та дистанційна хірургія.

Розгортання 5G призвело до деяких проблем. Висловлювалися занепокоєння

щодо можливості того, що 5G може перешкоджати іншим безпроводовим сигналам, а також щодо потенційного негативного впливу випромінювання 5G на здоров'я людей. Крім того, вони висловили занепокоєння щодо вартості та інфраструктурних витрат, необхідних для широкого впровадження 5G.

Стільникові мережі, як і мережі 5G, ділять зону обслуговування на окремі географічні регіони, відомі як комірки. Кожен безпроводовий пристрій 5G у комірці використовує фіксовані антени для передачі радіохвиль на базову станцію стільникового зв'язку на частотах, виділених базовою станцією. Базові станції, також відомі як вузли, з'єднані з маршрутизаторами для доступу до Інтернету та центрами комутації в телефонній мережі за допомогою оптичного волокна з високою пропускною здатністю або безпроводового транспортного з'єднання. Мобільний пристрій, який переміщується з однієї комірки в іншу, легко передається, як і в інших стільникових мережах.

3GPP, промислова група, яка розробляє стандарти 5G, визначає «5G» як будь-яку систему, що використовує програмне забезпечення 5G NR (5G New Radio); це визначення стало загальноприйнятим наприкінці 2018 року.

У термінології 5G міліметрові хвилі, також відомі як FR2, використовуються низкою мережевих операторів для збільшення ємності та пропускної здатності. Оскільки міліметрові хвилі поширюються далі, ніж мікрохвилі низької частоти, розмір клітин менший. Крім того, міліметровим хвилям важче проникати крізь людей і будувати стіни. Порівняно з масивними антенами, які використовувалися в попередніх стільникових мережах, антени міліметрового діапазону менші.

1.6 Використання безпроводової сенсорної мережі на основі підходу 5G

Дані, зібрані датчиками, передаються через технологію підключення 5G[5]. Наразі існує дедалі більше різноманітних пристроїв дистанційного зондування, і системам, які їх поєднують, також може знадобитися передача зображення в реальному часі. Архітектура безпроводової сенсорної мережі використовує зв'язок 5G для передачі даних, щоб вирішити ці проблеми. Датчики системи розташовані на дальньому кінці на рисунку нижче. За допомогою зв'язку 5G система швидко

передає вбудований апаратний модуль із віддаленими даними про навколишнє середовище. Підхід, запропонований у цій статті, використовує низку алгоритмів штучного інтелекту для обчислення та класифікації отриманих даних у вбудованих апаратних модулях. Потім система надсилає оброблені дані до хмарної бази даних через передачу 5G. Для віддаленого моніторингу та керування інші віддалені оператори можуть використовувати різноманітні складні засоби зв'язку. Звичайно, система також може виконувати автоматичне оцінювання та аналіз і може миттєво попереджати оператора, щоб запропонувати рішення конкретної проблеми.

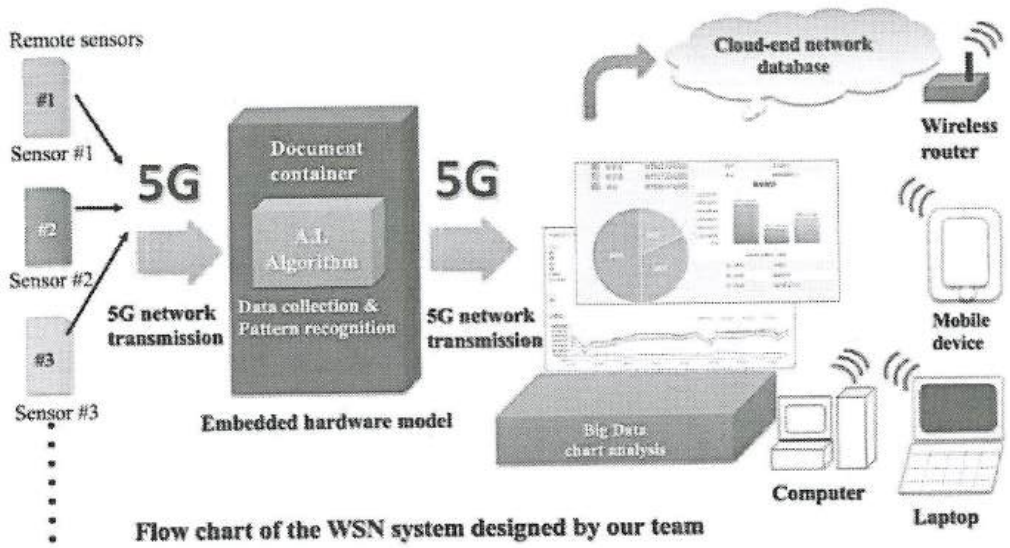


Рис. 1.6. Безпроводові сенсорні мережі, що використовують передачу зв'язку 5G

Базуючись на стільникових архітектурах, технологія мобільного зв'язку розвинулась від одностороннього (наприклад, пейджери) до двостороннього, симплексного (наприклад, рації), дуплексного режиму, аналогової модуляції до цифрової модуляції, комутації каналів до комутації пакетів і від чистих голосових послуг до послуг даних. Крім того, основне бачення мобільного зв'язку — що будь-хто може спілкуватися з ким завгодно в будь-який час і з будь-якого місця — було реалізовано завдяки швидкому розвитку мультимедійних послуг від низькошвидкісних до високошвидкісних послуг передачі даних. Високошвидкісні мобільні процедури також можна використовувати для здійснення телефонних і відеодзвінків, доступу до Інтернету, надсилання та отримання електронної пошти,

використання електронних послуг, завантаження та завантаження файлів або обміну фотографіями та відео. У майбутньому реалізація взаємозв'язку та спілкування між людьми та речами буде не лише необхідною; також потрібно буде приєднатися до нової комунікаційної ери Інтернету речей, у якому все взаємопов'язане. Рис 1.7 інтуїтивно демонструє, що до цього моменту прогрес у технології мобільного зв'язку відбувався приблизно кожні десять років.

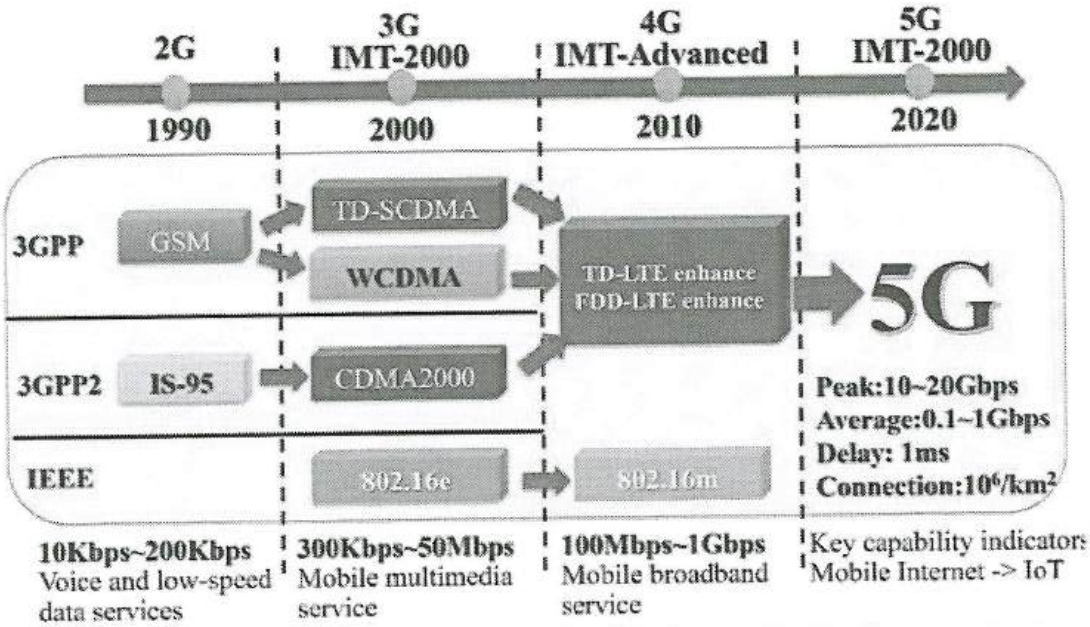


Рис. 1.7. Мобільний зв'язок стрибає кожні 10 років.

Ранні комерційні розгортання враховуються першим етапом специфікації 5G у 3GPP Release-15. 3GPP Release 16, початковий еволюційний стандарт 5G, було завершено 3 липня 2020 року. В основному він представив технологію супервисхідного зв'язку 5G, розширені сценарії для підключення великого машинного типу та наднадійного зв'язку з низькою затримкою, а також додатково покращив енергоспоживання. ефективність і досвід користувача. Рішення базової смуги від Qualcomm і MediaTek, які підтримують 3GPP Release 16 і, як очікується, надійдуть у продаж у 2025 році зі швидкістю низхідної лінії зв'язку 20 Гбіт/с і швидкістю висхідної лінії зв'язку 10 Гбіт/с, будуть доступні в грудні 2021 року. Ентузіазм щодо розвитку 5G все ще зростає. Глобальні оператори продовжують розгортати 5G у комерційних умовах, незважаючи на небезпеку COVID-19, яка створює багато невизначеності для ринку та ще не за горами. Відповідно до

останнього звіту про розвиток мереж, спектру та пристроїв 5G, опублікованого Глобальною асоціацією постачальників мобільного обладнання (GSA), кількість моделей пристроїв 5G, випущених у всьому світі, вперше перевищила 800 до кінця травня і досягла 822 моделей наприкінці червня 2021 року.

Згідно зі звітом GSA, станом на кінець травня 2021 року 443 оператори зв'язку в 133 країнах і регіонах інвестували в технологію 5G, а 169 операторів запустили одну або кілька мережевих послуг 5G, які відповідають стандартам 3GPP, у понад 70 країнах і регіони. Більш примітним є те, що послуга загальнодоступної мережі, яка надається незалежними мережами (SA) 5G, нещодавно перейшла від тестування до широкого комерційного використання, що, як очікується, допоможе технології повністю розкрити свій потенціал.

На даний момент 5G SA, міліметрові хвилі, архітектура відкритої мережі радіодоступу (Open RAN), приватні мережі та інші технологічні досягнення були в центрі останніх активних зусиль гравців в екосистемі 5G. Застосування, пов'язані з бізнес-можливостями, також поступово переродилися.

Наразі нарізку мережі та наднадійний зв'язок із малою затримкою (URLLC) неможливо реалізувати без 5G SA. Завдяки mmWave можлива ширша пропускна здатність і покращена продуктивність мобільного широкосмугового зв'язку (eMBB). Екосистема 5G зазнає нових змін у результаті розробки Open RAN, і початкова хвиля додатків відкритого RAN буде націлена на корпоративні приватні мережі. Великі технологічні компанії збільшили інвестиції в інтегрований доступ і зворотний зв'язок (IAB), розширене керування променями, нарізку мережі, динамічний спільний доступ до спектру (DSS) і різні передові технології, які можуть ще більше підвищити продуктивність базових станцій 5G, термінальних пристроїв і мережевих послуг, щоб просунути 5G від нинішнього нижче 6 ГГц до вищезгаданої стадії розвитку нових технологій.

Фактично, як показано на малюнку 3, розширення та розвиток мереж мобільного зв'язку в епоху 4G мало дві гілки, які охоплювали додаткові сценарії застосування. Ера широкосмугового зв'язку з її величезними обсягами трафіку, високою швидкістю та мобільними технологіями є однією з гілок, тоді як ера

Інтернету речей із невеликою кількістю даних, широким покриттям і великою пропускною здатністю є іншою.

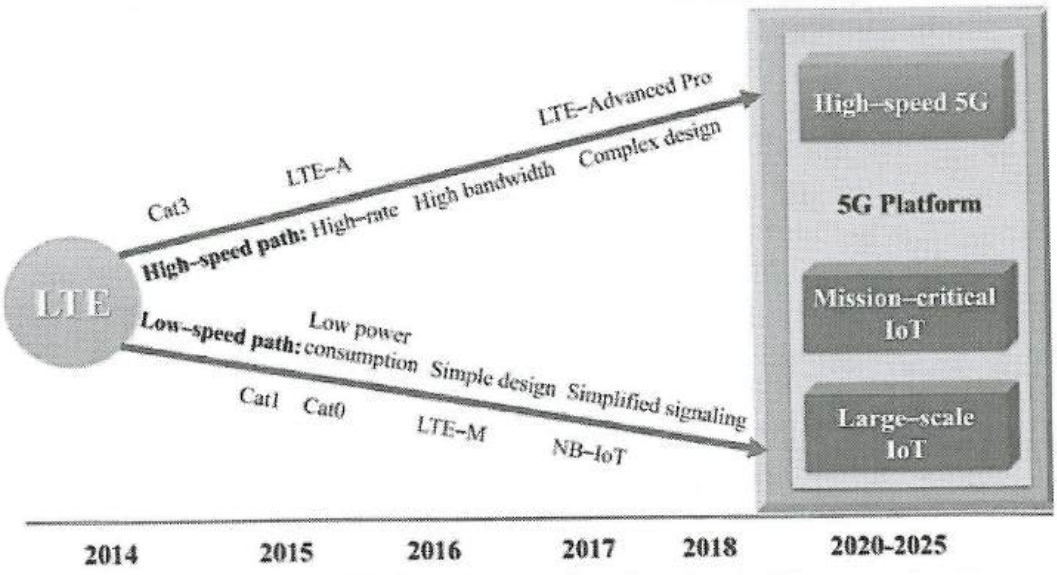


Рис. 1.8. Еволюційні гілки мобільного зв'язку

Як наслідок, очікується, що технологія мобільного зв'язку 5G буде потрібна для задоволення величезного зростання кількості користувачів мобільного зв'язку в майбутньому (тобто для збільшення пропускної здатності мережі), а також для задоволення величезних бізнес-потреб Інтернет речей і вимоги до надвисокої швидкості передачі даних. Крім того, технологія мобільного зв'язку 5G включає досягнення в трьох ключових аспектах, як показано на рисунку , на додаток до еволюції архітектури мережі мобільного зв'язку (тобто, так зване п'яте покоління). Ефективність використання спектру мобільного зв'язку змінилася та покращилася в результаті широкого впровадження двох перелічених нижче технологій.

- Передова технологія модуляції: QPSK→16QAM→64QAM→256QAM;
- Технологія кількох антен: MIMO2 × 2 → MIMO4 × 4 → MIMO8 × 8 → MIMO64 × 64 → Massive MIMO256 (великомасштабна розумна антенна решітка).

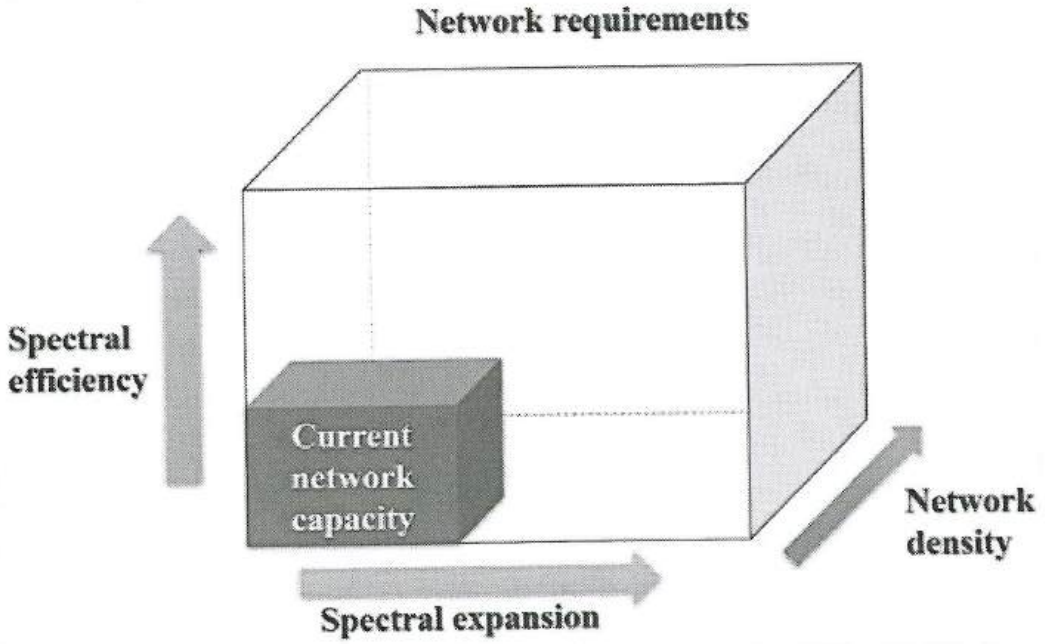


Рис. 1.9. Еволюція технологій мобільного зв'язку

На рисунку показано розвиток спектральної ефективності мобільного зв'язку.

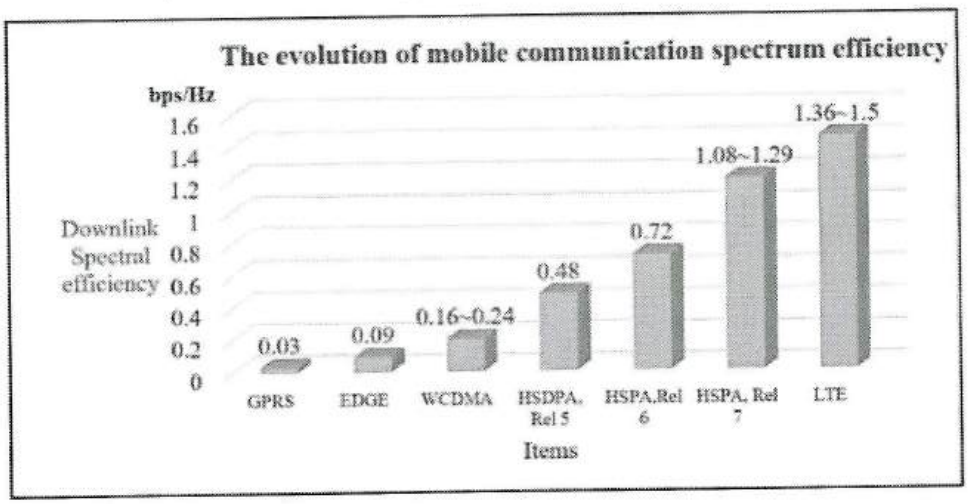


Рис. 1.10. Еволюція спектральної ефективності мобільного зв'язку

Максимум закону Шеннона для використання спектра швидко наближається. Робоча смуга пропускання стільника неминуче збільшиться, щоб підтримувати надвисокі швидкості передачі даних, на додаток до згаданого раніше покращення спектральної ефективності, або технологія агрегації кількох несучих (CA) може бути використана для збільшення пропускної здатності стільника, оскільки слідує: 30 кГц→200 кГц→1,25 МГц→5 МГц→10 МГц→20 МГц→100 МГц→200 МГц. Смуга безпроводових частот також розширюється до вищих частот, аж до

діапазону міліметрових хвиль (>20 ГГц), наступним чином:
700 МГц→900 МГц→1800 МГц→2100 МГц→2600 МГц→3 ГГц→6 ГГц→10 ГГц→30 ГГц.

Втрати при поширенні та проникненні радіохвиль зростають із збільшенням частоти, що спричиняє зменшення покриття клітини та погіршує проникнення, рис 1.11.

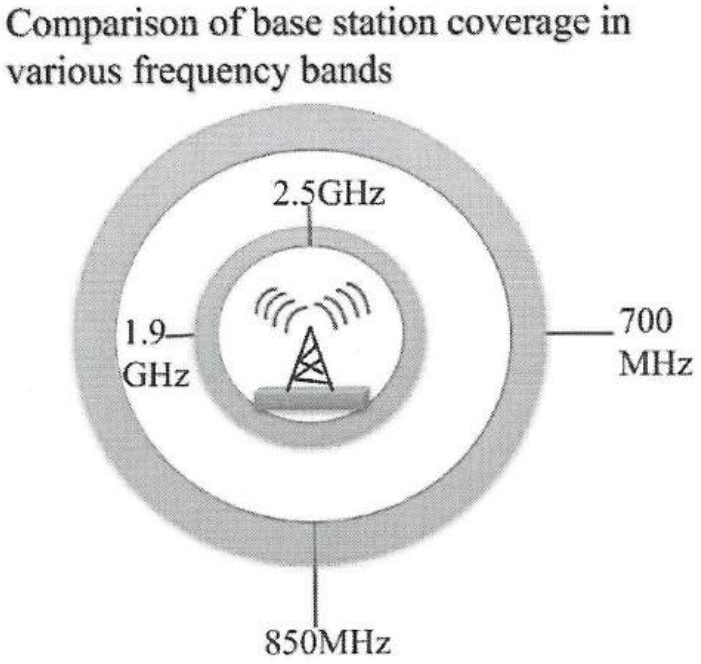


Рис. 1.11. Покриття стільників у різних діапазонах частот мобільного зв'язку

Оскільки природна мережа від піку до гнізда має вищу щільність у вищих діапазонах частот і менші комірки, більше операторів повинні встановлювати більше базових станцій. Очікується, що майбутні базові станції 5G будуть широко розосереджені; наприклад, їх можна було знайти на кожному ліхтарному стовпі вздовж вулиці. Кожен будинок може мати приватну базову станцію, побудовану на додаток до однієї загальнодоступної базової станції. Очікується, що ціна будівництва та обслуговування мереж мобільного зв'язку зросте у відповідь на величезний масштаб таких станцій мережі. Таким чином, майбутні мережі мобільного зв'язку 5G повинні бути достатньо адаптованими, щоб мати велику автономію, адаптивність і винахідливість на додаток до здатності поглинати знання з безпроводового середовища.

Щоб досягти високої надійності та високошвидкісного зв'язку в будь-який

час і будь-де, базові станції повинні співпрацювати одна з одною, самоадаптивно оптимізуючи та налаштовуючи. У контексті неоднорідної мережі вони також повинні ефективно використовувати обмежені ресурси безпроводового спектру. Лише таким чином можна буде реалізувати віртуалізацію мережевих функцій (NFV), співпрацю, хмару та мережі з м'яким визначенням (SDN), зберігаючи витрати на технічне обслуговування мережі на прийнятному рівні.

1.7 Сценарії застосування п'ятого покоління (5G)

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) офіційно назвав 5G частиною IMT-2020 у 2016 році. План прогресу щодо стандартизації 5G від таких груп, як 3GPP, показано на рисунку.

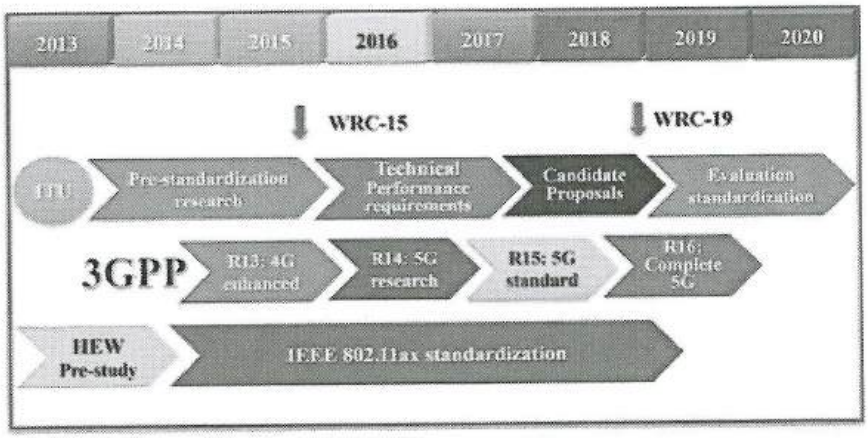


Рис. 1.12. Графік стандартизації п'ятого покоління (5G)

В загальному графік стандартизації 5G можна розділити на три типи:

ITU

Розробка стандартів 5G була завершена в 2020 році, а збірка технічних рішень 5G, запущена в кінці 2017 року, стала останнім кроком у процесі дослідження бачення 5G[6].

Проект партнерства третього покоління

На початку 2016 року почалися дослідження стандартів 5G. Стандарти ITU були повністю виконані до кінця 2019 року, а перша версія стандарту 5G, яка відповідала цим специфікаціям, була розроблена та завершена у другій половині 2018 року.

IEEE

Розробка стандарту 802.11ax для WLAN наступного покоління почалася на

початку 2014 року, а її завершення було заплановано на початок 2019 року. Очікувалося, що початкова версія стандарту 5G, R15, буде представлена в першій половині 2018 року, на півроку раніше запланованого терміну, але останні новини вказують на те, що роботу над ініціативою 3GPP потрібно прискорити.

Як правило, 5G забезпечує наступні три сценарії застосування, рис 1.13.

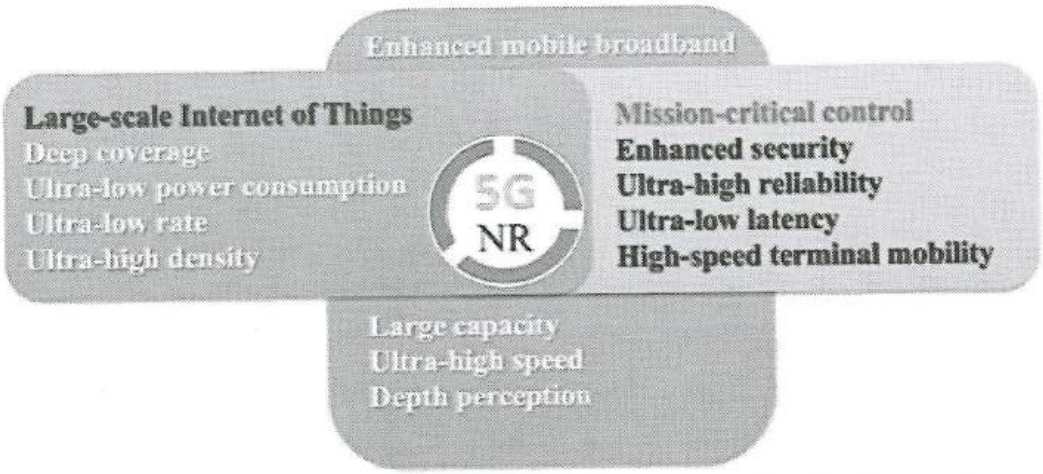


Рис. 1.13. Три основні сценарії застосування 5G

1. Масовий Інтернет речей (масовий IoT/MTC/M2M)

Такі програми, як дистанційне зчитування лічильників і керування логістичним відстеженням, є прикладами величезного Інтернету речей, який характеризується великою кількістю підключених пристроїв (надвисока щільність), наднизьким енергоспоживанням, глибоким покриттям і наднизькою складністю.

2. Критично важливий контроль (MCC)

Критично важливий IoT здебільшого використовується в сферах, які вимагають надвисокої безпеки, наднизької затримки та надвисокої надійності, таких як безпілотне водіння, автономні заводи та розумні мережі. Його також називають URLLC, або наднадійний зв'язок із малою затримкою. Наприклад, дані повинні бути передані в хмару для аналізу та обробки, а результати або інструкції повинні бути доставлені назад у режимі реального часу, коли наше дослідження хоче використовувати такі служби, як доповнена реальність (AR) або віртуальна реальність (VR), віддалене керування та дистанційні ігрові консолі. Ця операція в зворотному напрямку повинна мати затримку, непомітну для користувача. Крім того, особливо в програмах 5G, таких як Інтернет транспортних засобів, автономне

виробництво, дистанційні роботи, телемедицина та дистанційна роботизована хірургія, машини потребують більшої затримки, ніж люди.

3. Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок (eMBB)

Ера 5G буде зосереджена на використанні надвисоких швидкостей передачі (>10 Гбіт/с) для таких додатків, як голографічна технологія, доповнена/віртуальна реальність, а також відео з надвисокою роздільною здатністю 4K і 8K. Вищі швидкості передачі даних є ключовим фактором зростання попиту на мобільний широкосмуговий доступ.

Це дослідження зосереджено в основному на вузькосмуговому Інтернеті речей (NB-IoT), широкомасштабному впровадженні технологій 5G IoT.

2. ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ 5G МЕРЕЖ

Головна проблема у визначенні місця розташування окремих об'єктів бездротової сенсорної мережі. Однією з умов до систем моніторингу та контролю є прикріплення інформації, яка була зібрана всією системою до географічного місцеперебування яке буде показуватися на карті та використовуватися в аналізі та обробці. Окрім цього, дана мережа, в порівняні зі звичайними радіомережами, може бути розгорнута будь-де з мінімальними витратами через вбудовану підсистему позиціювання у просторі.

В додаток до минулої особливості ця мережа передає дані, які отримані за допомогою використання підсистеми позиціювання, і вони будуть використані у процесі життя самої мережі. Це належить до побудови ефективних алгоритмів маршрутизації та збору інформації.

Через вказані вище особливості розробка алгоритмів визначення координат об'єктів в сенсорній мережі переходить на основний план розробників.

2.1 Особливості позиціонування всередині приміщення

Позиціювання мобільних об'єктів всередині приміщень має великий попит у різних сферах, тому вчені провели велику кількість досліджень та розробили певні технології та алгоритми.

Є багато прикладів систем визначення координат, але я вирішив розглянути систему RADAR, яка була винайдена вченими Бахлом і Падманабом. Я вибрав її через те що вона перша використовувала мережу WLAN. Система RADAR застосовувала алгоритм найближчого сусіда, тому середня помилка вимірювання координат становила 2,94 метра, але після удосконалення алгоритмом Viterbi це значення стало 2.37 метра.

Якщо ми поглянемо зараз на системи позиціювання, то зрозуміємо що система Ekahau(Ekahau Positioning Engine) є найкращою зараз. Працюючи в мережі

стандарту IEEE 802.11, ця програма працює в режимі реального часу. Для тегів Wi-Fi Ekahau надає точні дані про місцезнаходження, присутність і статус. Важливою новою функцією є те, що тепер він підтримує пристрої, сумісні з Wi-Fi.

Система Ekahau може визначити точне місцезнаходження об'єкта за допомогою тегів Wi-Fi EPE, прикріплених до людей або інших об'єктів. Ця інформація потім збирається Ekahau, що дає змогу створити візуальне представлення відстеження об'єктів на підприємстві.

Найновіші методи, які впливають на обчислення точного місцезнаходження на основі оцінки потужності сигналу від кількох базових точок Wi-Fi, покращують функцію позиціонування в просторі. Крім того, Ekahau стежить за гаджетами з вбудованими адаптерами Wi-Fi. Багато програм можуть заощаджувати ресурси, максимізуючи використання та контроль ресурсів і підвищуючи безпеку завдяки можливості визначати місцезнаходження активних пристроїв і їх користувачів.

Що стосується технічного обслуговування та нагляду, тут все очевидно: на етапі виробництва продукту до пристроїв прикріплюються теги Wi-Fi, що полегшує зв'язок між ними та мережею через бездротову інфраструктуру. Система повністю контролюється оператором, і він завжди може дізнатися, скільки міток зареєстровано, а також розташування та стан кожної мітки. Теги мають можливість повідомляти про події. Наприклад, вони можуть сповіщати оператора, коли об'єкт рухається або зупиняється, сповіщати його про натискання однієї з кнопок мітки та подавати звуковий сигнал, коли цілісність мітки порушується або її потрібно замінити.

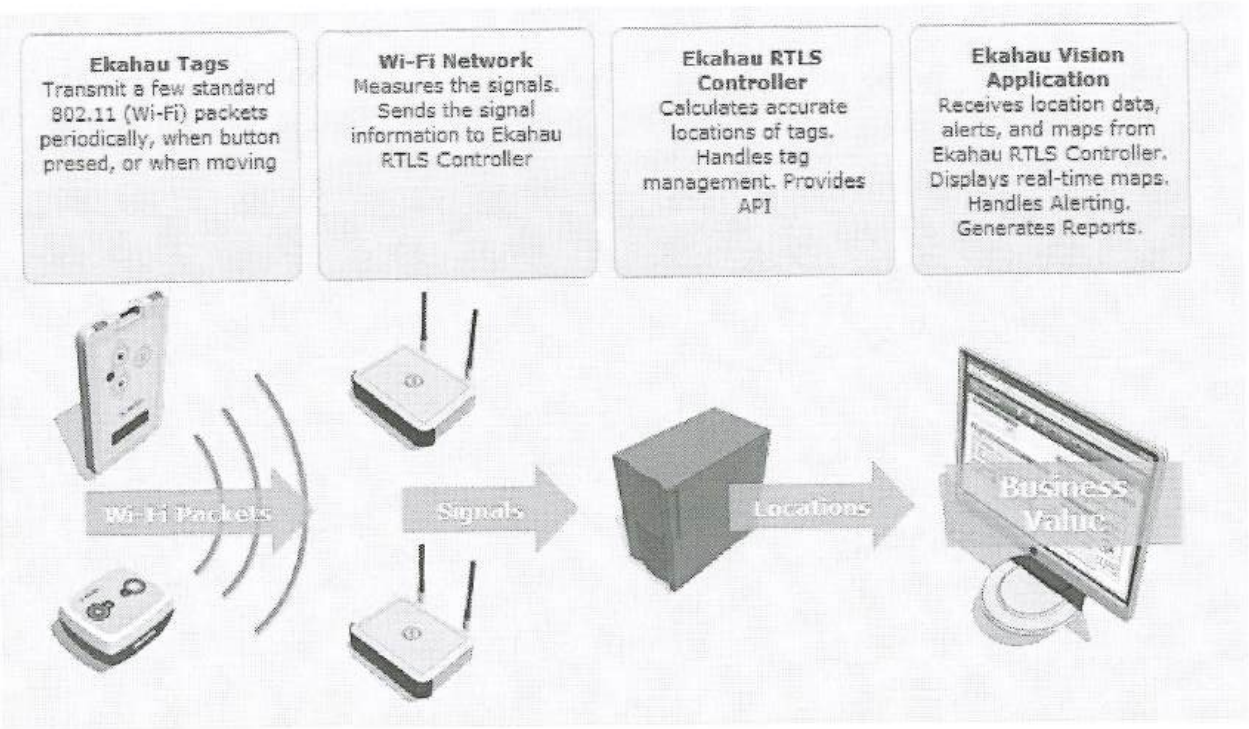


Рис 2.1. Компоненти системи позиціонування Ekahau

Бездротові мітки Ekahau мають можливість зберігати унікальні параметри разом з ідентифікаційною інформацією про об'єкт, що контролюється, таку як ім'я, відділ, серійний номер та багато іншого. Ці кореляції полегшують процес визначення місцезнаходження певного об'єкта в межах визначеного географічного регіону. Компоненти системи позиціонування Ekahau показані на рисунку 2.1.

Хоча GPS є добре відомою технологією, компанія Nokia, а саме її дослідницький підрозділ, використала її для створення алгоритму позиціонування для мобільних телефонів. Згаданий вище механізм локалізації, який зараз досягає точності до п'яти метрів у висотних будівлях, був запропонований Вело Отсейсоном та його помічниками, які зробили значний внесок у розвиток технології.

Мурер і його колеги також представили інший підхід, заснований на концепції коваріаційної матриці, яка використовує імпульсну характеристику каналу як підпис.

Точність у сфері мобільного радіозв'язку, яка задовольняє вимоги стандарту FCC E911, досягнута за допомогою попередньо визначеного алгоритму та методу.

Використовуючи евклідову відстань, Тубер і його колеги розрахували

значення точності визначення місця розташування до 4,47 метра. Крім того, вчені підвищили точність до трьох метрів, поєднавши підхід Евкліда з постобробкою нечіткої логіки.

2.2 Аналіз особливостей алгоритмів позиціювання

У сенсорних мережах основним джерелом координат місцеперебування є дані про взаємне розміщення певних окремих об'єктів. По факту це дані про відстань між об'єктами. Щоб прокласти коректний маршрут передачі даних будується структура мережі в якій кожен елемент мережі передає інформацію про всіх елементів які він бачить в мережі. В додаток до списку елементів мережі передається відстань до кожного елемента мережі. Збирають дані пакети інформації об'єкти мережі. Що до обробки то нею може займатися чи вбудовані обчислювальні можливості об'єктів мережі чи на спеціальній базовій станції. Якщо використовуються спеціальні БС для обробки, то на них вираховується розміщення всіх елементів мережі, відносно інших учасників. Такий метод називається методом тріангуляції, він буде розглянути пізніше.

Системи вирахування координат можна поділити на дві групи: системи радіонавігації та системи радіолокації. Різницею в цих системах полягає в тому що у них різне призначення. Радіолокацію використовують для визначення координат елементу чужої системи. Радіонавігації, своєю чергою, використовується для допомоги елементу в визначенні своїх координат. Для кращого розуміння наведу приклади радіолокації та радіонавігації. Радіолокацією можна згрупувати на певному квадраті великі радіолокаційні системи військового призначення. Радіонавігація використовується для системи навігації повітряних і морських суден до яких підключені такі системи як: VOR, GPS, Galileo, ГЛОНАСС, Beidou та інші.

У цьому абзаці буде йти мова не про мережі в яких дуже коштовне обладнання та високого енергоспоживання, а про мережі зв'язку в яких зараз використовують можливість визначення місцеперебування абонента в різних мережах зв'язку, таких як: GSM, CDMA, WiMAX, WiFi. Знаходячись в області дії

мережі постачальник послуг зв'язку може визначити координати абонента використовуючи інформацію з базових станцій які поруч з ним. Розглянемо як це відбувається. Оцінка відстаней між найближчими стаціонарними передавачами є обов'язковою перед вжиттям будь-яких дій для визначення місцезнаходження абонента. Місцезнаходження користувача встановлюється шляхом знаходження перетину кіл із відомими радіусами навколо точок із відомими координатами, якщо є ознаки принаймні трьох базових станцій. У стільникових мережах цей приклад використовується для визначення місцезнаходження абонента. Область покриття мережі є недоліком цієї функції в стільникових мережах. У деяких випадках може знадобитися заздалегідь встановити значну кількість опорних вузлів мережі, щоб система позиціонування працювала належним чином. У безпроводових сенсорних мережах все набагато легше, технологія ZigBee дає змогу здійснювати бездротове управління в промислових домашніх та офісних приміщеннях. Зараз вже впроваджують системи Smart Home в яку входить протокол ZigBee. Що до офісних приміщень то там можуть бути встановлення ZigBee-сумісне обладнання яке може керувати температурою та вентиляцією в кожній кімнаті окремо. Ще таке обладнання може впливати на освітлення та інші важливі аспекти, що використовують цей протокол зв'язку. В загальному все ZigBee-сумісне обладнання легко може застосовуватися для створення системи позиціювання. Що до об'єму затраченого на програмний код для створення такої мережі то він не перевищує 1-2 кілобайтів. Обчислювач який потрібен для навігації використовує інформацію від різної кількості вузлів. Якщо дивитися у загальному, то якщо число вузлів буде більше ніж 16, то будуть використовувати лише 16 найточніших сигналів.

Тріангуляція. Техніка створення набору трикутників із багатокутної області зі складним розташуванням називається тріангуляцією. Для полегшення вивчення та подальших дій зі складними поверхнями їх приблизно зображують у вигляді трикутної сітки. Відтоді для всіх наступних процедур використовуються найпростіші багатокутні області.

Використання тріангуляції обґрунтовується наступним:

- Будь-яка область може бути розділена на трикутники;

- Алгоритми тріангуляції мають набагато меншу обчислювальну складність, ніж інші полігони;

- Трикутник - це найпростіший многокутник, вершини якого однозначно визначають грань.

- Легко визначити три елементи, найближчі до трикутника, і їхні спільні грані;

Для розуміння що таке тріангуляція була змодельована математична модель за допомогою функції Делоне.

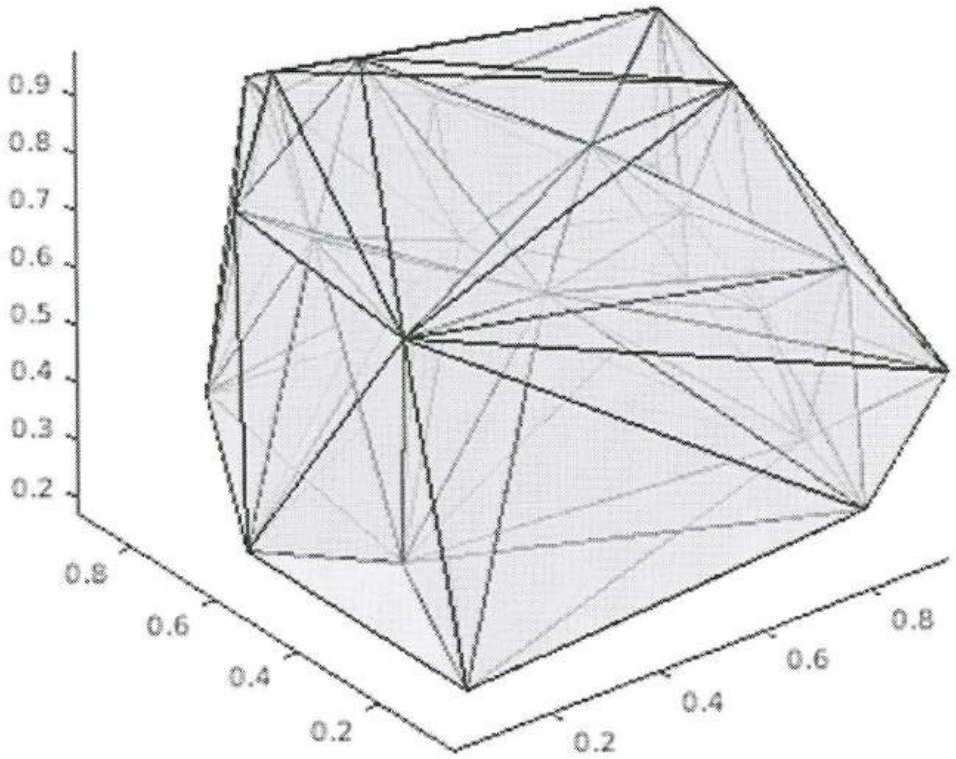


Рис 2.2. Метод тріангуляції Делоне

На рисунку ми можемо побачити що полігонна область була розбита в набір трикутників за допомогою тріангуляції Делоне.

Окрім тріангуляції Делоне існує ще велика кількість алгоритмів позиціювання. Різниця в них полягає в тому що використовується різні методи тріангуляції, які залежать від обладнання яке використовується.

Метод RSSI (Received Strength Signal Indication).

Індикатор рівня сигналу є найбільш часто використовуваним методом розміщення об'єктів (RSSI)[7]. Стандарт IEEE 802.15.4 забезпечує можливість протоколу індикатора якості зв'язку (LQI) для всіх бездротових каналів. За допомогою цієї функції можна знайти індикацію рівня сигналу. Вихідні дані вимірювання можна надіслати на базову станцію (BS), де вони будуть відкалібровані з використанням встановлених відстаней і оціненого діапазону до джерела сигналу. Для розрахунку відстані використовується наступний сценарій. Сигнали приймаються через приймач з логарифмічною амплітудною характеристикою, а внутрішній індикатор RSSI створює на основі сигналів 8-бітний код $RSSI_{\text{VAL}}$. Отриманий сигнал усереднюється за вісім разів, щоб отримати код. Біт стану включено, щоб вказати, коли $RSSI_{VAL}$ є законним, що вказує на те, що одержувач мав можливість отримати принаймні вісім періодів. $P = RSSI_{VAL} + RSSI_{OFFSET}$, формула визначає потужність прийнятого сигналу P (дБм), де $RSSI_{OFFSET}$ – емпірично обрана константа. Коли потужність обернено пропорційна квадрату відстані за ідеальних обставин, логарифм потужності також має емпірично визначений коефіцієнт і пропорційний відстані. Мікроконтролери ZigBee серії CC2431 CC2431 від TI використовують цю стратегію; вони будуть розглянуті більш детально пізніше.

TOA (Time of Arrival)

Обмін мітками часу між об'єктом і датчиком є основою алгоритму TOA[8]. Для визначення місця розташування об'єкта необхідні не менше трьох датчиків (рис. 2.3). Різниця між міткою часу передачі та часом, коли датчик отримав сигнал, використовується для обчислення відстані між датчиками та об'єктом. Недоліком алгоритму TOA є те, що потрібна точна синхронізація годинника між об'єктом і датчиками.

За допомогою фундаментальних прийомів цього алгоритму побудовано алгоритм визначення розташування найближчого елемента в мережі. Хоча цей метод споживає менше електроенергії, все одно вимагає більшої кількості датчиків.

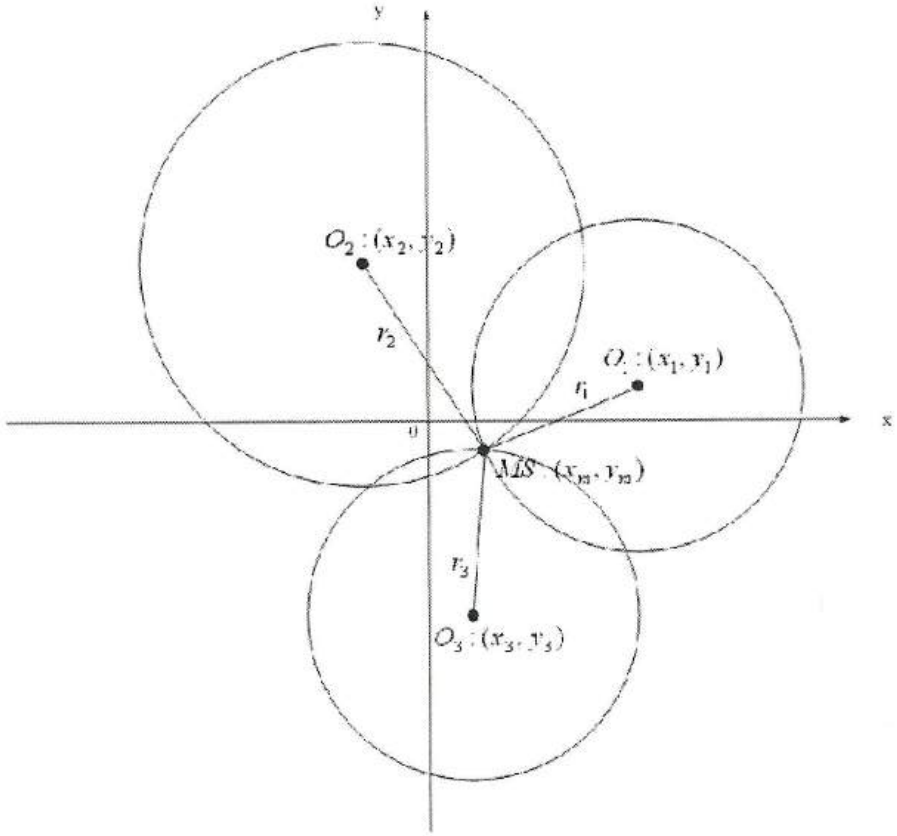


Рис 2.3. Алгоритм TOA

RTT (Round Trip Time або Return Time of Arrival)

Підхід RTT, який є модифікацією TOA, покращує точність результатів, але має недолік, який полягає в тому, що датчики повинні мати можливість спілкуватися з об'єктом, а також навпаки[9]. Залежно від того, скільки часу потрібно сигналу для проходження туди й повернення, цей алгоритм визначає, наскільки далеко знаходиться об'єкт. Перевага цього алгоритму полягає в тому, що він не потребує синхронізації годинника об'єкта та датчиків.

TDOA (Time Difference of Arrival)

Позиція визначається за допомогою кількох алгоритмів TOA, що є фундаментальним компонентом методології TDOA[10]. У зоні розміщення об'єкта кожен датчик TDOA генерує гіперболоїд (рис. 2.4). Для визначення місця розташування об'єкта достатньо двох датчиків TDOA. Розрахунки дають більш точні результати при використанні TDOA.

Недоліками цього підходу є висока вартість датчиків TDOA та збільшення вартості обладнання та антен.

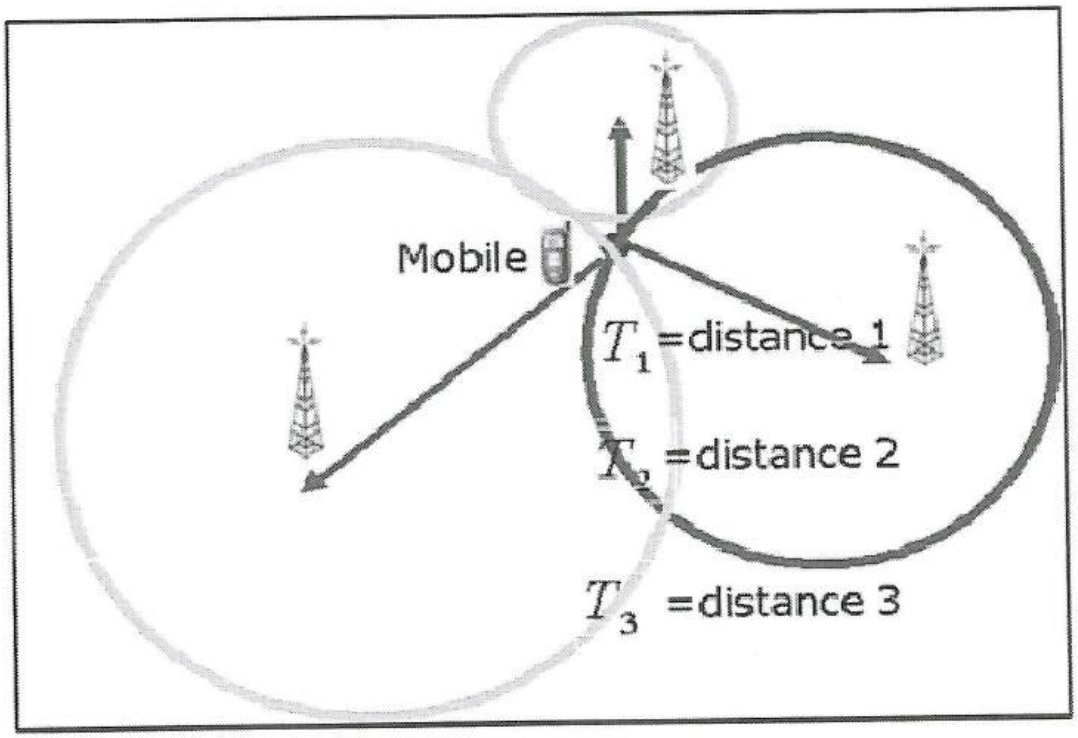


Рис 2.4. Алгоритм позиціонування TDOA

AOA (Angle of Arrival)

Положення визначається програмою як точка перетину двох променів (рис. 2.5). Техніка досить специфічна і стосується скануючих датчиків або антен, спрямованих у певному напрямку[11].

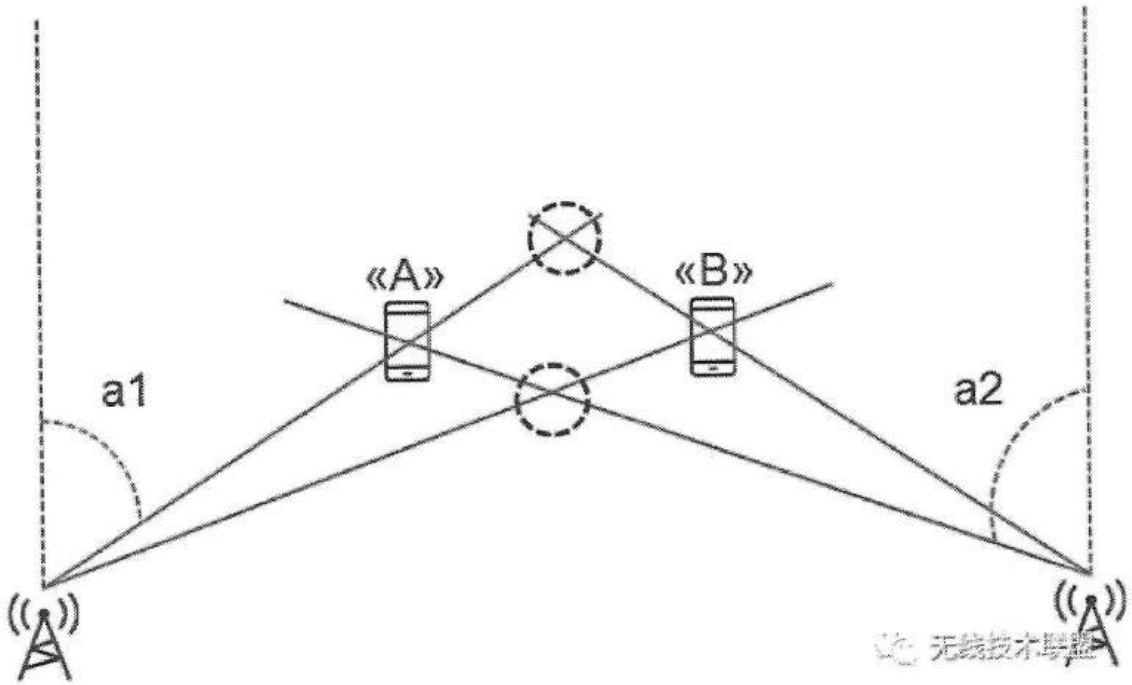


Рис 2.5. Алгоритм позиціонування AOA

SDSTWR (Symmetric Double Sided Two Way Ranging)

Теорія оптимальної обробки сигналу служить основою для методу розміщення SDSTWR[12]. Ми можемо пояснити деталі цього методу, представивши систему, яка складається з двох елементів, A і B (рис. 2.6). Однак ми повинні встановити невідому відстань між предметами. Щоб виміряти відстань, об'єкт A надсилає об'єкту B інформаційний пакет, записуючи точний момент надсилання пакета. Отримавши пакет даних від об'єкта A, об'єкт B повідомляє об'єкт A про його підтвердження через встановлений проміжок часу, необхідний для обробки запиту. Отримавши повідомлення від об'єкта B, об'єкт A реєструє точний момент, коли повідомлення надійшло. Згодом об'єкт A може відняти час, потрачений об'єктом B на обробку запиту, з часу, який він уже знає, оскільки він надіслав пакет даних, що містить запит на вимірювання відстані та отримав підтвердження.

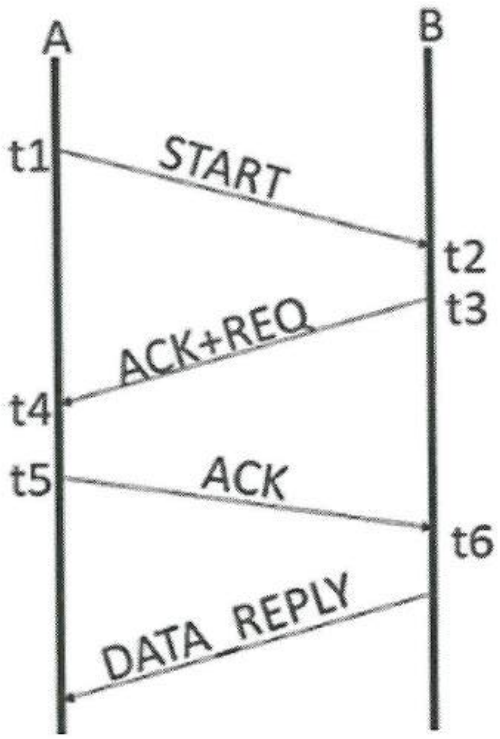


Рис 2.6. Принцип работы метода SDSTWR

Розділивши результат на два, об'єкт A може визначити, коли об'єкт B отримав радіосигнал. Оскільки радіохвилі поширюються з тією ж швидкістю, що й світло, визначити відстань між об'єктами A і B легко. Для більшої надійності цей

процес вимірювання відстані між об'єктами А і В можна проводити кілька разів. Після визначення відстані для кожного вимірювання можна обчислити середнє значення виміряної відстані. Розташування рухомого об'єкта в тривимірному просторі можна з'ясувати, вимірявши відстані між ним і чотирма контрольними пунктами, які мають відомі координати.

2.3 Програмно-апаратний комплекс стандарту ZigBee

Програмно-апаратний комплексстандарту ZigBee реалізує бездротову взаємодію пристроїв один з одним. Модель стандарту ZigBee ми можемо побачити на рисунку 2.7.

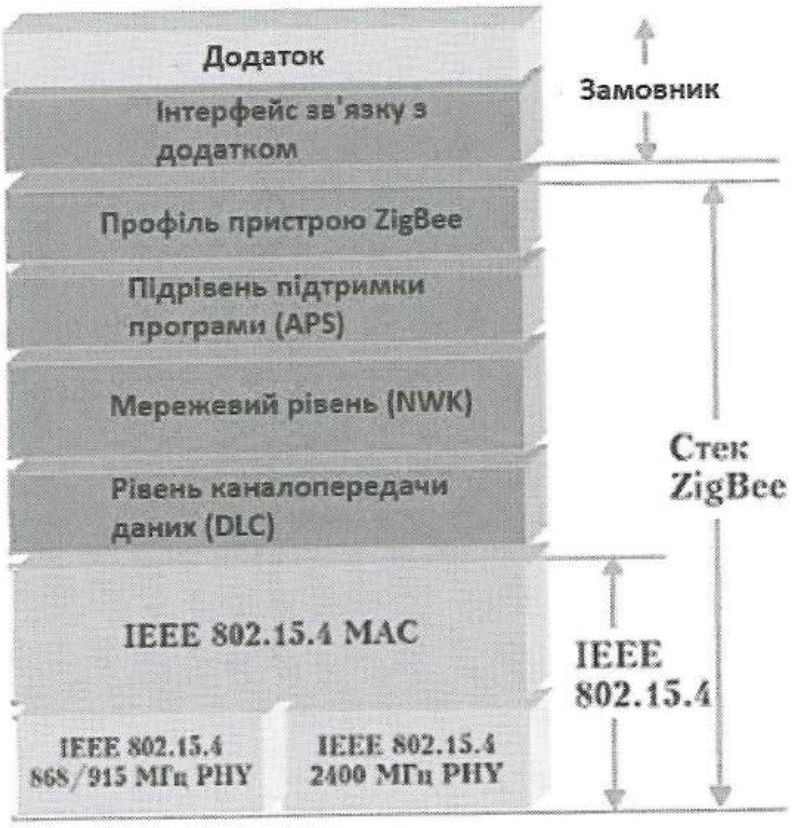


Рис 2.7. Багаторівнева модель стеку протоколів ZigBee

Фізичні характеристики пристроїв, що надсилають і приймають, кількість адресованих пристроїв, методи перевірки цілісності отриманих даних, поняття радіочастотних посилок, процедури запобігання зіткненням тощо визначаються на рівнях 1 і 2. Трансивер, призначений для роботи в рамках IEEE 802.15.4[13], має

наступні особливості:

1. Максимальна швидкість передачі даних по радіоканалу – 250 Кбіт/с;
2. відстань зв'язку поза приміщенням менше 100 метрів;
3. передача працює на частоті 2,4 ГГц по 16 каналах з кроком між каналами 5 МГц;
4. Розпочинаючи 3 рівнем і до 6 включно йде сама специфікація стека ZigBee.

Після завершення цих етапів стає зрозуміло, якими характеристиками повинен володіти пристрій, з яких компонентів складається мережа, як пакети даних пересилаються між вузлами, як новий пристрій підключається до мережі, наскільки безпечна передача даних, як мережа організовано, які вузли є основними, а які підлеглими та інше.

У специфікації стека ZigBee враховуються три типи пристроїв: координатор, маршрутизатор і кінцевий пристрій[14]. По-перше, на кінцевий пристрій не впливає мережеве ретрансляція та він не має доступу до керування мережею. Бути джерелом або одержувачем повідомлення - його завдання. Маршрутизатор вибирає найкращий маршрут для доставки інформації між вузлами. У процесі передачі маршрутизатор також може виконувати функції джерела, ретранслятора та одержувача повідомлення. Нарешті, і, можливо, найважливіше, є тип координатора. Він встановлює мережу, відстежує параметри кожного вузла в базі даних, керує вузлами та налаштовує ідентифікатор PAN (персональна мережа) і номер частотного каналу. Крім того, він має можливість надсилати, отримувати та надсилати повідомлення, але лише за наявності бездротової сенсорної мережі.

Також окремо було виділено можливості стандарту ZigBee для мереж зі складною топологією (рис. 2.8) серед його численних переваг.

Використовуючи мінімальну та максимальну відстань зв'язку між двома сусідніми пристроями, можна збільшити загальну зону покриття мережі завдяки використанню кількох альтернативних топологій. Крім того, 16-розрядна адресація стандарту ZigBee дозволяє побудувати мережі щонайменше з 60 000 пристроїв

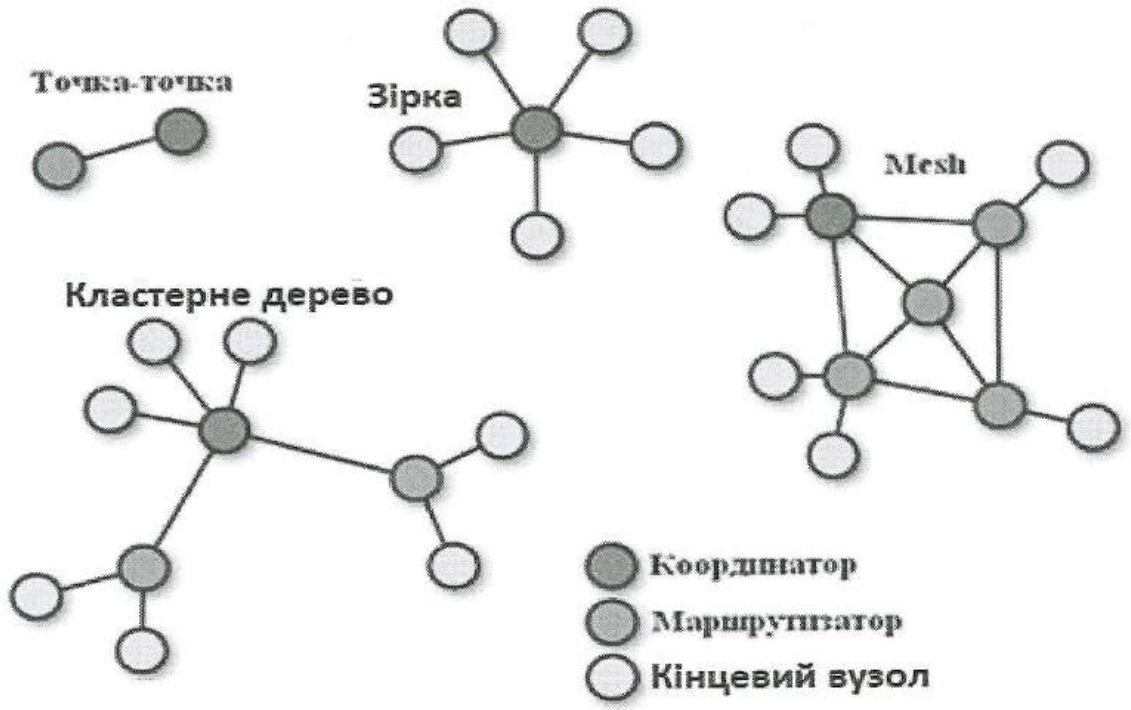


Рис 2.8. Топології мереж ZigBee

Стандарт ZigBee підтримує широкий спектр топологій, а також може використовуватися для відновлення мережі у випадку збою одного або кількох вузлів мережі[15]. Ця функція базується на тому, що кожен вузол стежить за своїми сусідами та налаштовує таблиці маршрутизації відповідно до потужності сигналів, які він отримує від інших вузлів. Виявляється, маршрут автоматично переключатиметься на новий маршрут пересилання повідомлень щоразу, коли зміняться фактичні координати оточуючих вузлів або якщо один із пристроїв вузла виходить з ладу. Ця перевага є найбільш важливою особливістю мереж, які використовуються на промислових підприємствах, де існують промислові бар'єри та високий ступінь використання елементів мережі. В результаті аналізу ринку було виявлено п'ять різних типів сучасних мікросхем, які можуть приймати і передавати дані в радіоканалі за стандартом IEEE 802.15.4.

Перші – це традиційні радіоприймачі, сумісні з ZigBee. Ці мікросхеми здійснюють виключно прийом і передачу даних по каналу зв'язку. Програмне забезпечення, яке дозволяє цим радіоприймачам реалізувати стек протоколів ZigBee, у них відсутнє. Зовнішній мікроконтролер керує програмною реалізацією

стека ZigBee. Він підключається до стандартних інтерфейсів по черзі через мікросхему трансивера. Для роботи трансивера потрібен джгут, який є ключовим компонентом. Джгут має кварцовий резонатор, другу антену і ряд пасивних частин.

Інтегральні гібридні мікросхеми (SiP) - друга категорія мікросхем. Вони поєднують у своїй структурі компоненти мікропроцесора загального призначення та «класичного» радіоприймача. Завдяки такому способу побудови архітектури мікросхем програмний стек ZigBee можна встановити прямо у внутрішню пам'ять мікроконтролера. Ця опція значно зменшує навантаження на зовнішній мікроконтролер, дозволяючи виконувати завдання, пов'язані з певною програмою. Ці мікросхеми також мають перевагу, оскільки вимагають невеликої кількості проводів — лише антени, що є ще однією перевагою.

Системи на кристалі (SoC) займають третє місце. Незважаючи на те, що структура цього типу чіпа відрізняється від типу SiP, вона все ж схожа. У цих мікросхемах інтегрований мікропроцесор і трансивер розташовані на одному кристалі. Процесори ZigBee - ще один монікер цих мікросхем. Вони використовують один із стандартних інтерфейсів (SPI, UART) для зв'язку із зовнішнім контролером. Ці інтерфейси дозволяють завантажувати в пам'ять кілька мережевих протоколів, що відрізняються за складністю та дизайном мережі.

Прискорювачі для ZigBee стануть четвертими. Хоча в стек протоколів ZigBee вже встановлений внутрішній мікроконтролер, ці мікросхеми досить схожі на мікросхеми SoC. Для розробників, які бажають працювати з впізнаваним мікроконтролером і хочуть додати функціональність ZigBee без необхідності освоювати складний набір стекових протоколів ZigBee, це подання є чудовим варіантом. - функціонування без необхідності знайомства зі складним набором стекових протоколів ZigBee. Однак потрібне зовнішнє прив'язування, як і в інших типах.

Платформи в єдиному корпусі (PiP) є кінцевим видом. Найпрактичніша відповідь така. Ці терміни стосуються інтеграції трансивера IEEE 802.15.4, таймерів, аналого-цифрових перетворювачів та інших вбудованих периферійних модулів в одну мікросхему високопродуктивного мікроконтролера. Ці комбінації

дозволяють надавати підтримку для конкретної програми на додаток до побудови стека ZegBee завдяки обчислювальним можливостям вбудованого мікроконтролера та набору вбудованих периферійних пристроїв. Для таких чіпів не обов'язково мати додатковий процесор.

Зверніть увагу, що для мікросхем ZigBee різних виробників потрібні окремі допоміжні периферійні модулі. Це підвищує загальну функціональність і швидкість прийняття рішень. Ці модулі складаються з модуля шифрування даних AES-128 для апаратної підтримки та модуля Access Control Layer (MAC) для апаратної підтримки операцій середовища передачі даних. Проте готові модулі ZigBee доступні для виробників кінцевого продукту, що економить час на розробку та створення джгута та позбавляє потреби в додатковій конфігурації. Ці модулі містяться на одній платі, на якій розміщено мікропроцесор і трансивер IEEE 802.15.4. Вони включають необхідні зовнішні компоненти проводки та стек протоколів ZigBee. Малі підприємства, які зосереджуються на виробництві цих продуктів, виготовляють ці модулі. Найкращий час для використання цих модулів — на етапі проектування, коли необхідно відразу визначити базову життєздатність завдання. Ми можемо розглянути приклади електроприводів з повним частотним регулюванням, щоб зрозуміти можливості, згадані вище. Секції керування та живлення складаються з структурних компонентів перетворювача частоти (ПЧ). Як показано на малюнку 2.9, керуюча частина базується на унікальному мікроконтролері DSP, який керує двигуном і силовою частиною ПЧ. Щоб мати можливість постійно контролювати стан накопичувача та контролювати його в реальному часі, це так



Рис 2.9. Структура сучасного перетворювача частоти

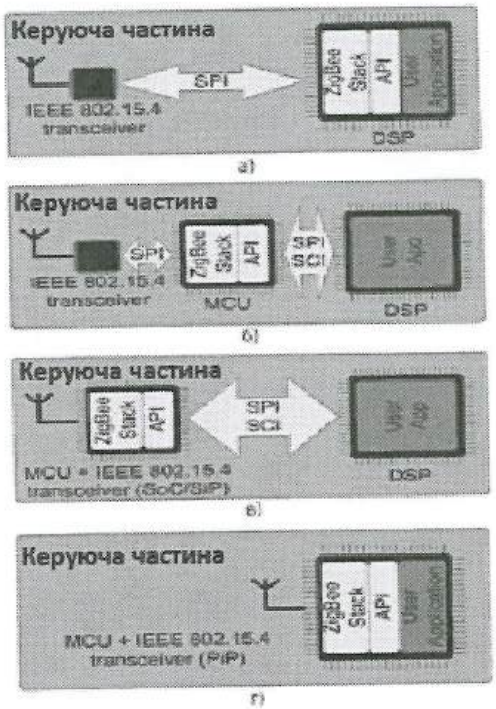


Рис 2.10. Структура керуючої частини ПЧ з різними варіантами реалізації ZigBee-інтерфейсу

На малюнку 2.10 показано чотири різні реалізації інтерфейсу ZigBee. Конструкція на малюнку 2.10а дозволяє зрозуміти, що обчислювальних можливостей мікроконтролера DSP достатньо для виконання як стека ZigBee, так і основних завдань програми. Крім того, в схему контролера перетворювача частоти інтегровано мікросхему радіоприймача IEEE 802.15.4 з інтерфейсом SPI для

синхронізації базового процесора. У наші дні типовим для систем керування приводом є центральний процесор, який перевантажений діяльністю додатків. Як наслідок, схеми, показані на малюнках 2.10b і 2.10c у їх модифікованих формах, працюватимуть краще, якщо реалізовані як бездротові інтерфейси. Ці підходи дозволяють значно зменшити навантаження на основний контролер DSP шляхом реалізації стека ZigBee на додатковому мікроконтролері. Що стосується схеми, зображеної на малюнку 2.10c, то тут використовується або процесор ZigBee, або система на кристалі. Якщо метою є масове виробництво, а не дослідницькі та промислові зразки, то силова електроніка та електропривод — найкращий варіант. Діаграма на малюнку 2.10g реалізується лише в тому випадку, якщо швидкість основного контролера DSP не підлягає жодним унікальним критеріям. Тут один чіп служить реалізацією системи управління. Тільки відносно прості системи водіння зараз є придатними кандидатами для застосування такого рішення. Під час використання готових модулів ZigBee не потрібно будь-яким чином змінювати секцію керування конвертором (рис. 2.11). Всередині модуля реалізований стек ZigBee. Відповідний інтерфейс модуля для підключення до передбаченого мікроконтролера є єдиним важливим компонентом. За допомогою цієї технології можна значно скоротити час розробки кінцевого пристрою з можливостями бездротової мережі.

Експерти приймають остаточне рішення щодо елементної основи для даного прогресу.

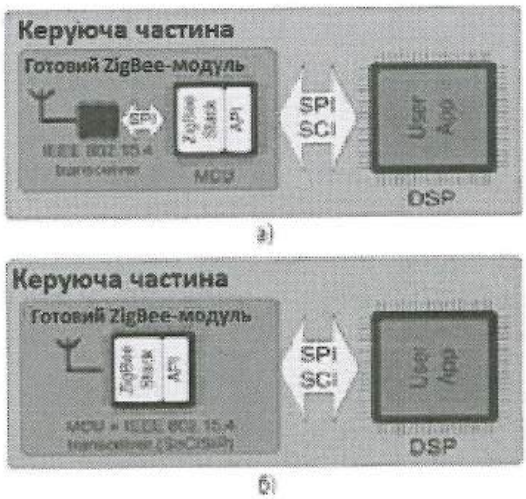


Рис. 2.11. Структура керуючої части ПЧ с готовими ZigBee-модулями

У розрахунковій частині роботи використовувалися мікросхеми CC2430/CC2431. Вони постачаються з інтегрованим модулем для визначення місця розташування кожного вузла в мережі. Базуючись на системі на кристалі (2,4 ГГц), ці методи спеціально розроблені для роботи в програмах IEEE 802.15.4 і ZigBee (рис. 2.12).

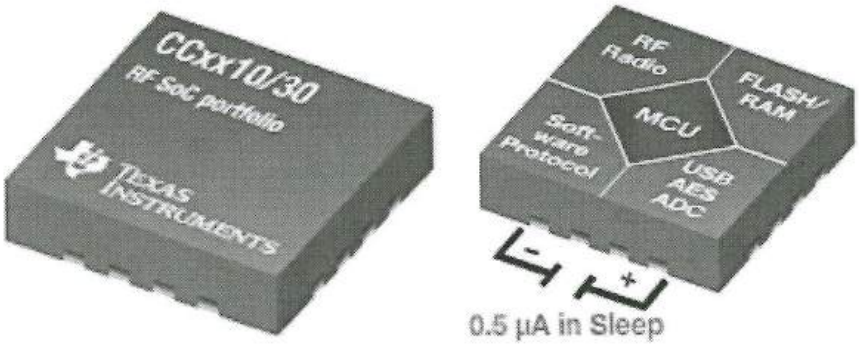


Рис 2.12. Мікросхеми CC2430/CC2431

Ми повинні ознайомитися з особливостями мікросхем CC2430/CC2431, які відображені в таблиці 2.1.

На даний момент на ринку доступно багато програмних методів, які дозволяють визначити, де знаходиться вузол у мережі. У цих системах інформація про стан об'єкта в мережі передається на вузол за допомогою радіосигналу. Згодом ці дані передаються на центральний вузол, який виконує останнє обчислення мережевих координат. Після цього дані про місцезнаходження надсилаються назад у вихідне розташування. Для цього методу, який зазвичай реалізується на високопродуктивних мікроконтролерах або платформах ПК, потрібні великі обчислювальні ресурси. Зі збільшенням кількості вузлів у мережі зростає і обсяг трафіку. Обсяг трафіку, який бере участь у визначенні позиції кожного вузла, зростає прямо пропорційно до кількості вузлів у мережі. Можна зробити висновок, що цей підхід найкраще працює в невеликих мережах з обмеженою кількістю вузлів. Мережа забороняє застосовувати цю стратегію в мережах, які використовують пристрої з живленням від акумулятора, через великі обсяги трафіку та обмежену ефективну пропускну здатність.

Таблиця 2.1

Характеристики мікросхем CC2430/CC2431

Параметр	CC2430/CC2431
Інтегрований трансивер	CC2420
Ядро інтегрованого мікроконтролера	8051
Flash пам'ять	До 128 Кбайт
Частота ядра	32 МГц
RAM пам'ять	До 8 Кбайт
Напруга живлення	2.0…3.6В
Параметр	CC2430/CC2431
АЦП	2SCI (UART)
Послідовні інтерфейси	12-бит 8 каналів
Робочий температурний діапазон	-40…+85°C
Особливості	CC2431 містить модуль визначення положення вузла в мережі

Для усунення цього недоліку використовується мікросхема SS2431, яка використовує техніку «розподілених обчислень». У цих випадках координати об'єкта мережі визначаються безпосередньо у вузлі з використанням даних, отриманих від найближчих вузлів, які мають відоме положення. Виявляється, вузли, найближчі до вузла з наданим розташуванням, є єдиними, де мережевий трафік не поширюється. Оскільки трафік мережі зростає відповідно до кількості сліпих вузлів, цей метод дозволяє обслуговувати більшу їх кількість. Також важливо враховувати методи передачі сигналу, які використовуються в бездротових сенсорних мережах.

Стільниковий зв'язок є основою техніки. Джерелом даних для визначення місцезнаходження є потужність сигналу найближчих базових станцій стільникового оператора. Загальна простота є перевагою; тим не менш, низька

точність локалізації (50-200 м) і рівень сигналу, що залежить від приміщення, є недоліками. Той факт, що практично кожен у світі користується послугами провайдерів зв'язку, дає їм ще одну перевагу: вони доступні по всьому світу. Незважаючи на те, що він менший за GPS, він має вищу точність у приміщенні.

Процес базується на GPS. Недоліками є висока вартість приміщень та обладнання, неточна потужність сигналу в приміщенні та неточність визначення позиції. Наявність правильної кількості супутників у зоні доступу в будь-який час є однією з вимог для функціонування цього методу. Перевагами є широке розповсюдження та велике охоплення.

Методологія на основі RFID. Хоча діапазон радіоміток ідентифікації обмежений, цього може бути достатньо, щоб розмістити одну в кожному офісі. Пасивні теги просто реагують на отриманий сигнал; вони не споживають жодної енергії.

Техніка, заснована на стандарті IEEE 802.15 для Bluetooth. Той факт, що Bluetooth широко використовується, є перевагою. Сьогодні ця функція є в кожному ноутбуці, планшеті, смартфоні і навіть автомобілі. Недоліком є менший діапазон порівняно з Wi-Fi.

Методологія на основі WLAN (стандарт IEEE 802.11). У цій формі ідентифікації використовуються передавачі Wi-Fi. Якщо обладнання в даний час використовується, немає необхідності будувати, тестувати та встановлювати нове обладнання. Перевагою є дуже високий ступінь точності. Цей підхід добре працює в місцях із розвиненою інфраструктурою.

Підхід на основі ІЧ. Інфрачервоні передавачі досить точні, але вони повинні бути спрямовані прямо до предмета, який бачать.

Використання технології UWB (Ultra Wide Band). Хоча RFID працює на частотах 0,1-1000 МГц, технологія дуже схожа на 3,1-10,6 ГГц. Існує ще один метод обміну імпульсами, який використовується на додаток до частоти. Мітки UWB також споживають менше енергії, ніж мітки RFID, що є ще однією перевагою.

Вже давно ведуться спроби знайти рішення проблеми визначення місцезнаходження мобільного пристрою. Визначення комірки, в якій знаходиться

власник мобільного телефону, є першим кроком у визначенні положення телефону. На основі цієї ідеї була розроблена методика Cell ID. Зона прийому найближчих базових станцій мережі має форму комірки.

Основний метод роботи передбачає спочатку ідентифікацію клітин, які здатні приймати сигнал; однак, якщо використовуються секторні антени, у цьому сценарії також можна виявити антени, які є найближчими до телефонного сигналу. Область, де знаходиться власник стільникового телефону, визначається під час отримання даних від сот або антен. Однак у цих цифрах існує похибка в 30 км, оскільки вони не зовсім точні. Існують інші режими, які використовують затримку розповсюдження сигналу, включаючи різницевий діапазон, загальний діапазон і діапазон. Однак, знаючи точний момент початку передачі радіосигналу, ми можемо визначити відстань між мобільним телефоном і антеною базової станції за значенням часу доставки сигналів до приймача. Ця техніка вимагає надзвичайно точної часової синхронізації між усіма компонентами системи позиціонування. Незважаючи на те, що він включений у систему GPS, розмістити мобільні телефони за допомогою нього майже неможливо. Оскільки ми обговорювали часові підходи, існує інша техніка позиціонування, яка базується на зміні часу надходження сигналу. Це базується на точному визначенні часу прийому сигналів стільникового телефону принаймні на трьох базових станціях мережі. Ця методика працює на основі обчислення різниці в значеннях часу сигналів, що надходять у пари місць для визначення гіперболічної лінії положення передавача. Перетин двох гіпербол буде місцем розташування джерела сигналу. Від того, наскільки точним є цей метод, залежить точність синхронізації елементів системи, обмеження пропускної здатності сигналу та середовище розповсюдження сигналу. Однак пам'ятайте, що на точність розміщення впливає багато факторів.

2.4 Алгоритм оптимізації розрахунку покриття 5G на основі співпраці 4G/5G

Давайте розглянемо алгоритм оптимізації на основі співпраці 4G/5G для визначення справжнього значення умов покриття 5G, пом'якшуючи проблеми зміщення в звичайних алгоритмах покриття[16]. Запропонований алгоритм поєднує внутрішньосистемний MP 5G–5G і міжсистемний MP 4G–5G і зважує їх відповідно до співвідношення тривалості часу до перебування. Результатом роботи алгоритму є результати комплексної оцінки покриття 5G. Загальний робочий процес показано на рис 2.13.

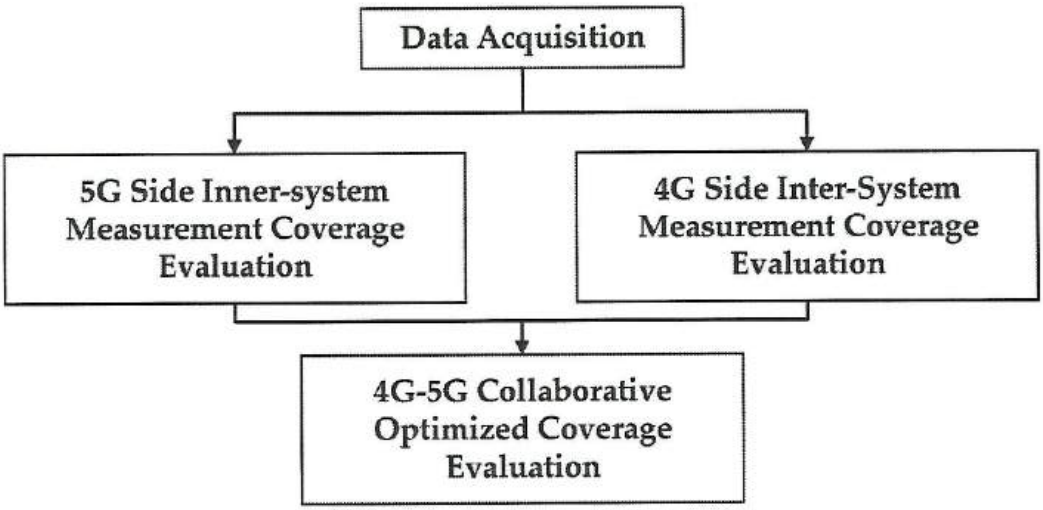


Рис. 2.13. Потік алгоритму оптимізації покриття 5G на основі співпраці 4G/5G.

По-перше, модуль збору даних диктує збір показань мікрохвильового радіометра 4G і 5G, а також критичних робочих параметрів[17]. Далі, використовуючи модуль оцінки охоплення внутрішньосистемних вимірювань 5G, RSRP, що повідомляється MR внутрішньої системи 5G, обчислюється та географізується в сітці. Потім модуль оцінки покриття міжсистемних вимірювань 4G обчислює та географізує 5G RSRP, який повідомляє міжсистемний MR 4G. Результати внутрішньої системи 5G і міжсистемні результати 4G потім об'єднуються за допомогою модуля оцінки оптимізації покриття 4G–5G для створення оптимізованих результатів покриття 5G, які в кінцевому підсумку виробляються. Подальші підрозділи будуть окремими вступами до кожного модуля.

За однакових періодичних налаштувань увімкнено функцію міжсистемного вимірювання 5G на стороні 4G і функцію періодичного внутрішньосистемного

вимірювання 5G. Протягом цього часу користувачі 5G у режимі підключення до радіоресурсів (RRC) іноді повідомляють gNodeB про 5G MR. Одночасно користувачі 5G, які використовують 4G у стані підключення RRC, час від часу ініціюють міжсистемне вимірювання частотної точки 5G, що дозволяє базовій станції 4G (eNodeB) отримувати звіти про 4G MR. На рис. 2.14 наведено приклад цієї процедури. У таблиці 2.2 перераховані необхідні дані, а також їх описи.

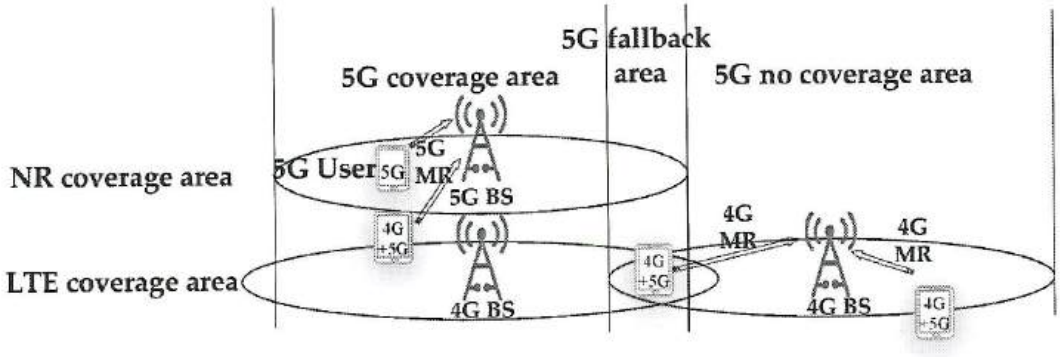


Рис. 2.14 Періодичне звітування про MR користувачів 5G, які проживають у мережах 4G/5G

Таблиця 2.2

Збір даних для алгоритмів оптимізації

Data Type	Acquisition Time	Description
5G Parameters	/	Obtain latitude and longitude information of gNodeB for locating 5G users resident in the 5G
5G MR	At least 1 day	Obtain localization and RSRP of 5G side
5G Call Statistics	Same as 5G MR	Obtain call statistics of 5G user residents in 5G for weighting
4G Parameters	/	Obtain latitude and longitude information of eNodeB for locating 5G users resident in 4G.
4G MR	Same as 5G MR	Obtain localization and RSRP of 4G side
4G Call Statistics	Same as 5G Call Statistics	Obtain call statistics of 5G user residents in 4G for weighting

Усі режими мережі Long-Term Evolution (LTE), NSA Single Mode, NSA/SA Dual Mode та SA Single Mode охоплюються періодичним міжсистемним

вимірюванням. Увімкнувши періодичне міжсистемне вимірювання 4G–5G, необхідно пам'ятати про наступне:

1. Оскільки SA UE також надають можливості NSA, eNodeB повинен позиціонувати MR для міжчастотного/міжсистемного MR для NSA-сумісних UE;
2. Комірка LTE повинна встановлювати максимальну кількість міжчастотних і міжсистемних частотних точок вимірювання, а також сусідню частоту NR, щоб гарантувати належну кількість частотних точок;
3. Важливо переконатися, що статистика викликів 4G/5G і період MR 4G/5G узгоджуються. Зазвичай тривалість вибірки за умовчанням становить 10 с. Десять випадково вибраних UE повідомляють про MR щоразу, а інтервал вибірки залишається незмінним через необхідність мінімізації змін у реальній мережі. Щоб забезпечити безпеку та надійність аналізу даних, метод збору даних вимагає щонайменше одного сеансу вибірки щодня.
4. Є дві основні причини для активації функції визначення можливостей UE. Перш за все, оскільки користувачі лише LTE не можуть використовувати мережу NR, вона використовується для розрізнення користувачів лише LTE та користувачів подвійної системи LTE-NR. Як результат, інформація від споживачів лише LTE не має значення для оцінки покриття 5G. Для забезпечення більш точного аналізу випадковим чином вибираються лише двосистемні користувачі 4G–5G, які повідомляються для частих міжсистемних вимірювань. По-друге, це відрізняє клієнтів Voice of LTE, які перемикаються між двома системами 4G і 5G. оскільки спосіб використання VoLTE може контролювати користувач. RSRP UE, які повертаються до 4G, не можуть точно відображати стан покриття мережі. Таким чином, щоб гарантувати надійність даних, споживачі, які використовують VoLTE

на основі користувачів подвійної системи 4G–5G, повинні бути виключені.

5. Показники продуктивності для покриття мережі, такі як можливості UE, дані про місцезнаходження та RSRP, включені в MR. Ці звіти визначаються як такі, що містять дані про географічне положення, що стосуються UE та найближчих базових станцій. Таким чином, карти покриття повинні бути створені після того, як MR були передані на базові станції служби для локалізації. Позиціонування, отримане за допомогою MR, потім поєднується з доступними ресурсами карт, щоб розрізнити статуси в приміщенні та на вулиці.
6. Точне розташування (довгота та широта) UE у бездротовій мережі визначається за допомогою розташування сітки. На даний момент стандартні методи позиціонування дають точність приблизно п'ятдесят метрів. Оскільки інформація про промінь в основному використовується в цих підходах для розміщення трикутників, розміри сітки повинні бути обрані в діапазоні, що перевищує цю точність позиціонування . Основна мета запропонованої техніки полягає в тому, щоб виправити приховані області недостатнього покриття, а діапазон покриття gNodeB перевищує 50 метрів. В результаті точність позиціонування прийнятна. Крім того, MR може належати до будь-якої суміжної сітки без повторення даних, якщо він розташований у важливій області сіток.

Основні об’єкти та їхні описи в 5G MR і 4G MR відображені в таблиці 2.3.

Також потрібно розглянути розширення алгоритмічної функціональності. Алгоритми оптимізації можуть бути розширені, щоб включати, наприклад, оцінку між операторами та оцінку односмугового покриття. Окремо подано короткі описи.

1. Оцінка односмугового покриття

Є можливість відновити однодіапазонне покриття п’ятого покоління за допомогою мережі 4G, внутрішньої частоти 5G і міжчастотного зв’язку 5G. Розглянемо діапазони NR 2,1 ГГц і 3,5 ГГц як ілюстрацію: як показано на рис. 2.15, користувачі

3,5 ГГц віддають перевагу мешканцям NR 3,5 ГГц із сильнішим покриттям і повертаються до мережі LTE 2,1 ГГц, коли покриття невелике.

Таблиця 2.3

Ключовий об'єкт 5G/4G MR.

Acquisition Object	Event	Description
NR MR	PERIOD_INTRA_FREQ_MEASUREMENT	Localization, 5G Inner-Frequency RSRP
	PERIOD_PRIVATE_UE_MEASUREMENT	Assistant Localization
	PERIOD_PRIVATE_UL_BEAM_INFO	Assistant Localization
LTE MR	PERIOD_INTRA_FREQ_MEASUREMENT	Localization, 4G RSRP
	PERIOD_PRIVATE_UE_MEASUREMENT	Assistant Localization
	UE_CAPABILITY_INFORMATION	Identify VoLTE Users
	UE_CAPABILITY_INFORMATION_HOIN	Identify 4G/5G Dual-System Users
	PERIOD_INTER_RAT_MEASUREMENT	4G–5G Inter-System Measurement RSRP

На цьому етапі для користувачів 3,5 ГГц NR і резервного варіанту до LTE 2,1 ГГц також слід обчислювати комбіноване оцінювання, якщо охоплення 2,1 ГГц NR потрібно досліджувати окремо. Неможливо реалізувати стандартну оцінку покриття. Базуючись на 2,1 ГГц MR, отриманому за допомогою вимірювань внутрішньої частоти 5G, 3,5 ГГц MR, повідомленому міжчастотними вимірюваннями 5G, і 2,1 ГГц MR, повідомленому 4G міжсистемними вимірюваннями, алгоритм оптимізації може бути використаний у цьому випадку для розрахунку NR 2,1 ГГц WCR. Шляхом інтегрування співвідношень тривалість-перебування одне з одним, матриця може бути збільшена для визначення NR 2,1 ГГц WCR.

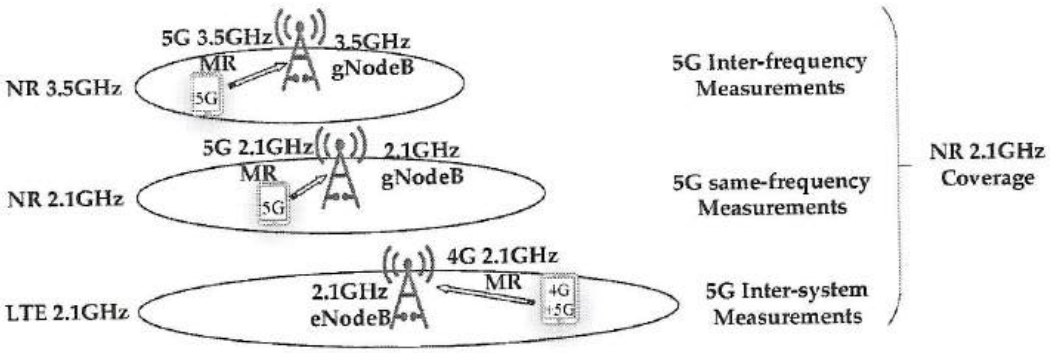


Рис. 2.15. Приклад одноканального оцінювання.

2. Міжоператорська оцінка

Поточний підхід до оптимізації можна частково використовувати для міжоператорської оцінки. Точка частоти 5G міжоператорського зв'язку також налаштовується в модулі збору даних під час періодичного міжчастотного вимірювання клієнтів 5G на стороні домашнього оператора. Як видно на рис. 2.16, міжоператорські RSRP вимірюються, а MR повідомляється. Міжчастотна подія надає інформацію про первинну комірку обслуговування домашнього оператора та сусідню комірку міжоператорського. Слід пам'ятати, що один MR містить лише один діапазон частот для звіту.

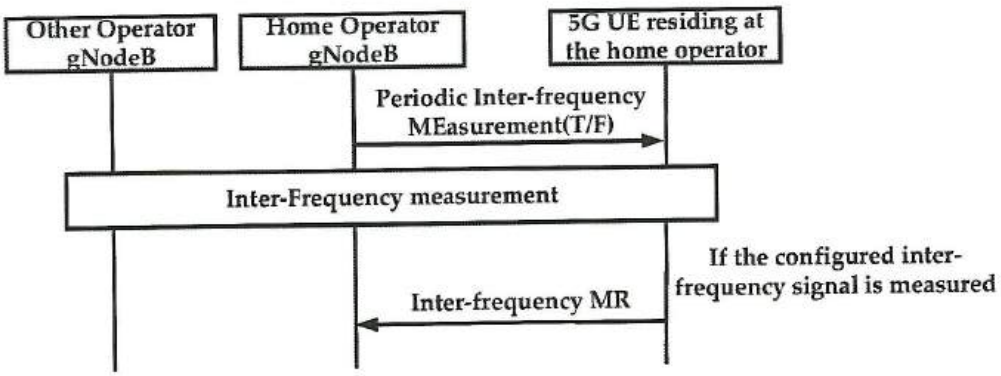


Рис. 2.16. Міжоператорський потік вимірювань 5G.

Виконуючи розрахунки покриття на основі міжчастотного покриття 5G міжоператорського зв'язку та отриманого покриття внутрішньої частоти 5G домашнього оператора, можна отримати результати конкурентного порівняння на рівні мережі. Порівняння можуть підкреслити переваги чи недоліки на ринку. Вони можуть виконувати аналіз і планування мережі на основі конкурентних порівнянь, а також швидко й правильно оцінювати можливості покриття мережі кількох

операторів. Немає впливу на міжоператорських операторів, оскільки весь процес вимірювання завершується в оператора та абонентів мережі.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ 5G ДЛЯ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ У БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

3.1 Застосування технології нарізки мережі 5G

Найзначнішим досягненням у технологіях мобільного зв'язку на даний момент є 5G. Розрізання мережі 5G може додатково спростити детальне планування зв'язку, якщо воно задовольняє критеріям системи 5G. Нарізка мережі 5G у віртуальній мережі може бути виконана за допомогою зв'язку відображення. Підтримання поточного основного фізичного стану мережі та точне зіставлення фізичних вузлів і зв'язків у фізичних ресурсах усередині конкретного мережевого середовища називають відображенням. Тим не менш, поточні алгоритми відображення ігнорують паралельний зв'язок між затримкою системи та ефективністю роботи та враховують ці фактори лише в односторонньому порядку.

Система нарізки мережі складається з рівня зрізу мережі бездротового віртуального доступу, рівня віртуального оператора та рівня постачальника інфраструктури. Для віртуалізованого контролю мережевих послуг віртуальні оператори пропонують і поширюють віртуальний мережевий маршрутизатор (VNR). Щоб реалізувати вимоги віртуалізованого оператора VNR різних рівнів бездротової мережі віртуального доступу, постачальник інфраструктури формує внутрішню базову смугу різних віртуалізованих блоків обробки та підключається до відповідних віртуалізованих віддалених радіочастотних блоків через керування NFV MANO. Це дозволяє постачальнику інфраструктури реалізувати конфігурацію та розгортання VNFC на основі різних VNR.

Припустимо, що фізична мережа C = (Ai, Si) представлена зваженим неорієнтованим графом у нашому методі. $A_i = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ позначає набір вузлів мережі, тоді як $S_i = \{s_1, s_2, \ldots, s_n\}$ представляє обчислювальні рівні для A_i. Набір зв'язків, що складається з вузлів, позначається $L_n = \{l_1, l_2, \ldots, l_n\}$; основні фізичні зв'язки позначаються ln; смуга пропускання представлена di; неефективність фізичної мережі зв'язку представлена γ_i, а пропускна здатність d_i.

VNR системи нарізки мережі можна реєструвати та стабілізувати в певному

діапазоні шляхом поєднання теорії масового обслуговування та технології нарізки мережі для створення дворівневої моделі динамічного планування NFV MANO та NFV у системі нарізки фізичної мережі.

Теорія масового обслуговування стверджує [18], що динамічне планування відбувається двічі. Функція переходу стану черги в системі NFV MANO, де відбувається процес динамічного планування черги першого рівня, є:

$$Z(X) = \gamma_t + (A_t S_t - L_n) d_t \tag{3.1}$$

У NFV, де розташована функція переходу стану черги, відбувається процес динамічного планування черги другого рівня[19].

$$Z(Y) = \frac{\gamma_t + A_t L_n d_t}{Z(X)} \tag{3.2}$$

Модель відображення в архітектурі нарізки мережі 5G може бути додатково отримана на основі аналізу вище, і вона виражається таким чином[20]:

$$F(x) = \frac{Z(\mathrm{X}) + Z(\mathrm{Y})}{d_t} \gamma_t \tag{3.3}$$

Мережеві запити на сегменти в ситуації віртуалізації мережі не завжди можуть надходити по одному, один за одним. Технологія онлайн відображення використовується для реалізації динамічного розподілу основних фізичних ресурсів і планування їх у часовому вимірі на основі характеристик трафіку сегментів мережі. Вхідні запити сегментів мережі обробляються динамічно за допомогою часових вікон, як показано на рисунку 3.1. Час розбивається на послідовність послідовних часових вікон. Залежно від їхнього пріоритету в життєвому циклі сегменти мережі обробляються протягом заданого періоду часу. Рівень пріоритетної обробки підвищується із скороченням життєвого циклу.

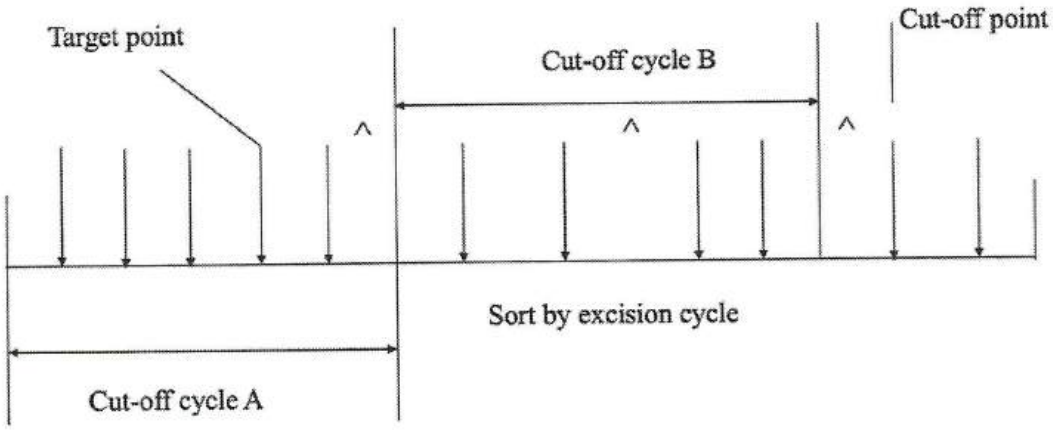


Рис. 3.1 Механізм відображення зрізів мережі на лінії часового вікна

Алгоритм онлайнового відображення для сегментів мережі 5G було змодельовано та проаналізовано за допомогою інструменту моделювання MATLAB, щоб підтвердити життєздатність системи. Як видно на рис. 3.2, різні сигнали 5G були змодельовані за допомогою MATLAB. Дослідники можуть вибирати з безлічі типів сигналів 5G у програмному забезпеченні. Крім того, оператор має повний контроль над вмістом хвилі завдяки можливостям низхідної та висхідної лінії зв'язку. Крім того, дослідники можуть створювати такі проекти, як висхідний FRC, низхідний FRC і NR-TM.

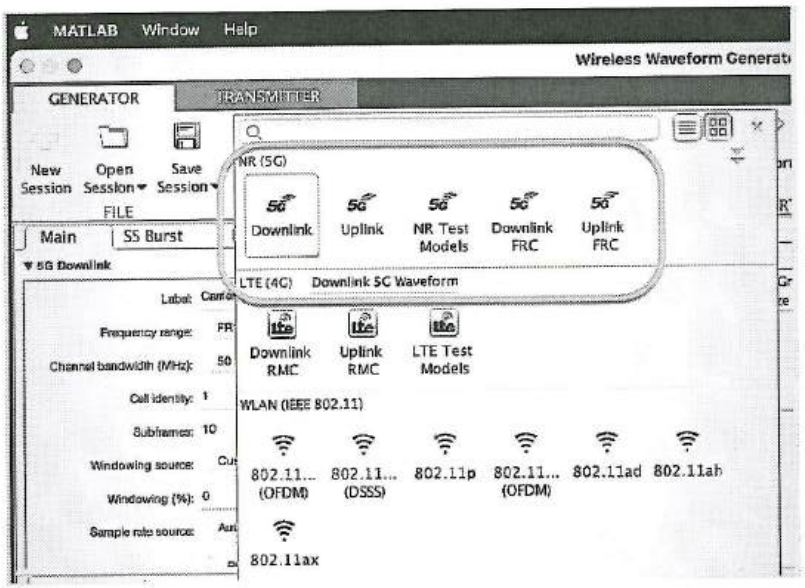


Рис. 3.2 MATLAB забезпечує різні типи моделювання сигналу 5G

Десять фізичних вузлів випадково генеруються симуляційною фізичною мережею, а одиниці часу для різних життєвих циклів зрізів становили 60, 80 і 100. Інтервали розподілу для обчислювальних ресурсів і ресурсів зв'язку становили 50

і 80 відповідно. Розподіл Пуассона використовувався, щоб гарантувати випадкове надходження зрізів[21][22]. Для певного часового вікна середня ймовірність прибуття становила 1,4. Кожен зріз мережі має часовий інтервал обслуговування 15 одиниць часу на основі розподілу Пуассона. В межах інтервалу віртуальні вузли в обчислювальних ресурсах мережевої системи та смузі пропускання зв'язку були розподілені випадковим чином.

Але зрозуміло що у кожного метода є свої проблеми і метод нарізки 5G не став виключенням.

Ділянка інтересу (ROI), яка є квадратною площею з площею b^2, має загальну кількість N датчиків, розподілених у випадковому порядку, як показано на рис. 3.3. Згідно з формулою, N є випадковою величиною, яка відповідає розподілу Пуассона[21][22].

$$\rho(T) = \frac{\lambda^N e^{-\lambda}}{N!}, N = 0,...,\infty \tag{3.4}$$

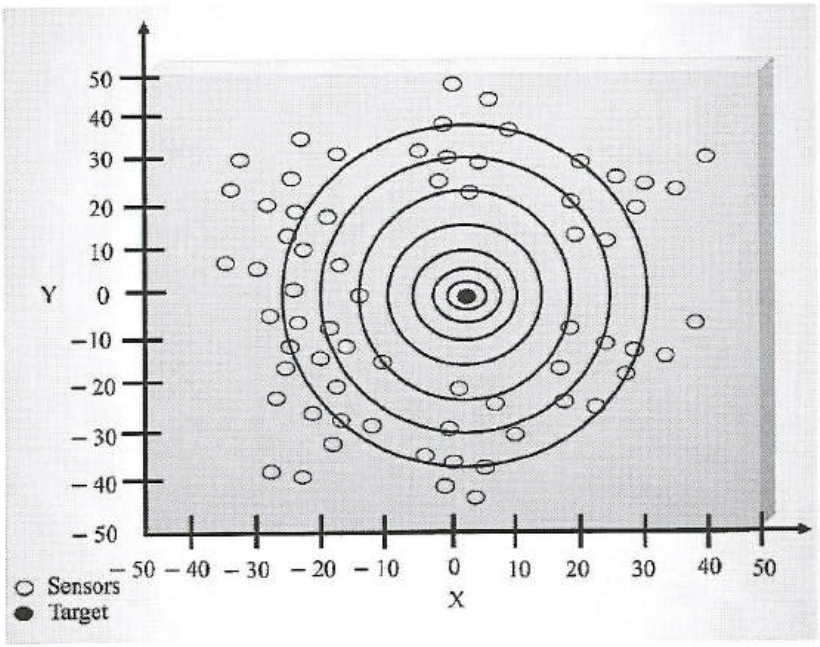


Рис. 3.3 Контури енергії сигналу для цілей, що знаходяться в зоні дії датчика

Безпроводова сенсорна мережа не знає розташування датчиків, але припускає, що вони є незалежними та рівномірно розподіленими та дотримуються спільного розподілу в ROI (i. d. d),

$$f(x_t, y_t) = \begin{cases} \frac{1}{b^2}, -\frac{b}{2} \square\ x_t, y_t \square\ \frac{b}{2} \\ 0, else \end{cases} \quad (3.5)$$

де координати сенсорного вузла і позначено i = 1, 2, ..., N, (x_i, y_i). Шум локального датчика розподіляється незалежно, рівномірно та відповідає типовому розподілу Гауса[23], де дисперсія дорівнює одиниці, а середнє значення дорівнює нулю.

$$n_i \square N(0,1), \mathrm{i} = 1,..., \mathrm{N} \quad (3.6)$$

Задача перевірки бінарної гіпотези показана для локального датчика i.

$$\begin{aligned} H_1 &: s_i = a_i + n_i \\ H_0 &: s_i = n_i \end{aligned} \quad (3.7)$$

Серед них a_i — це виміряна амплітуда сигналу, який транслюється ціллю і приймається датчиком i, а s_i — це сигнал, отриманий датчиком i. Застосування ідеї ізотропного ослаблення енергії сигналу.

$$a_1^2 = \frac{P_0}{1 + \alpha d_t^n} \quad (3.8)$$

де P_0 – потужність сигналу, випромінюваного ціллю на відстані 0, d_i – відстань між ціллю та локальним датчиком i,

$$d_i = \sqrt{(xt - xt)^2 + (yt - yt)^2} \quad (3.9)$$

де координати цілі (xt, yt). Крім того, очікується, що рівномірний розподіл ROI керуватиме розміщенням цілі. Індекс ослаблення сигналу, або n, має значення від двох до трьох. Оскільки α є змінним параметром, більше значення відповідає швидшому ослабленню сигналу.

Ці моделі ослаблення сигналу легко застосувати до тривимірних просторових задач. Їх розділяє те, що знаменник використовується в наступній формулі $1+\alpha\ d^n_i$ використовується замість d^n_i. Це гарантує, що модель має сенс навіть у ситуаціях, коли відстань d_i майже або точно дорівнює 0. Де d_i є подовженим ($\alpha d^n_i \gg 1$). Різницю між двома моделями можна не помітити.

Застосована тут модель розпаду енергії також є загальною, і не надається жодної інформації щодо типу пасивного датчика. Наприклад, у системах бездротового зв'язку чи радарах потужність обернено пропорційна квадрату відстані від

передавача для ізотропно випромінюваних електромагнітних хвиль, що рухаються у вільному просторі. Подібно до цього, інтенсивність сферичної звукової хвилі, випромінюваної основним джерелом звуку в повітря, обернено пропорційна квадрату відстані. Очевидно, що відношення сигнал/шум (SNR) локального датчика I відображається за допомогою формули (10), оскільки шум має одиничну дисперсію.

$$SNR_i = \alpha_i^2 = \frac{P_0}{1+\alpha d_i^n} \tag{3.10}$$

Наведена нижче формула визначає SNR на нульовій відстані.

$$SNR_0 = 10\log_{10} P_0 \tag{3.11}$$

За припущення гаусового шуму всі локальні датчики приймають рішення, використовуючи той самий поріг τ. Наступні дві формули можна використовувати для визначення частоти помилкових тривог локального датчика та ймовірності виявлення.

$$\rho_{fa} = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt = Q(\tau) \tag{3.12}$$

$$\rho_{d_i} = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(t-a_i)^2/2} dt = Q(\tau - a_i) \tag{3.13}$$

де Q (·) є додатковою функцією розподілу стандартного Гаусового розподілу, як показано у формулі нижче.

$$Q(x) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \tag{3.14}$$

Вважається, що енергія сигналу швидко спадає і що ROI є великим. Таким чином, енергія отриманого сигналу буде значно більшою за нуль лише у відносно невеликій частині ROI або області навколо цілі. Ігноруйте граничні ефекти ROI та припускайте, що мета знаходиться в центрі ROI, не втрачаючи загальності. Отже, лише частина датчиків здатна ідентифікувати ціль у будь-який момент часу. Місцеві датчики надсилатимуть дані до термоядерного центру лише тоді, коли буде перевищено поріг r, щоб заощадити енергію та витрати на передачу.

Щоб вирішити такі питання потрібно об'єднати два рішення в єдине. Для кожного

i = 1,.., N запишіть Ii = {0,1}, щоб представити двійкові дані, отримані від локального датчика. Ii має значення 1 у випадку, якщо мета знайдена; 0 за відсутності будь-яких цілей. Ідеальним правилом злиття рішень є правило злиття Чайра-Варшні[24]. Порогове значення наведених нижче даних перевіряється цією системою за допомогою наведеної нижче формули (15) та (16).

$$\Lambda_0 = \sum_{i=1}^{N}\left[I_t \log\frac{p_{d_i}}{p_{fa_i}} + (1-I_t)\log\frac{p_{d_i}}{p_{fa_i}} \right] \tag{3.15}$$

$$= \sum_{i=1}^{N} I_t \log\frac{p_{d_i}(1-p_{fa_i})}{p_{fa_i}(1-p_{d_i})} + \sum_{i=1}^{N}\log\frac{1-p_{d_i}}{p_{fa_i}} \tag{3.16}$$

Ці дані злиття збігаються з зваженою сумою всіх виявлень ("1"), надісланих центром злиття. Якщо певний датчик має покращену продуктивність виявлення, тобто p_{d_i} є вишим а p_{fa_i} є нижчим, тоді рішенню буде надано більшої ваги, що може бути представлено формулою нижче.

$$\log\frac{p_{d_i}(1-p_{fa_i})}{p_{fa_i}(1-p_{d_i})} \tag{3.17}$$

Рівняння (12) стверджує, що частоту помилкової тривоги кожного датчика можна визначити після встановлення порогового значення r. Тим не менш, це досить складно знайти p_{d_i} для кожного датчика. Відповідно у рівняні (13) все базується на амплітуді сигналу цілі та відстані між кожним датчиком і ціллю. Що ще гірше, оскільки центр синтезу може отримувати дані від датчика лише тоді, коли сигнал, який він отримує, перевищує поріг r, неможливо визначити точну кількість N датчиків. Додаткова тактика полягає в тому, щоб кожен датчик передавав необроблені дані s_i до центру синтезу, який використовує ці необроблені дані для прийняття рішень. Однак передача необроблених даних може бути дорогою, особливо для бездротових сенсорних мереж з обмеженою смугою пропускання та енергією. Таким чином, можна просто транспортувати двійкові дані до центру синтезу. Якщо p_{d_i} є невідомим, центр синтезу може лише довільно обробляти результати виявлення кожного датчика. Оскільки результат «1» одного датчика по суті не має сенсу для центру синтезу, підрахунок випадків виявлення результату має сенс.

3.2 Дослідження 5G NR для можливості інтеграції у безпроводові сенсорні мережі

Нове радіо п'ятого покоління (5G NR) — це нова технологія радіодоступу (RAT), розроблена компанією 3GPP для мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління. 5G NR — це глобальний стандарт для радіоінтерфейсів мережі 5G. Серія 38 специфікацій програми партнерства третього покоління (3GPP) визначає технічні деталі NR. Їхні дослідження NR почалися в 2015 році, а перший випуск специфікацій вийшов наприкінці 2017 року. У той час шлях до стандартизації 3GPP тривав, і галузь уже почала впроваджувати ці проекти інфраструктур, сумісних зі стандартами, з першими великими Масштабне комерційне розгортання 5G NR очікується в 2019 році.

Діапазони 5G NR зазвичай поділяються на два діапазони частот:

1. Діапазон частот 1 (FR1), включаючи діапазон частот нижче 6 ГГц (до 6 ГГц), який наразі коливається від 410 МГц до 7125 МГц.

2. Діапазон частот 2 (FR2), включаючи смуги частот у мм-діапазоні (24,25–52,6 ГГц, якщо бути точним).

FR2 має менший діапазон, але має більше доступних діапазонів частот, ніж FR1. Зверніться до налаштувань FR1 і FR2, показаних на рис. 3.4.

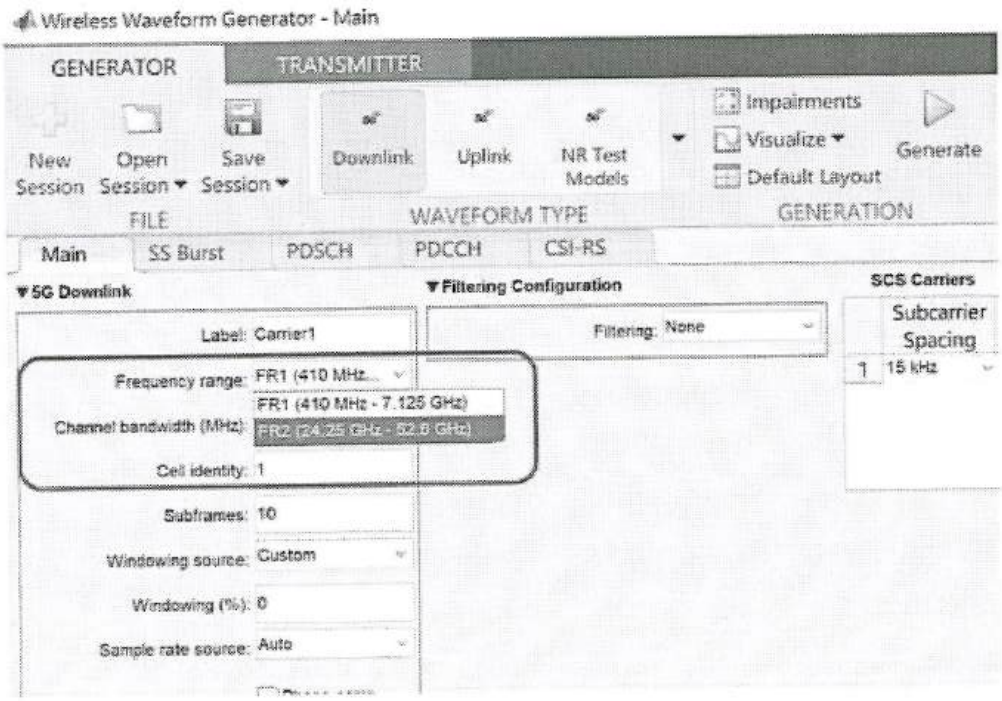


Рис. 3.4. Встановлення смуги пропускання FR1 і FR2.

Початкове розгортання 5G NR спиратиметься на існуючу довгострокову еволюцію (LTE) інфраструктуру 4G у неавтономному (NSA) режимі, доки автономний (SA) режим, який працюватиме в поєднанні з базовою мережею 5G, не зріє. Неавтономний (NSA) режим 5G NR відноситься до варіанту розгортання 5G NR, у якому функції керування покладаються на площину керування існуючої мережі LTE, тоді як 5G NR повністю зосереджується на площині користувача.

Перевага такого підходу полягає в тому, що він прискорює комерціалізацію 5G. Однак деякі оператори та виробники пристроїв критикували це, стверджуючи, що раннє впровадження 5G NR NSA перешкоджатиме впровадженню мереж у режимі незалежної мережі (тобто SA). Режим незалежної мережі (тобто SA) 5G NR означає використання базових станцій 5G як для сигналізації, так і для передачі даних. Він використовує нову архітектуру базової мережі 5G з комутацією пакетів замість розвиненого пакетного ядра (EPC) базової мережі 4G. Розгортання мережі 5G в SA буде повністю незалежним від мережі 4G. Очікується, що він матиме нижчу вартість, вищу ефективність і допоможе розробити нові варіанти використання.

Програма MATLAB 5G Waveform Generator надає інтерфейс користувача для керування численними параметрами конфігурації. У додатку дослідники можуть вибирати типи сигналів, вказувати параметри, а також генерувати та експортувати сигнали. Додаток також дозволяє операторам взаємодіяти з тестовим і вимірювальним обладнанням.

На рис 3.5. показана конфігурація двох фізичних спільних каналів низхідної лінії зв'язку (PDSCH). Перший PDSCH охоплює всі слоти та використовує блоки фізичних ресурсів (PRB) від 0 до 100. Другий PDSCH активний у слотах від 0 до 2 і від 4 до 6 і використовує PRB від 200 до 250.

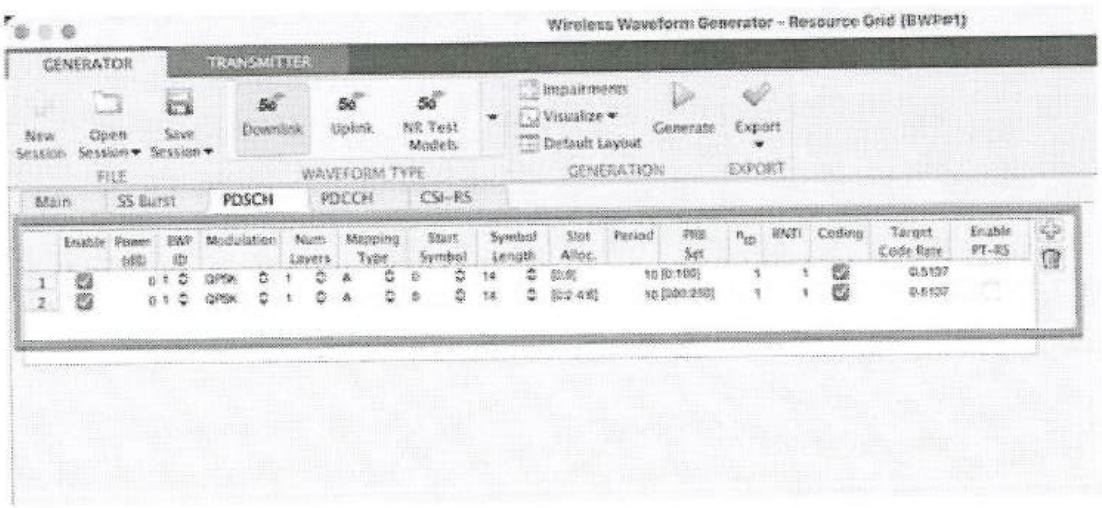


Рис. 3.5. Налаштування параметрів для PDSCH.

Відповідно до наведених вище налаштувань параметрів система генерувала сигнал 5G. На рис. 3.6 показаний спектральний аналіз сигналу.

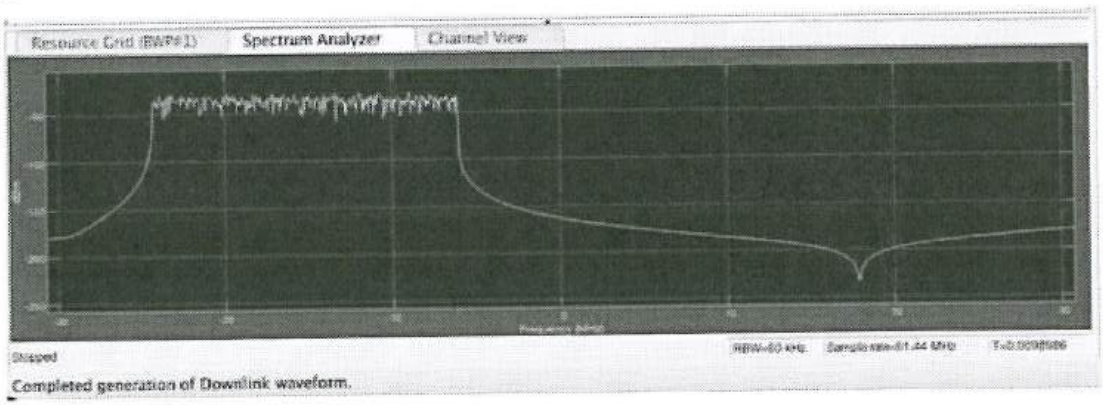


Рис. 3.6. Сигнал 5G, встановлений розробником.

У цьому дослідженні використовувався код MATLAB для запису та генерації сигналів 5G. Наприклад, наш код використовує nrDLCarrierConfig для конфігурації та генерації 5G-сигналів. Код, створений для сигналу низхідної лінії зв'язку за допомогою опції експорту до сценарію MATLAB у додатку, також було налаштовано за допомогою nrDLCarrierConfig (див. рис. 3.7).

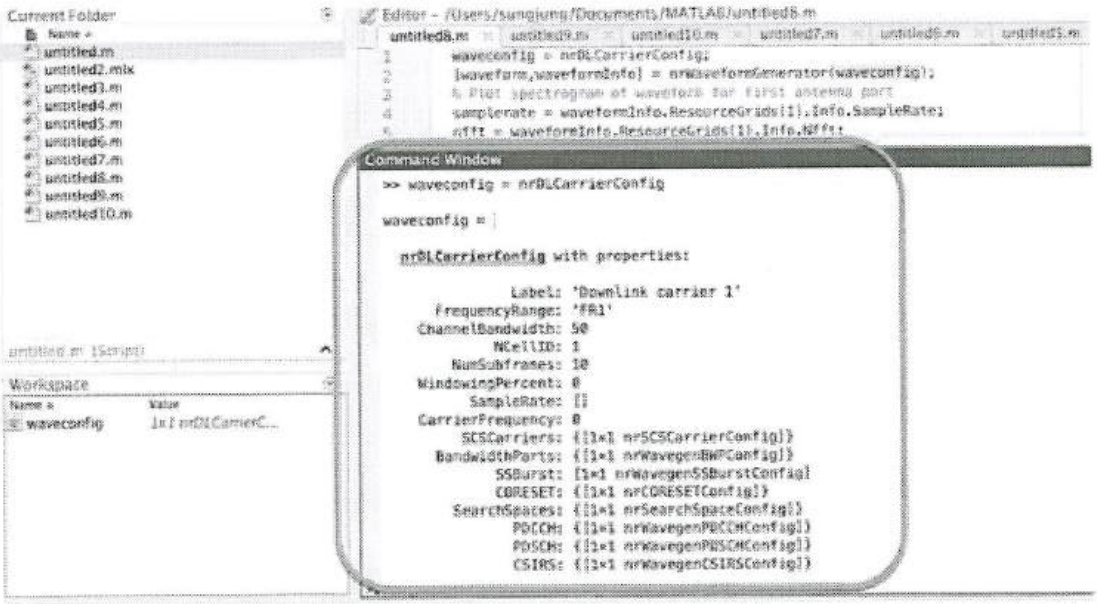


Рис. 3.7. Код, який використовується для генерації сигналу 5G.

Спектрограма була намальована в MATLAB, щоб візуалізувати сигнал у частотній області. Сигнал включає в себе повністю виділений PDSCH, фізичний канал керування низхідним каналом (PDCCH) і пакети синхронізації сигналу (SS)яка представлено на рис. 3.8.

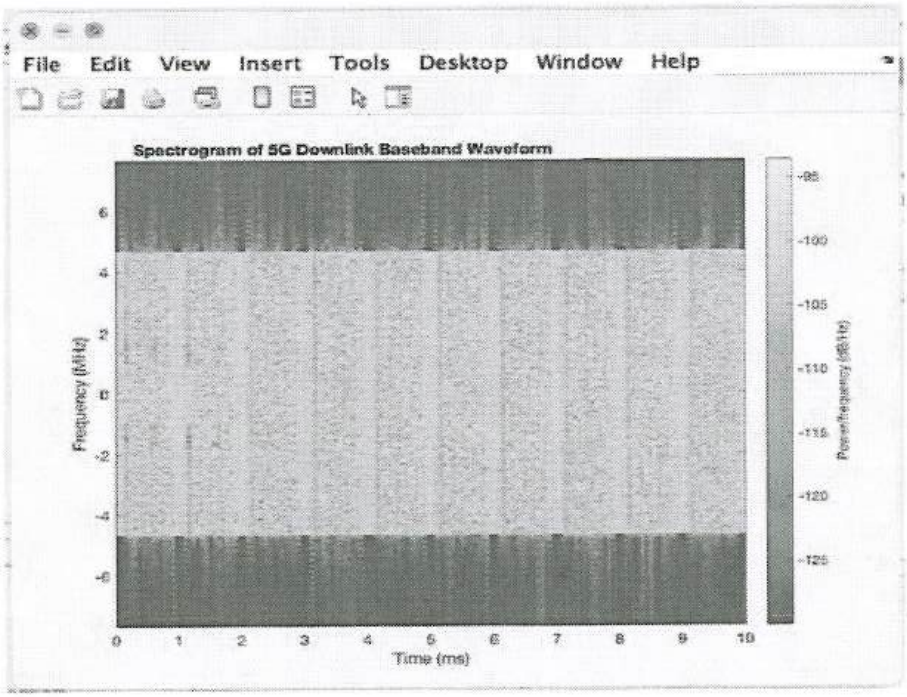


Рис. 3.8. Спектр форми сигналу основної смуги низхідної лінії зв'язку п'ятого покоління (5G).

Запропонований підхід змінив розподіл PDSCH на охоплення PRB від 0 до 10. Потім система згенерувала сигнал і сконфігуровало спектрограму, яка показана на рис. 3.9.

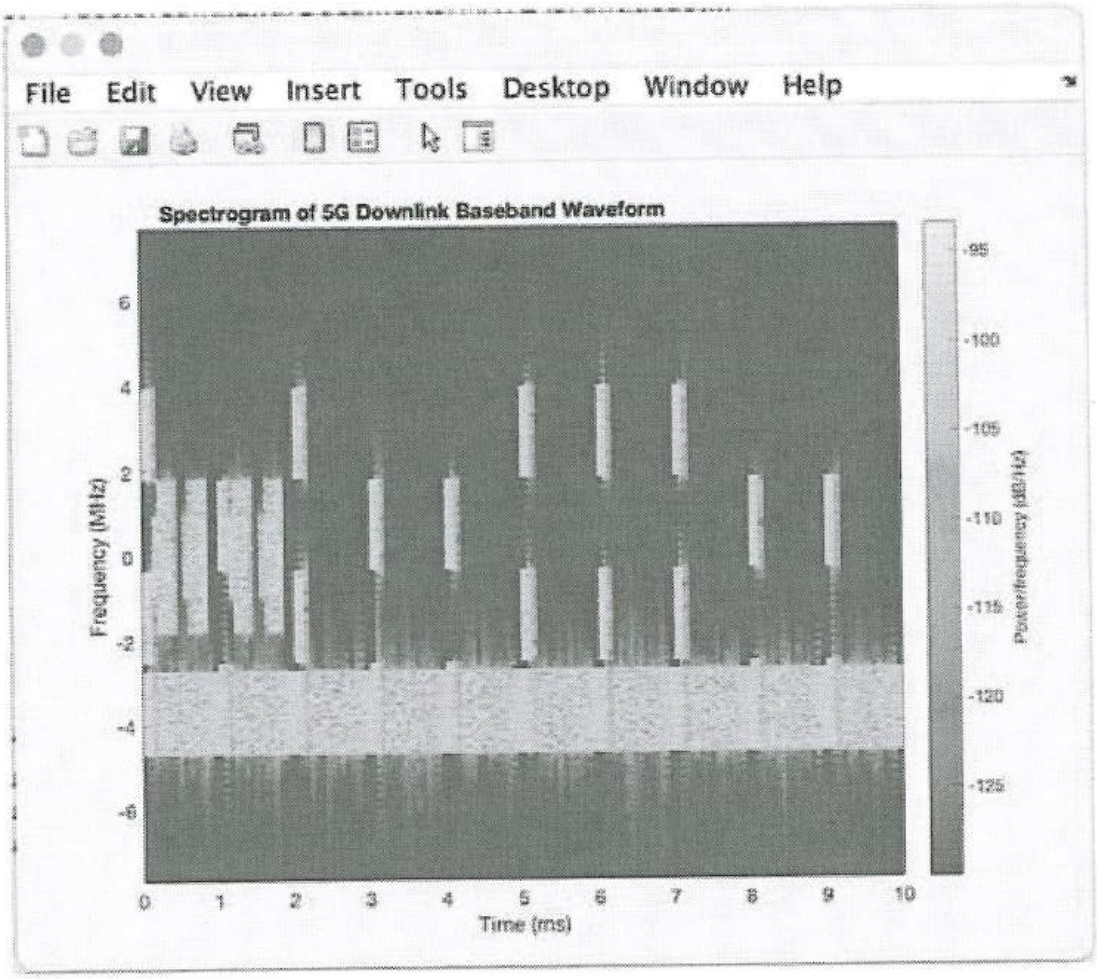


Рис. 3.9. Спектрограма форми хвилі базової смуги низхідної лінії зв'язку 5G із PRB у діапазоні від 0 до 10.

Також можна визначити кілька екземплярів фізичних каналів і сигналів. Наш підхід створив другий екземпляр конфігураційного об'єкта PDSCH і встановив розподіл для охоплення PRB від 40 до 50 і символів OFDM від 2 до 10. Потім наше дослідження призначило другу конфігурацію PDSCH конфігурації сигналу, і система згенерувала сигнал, показаний на рис. 3.10.

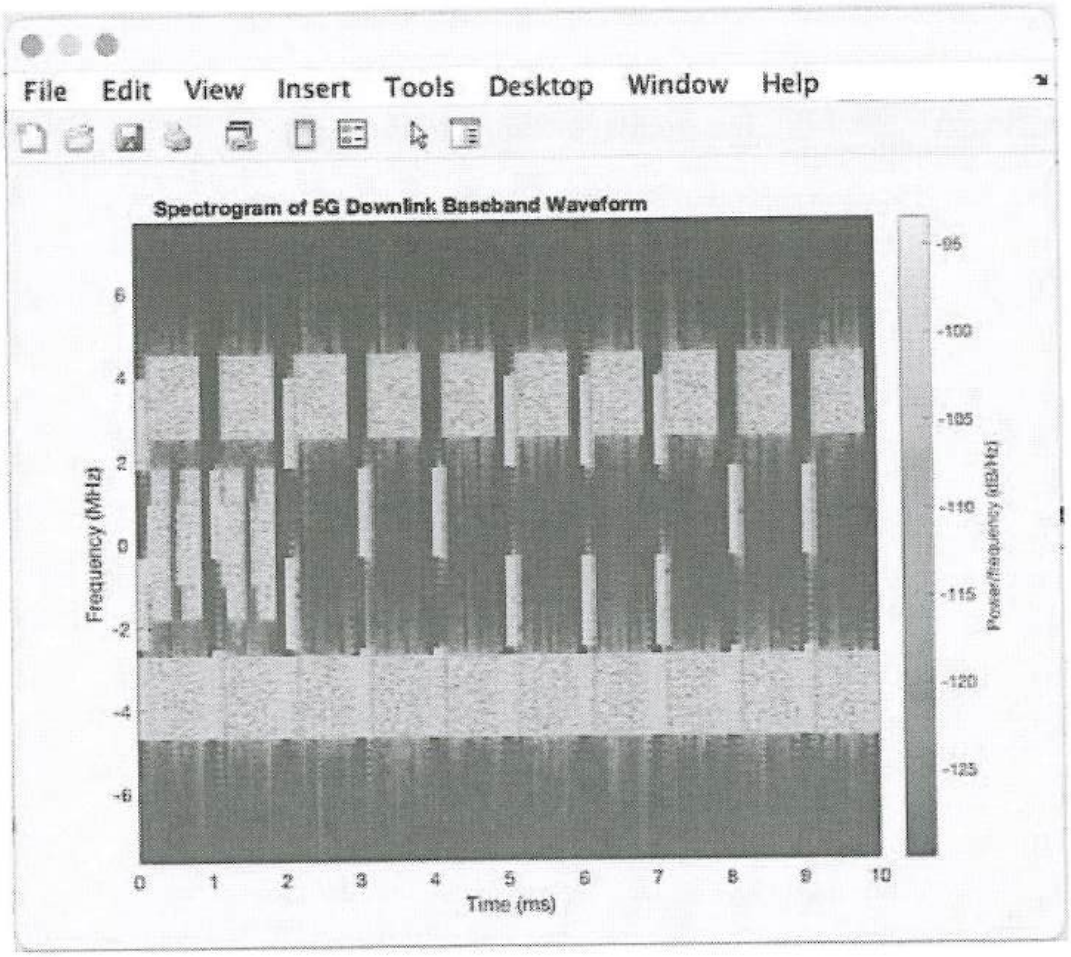


Рис. 3.10. Значення PRB від 40 до 50 і символи OFDM від 2 до 10.

3.3 Дослідення точності позиціонування при різній кількості опорних вузлів

Для визначення ефективності системи позиціювання в середині приміщення ми проведемо дослідження в якому розгорнемо мережу на території офісного приміщення, яка складається з восьми опорних вузлів. Після обчислення місцеперебування ми збільшимо кількість вузлів до 14. На рис 3.11 представлена схема офісного приміщення з додатковими елементами такими як: сліпі вузли (від 1 до 4), початкові опорні точки (від A до H) та додаткові опорні вузли (від I до N).

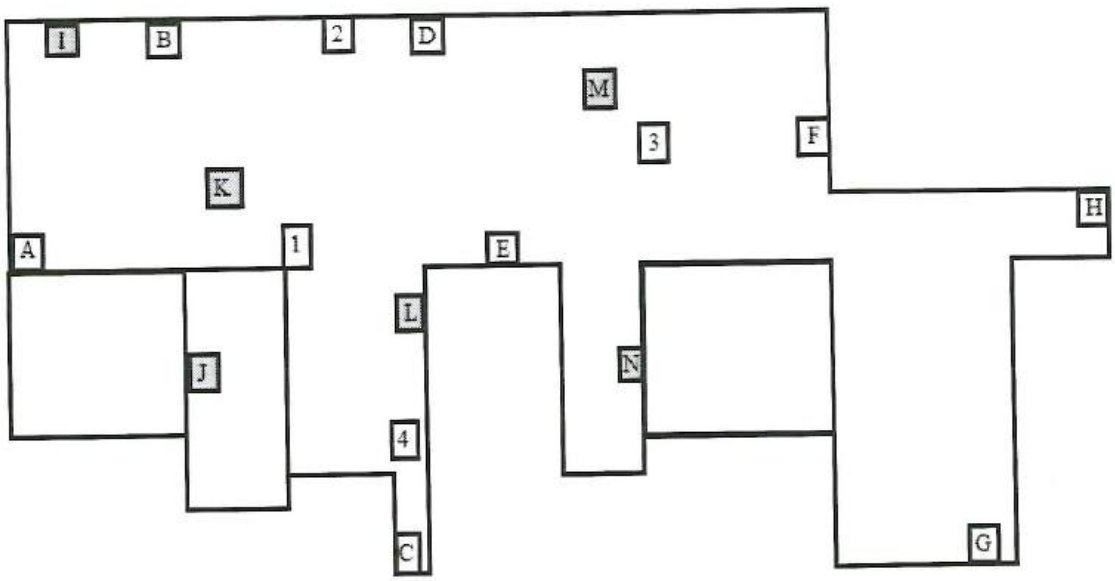


Рис. 3.11. Схема розташування вузлів всередині офісу

Усі результати обчислень координат будуть заноситися до таблиці 3.1. Ці значення ми отримали у результаті знаходження середнього арифметичного значення після 20 обчислень в кожному положенні.

Для даного експерименту нам потрібно було розрахована абсолютна похибка δта середньоквадратичне відхилення для кожного випадку за формулами (3.18) і (3.19):

$$\delta_x = \left| X_f - X_i \right|, \tag{3.18}$$

$$\delta_y = \left| Y_f - Y_i \right|. \tag{3.19}$$

Після цього ми визначили середньоквадратичне відхилення за формулами (3.20) і (3.21).

$$\Delta x = \left(X_f - X_i \right)^2, \tag{3.20}$$

$$\Delta y = \left(Y_f - Y_i \right)^2. \tag{3.21}$$

де X_f - фактичне положення об'єкта по осі X;

X_i –виміряне положення об'єкта по осі X;

Y_f - фактичне положення об'єкта по осі Y;

Y_i – виміряне положення об'єкта по осі Y.

Вимірювання координат проводилося по 8 опорних точках.

Обчислюємо значення абсолютної похибки для кординат по осі X:

$$\delta_{x1} = |16,5 - 19,8| = 3,3 \text{ м};$$

$$\delta_{x2} = |19 - 18| = 1 \text{ м};$$

$$\delta_{x3} = |27 - 22,35| = 4,65 \text{ м};$$

$$\delta_{x4} = |19 - 21,10| = 2,10 \text{ м};$$

Обчислюємо значення абсолютної похибки для кординат по осі Y:

$$\delta_{y1} = |10 - 9,8| = 0,2 \text{ м};$$

$$\delta_{y2} = |6 - 10,7| = 4,7 \text{ м};$$

$$\delta_{y3} = |9 - 9,05| = 0,05 \text{ м};$$

$$\delta_{y4} = |15,5 - 13,6| = 1,9 \text{ м};$$

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення для кординат по осі X:

$$\Delta x_1 = (16,5 - 19,8)^2 = 10,89 ;$$

$$\Delta x_2 = (19 - 18)^2 = 1;$$

$$\Delta x_3 = (27 - 22,35)^2 = 21,62;$$

$$\Delta x_4 = (19 - 21,10)^2 = 4,41;$$

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення для кординат по осі Y:

$$\Delta y_1 = (10 - 9,8)^2 = 0,04;$$

$$\Delta y_2 = (6 - 10,7)^2 = 22,09;$$

$$\Delta y_3 = (9 - 9,05)^2 = 0,0025;$$

$$\Delta y_4 = (15,5 - 13,6)^2 = 3,61.$$

Помилка вимірювалася шляхом усереднення помилок по осі X та осі Y для точки (3.22).

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}. \tag{3.22}$$

$$P_1 = \frac{20+6}{2} = 13\%;$$

$$P_2 = \frac{5,9+70}{2} = 37,95\%;$$

$$P_3 = \frac{17+3,2}{2} = 10,1\%;$$

$$P_4 = \frac{9,8+9,6}{2} = 10,2\%.$$

Таблиця 3.1

Результати обчислювання координат по 8 опорним точкам

Номер вузла	Фактичне положення по X, м	Фактичне положення по Y, м	Виміряне положення по X, м	Виміряне положення по Y, м	δ_x, м	δ_y, м	$(X-x)^2$	$(Y-y)^2$	Помилка, %
1	16,5	10	19,8	9,8	3,3	0,2	10,89	0,04	13
2	19	6	18	10,7	1	4,7	1	22,09	37,95
3	27	9	22,35	9,05	4,65	0,05	21,62	0,0025	10,1
4	19	15,5	21,10	13,6	2,10	1,9	4,41	3,61	10,2

Переглянувши таблицю 3.1 ми можемо побачити що значення абсолютної похибки δ_x та δ_y для всіх чотирьох вимірювань також середньоквадратичне відхилення та відсоток помилок є високими для заданого прикладом офісного приміщення.

Для покращення точності було додано ще шість опорних вузлів. Вже з 14 опорними вузлами було проведено обчислення за формулами 3.1-3.5 і отримані значення були занесені в таблицю 3.2

Обчислюємо значення абсолютної похибки для кординат по осі X:

$$\delta_{x1} = |16,5 - 18,9| = 2,4 \text{ м};$$

$$\delta_{x2} = |19 - 17,8| = 1,2 \text{ м};$$

$$\delta_{x3} = |27 - 20,76| = 6,24 \text{ м};$$

$$\delta_{x4} = |19 - 22,24| = 3,24 \text{ м};$$

Обчислюємо значення абсолютної похибки для кординат по осі Y:

$$\delta_{y1} = |10 - 9,54| = 0,46 \text{ м};$$

$$\delta_{y2} = |6 - 8{,}97| = 2{,}97 \text{ м};$$

$$\delta_{y3} = |9 - 12{,}4| = 3{,}4 \text{ м};$$

$$\delta_{y4} = |15{,}5 - 9{,}12| = 6{,}38 \text{ м};$$

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення для кординат по осі X:

$$\Delta x1 = (16{,}5 - 18{,}9)^2 = 5{,}76;$$

$$\Delta x2 = (19 - 17{,}8)^2 = 1{,}44;$$

$$\Delta x3 = (27 - 20{,}76)^2 = 38{,}93;$$

$$\Delta x4 = (19 - 22{,}24)^2 = 10{,}49;$$

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення для кординат по осі Y:

$$\Delta y1 = (10 - 9{,}54)^2 = 0{,}2116;$$

$$\Delta y2 = (6 - 8{,}97)^2 = 8{,}82;$$

$$\Delta y3 = (9 - 12{,}4)^2 = 11{,}56;$$

$$\Delta y4 = (15{,}5 - 9{,}12)^2 = 40{,}70;$$

Помилка вимірювалася шляхом усереднення помилок по осі X та осі Y для точки:

$$P1 = \frac{20+6}{2} = 11{,}76\%;$$

$$P2 = \frac{4{,}2+56}{2} = 28{,}89\%;$$

$$P3 = \frac{17+3{,}2}{2} = 9{,}7\%;$$

$$P4 = \frac{9{,}8+9{,}6}{2} = 8{,}7\%.$$

Таблиця 3.2

Результати вимірювань координат по 14 опорним точкам

Номер вузла	Фактичне положення по X, м	Фактичне положення по Y, м	Виміряне положення по X, м	Виміряне положення по Y, м	δ_x, м	δ_y, м	$(X\text{-}x)^2$	$(Y\text{-}y)^2$	Помилка, %
1	16,5	10	18,9	9,54	2,4	0,46	5,76	0,2116	11,76
2	19	6	17,8	8,97	1,2	2,97	1,44	8,82	28,89
3	27	9	20,76	12,4	6,24	3,4	38,93	11,56	9,7
4	19	15,5	22,24	9,12	3,24	6,38	10,49	40,70	8,7

Встановлення додаткових шести опорних вузлів збільшило точність розміщення для всіх сліпих вузлів у середньому приблизно в 1,68 рази, як показано в таблиці 3.2. Це вказує на зменшення середньоквадратичного відхилення виміряних координат. На діаграмі 3.1 графічно представлено результати двох тестів.

Діаграма 3.1 ілюструє різницю в помилках між обчисленнями, що включають шість і чотирнадцять опорних вузлів.

У результаті при збільшенні числа опорних точок точність вимірювання зростає приблизно в 1,68 рази, а похибка вимірювання в кожному випадку зменшується.



Діаграма 3.1. Значення помилок вимірів по 8 і 14 опорних точкам

3.4 Дослідження загасання сигналу при поширенні між передавачем і приймачем

Вимірювання проводилися як всередині, так і поза приміщенням, щоб визначити ослаблення сигналу в системі визначення положення. Моделювання дало значення ослаблення сигналу під час його проходження між передавачем і приймачем, як показано на рис. 3.12 і 3.13.

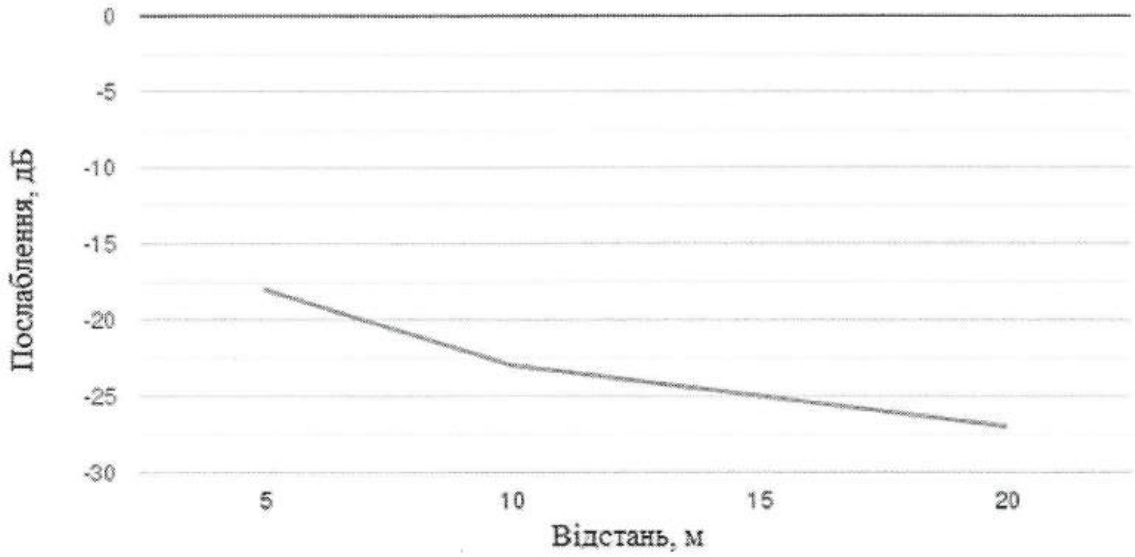


Рис. 3.12. Послаблення сигналу поза приміщенням

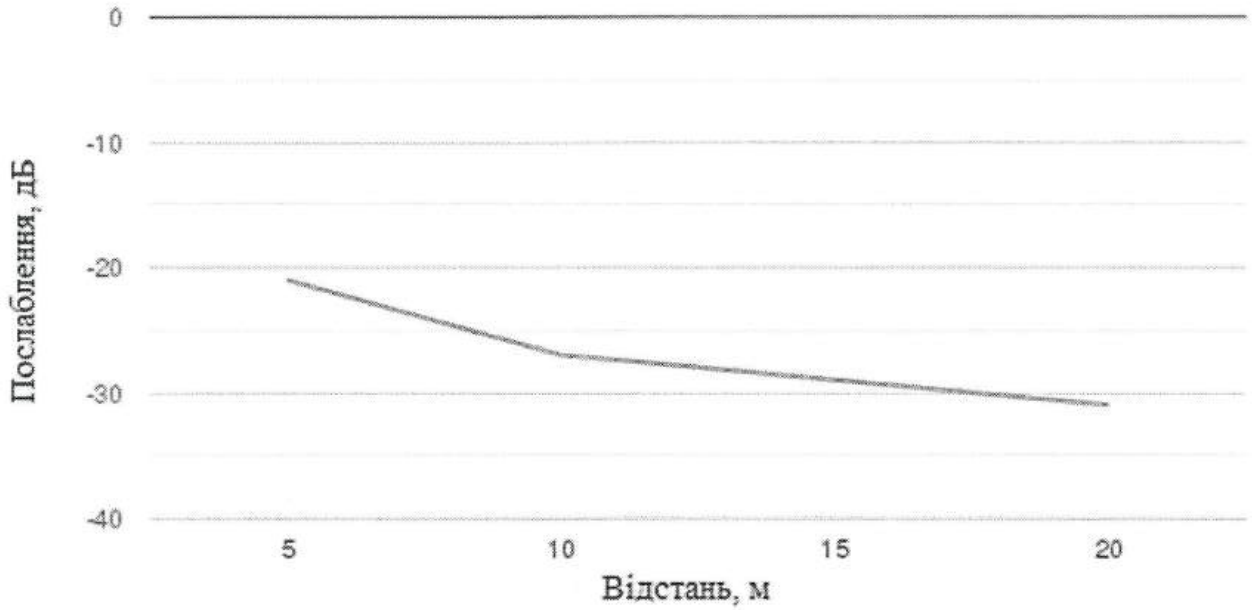


Рис. 3.13. Послаблення сигналу всередині приміщення

Результати моделювання показують, що під час розрахунку відстаней ззовні та всередині приміщення, відповідно, дисперсія відносної похибки вимірювання відстані становить 11% та 15% .

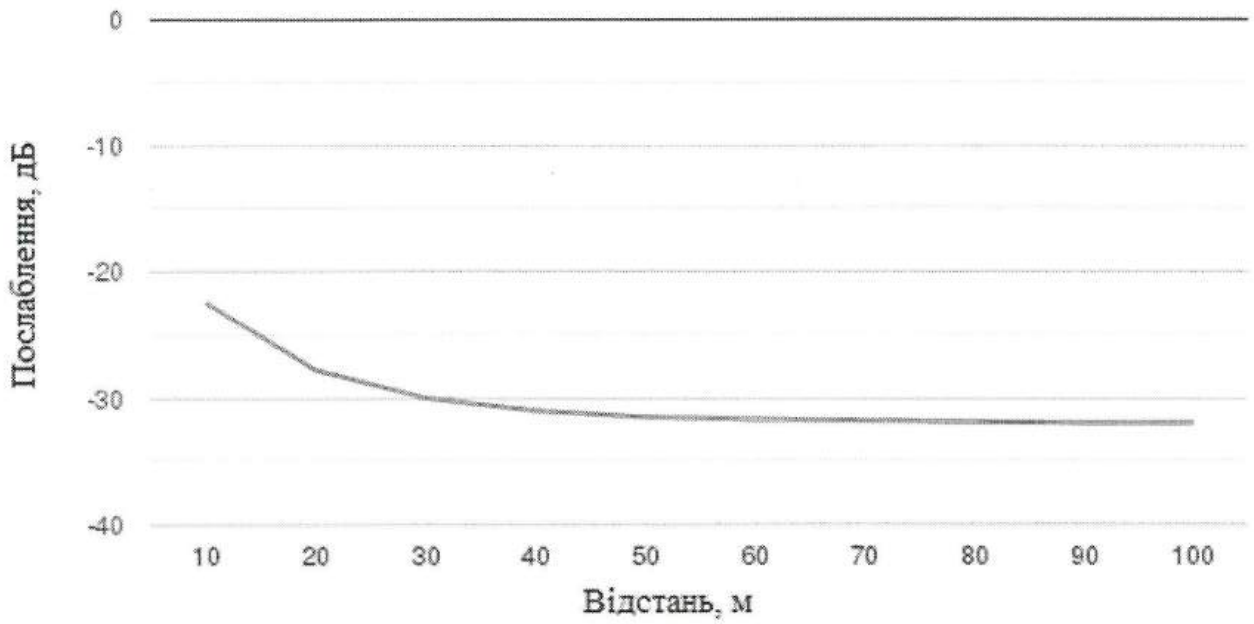


Рис. 3.14. Потужність сигналу на приймачі поза приміщенням

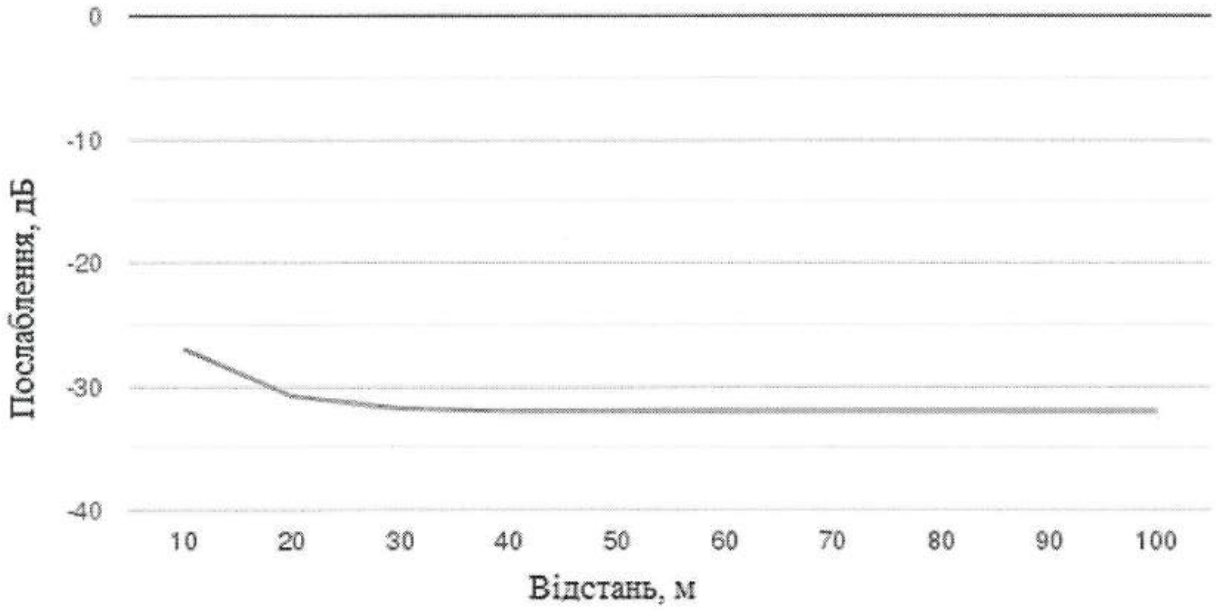


Рис. 3.15. Потужність сигналу на приймачі всередині приміщення

Розглядаючи графіки, видно, що шум у каналі передачі починає все більше впливати на оцінку рівня сигналу зі збільшенням відстані.

Рис. 3.16 і 3.17 відображають коефіцієнт бітових помилок (BER) зі збільшенням відстані.

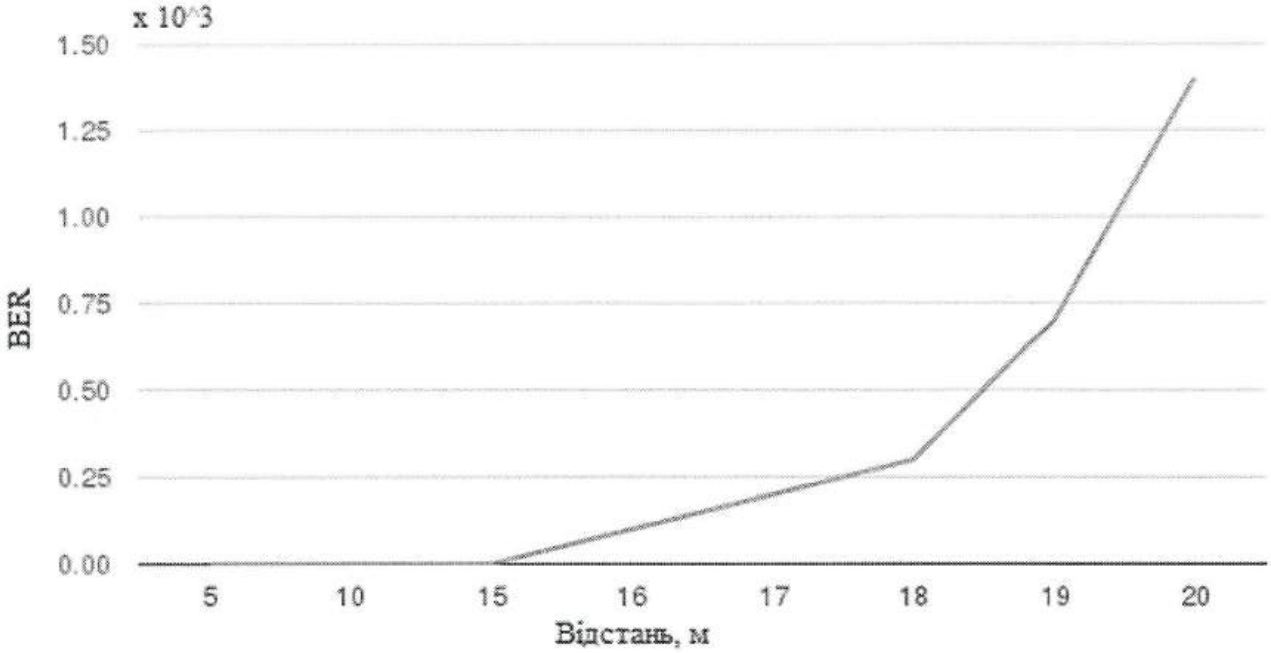


Рис. 3.16. Число бітових помилок поза приміщенням

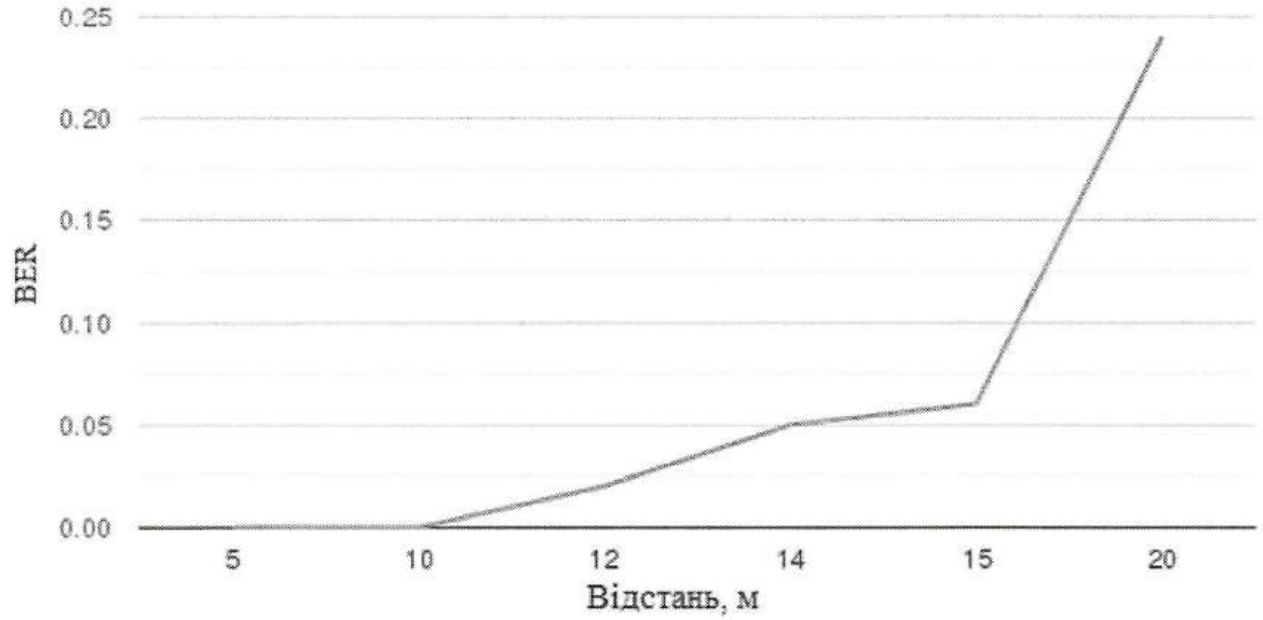


Рис. 3.17. Число бітових помилок всередині приміщення

У результаті стандарт для мереж IEEE 802.15.4 визначає, що дальність зв'язку становить 20 метрів із потужністю переданого сигналу 3 дБм.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши безпроводові сенсорні мережі в яких використовується 5G технологія представляють собою обширний та перспективний напрям для розвитку та оптимізації ряду сучасних застосувань. Інтеграція 5G в безпроводові сенсорні мережі відкриває нові можливості у сферах промисловості, медицини, транспорту та інших галузях, завдяки забезпеченню високої пропускної здатності, малому затриманню та покращеній мобільності.

Інтеграція безпроводових сенсорних мереж з 5G технологією створює потужну інфраструктуру, де сенсори стають не лише збірниками даних, а й "розумними сенсорами", які сприяють великому об'єднаному середовищу. Це відкриває перспективи для широкого спектру застосувань у важливих галузях, таких як управління містами, автоматизація виробництва, медицина та наукові дослідження.

Створення "розумної" середовища сприяє оптимальному використанню ресурсів та забезпечує надзвичайно швидку та ефективну передачу даних. Ця інтеграція також підкреслює важливість спільної роботи між безпроводовими сенсорними мережами та 5G мережами для досягнення спільних цілей сучасних інфраструктурних проектів.

У цьому контексті бездротові сенсорні мережі стають ключовим елементом для збирання різноманітної інформації, що сприяє розвитку технологій та вирішенню важливих глобальних викликів. З урахуванням цих переваг, можна визначити великий потенціал для подальшого зростання та інновацій у сфері об'єднаного використання безпроводових сенсорних мереж та 5G технології.

Актуальність інтеграції безпроводових сенсорних мереж та 5G технологій визначається потребою у розробці та вдосконаленні методів, які забезпечують ефективну та гармонійну взаємодію цих двох ключових технологій. У цьому контексті вирішення аспектів, таких як маршрутизація, енергоефективність, безпека даних та стандартизація, виявляється критичним завданням для успішної інтеграції.

Розробка ефективних методів маршрутизації дозволить оптимально

використовувати ресурси мережі, забезпечуючи швидку та надійну передачу даних. Питання енергоефективності стає важливим у контексті обмежених ресурсів сенсорних пристроїв, що потребує розробки та впровадження ефективних стратегій енергозбереження.

Безпека даних є критичною для успішної інтеграції, оскільки ці технології обробляють чутливу інформацію. Стандартизація визначає умови спільної роботи, що є важливою для забезпечення сумісності та взаємодії різних пристроїв та мереж.

Загалом удосконалення методів усунення технічних викликів та забезпечення високої ефективності інтеграції стає стратегічно важливим кроком у розвитку цього перспективного напряму інформаційних технологій.

Разом із значущим потенціалом бездротових сенсорних мереж виникають ряд складнощів та проблем, які вимагають пристосування та ефективного вирішення. Енергоефективність, безпека даних, оптимальне розміщення сенсорів, ефективна маршрутизація даних та вартість розгортання стають ключовими викликами в розвитку бездротових сенсорних мереж.

Проблема енергоефективності вимагає розробки та впровадження методів, які сприятимуть тривалому функціонуванню сенсорних пристроїв за обмеженими ресурсами енергії. Забезпечення безпеки даних вимагає ретельного проектування механізмів шифрування та захисту від несанкціонованого доступу.

Оптимальне розміщення сенсорів та ефективна маршрутизація даних відіграють важливу роль у забезпеченні найбільшої ефективності та швидкості обміну інформацією в мережі. Дослідження та розробка оптимальних алгоритмів для цих завдань стає пріоритетним напрямком в галузі бездротових сенсорних мереж.

Усі ці виклики ставлять перед галуззю бездротових сенсорних мереж завдання постійного вдосконалення та інновацій для забезпечення стійкості та успіху у розвитку цієї технологічної області.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1) IEEE 802.15.4. http://www.standarts.ieee.org.getieee802/download/802.15.4-2003.pdf.

2) Wireless Sensor Networks / C. Raghavendra et al. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=4zyDBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA21&dq=article+about+wireless+sensor+network&ots=6ktAbyeA9x&sig=YSMzU1k43jEMTVxEIHz_Hp_CmSE&redir_esc=y#v=onepage&q=article%20about%20wireless%20sensor%20network&f=false.

3) Власенко В. Методи побудови безпроводових сенсорних мереж. URL: https://con.dut.edu.ua/index.php/communication/article/view/1618/1548.

4) Akyildiz I., Vuran M. Wireless Sensor Networks.

URL:https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=7YBHYJsSmS8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=article+about+wireless+sensor+network&ots=QQ1Plghrg&sig=rFvnJTYWwEMAkoqnI3v0OVb5Sc0&redir_esc=y#v=onepage&q=article%20about%20wireless%20sensor%20network&f=false.

5) An Efficient Routing Approach to Maximize the Lifetime of IoT-Based Wireless Sensor Networks in 5G and Beyond / C. Jothikumar et al. URL: https://downloads.hindawi.com/journals/misy/2021/9160516.pdf?_gl=1*95ayd7*_ga*OTczNDQ3MTcyLjE3MDE2MzQ2Njc.*_ga_NF5QFMJT5V*MTcwMTYzNDY2Ni4xLjAuMTcwMTYzNDY2Ni42MC4wLjA.&_ga=2.88566939.1025676602.1701634667-973447172.1701634667.

6) Hsiao S.-J. Employing a Wireless Sensing Network for AIoT Based on a 5G Approach. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/11/5/827.

7) Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods / Y. Wang et al. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6488558.

8) Caffery J. A new approach to the geometry of TOA location. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/886153.

9) Tsang Y., Yildiz M., Barford P. Network radar: tomography from round trip time measurements. URL: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1028788.1028809.

10) IEEE. Positioning using time-difference of arrival measurements. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1201741.

11) IEEE. Closed-form solution for positioning based on angle of arrival measurements. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1045433.

12) IEEE. An alternative double-sided two-way ranging method. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7822844.

13) Key Technologies for 5G Wireless Systems / V. W et al. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=HdAoDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR16&dq=article+about+5g&ots=YXy_jF_Ly1&sig=yI_ywFncGs26vF6cuiiNrI0QG38&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

14) IEEE. Study on ZigBee technology. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5942102.

15) Guy C. Wireless sensor networks. URL: https://www.spiedigitallibrary.org.

16) Single-cell epigenomics: powerful new methods for understanding gene regulation and cell identity / S. Clark et al. URL: https://link.springer.com/article/10.1186/s13059-016-0944-x.

17) Guo H., li X., Ding X. A 5G Coverage Calculation Optimization Algorithm Based on Multifrequency Collaboration. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/12/19/4044.

18) T.S.Babicheva :: The Use of Queuing Theory at Research and Optimization of Traffic on the Signal-controlled Road Intersections. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091501491X

19) Martin I.R.; Lawrence M.W. :: Dynamic Scheduling of a Two-Class Queue with Setups. URL: https://www.jstor.org/stable/223130

20) Papageorgion A.; Carrozzo G.; Siddiqui M. S.; Fernandez A. :: On 5G network slice modelling: Service-, resource-, or deployment-driven? URL: https://www.researchgate.net/publication/228576229_Decision_fusion_rules_in_wireless_sensor_networks_using_fading_channel_statistics

21) Kissell R.; Poserina J. :: Advanced Math and Statistics. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128051634000049

22) Naeem A. S. :: Essential statistics for data analysis. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128013632000097

23) Lambros S.; Athanasiou,; Lampros K.; Michalis :: Propagation of Segmentation and Imaging System Errors. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128047347000087

24) Kiosen K.; Eunhan K.; Park J. :: Large-Signal Robustness of the Chair-Varshney Fusion Rule Under Generalized-Gaussian Noises. URL: https://www.researchgate.net/publication/224144437_Large-Signal_Robustness_of_the_Chair-Varshney_Fusion_Rule_Under_Generalized-Gaussian_Noises

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

КАФЕДРА МОБІЛЬНИХ ТА ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

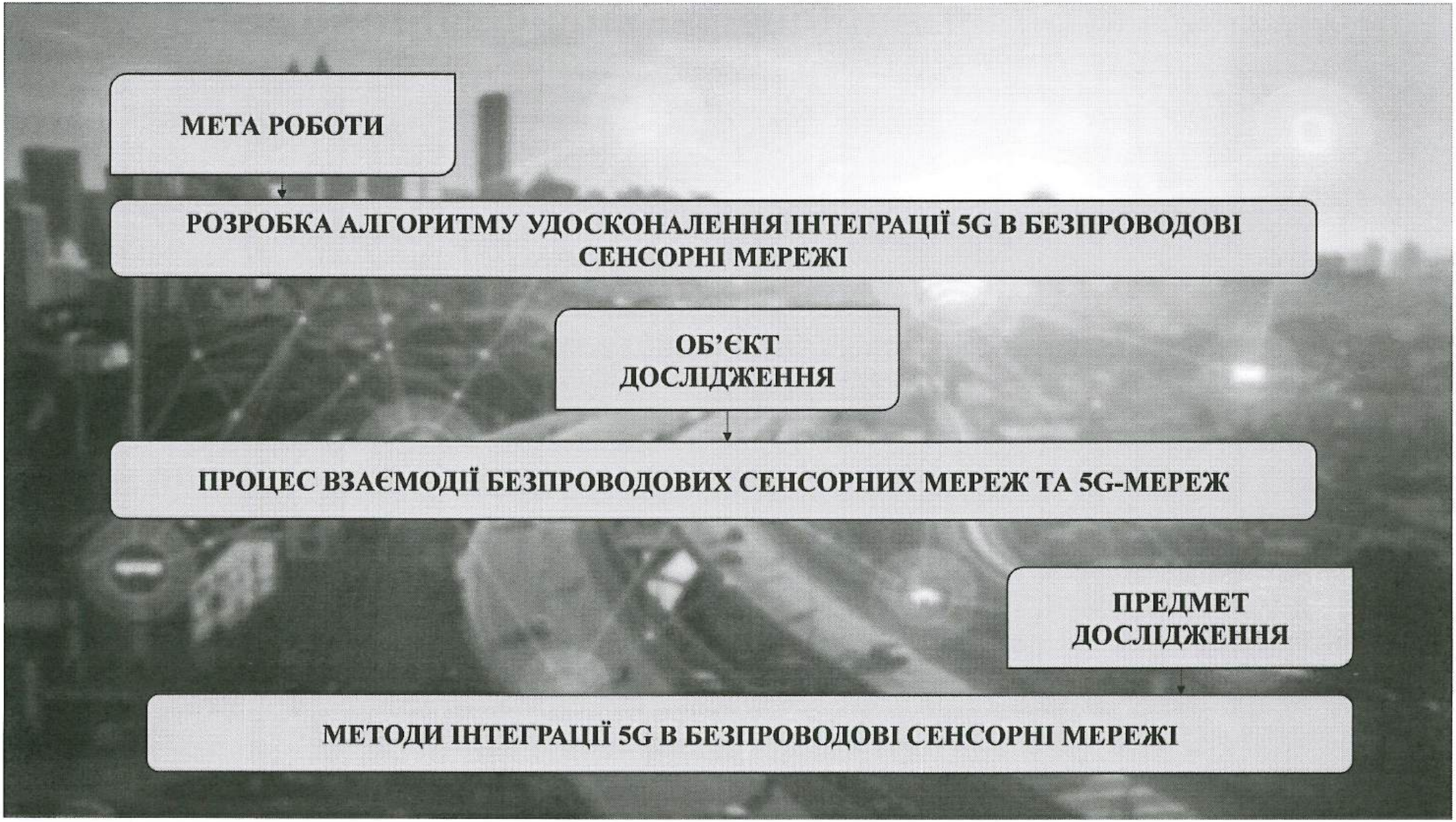
СТУДЕНТ ГРУПИ АРДМ-62
ШАРАН ДМИТРО ОЛЕГОВИЧ





Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами

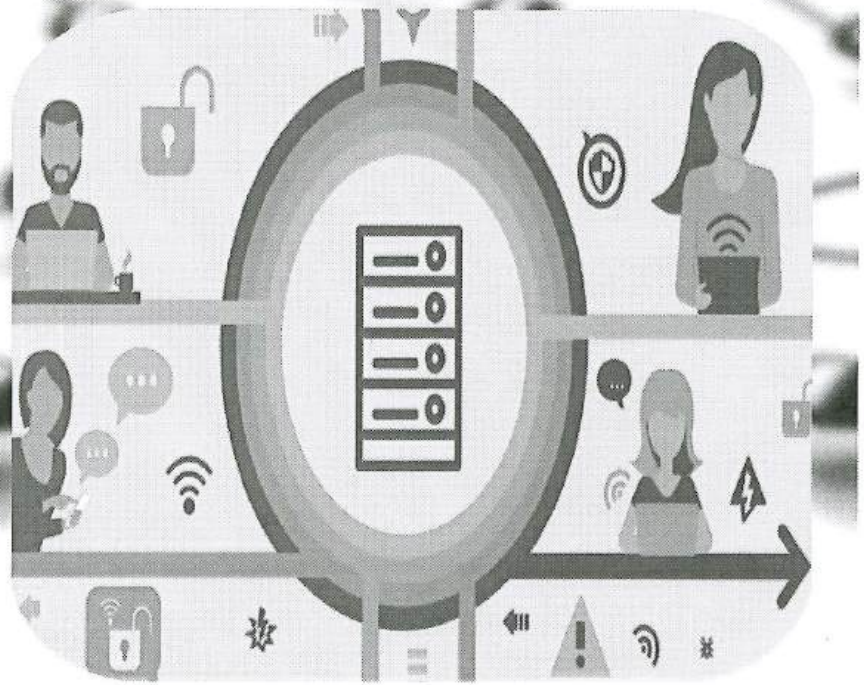
НАУКОВИЙ КЕРІВНИК-Д.Т.Н., ПРОФЕСОР
МАКАРЕНКО АНАТОЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ


МЕТА РОБОТИ
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕГРАЦІЇ 5G В БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ
ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ
ПРОЦЕС ВЗАЄМОДІЇ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ТА 5G-МЕРЕЖ
ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ
МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ 5G В БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

ПОНЯТТЯ БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

Безпроводові сенсорна мережа є новим, але досить усталеним поняттям. Воно має широке поширення, а означає, стійку до відмови окремих елементів мережу, яка може автоматично налаштуватися та складається з великої кількості компактних і дешевих напівпровідникових пристроїв, які пов'язані між собою бездротовим зв'язком.

Всі вузли бездротової мережі зазвичай містять вбудовані датчики, які дають параметри навколишнього середовища, такі як: рух, світло, температура, вологість повітря, тиск тощо, а також мікросхеми для первинної обробки інформації та зберігання отриманих даних.



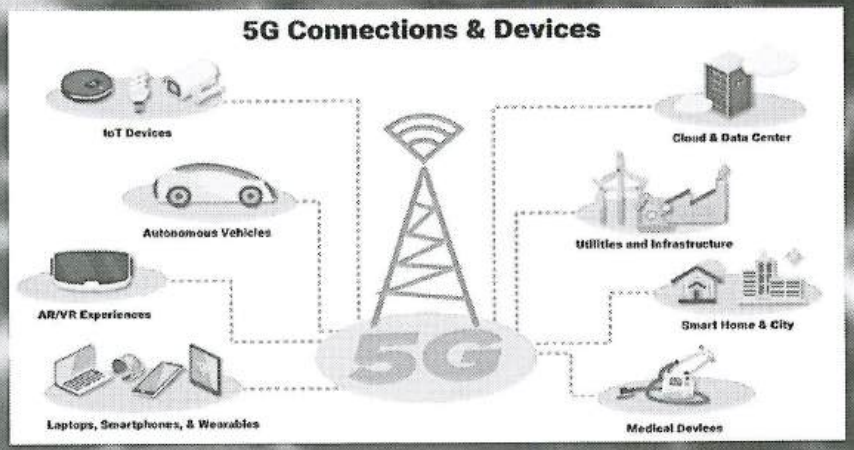
СУЧАСНІ БЕЗПРОВОДОВІ МЕРЕЖІ

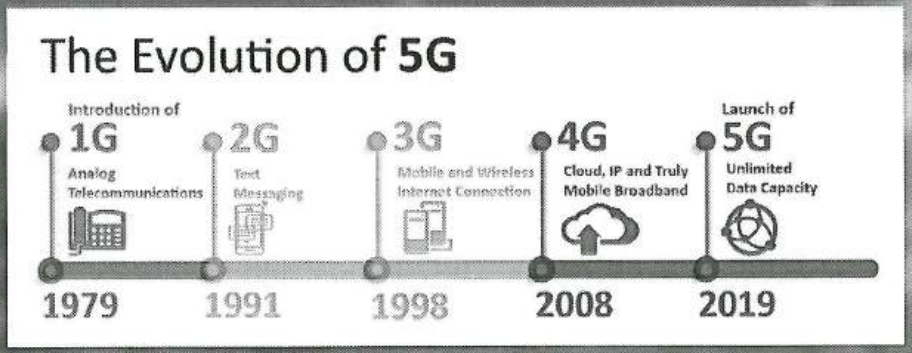
Бездротові технології	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee
Стандарт IEEE Пропускна здатність, кбіт/с	802.15.1 ~723	802.11b ~11000	802.15.4 ~250
Діапазон дії, м	10-100	20-300	10-100
Частота діапазону, ГГц	2,4-2,483	2,4-2,483	2,4-2,483
Розмір стеку, кбайт	Більше 250	Більше 1000	32-64
Час безперервної автономної роботи від батареї, дні	1-10	0,5-5	100-1000
Максимальна кількість вузлів в мережі	7	10	65536
Сфера застосування	Заміщення дротового з'єднання	Передача мультимедійної інформації	Віддалений моніторинг та управління

Зараз безпроводові сенсорні мережі використовує майже кожен на Землі й вони стали невіддільною частиною у сфері телекомунікацій. Безпроводовий зв'язок має неймовірну кількість переваг: висока швидкість завантаження, мобільність, можливість з'єднання з іншими мережами, легкість створення та інші. Через це на ринку телекомунікацій великий асортимент безпроводових технологій і кожен день тисячі компаній пропонують свої рішення в даній сфері. Найвідомішими прикладами безпроводової передачі даних є: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, EDGE та ZigBee.

5G МЕРЕЖІ

Зараз ми перебуваємо на етапі раннього впровадження 5G, або п'ятого покоління. Завдяки вищій швидкості передачі даних, меншій затримці та здатності обслуговувати величезну кількість пристроїв 5G готова знову змінити стільникову технологію. Завдяки 5G стануть можливими нові випадки використання та додатки, такі як доповнена та віртуальна реальність, безпілотні автомобілі та дистанційна хірургія.



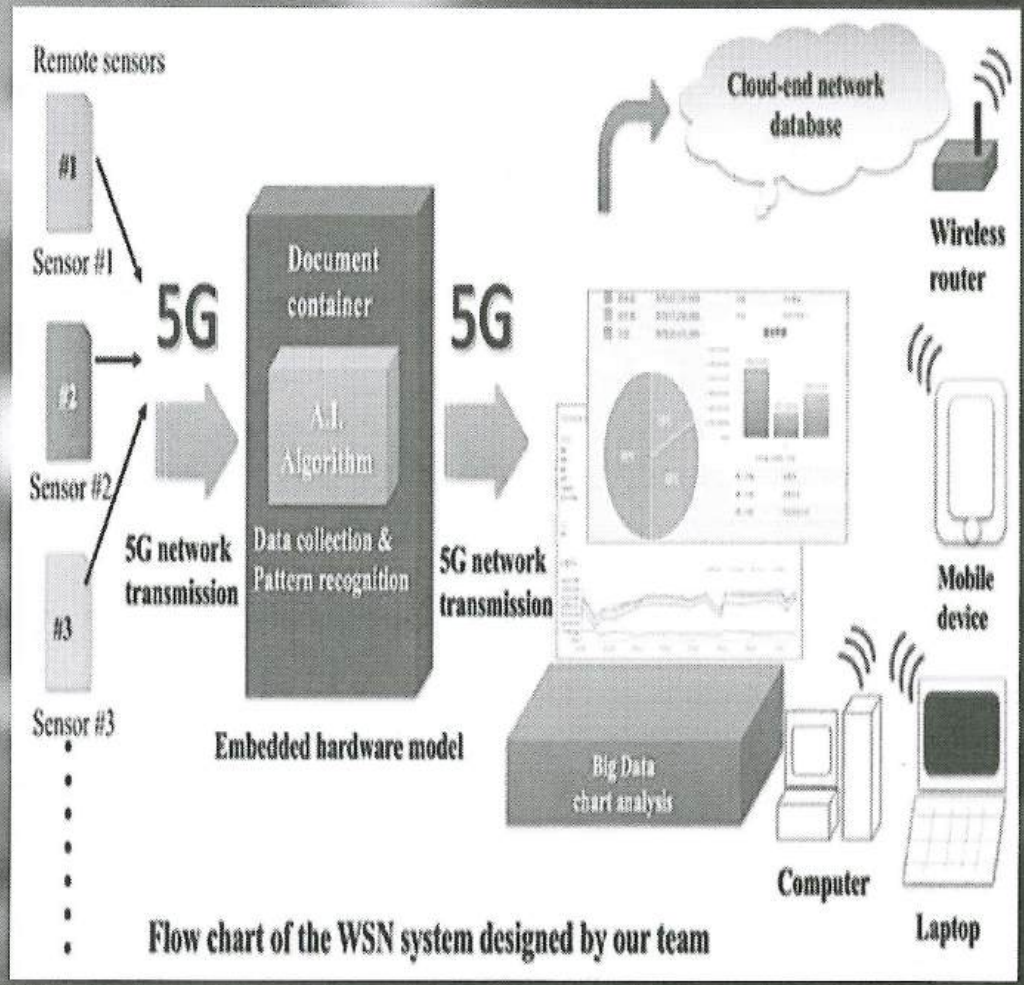


Стільникові мережі, як і мережі 5G, ділять зону обслуговування на окремі географічні регіони, відомі як комірки. Кожен безпроводовий пристрій 5G у комірці використовує фіксовані антени для передачі радіохвиль на базову станцію стільникового зв'язку на частотах, виділених базовою станцією. Базові станції, з'єднані з маршрутизаторами для доступу до Інтернету та центрами комутації в телефонній мережі за допомогою оптичного волокна з високою пропускною здатністю або безпроводового транспортного з'єднання.

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ПІДХОДУ 5G

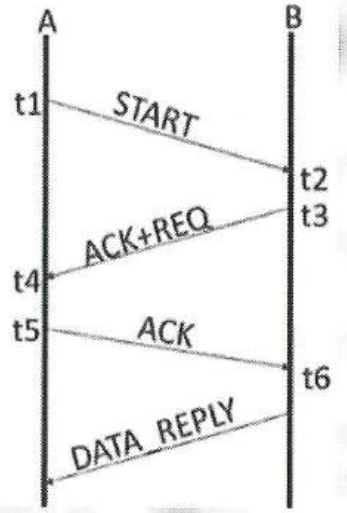
Ціль даної операції в тому що 5G технологія використовується для передачі даних, зібраних датчиками дистанційного зондування. Архітектура безпроводової сенсорної мережі використовує цю технологію для передачі реального часу та використання алгоритмів штучного інтелекту для обробки даних вбудованими апаратними модулями. Система передає оброблені дані до хмарної бази даних через зв'язок 5G.

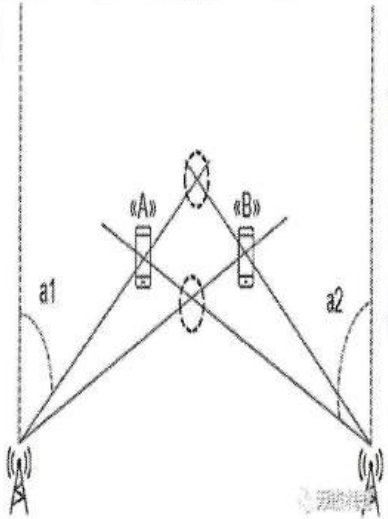
Також цей метод показав що розвиток технології мобільного зв'язку та його застосування в різних сферах діяльності сильно вплинув на високошвидкісний обмін даними та Інтернет речей

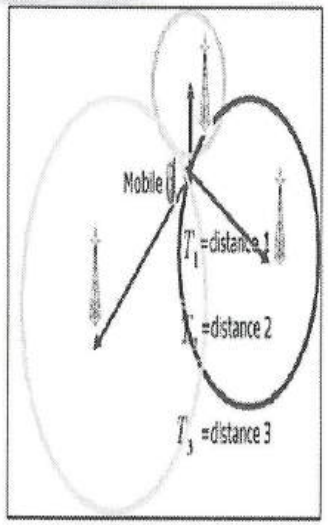


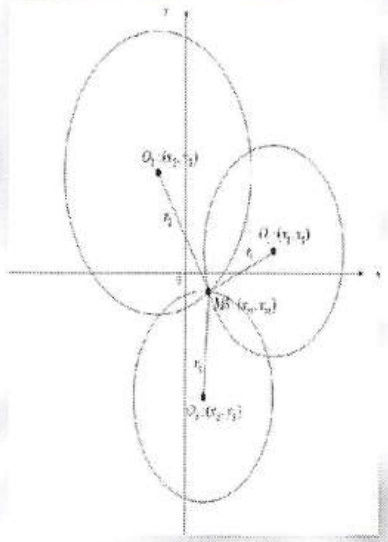
Flow chart of the WSN system designed by our team

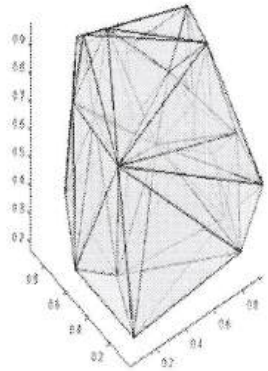
ТРІАНГУЛЯЦІЯ ТА ЇЇ МЕТОДИ











<u>Тріангуляцією</u> називається процес розбиття полігональної області зі складною конфігурацією на набір трикутників. Для аналізу та подальших дій зі складними поверхнями їх апроксимують у сітку трикутників. Після цього всі наступні операції відбуваються з найпростішими полігональними областями. Використання тріангуляції пояснюється наступними причинами:

- Трикутник є найпростішим полігоном, вершини якого однозначно задають грань;

- Будь-яку область можна гарантовано розбити на трикутники;

- обчислювальна складність алгоритмів розбиття на трикутники істотно менше, ніж при використанні інших полігонів.

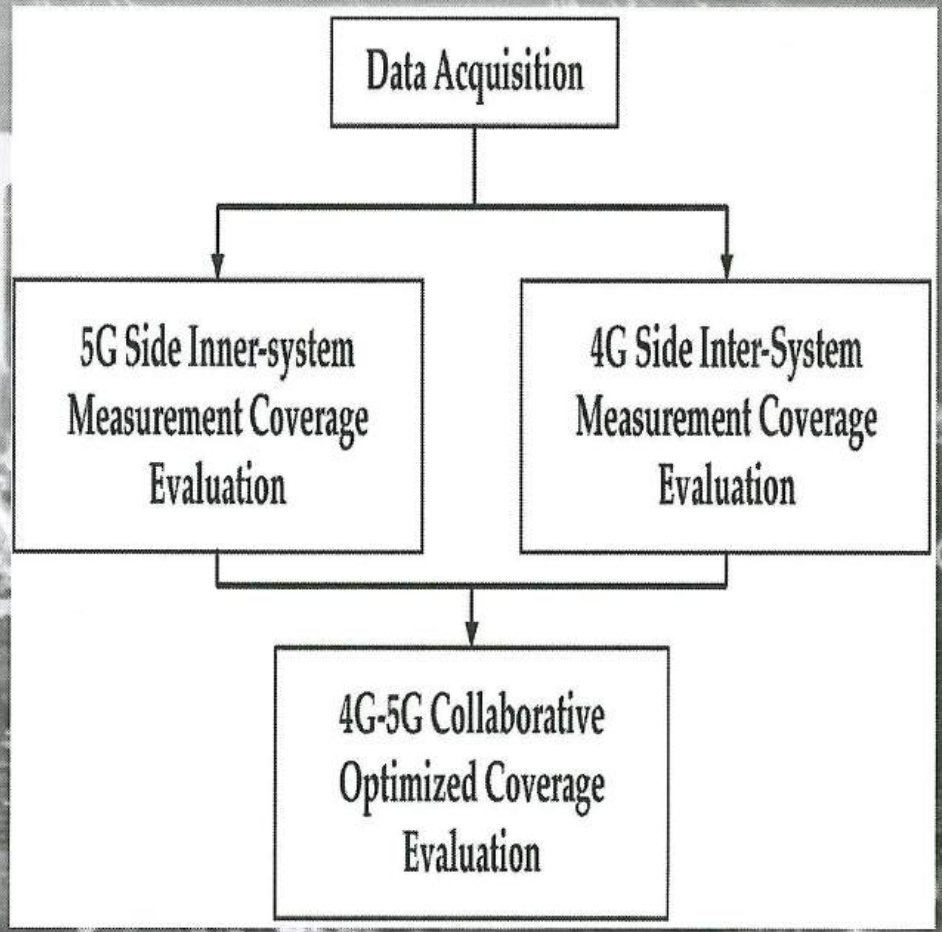
- У трикутника легко визначити три його найближчих елементи, що мають з ним спільні грані;

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ПОКРИТТЯ 5G НА ОСНОВІ СПІВПРАЦІ 4G/5G

Алгоритм поєднує внутрішньосистемні та міжсистемні вимірювання, враховуючи тривалість часу до перебування користувачів в мережі. Використовуються модулі збору даних, оцінки охоплення та оптимізації покриття для об'єднання результатів внутрішніх та міжсистемних вимірювань.

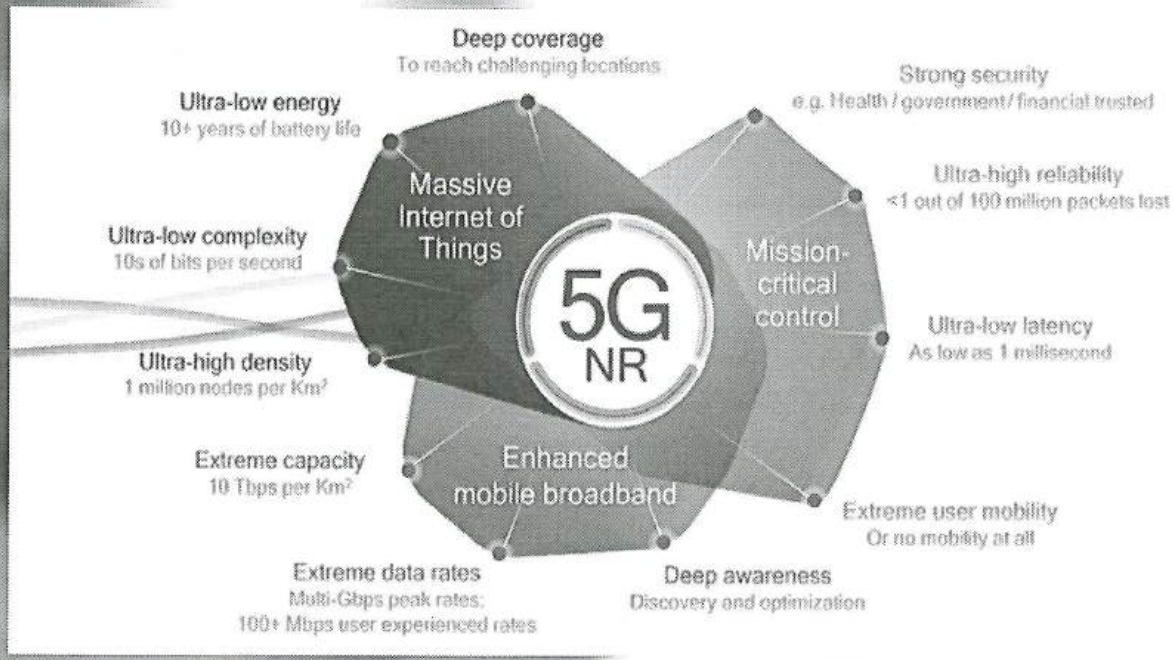
Також алгоритм розкриває важливі аспекти такі як періодичне міжсистемне вимірювання, активація функції визначення можливостей UE, збір даних про продуктивність та географічне положення.

Піднімає тему можливість розширення функціональності алгоритмів для включення оцінки між операторами та оцінки односмугового покриття.



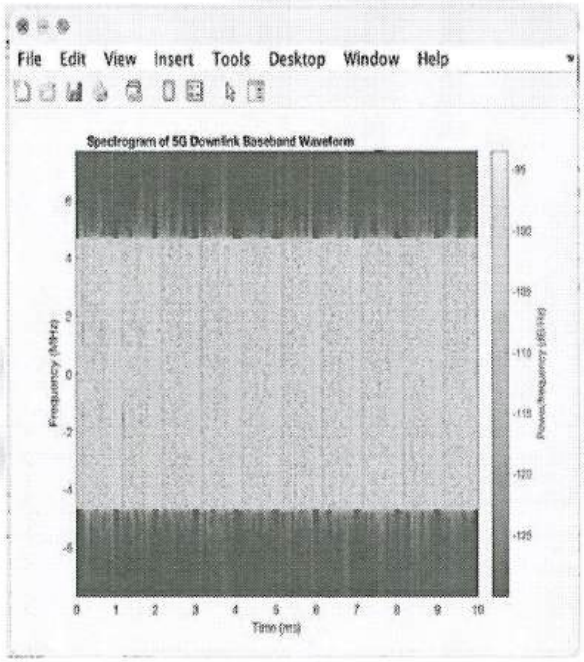
ДОСЛІДЖЕННЯ 5G NR ДЛЯ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ У БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

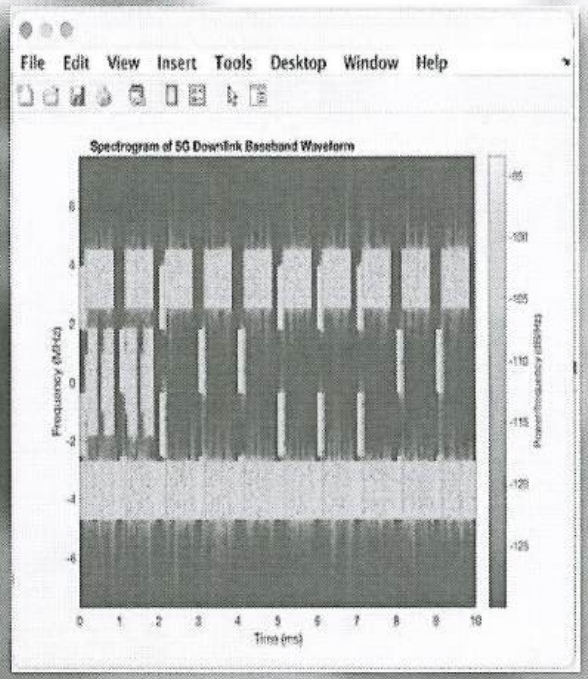
Технологія була розроблена компанією 3GPP для глобального стандарту радіоінтерфейсів мережі 5G. Специфікації для 5G NR були визначені в серії 38 документів 3GPP, і перший випуск специфікацій вийшов у 2017 році. Діапазони частот для 5G NR поділяються на два основних типи: FR1 (до 6 ГГц) і FR2 (24,25–52,6 ГГц). Перше значуще комерційне впровадження 5G NR очікується в 2019 році, і ця технологія вже використовується в інфраструктурі мобільного зв'язку.



Базується на існуючій інфраструктурі LTE у режимі неавтономного режиму (NSA), доки повністю незалежний режим (SA) не буде готовий. Режим NSA використовує існуючу мережу LTE для управління, тоді як SA режим використовує нову архітектуру 5G для сигналізації та передачі даних, що розглядається як майбутнє розвитку 5G NR

ДОСЛІДЖЕННЯ 5G NR ДЛЯ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ У БЕЗПРОВОДОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ





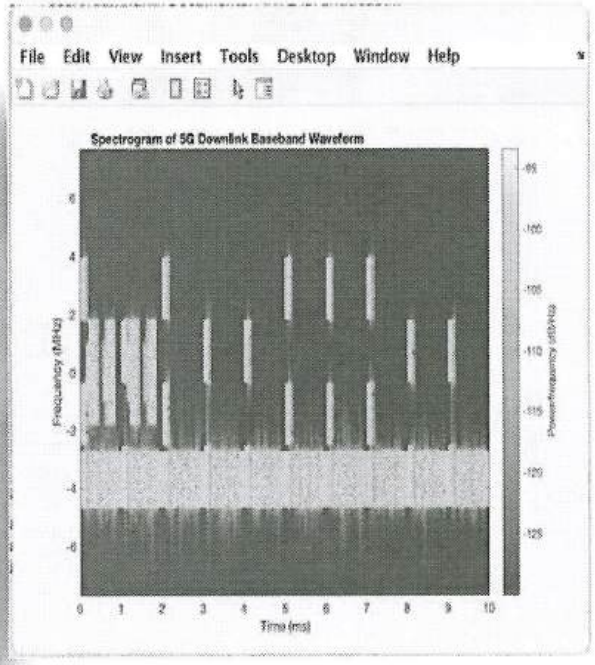
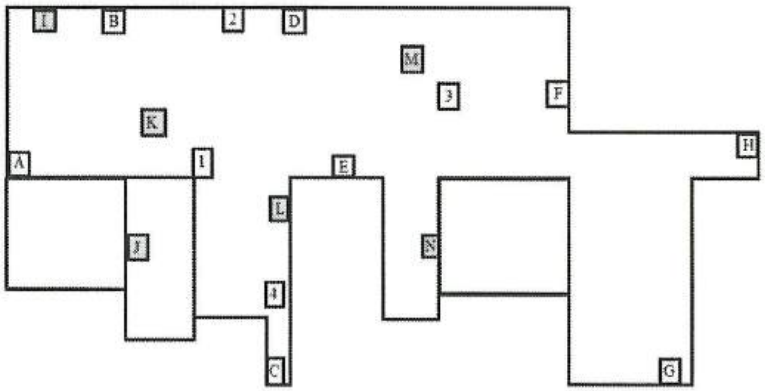


Рис. 1. Спектр форми сигналу основної смуги низхідної лінії зв'язку п'ятого покоління (5G)
Рис. 2. Спектрограма форми хвилі базової смуги низхідної лінії зв'язку 5G із PRB у діапазоні від 0 до 10
Рис. 3. Значення PRB від 40 до 50 і символи OFDM від 2 до 10.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРИ РІЗНІЙ КІЛЬКОСТІ ОПОРНИХ ВУЗЛІВ



Для визначення ефективності системи позиціювання в середині приміщення ми проведемо дослідження в якому розгорнемо мережу на території офісного приміщення, яка складається з восьми опорних вузлів. Після обчислення місцеперебування ми збільшимо кількість вузлів до 14. На рисунку представлена схема офісного приміщення з додатковими елементами такими як: сліпі вузли (від 1 до 4), початкові опорні точки (від A до H) та додаткові опорні вузли (від I до N)

Для даного розрахункової роботи було розраховано абсолютна похибка δ, середньоквадратичне відхилення та помилку яка вимірювалася шляхом усереднення помилок по осі X та осі Y для точки

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРИ РІЗНІЙ КІЛЬКОСТІ ОПОРНИХ ВУЗЛІВ

Результати вимірювань координат по 8 та 14 опорним точкам

8 опорних точок

Номер вузла	Фактичне положення по X, м	Фактичне положення по Y, м	Виміряне положення по X, м	Виміряне положення по Y, м	δ_x, м	δ_y, м	$(X-x)^2$	$(Y-y)^2$	Помилка, %
1	16,5	10	19,8	9,8	3,3	0,2	10,89	0,04	13
2	19	6	18	10,7	1	4,7	1	22,09	37,95
3	27	9	22,35	9,05	4,65	0,05	21,62	0,0025	10,1
4	19	15,5	21,10	13,6	2,10	1,9	4,41	3,61	10,2

14 опорних точок

Номер вузла	Фактичне положення по X, м	Фактичне положення по Y, м	Виміряне положення по X, м	Виміряне положення по Y, м	δ_x, м	δ_y, м	$(X-x)^2$	$(Y-y)^2$	Помилка, %
1	16,5	10	18,9	9,54	2,4	0,46	5,76	0,2116	11,76
2	19	6	17,8	8,97	1,2	2,97	1,44	8,82	28,89
3	27	9	20,76	12,4	6,24	3,4	38,93	11,56	9,7
4	19	15,5	22,24	9,12	3,24	6,38	10,49	40,70	8,7

ВИСНОВОК

Безпроводові сенсорні мережі, які використовують 5G технологію, являються перспективним напрямом для розвитку в індустрії, медицині, транспорті та інших галузях. Інтеграція 5G в ці мережі відкриває нові можливості, забезпечуючи високу пропускну здатність, малі затримки та покращену мобільність. Спільна робота сенсорів та 5G технології створює "розумне середовище", що сприяє розвитку сучасних інфраструктурних проектів, таких як управління містами та автоматизація виробництва. Проте, вирішення технічних викликів, таких як маршрутизація, енергоефективність та безпека даних, є критичним для успішної інтеграції цих технологій. Зазначається великий потенціал для подальшого росту та інновацій у цьому напрямку інформаційних технологій.

В експериментальній частині було визначено точність локалізації при 8 та 14 опорних вузлів. Після цього були визначенні значення абсолютної похибки та середньоквадратичне відхилення яке дало змогу зрозуміти що значення помилок системи позиціювання об'єктів в мережі з 14 опорними вузлами менше в 1,68 рази.

Також було проведено дослідження 5G NR для можливості інтеграції у безпроводові сенсорні мережі в MATLAB. У цьому досліді було визначено спектр форми сигналу основної смуги низхідної лінії зв'язку п'ятого покоління, спектрограма форми хвилі базової смуги низхідної лінії зв'язку 5G із PRB у діапазоні від 0 до 10 та значення PRB від 40 до 50 і символи OFDM від 2 до 10

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Основні результати магістерської роботи доповідалися на IV ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «TELECOMMUNICATION: PROBLEMS AND INNOVATION», 30 травня 2023

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі "Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, – 2023, – №2".

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Дмитро ШАРАН

Назва: Методи удосконалення безпроводових сенсорних мереж з метою покращеної інтеграції з 5G мережами

Координатор: Анатолій МАКАРЕНКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:0.7

Коефіцієнт подібності 2:0.2

Тривога: 10

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*