

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ 5G НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ
БЕЗПРОВІДНИХ СИСТЕМ»**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61

спеціальності 172 Телекомунікації і
радіотехніка

Нейма І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Дакова Л.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації і радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МВТ

В.І. Кравченко

2019 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Неймі Ігорю Володимировичу

1. Тема роботи: «Дослідження впливу застосування технології 5G на ефективність використання безпроводних систем», керівник роботи Дакова Лариса Валеріївна, к.т.н., доцент кафедри МВТ, затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.11.2019 року № 518.

2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Стільниковий зв'язок 5G.
2. Переваги та перспективитехнології 5G.
3. Аналіз алгоритму виявлення покриття сигналу 5G.
4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Сучасні технології безпроводного зв'язку 5G.
2. Дослідження впливу технології 5G на ефективність використання безпроводних систем.
3. Аналіз алгоритму виявлення покриття сигналу 5G

5.Перелік графічного матеріалу (назва слайдів презентації):

1. Мета роботи;
2. Аналіз технології 5G;
3. Необхідність переходу до 5G
4. Дослідження алгоритму виявлення покриття сигналу 5G
5. Швидкість передачі даних
6. Області застосування 5G
7. Аналіз імітаційного експерименту
8. Висновки.

6. Дата видачі завдання

02. 09. 2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	21.09.2019	
2.	Аналіз технології 5G	28.09.2019	
3.	Необхідність переходу до 5G	16.10.2019	
4.	Дослідження алгоритму виявлення покриття сигналу 5G	03.11.2019	
5.	Висновки, вступ, реферат	10.12.2019	
6.	Розробка презентації	18.12.2019	

Студент

Нейма І.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Дакова Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

по магістерській кваліфікаційній роботі

Студента **Нейми Ігоря Володимировича**

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 5G НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СИСТЕМ»

Актуальність:

За останні роки сфера мобільних технологій зайняла дуже важливе місце в сучасному суспільстві. Безпроводний зв'язок пройшов міцне становлення у багатьох сферах людської діяльності. Зараз сучасна людина не представляє свого життя без смартфона. Мобільні технології є одним із пріоритетних напрямків розвитку безпроводного зв'язку.

Тому магістерська робота студента, що присвячена дослідженню впливу застосування мобільної технології на ефективність безпроводних систем, є актуальною і своєчасною.

Позитивні сторони: Робота дозволяє досить повно оцінити загальну характеристику, сутність та структуру поставленої проблеми. Проаналізовано важливе питання, як технологія 5G вплине на ефективність безпроводних систем. На основі проведеного аналізу розроблено рекомендації та алгоритм ефективності впровадження технології 5-го покоління.

Недоліки:

1. В роботі не зовсім повністю розкрито питання про алгоритм виявлення покриття сигналу 5G.
2. В роботі присутні незначні граматичні і орфографічні помилки.

Висновки:

Незважаючи на дрібні недоліки магістерська кваліфікаційна робота заслуговує оцінку відмінно, а студент **Нейма Ігор Володимирович** - присвоєння кваліфікації інженер стільникового мережевого зв'язку, викладач вищих навчальних закладів.

Якість проекту (роботи)	
Виконано на замовлення підприємства	
Виконано за тематикою НДР	
Виконано з макетом	
Виконано з застосуванням ЕОМ та МПТ	√
Має практичну цінність	√
Проект-частина комплексної теми	

Підпис рецензента

(ПІБ)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

ПОДАННЯ ГОЛОВІ ДЕРЖАВНОЇ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ ЩОДО ЗАХИСТУ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Направляється студент Нейма І.В. до захисту магістерської роботи
(прізвище та ініціали)
за спеціальністю 172 Телекомунікації і радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
на тему: Дослідження впливу застосування технології 5G на ефективність використання безпроводних систем

Магістерська робота і рецензія додаються.

Директор інституту _____ Мельник Ю.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Довідка про успішність

Нейма І.В. за період навчання в Навчально-науковому інституті телекомунікацій
(прізвище та ініціали)
з 2018 року до 2019 року повністю виконав навчальний план за напрямом підготовки, спеціальністю з таким розподілом оцінок за:
національною шкалою: відмінно _____%, добре _____%, задовільно _____%;
шкалою ECTS: A _____%; B _____%; C _____%; D _____%; E _____%.

Провідний фахівець інституту _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Висновок керівника магістерської роботи

Студент Нейма Ігор Володимирович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою, в тому числі рекомендаціями МСЕ. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Магістерська робота виконана на високому рівні і заслуговує оцінку "відмінно", а студент Нейма Ігор Володимирович - присвоєння кваліфікації інженер стільникового мережевого зв'язку, викладач вищих навчальних закладів.

Керівник роботи _____ Дакова Л.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » _____ 2019 року

Висновок кафедри про магістерську роботу

Магістерську роботу розглянуто. Студент Нейма І.В.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Державній екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Кравченко В.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » _____ 2019 року

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи: 83 сторінки, 19 рисунків, 3 таблиці, 30 джерел.

Об'єкт дослідження – процеси, системи та пристрої які використовуються в технології 5G.

Предмет дослідження – принципи, моделі та методи використання технології 5G.

Мета роботи – доведення ефективності використання технології 5G, та її переваги над іншими безпроводними технологіями.

Методи дослідження – теоретичні методи дослідження ефективності використання технології 5G, математичне та комп'ютерне імітаційне моделювання.

В роботі приведено основні відомості про безпроводну технологію 5G та виявлено тенденції її сучасного розвитку. Досліджено фундаментальні принципи роботи технології 5-го покоління, визначено їх технічні специфікації в системах зв'язку. Проаналізовано різні типи побудови безпроводних систем та їх компонентів. Виконано аналіз алгоритму виявлення покриття сигналу 5G та на основі аналізу всіх даних довели що вплив технології 5G покращить ефективність використання безпроводних систем.

Галузь використання – мобільні телекомунікаційні системи нового покоління.

LTE, ШЛЮЗ, АУТЕНТИФІКАЦІЯ, UMTS, GSM, ТЕРМІНАЛ, ПРОТОКОЛ, MASSIVE MIMO, СИСТЕМА, МЕРЕЖА, ІоТ, СТАНДАРТИ, СТЕКИ ПРОТОКОЛІВ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G	12
1.1.Еволюція мобільних технологій	12
1.2.Стільниковий зв'язок 5G	13
1.2.1.Вимоги до стандарту безпроводної технології 5G	14
1.3.Впровадження та функціонування безпроводної технології 5G.....	15
1.3.1. Функціонування безпроводної технології 5G	15
1.3.2.5G New Radio	16
1.3.3. Massive MIMO	17
1.3.4. Beamforming.....	18
1.3.5. Milimeter Waves	18
1.3.6. Small Cells Network	19
1.3.7. Full Duplex.....	19
1.3.8.Нарізка мережевих ресурсів (Network Slicing).....	20
1.4. Переваги та інноваційні технології мережі 5G в різних технологічних областях	21
1.4.1. Augmented Reality and Virtual Reality.....	21
1.4.2.Інноваційні тухнології мережі 5G	22
1.4.3. Device to Device	23
1.5.Безпека мережі 5G.....	27
2. НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕХОДУ ДО 5G.....	29
2.1. Загальна необхідність	29
2.2. Оцінка готовності специфікацій МІРІ для системи 5G.....	32
2.2.1. Сфера застосування.....	33
2.3. Основні випадки використання 5G	34
2.4. Вісім способів 5G перевершує 4G.....	35
2.4.1. Швидкість передачі даних.....	36
2.4.2. Ультрависока щільність пристрою для IoT	37
2.4.3. Ультранизька затримка.....	37
2.5. Области застосування 5G	38
2.6. Проектування архітектури мобільної мережі 5G.....	43
2.6.1. Побудова мережі	44
2.7. Порівняння частоти в безпроводних системах мобільного зв'язку	52

2.8. Різниця між технологіями 4G та 5G	54
3. ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ ПОКРИТТЯ СИГНАЛУ 5G НА ОСНОВІ PSO-VR-KRIGING	55
3.1. Аналіз алгоритму виявлення покриття	56
3.2. Принцип крипто-інтерполяції	61
3.3. Принцип інтерполяції нейронної мережі VR	63
3.4. Алгоритм виявлення покриття мережі мобільного зв'язку 5G	64
3.4.1. Попередня обробка даних	65
3.5. Алгоритм оптимізації гібридної інтерполяції	65
3.5.1. Вдосконалений алгоритм оптимізації потоку частинок для нейронної мережі VR Neural Network	66
3.5.2. Етапи алгоритму оптимізації гібридної інтерполяції	69
3.6. Ситуація в зоні покриття мобільної комунікаційної мережі 5G	70
3.7. Аналіз імітаційного експерименту	70
3.8. Прогнозний аналіз ефективності моделі	72
3.8.1. Аналіз придатності алгоритму	73
3.8.2. Аналіз ефективності алгоритму оптимізації інтерполяції	75
3.9. Генерування ситуацій із охопленням мережі 5G	76
3.10. Генерування ситуацій із охопленням мережі 5G	77
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Wi-Fi	Wireless Fidelity	Технологія бездротової локальної мережі
IoT	Internet of things	Концепція обчислювальної мережі фізичних предметів («речей»).
NB-IoT	NarrowBand Internet of Things	Стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії з низькими обсягами обміну даними.
IEEE 802.11		Набір стандартів зв'язку для комунікації через бездротову локальну мережу
PHY	Physical layer	Абревіатура для фізичного рівня моделі OSI
RTS	Request to Send	Запит на відправку
CTS	Clear to send	Рішення відправки
AP	Access Point	Точка доступу
BSS	Basic Service Set	Основна зона обслуговування
DS	Distribution System	Система розподілу
ESS	Extended Service Set	Розширена зона обслуговування
ISO/OSI	open systems interconnection	Базова Еталонна Модель Взаємодії Відкритих Систем
SS	Spread Spectrum	Зниження рівня випромінювання.
LLC	Logical Link Control	Підрівень управління логічним зв'язком - за стандартом IEEE 802
Ad-Hoc		З'єднання (точка-точка)
MN	Mesh network	Mesh-мережі
BLE	Bt.Low Energy	Bluetooth с низким енергоспоживанням

LTE-M	enhancedMachineTypeComm.	Покращена комунікація типу машини
MIMO	multiplein/out	Системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами.
M2M		Технологія надійної передачі даних
ZigBee		Бездротовий стандарт передачі даних
WirelessHart		Технологія для бездротових пристроїв
MiWi		Пропріетарний бездротовий протокол
6LoWPAN	Lowpower Wireless PersonalAreaNetworks	Стандарт взаємодії по протоколу IPv6 поверх малопотужних бездротових персональних мереж стандарту IEEE 802.15.4
LPWAN	Low-powerWide-area Network	Бездротова технологія передачі невеликих за обсягом даних на дальні відстані, розроблена для розподілених мереж телеметрії, міжмашинного взаємодії та інтернету речей
PLC	programmablelogiccontroller	Програмований логічний контролер
CS	Carriersense	Імовірнісний мережевий протокол каналного рівня
B2G	Government-to-Business	Взаємовідносини між державою і бізнесом

ВСТУП

Існуюча тенденція використання технології стільникового зв'язку, приводить до того, що користувачі мають безпосередній безпроводовий високошвидкісний доступ до Інтернету. Різкий зріст придбаних приладів для використання удома, або у інших містах безпосереднього скупчення людей, дозволяє користувачам мати постійний доступ до мережі інтернет залежно від покриття та стабільності стільникового зв'язку.

Все більше з'являється приладів які використовують інтернет з'єднання. Побутові прилади оснащуються процесорами, та програмним забезпечення з підтримкою бездротового зв'язку, що в свою чергу дозволяє користувачу керувати приладами, та об'єднувати їх у суцільну екосистему. Прилади побутового призначення, системи безпеки, системи доступу до мережі інтернет, кліматичні системи та інші – мають змогу керуватися за допомогою мобільних пристроїв через спеціальне програмне забезпечення, та потребують інтернетз'єднання.

Оскільки стандарти з'єднання стільникового зв'язку розвиваються, узв'язку з цим можна вважати, що технологія 5G має перспективне призначення у використанні у майбутньому і може розглядатися як абсолютна альтернатива іншим видам сучасних технологій с доступом до мережі інтернет.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

1.1. Еволюція мобільних технологій

Мобільний зв'язок став популярнішим за останні кілька років завдяки швидкій революції в мобільній техніці. Ця революція пов'язана з дуже високим зростанням клієнтів телекомунікацій. Ця революція - від 1G - першого покоління, 2G - другого покоління, 3G - третього покоління, а потім 4G - четвертого покоління, 5G - п'ятого другого покоління. [1]

- Перше покоління (1G):

1G з'явився в 1980 році. 1G впроваджує мобільні технології, такі як система мобільного телефонного зв'язку (MTS), вдосконалена система мобільного телефонного зв'язку (AMTS), вдосконалена система мобільного телефонного зв'язку (IMTS) та функція "Натисни і говори" (НІГ). Використовує аналоговий радіосигнал, який має частоту 150 МГц, модуляція голосового дзвінка робиться за допомогою методики, що називається множинним доступом частотного поділу (FDMA). Він має низьку ємність, ненадійну передачу даних, поганий голосовий зв'язок і взагалі відсутність безпеки, оскільки голосові дзвінки відтворювалися в радіовежах, завдяки чому ці дзвінки сприйнятливі до небажаного підслуховування сторонніми особами.

- В. Друге покоління (2G):

2G вийшло наприкінці 1980-х. Він використовує цифрові сигнали для передачі голосу і має швидкість 64 кбіт/с. Він надає можливість SMS (служба коротких повідомлень) та використовує смугу пропускання від 30 до 200 КГц. Поряд з 2G, система 2.5G використовує домен з комутацією пакетів та комутацією схем і забезпечує швидкість передачі даних до 144 кбіт/с. Наприклад GPRS, CDMA та EDGE.

- Третє покоління (3G):

Воно використовує бездротову мережу широкої марки, з якою збільшується чіткість. Дані надсилаються за допомогою технології під назвою Packet Switching. Голосові дзвінки інтерпретуються за допомогою схеми

комутації. Поряд з вербальною комунікацією, вона включає послуги передачі даних, доступ до телебачення/відео, нові сервіси, такі як Global Roaming. Він працює на діапазоні 2100 МГц і має пропускну здатність 15-20 МГц, що використовується для високошвидкісного інтернет-сервісу.

- Четверте покоління (4G):

4G пропонує швидкість завантаження в 100 Мбіт/с. 4G надає таку ж функцію, як 3G та додаткові послуги, такі як MultiMedia, для перегляду програм TV з більшою чіткістю та надсилання даних набагато швидше, ніж попередні покоління [3]. LTE (Long Term Evolution) розглядається як технологія 4G. 4G розробляється для забезпечення якості QoS та вимоги щодо швидкості, встановлені наступними програмами, такими як бездротовий широкосмуговий доступ, послуга мультимедійних повідомлень (MMS), відеочат, мобільне телебачення, вміст HDTV, цифрове відеомовлення (DVB), мінімальні послуги, такі як голос і дані, та інші послуги, що використовують пропускну здатність.

Про п'яте покоління мобільного зв'язку буде описано в пункті 1.2.

1.2. Стільниковий зв'язок 5G

5G - це 5-е покоління мобільних мереж та еволюція від нинішніх мереж 4G LTE. Він спеціально розроблений для задоволення потреб сучасних технологічних тенденцій, що включає велике зростання даних та майже глобальну зв'язок разом із зростаючим інтересом до Інтернету речей. На своїх початкових етапах 5G-технологія працюватиме в поєднанні з існуючою технологією 4G, а потім рухатиметься як повністю незалежна організація в наступних випусках.

5G - це найновіша стільникова технологія, яка значно збільшить швидкість безпроводних мереж. Таким чином, швидкість передачі даних для бездротових широкосмугових з'єднань, що використовують 5G, складе максимум приблизно 20 Гбіт/с. На противагу цьому при максимальній

швидкості 4G, яка становить 60 Мбіт/с, це дуже багато. Більше того, 5G також забезпечить більшу пропускну здатність та вдосконалену технологію антен, що призведе до набагато більше даних, що передаються по бездротовим системам.

І це лише невелика вибірка можливостей технології 5G. Технологія також надасть різні функції управління мережею, такі як network slicing, за допомогою яких мобільні оператори зможуть створити кілька віртуальних мереж за допомогою однієї фізичної мережі 5G[2].

1.2.1. Вимоги до стандарту безпроводної технології 5G

Існує стандарт, якому повинна відповідати технологія 5Gрис. 1.1.[3]

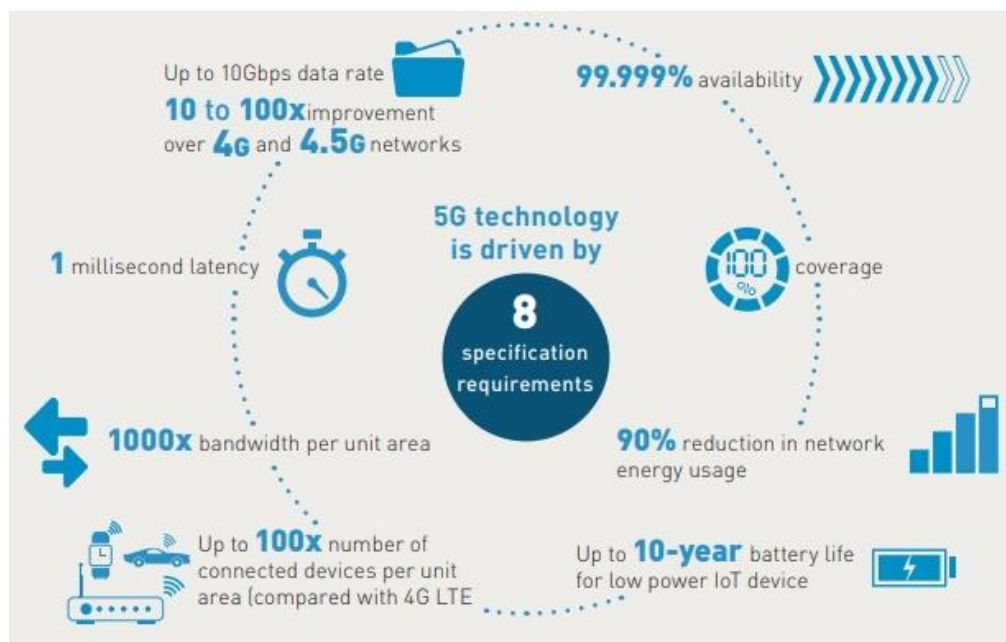


Рис. 1.1. – Вимоги до безпроводної технології 5G

- Швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с – покращення від 10 до 100 разів у мережах 4G та 4.5G.
- 1-мілісекундна затримка.
- 1000x пропускну здатність на одиницю площі.
- До 100x підключених пристроїв на одиницю площі (порівняно з 4GLTE).

- 99.999% доступності.
- 100% покриття.
- 90% скорочення використання енергії в мережі.
- До 10 років роботи акумулятора для пристроїв IoT з низькою потужністю.

1.3. Впровадження та функціонування безпроводної технології 5G

У червні 2015 року МСЕ розробив план розвитку технології і визначив її назву - «IMT-2020». Швидкісний інтернет за технологією 5G.

Південна Корея та США стали першими країнами, котрі комерційно запустили бездротову технологію 5G у квітні 2019 року. Китай також рухається до запуску 5G, надаючи комерційним 5G ліцензіям своїм основним операторам. Японія планує запустити 5G вчасно до літніх Олімпійських ігор у Токіо 2020 року.

Центральний уряд Індії також встановив ціль до 2020 року для комерційного запуску бездротових технологій 5G, які в основному знаходяться в часі з іншими країнами. Уряд вже запустив трирічну програму в березні 2018 року для просування досліджень в галузі 5G. Також Ericsson створив 5G тестову базу в ІТ Delhi для розробки додатків, призначених для індійського сценарію.

1.3.1. Функціонування безпроводної технології 5G

В основному в системах бездротової технології 5G є 2 основні компоненти, тобто мережа радіодоступу та основна мережа. Давайте детально розглянемо їх.

Технологія 5G внесе успіх в мережеву архітектуру. Нове радіо 5G, глобальний стандарт для більш здатного бездротового повітряного інтерфейсу 5G, охоплюватиме спектри, які не використовуються в 4G.

Нові антени включатимуть технологію, відому як Massive MIMO (багаторазовий вхід, множинні виходи), що дозволяє безлічі передавачів і приймачів одночасно передавати більше даних.

Але технологія 5G не обмежується новим радіоспектром. Він призначений для підтримки конвергентної, неоднорідної мережі, що поєднує ліцензійні та не ліцензовані бездротові технології. Це додасть пропускну здатність, доступну для користувачів.

Основна мережа управляє всіма передачами даних та Інтернетом для бездротової технології 5G. І велика перевага основної мережі 5G полягає в тому, що вона може набагато ефективніше інтегруватися з Інтернетом, а також надає додаткові сервіси, як хмарні сервіси, розподілені сервери, що покращують час реакції тощо.

Технологія 5G також розширює цифровий досвід завдяки автоматизованій автоматизації машинного навчання (ML). Попит на час відгуку в межах частки секунди (наприклад, для автомобілів, що займаються самостійним керуванням) вимагає, щоб мережі 5G могли зареєструвати автоматизацію з ML та, врешті-решт, глибоке навчання та штучний інтелект (AI). Автоматизоване забезпечення та активне управління трафіком та послугами зменшать інфраструктурні витрати та покращать взаємодію. Ще одна розширена особливість основної мережі - network slicing.

1.3.2. 5G New Radio

Враховуючи вимоги до нового стандарту мобільного зв'язку 5G, був розроблений абсолютно новий радіоінтерфейс та мережа радіодоступу. Новий радіоінтерфейс, який називається 5G New Radio або 5G NR, забезпечує зростаючі потреби в мобільному зв'язку. Розвиток 5G NR або 5G New Radio є ключовим для того, щоб система мобільного зв'язку 5G працювала, і вона надає ряд вагомих переваг порівняно з 4G.

5G NR був розроблений з нуля з урахуванням вимог та перегляду

найкращих технологій та методів, які будуть доступні, коли 5G почне розгортатися. 5G NR використовує модуляцію, форми хвиль та технології доступу, що дасть змогу системі задовольнити потреби у послугах з високою швидкістю передачі даних, тим, хто потребує низької затримки та тих, хто потребує невеликих швидкостей передачі даних та довгого часу життя акумулятора.

Перша ітерація 5G NR з'явилася у версії 3GPP. Проект специфікацій для випуску 15 був затверджений у грудні 2017 року і, як очікується, буде доопрацьований у середині 2019 року. Випуск 15 формує першу фазу стандарту мобільного зв'язку 5G. Випуск 16 забезпечить специфікації для другого етапу, і очікується, що це буде завершено у грудні 2019 року.

Нове радіо 5G було розроблено, щоб забезпечити значне вдосконалення в таких сферах, як гнучкість, масштабованість та ефективність, як з точки зору енергоспоживання, так і в спектрі[4]. Нове радіо 5G здатне забезпечити зв'язок для дуже високої смуги передач, таких як потокове відео, а також низьку затримку зв'язку для комунікацій на автомобілях дистанційного керування, а також низьку швидкість передачі даних з низькою пропускну здатністю для зв'язку машинного типу.

1.3.3. Massive MIMO

Massive MIMO (Multi-input multi-output) є одним із основ технології 5G. У той час як традиційні телекомунікації використовують стандартний MIMO, де базові станції використовують десь від двох до десятиріччя, технологія Massive MIMO використовує величезну кількість антен, яких може бути кілька десятків, а в деяких випадках і пару сотень. Це експоненціальне збільшення кількості антен може допомогти підтримати безліч пристроїв на невеликій площі. Як стверджує Huawei у своєму звіті, 5G може забезпечити до мільйона підключень на квадратний кілометр. Це ніде не можливо з існуючим стандартним MIMO[5].

Але, Massive MIMO має і свої недоліки. Розгортання більше ста антен в

одному місці може спричинити серйозні перешкоди. Крім того, MIMO системам потрібно спакувати набагато більше антен на невеликій площі, тому вони вимагають використання сигналів більш високої частоти (коротша довжина хвилі). Ось тут заходять технології Beamforming та Milimeter Wave.

1.3.4. Beamforming

Формування променя, в основному, зводиться до принципу "адаптації передачі ЕМР до конкретного оточуючого середовища". Традиційні антени випромінюють випромінювання у всіх напрямках, що може спричинити серйозні проблеми з перешкодами. Формування працює таким чином, що якщо ви знаходитесь у них серед кластеру будівель, сигнал з вашого телефону відскакує всюди і заважає сигналам інших телефонів в цій області. Це спричиняє розбиття сигналу на більш дрібні фрагменти[6]. Отже, масивна станція MIMO відслідковує всі ці невеликі шматки та терміни їх прибуття. Потім вони використовують свій алгоритм обробки сигналів, щоб дати вам чіткий безперешкодний сигнал. Це дозволить станції Massive MIMO надсилати цілеспрямований потік даних на ваш телефон. Це набагато ефективніше, ніж існуюча технологія.

1.3.5. Milimeter Waves

Бездротова технологія, яку ми використовуємо сьогодні, використовує частоту не більше 6 гігагерців. Однак, коли все більше і більше пристроїв з'являються в Інтернеті, ми можемо побачити значну невідповідність декременту. Міліметрові хвилі використовують сигнали більш високої частоти, тобто менші довжини хвилі (довжина хвилі може змінюватися від 1 до 10 міліметрів). Вчені випробовують частоти до 300 гігагерців[7], що створить багато місця для пристроїв, які будуть додані в майбутньому. Але ця технологія має великий недолік. Сигнали не можуть легко проходити через бетон, і вони,

швидше за все, будуть поглинені деревами та дощем[8]. Звідси й інша технологія: Small Cells.

1.3.6. Small Cells Network

Мережа малих стільників - це не що інше, як концепція подолання перешкоди, а не стикання з нею. Як було сказано раніше, їхні міліметрові хвилі важко пересуваються через перешкоди, листя та дощ. Отже, невелика стільникова мережа дозволяє сигналу проходити повз перешкоду. Величезні масивні станції MIMO транслюють сигнали на великі відстані. Тим не менш, додавання тисяч малопотужних підстанцій по всьому місту вирішить проблему сигналів, що блокуються інфраструктурою. Це в основному і полягає в тому, що коли багато підстанцій доступно, телефон може автоматично перемикатися на іншу, ближчу підстанцію, коли виникає будь-який бар'єр[9].

1.3.7. Full Duplex

В одній з доповідей IEEE Spectrum, пояснив повний дуплекс найбільш зрозумілим способом: зобразили двох людей, які розмовляли одночасно, але все ще могли зрозуміти іншого, а це означає, що їхня розмова може зайняти півроку, і їх наступне обговорення може розпочатися швидше. Базові станції, які ми використовуємо сьогодні, передають сигнали по одному. Це пояснюється принципом, званим взаємністю, що означає, що сигнали рухаються вперед і назад з однаковою частотою. Отже, потрібно чекати, поки сигнал повністю відправиться туди, поки вони не відправлять назад інший набір сигналів. До цього часу передача покладалася на очікування, поки сигнал не буде переданий довільно або використовувати іншу частоту, що зовсім не помітно через час, необхідний для обміну сигналами, що призводить до більшого споживання енергії. Однак дослідникам вдалося створити вирішення цієї проблеми. Вони створили високошвидкісні комутатори, щоб сигнали могли

перепроводити себе, одночасно переходячи один до одного[10].

1.3.8. Нарізка мережевих ресурсів (Network Slicing)

Розрізання мережі дозволяє оператору мережі надавати спеціалізованим віртуальним мережам функціональні можливості, характерні для послуги або клієнта через загальну мережеву інфраструктуру. Таким чином, він зможе підтримати численні та різноманітні послуги, передбачені в 5G.

Розрізання мережі - це форма архітектури віртуальної мережі, що використовує ті самі принципи, що лежать в основі програмно визначених мереж (SDN) та віртуалізації мережевих функцій (NFV) у фіксованих мережах. SDN та NFV зараз комерційно розгортаються для забезпечення більшої гнучкості мережі, дозволяючи поділити традиційні мережеві архітектури на віртуальні елементи, які можна пов'язати (також через програмне забезпечення).

Нарізка мережі дозволяє створювати кілька віртуальних мереж на основі загальної спільної фізичної інфраструктури. Потім віртуальні мережі підлаштовуються під конкретні потреби додатків, служб, пристроїв, клієнтів або операторів.

Розрізання мережі дозволить досягти максимальної гнучкості мереж 5G, оптимізуючи як використання інфраструктури, так і розподіл ресурсів. Це дасть змогу підвищити ефективність використання енергії та витрат порівняно з попередніми мобільними мережами.

Зрештою, розрізання мережі дозволить швидко вивести на ринок нові продукти та послуги та легко адаптувати їх у міру зміни попиту та розвитку, перетворюючи на збільшення доходу для операторів та більше послуг для кінцевих користувачів. Спільне дослідження, проведене BT та Ericsson, яке було опубліковане у вересні 2017 року, виявило, що впровадження нових служб IoT за допомогою використання нарізки мережі та автоматизації експлуатації принесло на 35% більше доходу за п'ять років, ніж одна багатокористувацька

мережа. Це також призвело до еквівалентного зменшення операційних витрат на 40% (ОРЕХ) та загального впливу на 150% до збільшення економічної вигоди.

1.4. Переваги та інноваційні технології мережі 5G в різних технологічних областях

5G зробить наші смартфони набагато розумнішими з більш швидкими та рівномірними швидкостями передачі даних, меншою затримкою та ціною за біт, а це, в свою чергу, призведе до загального прийняття нових іммерсивних технологій, таких як Virtual Reality та Augmented Reality[11].

5G матиме зручність ультранадійних, низьких затримок зв'язків, які дозволять галузям інвестувати більше проектів, які потребують віддаленого управління критичною інфраструктурою в різних галузях, таких як медицина, авіація тощо. 5G призведе до революції в Інтернеті речей, оскільки вона має можливість збільшувати або зменшувати такі функції, як швидкість передачі даних, потужність та мобільність, що ідеально підходить для таких програм, як підключення декількох вбудованих датчиків майже на всіх пристроях.

1.4.1. Augmented Reality and Virtual Reality

Хоча деякі останні технології, пов'язані з віртуальною реальністю та розширеною реальністю, дійшли до Непалу, розвиток мережі п'ятого покоління може радикально застосувати поле в тенациї. Віртуальна реальність (VR) та розширена реальність (AR), які перебувають у стадії свого розвитку, будуть недотично змінювати підключення четвертого покоління. Такі покращені AR та VR не лише покращать захоплюючі засоби розваги, але й забезпечать неймовірну якість відеоконференцій, дозволяючи передавати 4K та 8K відео. Ринок AR та VR ринок до 2021 року сягають відповідно 114 мільярдів та 65 мільярдів доларів. Поле вимагає подачі складних механізмів введення та

великих даних для подачі в мережу, що просто неможливо для віддаленого доступу через поточну мережу. Але, як передбачається, затримка в мережі 5G зменшиться в 10 разів, в 100 разів покращить ефективність мережі та в 100 разів покращить пропускну спроможність через поточну мережу 4G, що є перспективним розвитком для AR та VR. Додаткова смуга та мобільність означають, що шкільні уроки в місті можна передавати з багатою деталізацією невеликому селу в підніжжях гір. Уявіть сценарій, коли дитина в сільській місцевості Непалу брала заняття у професора в США.

1.4.2. Інноваційні технології мережі 5G

Вимоги до мережі для 5G будуть особливо різноманітними. В одному випадку потрібна дуже висока пропускну здатність зв'язку, а в інших додатках виникає потреба у надзвичайно низькій затримці, а потім є також вимоги до комунікацій із низькою швидкістю передачі даних для машин до машин та програм IoT. Серед них буде звичайний голосовий зв'язок, серфінг в Інтернеті та всі інші додатки, які ми використовували та звикли користуватися.

Як результат, мережа 5G NextGen повинна буде вміщувати величезну різноманітність у типах трафіку, і їй потрібно буде вмістити кожного з великою ефективністю. Часто вважається, що тип, який відповідає всім підходам, не дає оптимальної продуктивності в будь-якому застосуванні, але саме це потрібно для мережі 5G. Для досягнення вимог до мережі 5G використовується ряд методик. Мережева програма, визначена програмним забезпеченням, SDN:

- використовуючи програмно визначені мережі, можна запустити мережу за допомогою програмного забезпечення, а не апаратного забезпечення. Це забезпечує значні покращення в плані гнучкості та ефективності;
- віртуалізація мережевих функцій, NFV: при використанні програмно визначених мереж можна запускати різні функції мережі виключно за

допомогою програмного забезпечення. Це означає, що загальне обладнання може бути налаштоване для забезпечення різних функцій, і воно може бути розгорнуте у міру необхідності в мережі.

Продуктивність, необхідна для мережі 5G NextGen, була визначена NGMN (Альянс мобільних мереж нового покоління). Альянс мобільних мереж нового покоління – це об'єднання мобільних телекомунікацій мобільних операторів, постачальників, виробників та науково-дослідних інститутів, і, використовуючи досвід усіх сторін, він може розробити стратегії для мобільних мереж наступного покоління, як, наприклад, для 5G.

Таким чином, 5G NG, основна мережа NextGen зможе використовувати набагато більші рівні гнучкості, щоб вона могла обслуговувати підвищені та різноманітні вимоги, що пред'являються до неї мережею радіодоступу та збільшеною кількістю з'єднань та трафіку.

1.4.3. Device to Device

D2D – комунікація спрямована на підвищення продуктивності звичайних стільникових мереж (з точки зору показників, таких як споживання енергії, ефективність спектру, пропускна здатність тощо), використовуючи безпосередню взаємодію між пристроями, що знаходяться в безпосередній близькості. У літературі досліджено декілька рішень, надано різні класифікації. Гарна систематика D2D-комунікацій наведена в [12], де перше розмежування здійснюється на основі спектру, прийнятого для D2D-комунікацій. Це може бути або ліцензований стільниковий спектр, наприклад, для стільникового зв'язку (тобто, вхідний зв'язок), або неліцензовані смуги, такі як Wi-Fi. Рішення вхідної смуги може бути додатково класифіковано в режимі підкладеного вхідного діапазону D2D та режимі накладання в діапазон D2D. У першому D2D та стільниковий зв'язок поділяють один і той же ліцензований стільниковий спектр; в такому випадку головним питанням є пом'якшення втручання між D2D та стільниковим зв'язком. В останньому частина стільникових ресурсів

присвячена комунікаціям D2D для уникнення проблем з перешкодами; у цьому випадку розподіл ресурсів стає ключовим питанням, щоб уникнути витрачання дорогоцінних ресурсів спектру. Рішення позашляховика спрямоване на усунення перешкод між D2D та стільниковою ланкою, але потребує додаткових інтерфейсів, таких як Wi-Fi Direct або Bluetooth. Тому йому потрібно координувати зв'язок у двох різних діапазонах радіочастотного спектру (наприклад, коли задіяні стільниковий та Wi-Fi Direct радіоінтерфейс). Координація між радіоінтерфейсами контролюється або BS/AP, тобто керованим режимом або ж користувачем, тобто автономним режимом рис. 1.2.

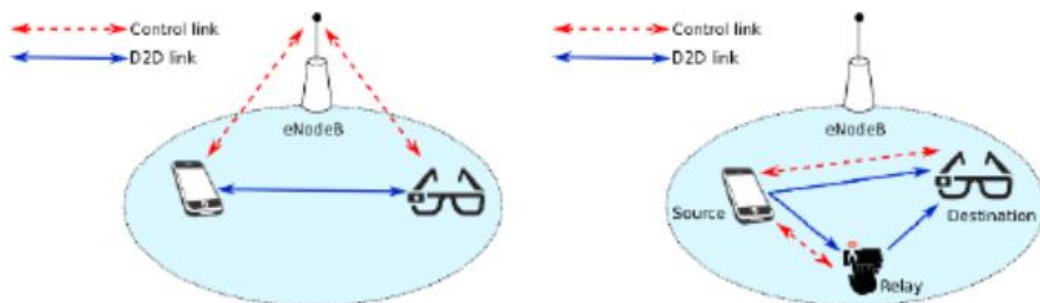


Рис. 1.2. – Підходи для встановлення зв'язку D2D

Отже, дослідження щодо вихлопного типу D2D передбачають як аспекти споживання енергії, так і міжтехнологічне архітектурне проектування.

Функції D2D, що сприяють майбутньому 5G IoT:

1. Висока швидкість передачі даних/низька затримка. Комунікації короткого діапазону, як правило, характеризуються більш високою пропускною здатністю, меншою затримкою та споживанням енергії в порівнянні з комунікаціями на великій відстані. Цитовані функції є привабливими для декількох сценаріїв застосування, що передбачають підтримку мультимедійного трафіку через майбутні системи IoT. Також розглядають комунікації D2D, керовані базовою станцією, для передачі кешованих відеофайлів у сучасних смартфонах іншим користувачам через безліч посилянь D2D за однакові ресурси часу та частоти в межах однієї комірки. Це призводить до величезного збільшення спектральної

ефективності. Аналогічно, більша швидкість передачі даних по посиляннях D2D використовується для розповсюдження мультимедійного вмісту, а також для багатоадресної відеозйомки в соціальній мережі. Можливість кластеризації пристроїв у групи, з'єднані за допомогою D2D-посилянь, також широко досліджена. Усі цитовані приклади підтверджують, що D2D може допомогти не тільки задовольнити вимоги групової комунікації для мультимедійних пристроїв IoT. Це також дозволяє подолати типові проблеми масштабування та неоднорідності IoT. Фактично, кластеризація пристроїв у мережі може полегшити обробку очікуваної великої кількості пристроїв IoT з різними можливостями та доступними комунікаційними технологіями.

2. Комунікація з низьким споживанням енергії. D2D-комунікації гарантують менше споживання енергії. До класичних способів передачі, коли пристрої передають інформацію BS/AP. Ця особливість робить зв'язок D2D дуже привабливим з огляду на задоволення вимог енергоефективності IoT [13]. Менше споживання енергії є прямим наслідком нижчої потужності передачі, необхідної при з'єднанні на ближньому відстані з сусідніми пристроями. Крім того, якість каналу, що досягається на короткодіапазонних каналах, є кращою, ніж на дальніх каналах. Це означає, що активний час пристрою для передачі та прийому даних може бути суттєво скорочений, що зумовлює зменшення споживання енергії, що дуже важливо для типових речей IoT. Ідея впровадження короточасних зв'язків для зменшення споживання енергії не є новою, оскільки декілька внесків у літературі досліджують цей аспект. Проведено значну науково-дослідну діяльність з розробки стратегій, які одночасно експлуатують безліч радіоінтерфейсів сучасних бездротових пристроїв і максимально збільшують прибуток. Як приклад, корисні ефекти інтеграції стільникової та Wi-Fi мереж. Виграші від співпраці з точки зору споживання енергії та затримки передачі демонструються також для сценаріїв стільникового зв'язку Bluetooth.

Кілька інших внесків, що досліджуються щодо економії енергії, введеної в результаті синергетичного використання декількох інтерфейсів бездротової мережі, або розташованих в одному пристрої, або пов'язаних з декількома пристроями. У той же час, можливість комунікацій на короткому діапазоні сучасних бездротових пристроїв на неліцензованих частотах сприяла поширенню значної кількості децентралізованих, спонтанних та усюдисущих взаємодій користувачів для обміну вмістом. При конкретному розгляді сценаріїв ІОТ слід враховувати подальші обмеження, що впливають на вимоги до енергоефективності, оскільки обмінювані дані можуть сильно відрізнятися за розмірами до дуже малих кількостей у кількох сценаріях. Однак досвід, накопичений протягом останніх років, може бути використаний для використання найкращих оцінених потенціалів економії енергії у сфері зв'язку D2D.

Ще одне ключове питання, яке може відстати від широкомасштабного прийняття D2D-комунікацій для служб, що базуються на близькості, - це ризик атаки конфіденційності та безпеки. Ці аспекти також мають надзвичайно важливе значення для застосувань ІоТ, наприклад, у сценаріях, коли переносні пристрої взаємодіють із зовнішніми організаціями для передачі особистої медичної інформації. Так само в промислових системах автоматизації, які покладаються на дистанційне управління приводом для запуску операцій у режимі реального часу, це викликає велике зацікавлення. Як також обговорювалося в роботі , багатопромінна комунікація D2D вводить потенційні ризики для безпеки, коли для пересилання/агрегації даних з декількох пристроїв не використовуються надійні реле. Таким чином, повинен бути включений новий механізм, заснований на репутації, для виявлення та уникнення зловмисних користувачів. Життєздатним рішенням може бути використання відносин у соціальних мережах між користувачами та самими пристроями, щоб забезпечити надійну систему D2D [14].

1.5. Безпека мережі 5G

У зв'язку із розширеною кількістю загроз і нових технологій, що забезпечує користувачам альтернативне програмувати своїх власних пристроїв (навіть на рівні радіодоступу), захист від атак на радіо мережі повинен бути більш чітко вираженим в новій архітектурі мереж 5G, що має враховувати захист від загроз таких як DoS (відмова в обслуговуванні) через потенційно некоректно працюючі пристрої і додаючи заходів з пом'якшення наслідків нового дизайну радіопротокола.

Хоча радіомережі LTE мають відмінний захист від криптографічного підслуховування, немає ніякого захисту проти зміни або ін'єкцій трафіку в площині абонента. Тому в 5G цей напрям досліджень також заслуговує значної уваги, особливо зважаючи на важливі можливі застосування 5G.

Гнучка і масштабована архітектура безпеки. У зв'язку із можливістю віртуалізації і більш динамічної конфігурацій, що входять до бачення 5G, здається логічним, розглянути більш динамічну і гнучку архітектуру безпеки для неї. Безпека для синхронних аспектів, таких, як сигналізація RAN, може бути розташована поряд з доступом з високим ступенем незалежності від асинхронних аспектів безпеки, таких як ті, що пов'язані з користувацькою площиною. Це дозволить більш ефективно забезпечення безпеки, а також обмежить загрози для чутливої користувацької інформації в той же час.

Нові проекти безпеки з високим рівнем гнучкості можуть також краще слугувати для вирішення непотрібних конфліктів між зручністю і безпекою.

Висновок до першого розділу

На основі літературних даних та патентно-ліцензійних досліджень можна зробити висновок, що мережа 5G дуже швидка і надійна. П'яте покоління базується на технологіях 4G. П'ята мережа бездротового мобільного Інтернету - це справжній бездротовий світ. Технології п'ятого покоління пропонують

величезні можливості передачі даних, необмежений обсяг дзвінків та нескінченну передачу даних разом у межах останньої мобільної операційної системи. П'яте покоління повинно замінити та додати більше послуг та переваг у світі за допомогою 4G. Ця технологія повинна бути більш розумною, яка без обмежень з'єднає весь світ. Очікується, що це покоління вийде близько 2020 року. Світ універсального, безперебійного доступу до інформації, розваг та спілкування відкриє новий вимір у нашому житті та суттєво змінить наш спосіб життя.

2 НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕХОДУ ДО 5G

2.1. Загальна необхідність

Витрати на пропуск зростаючого трафіку по мережах операторів зв'язку за станом на 2019 рік не покривається доходами від традиційних послуг. Пошук нових послуг, т.зв. «Killerapplication» традиційних телеком-платформ зазвичай не дає очікуваних результатів рис. 2.1.



Рис.2.1.– Розрив доходів операторів зв'язку

Тим часом, основне зростання трафіку і доходів відбувається не в секторі пристроїв людей, а в секторі пристроїв інтернету речей, який є однією з базових цілей функціоналу 5G рис.2.2.

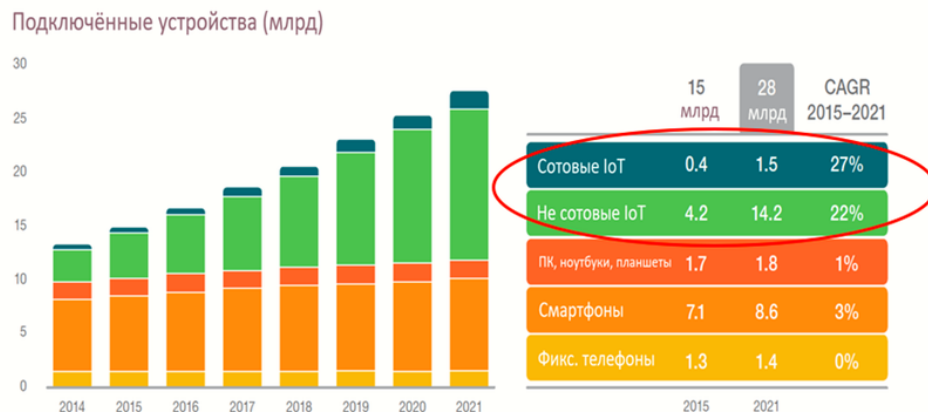


Рис. 2.2.– Зростання числа підключених до мережі пристроїв

Тому, мережі 5G можна вважати однією з необхідних складових частин

цифрової трансформації і цифрової економіки.

Стандартизація:

Стандартизація технологій та рішень 5G повинна завершитися до 2021 року, тому терміном 5G поки позначаються лише фрагментарні рішення, які в майбутньому увійдуть до складу повномасштабного рішення IMT2020. Такі рішення вже розгортаються в різних країнах, проте вони поки носять локальний і тестовий характер, і не надають весь планований функціонал мереж стандарту IMT2020. Основні стандартизуючі організації 5G:

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - альянс з семи організацій, які розробляють різні стандарти телекомунікацій, в які, в свою чергу входять інші партнери. Завдання 3GPP - формулювання технічних вимог, оцінка пропозицій, і остаточне прийняття стандартів. В середині 2017 року було ухвалено версію загального стандарту «Release 15», в даний час розробляється «Release 16», яка повинна бути прийнята у 2019 г. Крім розробки загальної архітектури, 3GPP також розробляє стандарти радіо-технологій 5G New Radio (NR) для нових частотних діапазонів, що виділяються під 5G.

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Європейський інститут телекомунікаційних стандартів, який є членом 3GPP, і найбільш активно працює в області розробки стандартів 5G[15].

IETF (Internet Engineering Task Force) розробляє рішення модернізації IP-протоколу для підтримки віртуалізації втрати зв'язку із мережею NFV (Network Function Virtualization). Наприклад, IETF розробила технологію зчипки функцій сервісів SFC (Service Function Chaining), яка комбінує віртуалізовані компоненти архітектури 5G, наприклад, базові станції, шлюзи послуг та пакетів даних в єдиному маршруті. Це дозволяє динамічне створення і зчеплення віртуальних мережевих функцій VNF (Virtual Network Functions). IETF працює в тісній взаємодії з 3GPP.

ITU (International Telecommunication Union) - агентство ООН, розташоване в Женеві, яке займається стандартизацією широкого спектра телекомунікаційних технологій. Зокрема, воно координує роботу по спільному

використанню спектру радіочастот, в тому числі для мереж 5G рис.2.4.

Крім цих трьох основних координуючих організацій, є ряд інших, в яких ведеться планомірна практична робота з розробки стандартів IMT2020 (5G).

5GPPP (5G InfrastructurePublicPrivatePartnership), вважається одним з провідних партнерств по стандартизації 5G. Організація ставить амбітні цілі щодо розробки вимог до мережі 5G, наприклад, захоплення ємності мережі в 1000 разів, зниження енергоспоживання призначених для користувача пристроїв на 90%, істотне скорочення часу створення нових сервісів і послуг, повне і безпечне мережеве покриття і з нехтуючи малою затримкою передачі даних, та ін.

NGMN (NextGeneration Mobile Networks) Alliance. Альянс мобільних мереж наступного покоління займається стандартизацією повного спектру рішень 5G. У альянс входить керівництво провідних американських операторів: AT & T, U.S. Cellular і Verizon.

Крім зазначених, існують галузеві та регіональні організації, такі як 5G Americas, Small CellForum, які також вносять великий внесок у розробку та стандартизацію рішень 5G рис.2.3.

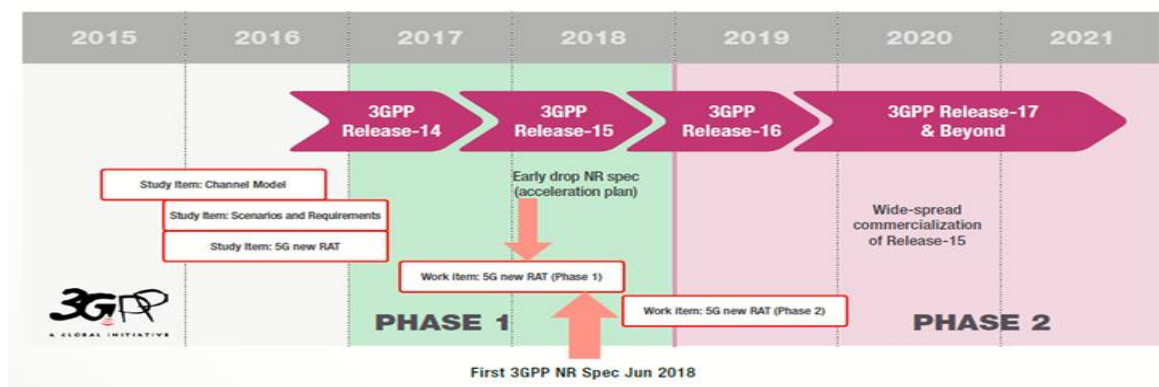


Рис. 2.3.– Дорожня карта стандартизації 5G в 3GPP

Detailed Timeline & Process For IMT-2020 in ITU-R

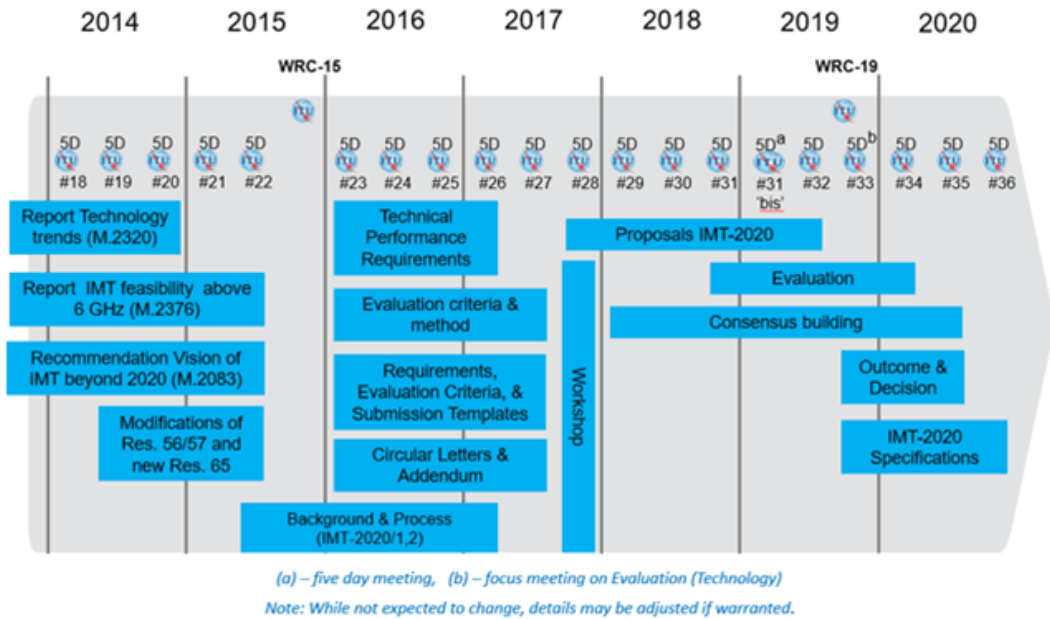


Рис. 2.4.– Запланований графік стандартизації 5G в ІТУ

Великий внесок у розробку стандартів вносять також і великі оператори зв'язку, такі як AT & T, Verizon та ін. Вони координують свою роботу з ETSI і ITU, але іноді випереджають ці організації. Тому вирішення цих операторів часто лягають в основу стандартів ETSI і ITU.

2.2.Оцінка готовності специфікацій MIPI для системи 5G

Місія Альянсу MIPI - розробити найповніший у світі набір специфікацій інтерфейсу для мобільних пристроїв та продуктів, що впливають на мобільні пристрої. Альянс MIPI завжди був на передньому плані у визначенні сучасних, малопотужних інтерфейсів для підтримки ключових підсистем у передових мобільних платформах. Ці інтерфейси значною мірою непомітні для споживачів та інших кінцевих користувачів, оскільки вони внутрішні, наприклад між процесором програми пристрою та його камерою та дисплеєм. Але ці інтерфейси відіграють надзвичайно важливе правило для забезпечення додатків та досвіду, яких люди очікують від смартфонів, планшетів та інших

мобільних пристроїв.

Сьогодні практично кожен пристрій 4G використовує інтерфейси MIPI. У цій білій книзі описано, наскільки існуючі специфікації MIPI здатні підтримувати 5G смартфони першого покоління, а також додаткові мобільні платформи 5G, включаючи підключені автономні/напівавтономні транспортні засоби та пристрої Internet of Things (IoT).

Ця 5G готовність базується на двох факторах:

Характеристики MIPI, обговорені в цьому документі, відповідають усім вимогам пропускну здатності, продуктивності та особливостей галузі до 2021 року і далі. Кілька основних постачальників вже використовують ці специфікації MIPI для своїх смартфонів першого покоління 5G.

Однією метою цього документу є сприяння галузевій дискусії про те, як можна покращити існуючі специфікації MIPI та розробити нові, щоб включити 5G пристрої, додатки та випадки використання, які з'являться протягом наступного десятиліття.

2.2.1. Сфера застосування

Цей документ зосереджується на оцінці кожної відповідної специфікації MIPI з точки зору застосувань на мобільних платформах 5G, таких як смартфони 5G. Він вивчає типову архітектуру мобільної системи 5G[16]; оцінює ключові атрибути інтерфейсу, такі як продуктивність, затримка та потужність; та аналізує загальну готовність кожної специфікації MIPI до впровадження на мобільних платформах 5G.

У цьому розділі також розглядаються нові випадки використання 5G. Однак, наслідки 5G для деяких областей, що впливають на мобільні пристрої, таких як автомобільна техніка, носіння та пристрої IoT, наразі не повністю відомі. Вони будуть оцінені та розглянуті в майбутніх документах MIPI.

2.3. Основні випадки використання 5G

До 2021 року трафік мобільних даних перевищить 48 екбайтів (EB) у всьому світі на місяць, що вдвічі більше порівняно з 2016 роком, згідно з індексом візуальних мереж Cisco (VNI). Однією з причин є те, що люди все частіше використовують смартфони, планшети та інші мобільні пристрої для перегляду відеороликів, публікацій у соціальних мережах та інших дій, які колись робили на ПК через дротові з'єднання. Ще однією причиною є зростання Інтернету речей (IoT), розширеної категорії додатків, яка включає розумні комунальні мережі, розумні міста, автономні транспортні засоби, громадську безпеку та телемедицину.

Ці дві тенденції є причиною того, що між 2016 та 2021 роками мобільний трафік матиме складений річний темп зростання (CAGR) 46 відсотків, що буде більше ніж удвічі більше ніж CAGR для фіксованих IP-мереж, прогнозує VNI Cisco. Стільниковий (5G) п'ятого покоління одночасно вмістить і забезпечить це зростання, підтримуючи більш високі швидкості, нижчу затримку та більшу масштабованість, ніж 4G, також відомий як Long Term Evolution (LTE).

Наприклад, 5G буде підтримувати пікові швидкості передачі даних в 20 Гбіт/с, тому це може прискорити тенденцію до скорочення шнурів, даючи споживачам новий спосіб дивитися потокові відео-сервіси, такі як DIRECTV NOW – включаючи пропускну здатність 4K та 8K. Ця пропускна здатність також ідеально підходить для автомобільних додатків, таких як карти високої чіткості (HD), на які покладаються автономні та напівавтономні транспортні засоби. Карта HD для одного мікрорайону може становити до 1 ТБ, тому транспортний засіб, який подорожує столичним районом, потребує завантаження декількох карт за поїздки.

Робота зі стандартами на 5G почалася в 2012 році, а перші дві версії були завершені в кінці 2017 року та на початку 2018 року. AT&T і SK Telecom входять в десятки мобільних операторів у всьому світі, які випробовують 5G, а в деяких випадках планують запуснути комерційну послугу до кінця 2018 року.

Випробування та стандарти роботи прогресували так швидко і настільки добре, що на початку 2018 року деякі аналітичні фірми подвоїлися їхні 5G прогнози. Наприклад, CCS Insight очікує приблизно 60 мільйонів 5G підключень по всьому світу до 2020 року, 280 мільйонів до 2021 року та 2.7 мільярдів до 2025 року.

2.4. Вісім способів 5G перевершує 4G

На рис. 2.5 порівнюється 5G (також відомий як International Mobile Telecommunications 2020) з 4G (також відомий як IMT-Advanced) у восьми ключових областях. Як показано на малюнку, 5G перевершує в кожній категорії, включаючи ті, які помітять споживачі та підприємства. Насправді майже всі показники, пов'язані з користувацьким досвідом, такі як пропускна здатність, мають покращення принаймні на порядок (10X) за допомогою 5G.

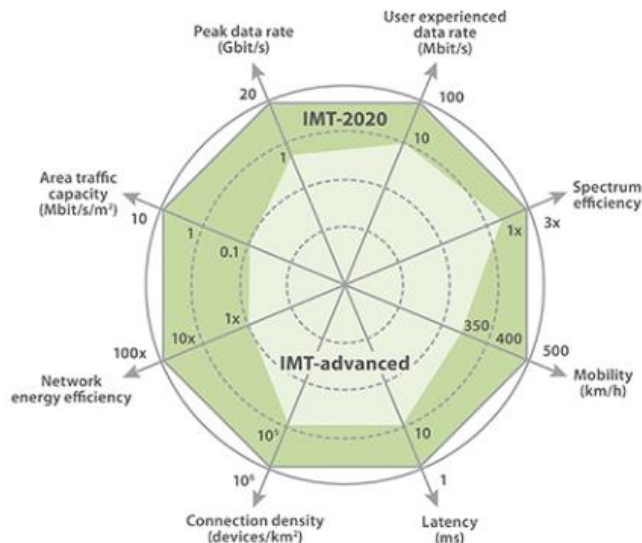


Рис. 2.5. – Порівняння 4G (IMT-Advanced) та 5G (IMT-2020)

Інші показники менш помітні для кінцевих користувачів, але так само важливі. Наприклад, 5G використовує спектр ефективніше, що є ключовим, оскільки це хронічно не вистачає в усьому світі. До 2020 року, наприклад, країнам Американського регіону Америки буде потрібно до 1161 МГц додаткового спектру для задоволення попиту, згідно з дослідженням,

замовленим GSMA. Навіть якби регулюючі органи могли звільнити цю суму – що вдвічі більше, ніж більшість країн, що надали ліцензію на мобільний зв'язок за останні 40 років – кожному операторові все одно доведеться платити мільярди доларів, євро або юань за додаткові ліцензії. Таким чином, використовуючи спектр більш ефективно, 5G допомагає операторам як задовольнити попит, так і управляти їх накладними витратами на надання послуг[17].

Інший приклад – швидкість, але не з точки зору швидкості передачі даних. 5G підтримує з'єднання, коли пристрій користувача рухається зі швидкістю до 500 км/год. Ця здатність має вирішальне значення для підключених автомобільних додатків, а також для транспортних засобів, які рухаються з навіть більшою швидкістю, наприклад, поїзди з кулями.

2.4.1. Швидкість передачі даних

3GPP Випуск 15 (Фаза 1) визначає пікову швидкість передачі даних Новим радіо (NR) до 5 Гбіт/с, тоді як випуск 16 підтримуватиме пікову швидкість передачі даних до 20 Гбіт/с. У повсякденному реальному середовищі кожен користувач може обґрунтовано очікувати швидкості руху на вулиці приблизно 100 Мбіт/с та 1 Гбіт/с або більше в приміщенні, де 5G буде об'єднано з Wi-Fi для створення більш товстої "труби". Рис. 2.6 ілюструє, яка швидкість 5G очікується, що розвиватиметься протягом наступних кількох років.

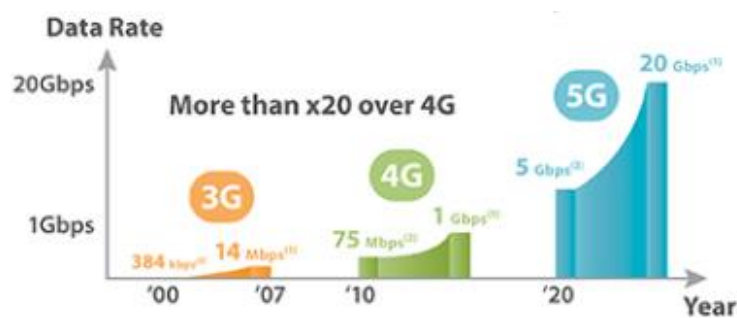


Рис. 2.6. – Залежність зміни швидкості передачі даних за період часу

Суть полягає в тому, що ці швидкості на кожного користувача є достатніми для додатків із широкою пропускнуою здатністю, таких як HD відео. Трансляція 4K телевізійних послуг, 4K телемедицина та 4K відеоспостереження - приклади того, як 5G дає змогу застосувати програми та використовувати випадки, складні або неможливі з 4G. Іншим прикладом є швидке завантаження HD карт одночасно на тисячі підключених транспортних засобів у місті.

2.4.2. Ультрависока щільність пристрою для IoT

Початкові версії 5G були розроблені в той же час, коли IoT почав ставати явищем. Понад 8 мільярдів пристроїв IoT використовувались у всьому світі у 2017 році, що на 31 % більше, ніж у 2016 році, а загальна кількість до 2020 року перевищить 20 мільярдів. Незважаючи на те, що багато додатків IoT мають низьку пропускну спроможність, чітке число збільшує величезну завантаженість трафіку для мобільних мереж. На відміну від 4G, 5G був розроблений так, що завантажує поруч із трафіком додатки, що не є IoT.

Наприклад, 5G підтримує до 4 пристроїв/м² з пропускнуою здатністю 30 Мбіт/с на пристрій. У середовищі з високою щільністю, наприклад, у діловому районі міста чи розумному місті, 5G підтримує до 200 000 пристроїв/км², кожен пристрій отримує швидкість завантаження до 300 Мбіт/с і завантаження до 60 Мбіт/с. 5G також підтримує 1 мільйон пристроїв/км², новий випадок використання, який називається масивним IoT (mIoT) або масивним комунікаційним способом (mMTC).

2.4.3. Ультранизька затримка

5G має ціль затримки в 1 мсек, яка має кілька компонентів та інтерпретацій. У стандартах 5G затримка визначається як час у зворотному напрямку, який потрібен для проходження мережі 5G, де мета затримки становить менше 4 мсек для додатків з розширеною мобільною широкопasmуговою технологією (eMBB) та 0,5 мсек для критично важливих програм. Рис. 2.7 ілюструє ці затримки. Для досягнення затримки в кінці 1 мсек

комбінований радіоінтерфейс та затримка користувальницького інтерфейсу не повинна перевищувати 0,5 мсек.

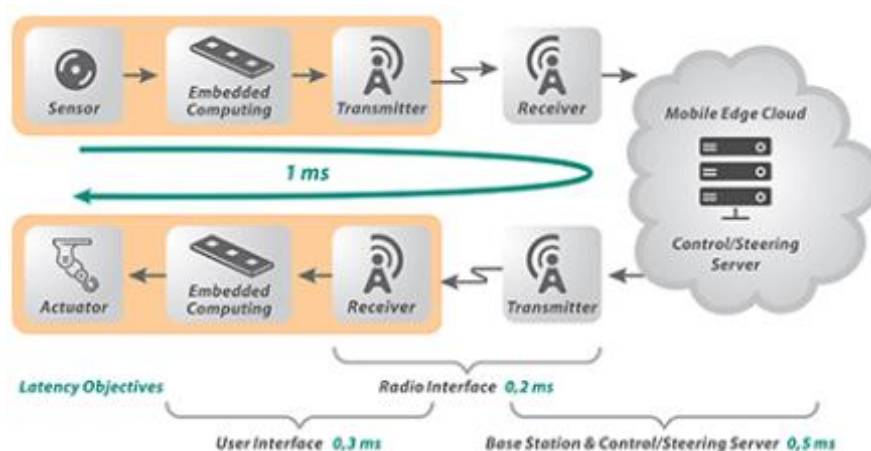


Рис. 2.7. – Затримки для прикладної інтернет системи

Досягнення цих цілей дає змогу 5G підтримувати додатки, що чутливі до затримки, такі як телемедицина та випадки критичного використання, такі як громадська безпека. Їх часто називають ультранадійними програмами зв'язку із низьким рівнем затримки (URLLC).

2.5. Області застосування 5G

Хоча такі можливості, як ультранизька затримка та надвисока щільність пристрою, роблять 5G ідеальними для додатків IoT, новий стандарт витратить перші кілька років на живлення смартфонів. Цей фокус значною мірою пояснюється тим, що ринок смартфонів величезний і тому, що споживачі зазвичай замінюють свій пристрій приблизно кожні два роки. Ще одна причина полягає в тому, що, як показано на рис. 2.8.

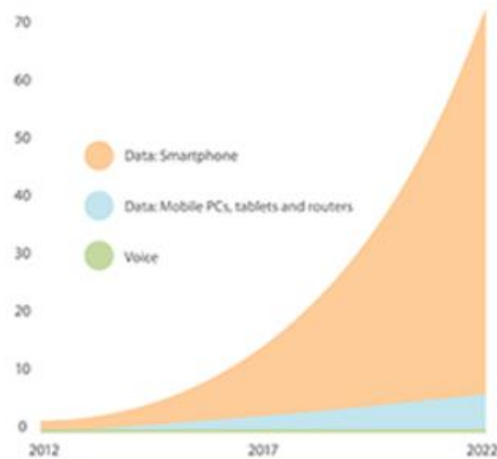


Рис. 2.8. – Залежність об’єму передачі трафіка мобільних даних з часом

Смартфони продовжуватимуть здійснювати більшість трафіку мобільних даних принаймні до 2022 року, а 5G надає операторам нові, дуже потрібні можливості для того, щоб бути в курсі цього попиту. Нарешті, більшість додатків IoT дуже чутливі до ціни, і 5G буде потрібно кілька років, щоб зменшити криву витрат до того, що його модулі будуть конкурувати з версіями 4G.

Оскільки впровадження смартфонів 5G збільшується на початку 2019 року, це допоможе стимулювати розбудову мереж 5G[18], створивши підставку для IoT-додатків почати міграцію до 5G приблизно після 2020 року. Навіть у розвинених країнах 5G знадобиться кілька років, щоб досягти географічного покриття на рівні з 4G. Але споживачі, підприємства та державні установи можуть почати купувати та використовувати пристрої 5G, оскільки технологія сумісна з 4G. Отже, коли користувачі перебувають у районах, де 5G ще не розгорнуто, їхні пристрої все ще можуть використовувати LTE, який багато операторів продовжуватимуть розширювати та покращувати принаймні до 2022 року .

На рис. 2.9 представлено репрезентативну вибірку коротко та довгострокових застосувань, що дозволить 5G. Вони можуть бути згруповані в три категорії: eMBB, mMTC та URLLC.

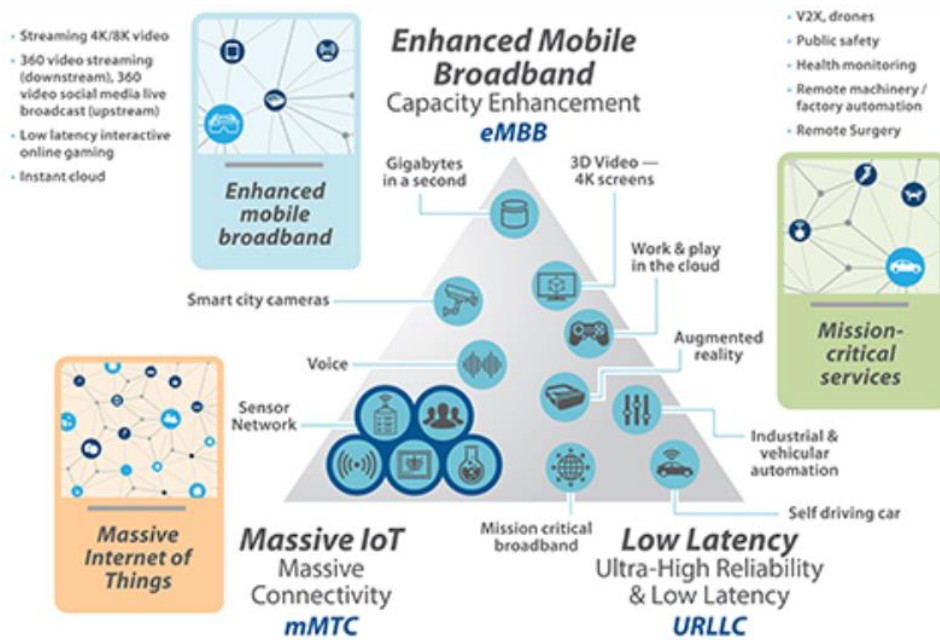


Рис. 2.9. – Випадки використання технології 5G

Розширена мобільна широкопasmова мережа (eMBB). Там, де 5G eMBB відрізняється від 4G мобільного широкопasmового зв'язку, - це надзвичайна швидкість передачі даних 5G та усюдишні цілі міського покриття. Завдяки eMBB цілі IMT-2020 полягають у забезпеченні стандарту, що сприяє піковій швидкості завантаження до 20 Гбіт/с, та надійній швидкості передачі даних у міському середовищі не менше 100 Мбіт/с із затримкою лише 4 мс. Хоча нинішня широкопasmова швидкість мобільного зв'язку 4G може досягати пікових швидкостей у 1000 Мбіт/с, більшість міських користувачів відчувають швидкість менше 10 Мбіт/с із затримками в десятки мілісекунд. Крім швидкого завантаження відео, 5G eMBB дасть можливість використовувати випадки, які відкривають двері для додатків розширеної реальності та віртуальної реальності в режимі реального часу, у всьому міському середовищі.

Ця продуктивність потребує оновлення всіх стеків стільникових мереж, а також удосконалення технологій для телефонів. Значна частина змін в мережевій архітектурі відбувається зараз, оскільки великі телекомунікаційні компанії розміщують більше невеликих осередків, щоб забезпечити продуктивність eMBB, де традиційні однорідні архітектури макроелементів виявилися нездатними, особливо у щільно забруднених міських умовах.

Масивні комунікації машинного типу (mMTC). Більшість користувачів мобільного зв'язку бездротового зв'язку сьогодні - це люди, що використовують мобільні телефони, але майбутні стільникові мережі, ймовірно, будуть пріоритетними пристроями Інтернету речей (IoT), які взаємодіють, передають інформацію про сенсорні дані та діють на контрольні дані в модернізованих міських районах, на фабриках, промислових установках і транспорті мереж. Багато, а може, і більшість майбутніх стільникових комунікацій буде між машинами, які пред'являють зовсім інші вимоги, ніж користувачі людини.

Розсіяні пристрої IoT та машини, ймовірно, потребують дуже різноманітного діапазону вимог до зв'язку, що робить єдиний протокол бездротового зв'язку одного розміру, який не підходить для всіх. Отже, нові стандарти 5G, ймовірно, включатимуть адаптивні методи протоколу зв'язку, так що такі системи, як датчики, що працюють від акумуляторів, з вимогами малої потужності та швидкості передачі даних, можуть використовувати ту саму мережеву технологію, що і високошвидкісні автономні роботи з низькою затримкою.

Енергоефективність є ключовою умовою для включення IoT-додатків, таких як моніторинг та контроль інтелектуальної сітки, де потрібно забирати багато часу та заважати витратити батареї на десятках чи сотнях тисяч пристроїв у цій галузі кожні кілька років. Тим часом низька вартість робить масштабне розгортання фінансово вигідним і, в свою чергу, забезпечує бізнесу або організації можливість зібрати достатню кількість даних для прийняття обґрунтованих рішень.

Ультранадійний, низький рівень затримки зв'язку (URLLC). Ці програми мають дуже суворі вимоги щодо пропускну здатності, затримки та доступності. Хоча в деяких областях спостерігається продуктивність бездротового зв'язку стільникового зв'язку, яку можна вважати рівнем підприємства, більшість сучасних стільникових систем не в змозі забезпечити вимоги щодо надійності чи затримки для критичних програм, таких як автономні транспортні засоби, мобільне медичне обслуговування,

автоматизація виробництва або реагування на надзвичайні ситуації. 5G URLLC має на меті забезпечити високонадійні, безпечні та низькі затримки зв'язку, які забезпечують комунікацію затримки під 1 мс достатньо надійною для використання у додатках.

Підвищення надійності стільникової мережі та скорочення затримок передбачає зміни в тому, як робиться стільниковий телефон, базова станція та мережа. Ці вдосконалення включають нові форми хвиль, нижчу затримку обладнання та ймовірні підходи до бездротової мережі, що дозволяють підвищити частоту, надмірність та альтернативні типи мережевої архітектури, ніж зіркова мережа.

Фіксований бездротовий доступ (FWA). Хоча мало використовувані, 3G та 4G стільникові мережі підтримують цілий ряд псевдофіксованих бездротових систем доступу з гарячими точками та стільниковими модемами. Однак, покращена швидкість передачі даних та низька затримка мереж 5G дозволяє привабливий випадок використання бізнесу - надання FWA конкурувати з іншими Інтернет-послугами останньої милі. Завдяки більшій пропускній здатності та вдосконаленим антенним технологіям багато експертів прогнозують, що 5G-мережі зможуть забезпечити продуктивність, схожу на волокна, та забезпечити розвинутий ринок доступним Інтернетом та підключенням. Окрім масивних багатовивідних мульти-входів (mMIMO) та антен, здатних формувати промінь, послуги FWA також потребують пропускної здатності, що перевищує доступну в спектрі суб-6 ГГц, що керує поточними стільниковими мережами. Великі обсяги пропускної здатності, ймовірно, перевищують 1 ГГц, знадобляться для надання послуг, схожих на волокна. Отже, стільникові мережі 5G включають смуги частот міліметрових хвиль для забезпечення нових застосувань та різкого збільшення швидкості передачі даних порівняно з попередніми поколіннями.

2.6.Проектування архітектури мобільної мережі 5G

На рис. 2.10 – показана модель системи, яка пропонує проектувати мережеву архітектуру для мобільних систем 5G, яка є всією IP-моделлю для сумісності бездротових і мобільних мереж. Система складається з користувальницького терміналу (який відіграє вирішальну роль у новій архітектурі) та ряду незалежних технологій автономного радіодоступу. У межах кожного з терміналів кожна з технологій радіодоступу розглядається як IP-зв'язок із зовнішнім світом Інтернету.

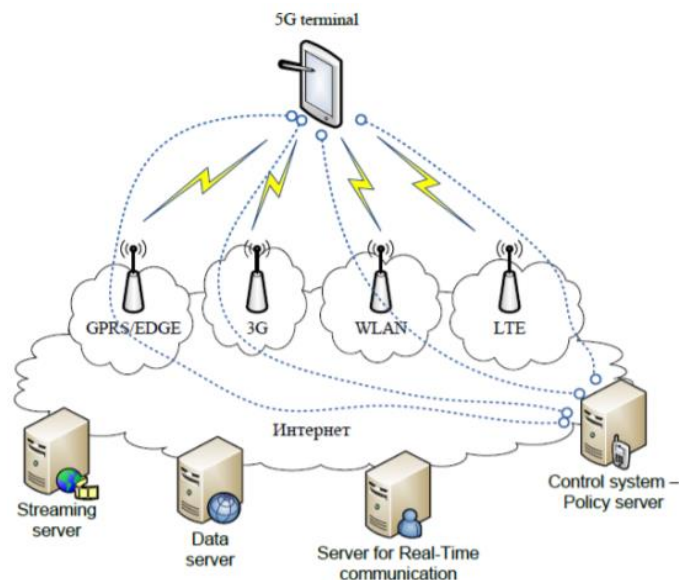


Рис. 2.10. – Архітектура мобільної мережі 5G

Однак для кожної технології радіодоступу (RAT) у мобільному терміналі повинен бути різний радіоінтерфейс. Наприклад, якщо ми хочемо отримати доступ до чотирьох різних RAT, нам потрібно мати чотири різних інтерфейсу, що мають особливий доступ, в мобільному терміналі, і щоб вони були активними одночасно, щоб мати цю архітектуру функціональній. [19].

Перші два рівні OSI (зв'язок даних та фізичний рівень) визначають технології радіодоступу, завдяки яким забезпечується доступ до Інтернету з більш-менш механізмами підтримки QoS, що додатково залежить від технології доступу (наприклад, 3G та WiMAX мають явну підтримку QoS, а WLAN не

має). Потім над OSI-1 і шари OSI-2 - це мережевий рівень, і цей рівень є IP (Інтернет-протокол) у сучасному світі комунікацій - IPv4 або IPv6, незалежно від технології радіодоступу. Мета IP – забезпечити достатню кількість контрольних даних (у заголовку IP) для правильної маршрутизації IP-пакетів, що належать до певного з'єднання додатків - сеансів між клієнтськими програмами та серверами десь в Інтернеті. Маршрутизація пакетів повинна проводитися відповідно до встановленої політики користувача [19].

2.6.1. Побудова мережі

Так як мережі п'ятого покоління будуть функціонувати на основі четвертого покоління, то спочатку потрібно пояснити, як функціонує мережа LTE Advanced, потім - вивести припущення про архітектурні відмінності мереж п'ятого покоління.

Мережа LTE складається з двох систем - базової мережі, SystemArchitecture Evolution або Evolved Packet Core, що складається з блоків управління мобільністю (MobilityManagementEntity), блоків користувальницької суті (UserPlaneEntity), службових і пакетних шлюзів, та мережі радіо-доступу (evolved UMTS Terrestrialradioaccess network, E-UTRAN), що складається тільки з базових станцій. У попередньому поколінні зв'язку в архітектуру мережі радіо-доступу входить контролер радіомережі, Radio Network Controller, до функції якого входив процес встановлення і переривання з'єднань абонентів, процес хендовера (передачі абонента від однієї базової станції до іншої), шифрування даних користувачів, визначення рівня контролю якості. У мережах LTE всі ці функції покладені на базові станції.

Всі елементи мереж LTE з'єднуються між собою за допомогою інтерфейсів (інтерфейс - комплекс стандартизованих зв'язків, що з'єднують різне обладнання, наприклад, інтерфейсами називають сполучні кабелі материнської плати комп'ютера і периферійних пристроїв - RS-232, USB, HDMI). Інтерфейс, що з'єднує базові станції називається X2 і відповідає за

утримання абонента в мережі при переході від однієї базової станції до іншої. Базові станції з'єднуються з блоком управління мобільністю за допомогою інтерфейсу S1; власне інтерфейс ділиться на два типи: S1-C, передає службову інформацію для базової станції через шлюз Serving GW; S1-U, передає призначену для користувача інформацію через пакетний шлюз Packet Data Network GW. Також, крім S1, існують інші інтерфейси, такі, як: S2 (для з'єднання з мережами, у яких 3GPP є розробником), S3 (з'єднує вузол пакетної мережі для абонентів мереж другого і третього покоління і MME, відповідає за передачу службових даних між мережами LTE і попередніх поколінь), S4 (для з'єднання базової мережі SAE і вузла пакетної мережі попередніх поколінь SGSN, Serving GPRS SupportNode), S5 (з'єднує базову мережу і пакетний шлюз Packet Data Network GW), S6 (з'єднує блок управління мобільністю та сервер абонентських даних, відповідає за аутентифікацію в мережі LTE). Сукупність мережевого обладнання базової мережі, мережі радіо-доступу і сполучних інтерфейсів є фізична структура мереж LTE, LTE Advanced.

Логічна структура мережі LTE розділена на дві частини: шар радіо-доступу, Access Stratum і шар без доступу, Non-Access Stratum. У шар радіо-доступу входить все обладнання мережі радіо-доступу та базової пакетної мережі, в шар без доступу входять способи контролю (або управління) мобільністю, EMM, EPC MobilityManagement.

Мережі на основі LTE Advanced надають доступ до якісних послуг мережі - дзвінки, висока швидкість завантаження мультимедійних даних, безкоштовне використання (без урахування трафіку) деяких додатків (в основному це месенджери). На жаль, через велику кількість пристроїв і поліпшення якості (а значить, і розміру) мультимедійної інформації, мережі LTE скоро не зможуть справлятися з великим навантаженням. Зокрема, використовуваний LTE дециметровий спектр частот не зможе забезпечити доступ до ресурсів з необхідним рівнем якості (Qos) і тоді може просто статися відключення пристрою від мережі (відмова базової станції обслуговувати стільниковий телефон).

Саме з метою запобігання насичення смуги пропускання і в майбутньому звільнення дециметрового діапазону для пристроїв, які споживають мало ресурсів, до 2025 року в Європі планують перейти до впровадження мереж п'ятого покоління (5G). Кожне покоління стільникового зв'язку має відрізнитися від іншого: перше від другого - перехід від аналогових видів модуляції цифрових; другий від третього - появою додаткових послуг, таких, як високошвидкісний доступ до інтернет; четверте від третього - перехід від каналної комутації (розподілу даних, що надходять) до пакетної і впровадження IP-адресації, як в провідних мережах. П'яте покоління від четвертого повинно відрізнитися двома параметрами: використовуваної частотою спектра, тобто перехід до ультракоротких хвиль, а також зняття навантаження з базових станцій за рахунок передачі їх функцій віртуальним машинам. Включення віртуалізації і хмарних технологій в архітектуру 5G означає більш гнучке і швидке налаштування, а також більш дешеве розгортання, так як віртуальних машин може бути багато на одній фізичній машині. Під гнучким налаштуванням розуміється створення індивідуальних умов користування послугами зв'язку: особисті тарифні плани, налаштовані до потреби кожного абонента; управління обсягом даних, які споживаються всіма додатками.

Отже, відповідно до специфікації 3GPP TS 38.300 version 15.3. 1 Release 15, загальна будова мереж п'ятого покоління будуються на основі технології New Radio і будуть розділені на дві частини, як і у попереднього покоління: 5GC (Core Network) тобто базову мережу і NG-RAN (NextGeneration Radio Access Network), то є мережа радіо-доступу наступного покоління. Базова мережа повинна складатися з двох основних пристроїв, які поділяють службові і призначені для користувача функції. Ці пристрої так і називаються, «функціями»: AMF (Access and MobilityManagementFunction), функція, що відповідає за надання доступу та управлінням підтримки сигналу мережі при переміщенні абонента; UPF (UserPlaneFunction), що відповідає за передачу призначеного для користувача трафіку.

Додатково, в архітектуру мережі включені інші «функції»: SMF (SessionManagementfunction), функція управління сесіями, розподіляє IP-адреси для користувача пристроїв, управляє і стежить трафіком, що проходить через функцію користувальницької площині вибирає UPF для переміщення трафіку до місця призначення; AUSF (Authentication Server Function), функція сервера аутентифікації користувачького пристрою; UDM (UnifiedDataFunction), являє собою сховище реєстраційних даних, відомостей про безпеку і різних підписах абонента; PCF (PolicyControlFunction), функція управління політиками, що контролює єдину політику поведінки мережі та політику поведінки кожної площині мережі (користувальницької і службової); AF (ApplicationFunction), функція додатків, що виконує запити до функції управління сесіями, також має доступ до управління зарядом батареї пристрою.

Мережа радіо-доступу складається з двох видів базових станцій: gNB, що працюють в мережі п'ятого покоління і ng-eNB, що працюють в мережі четвертого (E-UTRAN) або попереднього покоління. Обидва види базових станцій повинні з'єднуватися інтерфейсом Xn, а з'єднання базових станцій з функціональними блоками - інтерфейсом NG. Також, як і в мережах LTE, інтерфейс NG різниться для пристроїв, що взаємодіють один з одним. Всього в специфікації 3GPP TR 23.799, випущеної в грудні 2016 року визначено 15 видів інтерфейсів NG, з нумерацією від 1 до 15. Приведемо тільки п'ять з них. Так, NG1 є «опорна точка» між призначеним для користувача пристроєм і AMF, NG2 - з'єднує базову станцію з AMF; також базова станція з'єднується по інтерфейсу NG3 з функцією площини користувача, яка, в свою чергу, з'єднується по інтерфейсу NG4 з функцією управління сесіями, а доступ до інтернет і до послуг оператора надається через інтерфейс NG6. Функція додатків AF з'єднується з функцією управління сесією через інтерфейс NG5.

Від мереж LTE в мережі 5G перейшли такі поняття, як площина користувача і контролю, тому інтерфейси NG, пов'язані з користувачем, так само, як і в LTE, позначають NG-U і, відповідно, NG-C для площині контролю, тому рівні протоколів (стеки) інтерфейсів також ділять тільки на призначені для

користувача і службові. Інтерфейси площині користувача з'єднують базову станцію з UPF, а інтерфейси площині контролю (NG-C) - з AMF. Тут потрібно зауважити, що NG-U забезпечує негарантовану доставку (коли призначений для користувача пристрій посилає елемент даних протоколу (PDU) і не чекає у відповідь звіт про доставку; гарантована доставка - це підтвердження у вигляді звіту, що елемент даних отримано), що істотно заощаджує час передачі даних.

Інтерфейси Xn і NG повинні мати відкриті, доступні для всіх виробників специфікації для взаємодії з різними базовими станціями. Тут необхідно зазначити, що деякі групи вчених, що працюють над розробкою вимог і стандартів 5G, зокрема, форум NGMN (NextGeneration Mobile Networks), в своїх звітах дотримуються думки про повну відкритість усіх технологій, тобто, усі пристрої мережі, починаючи з фізичного і закінчуючи прикладним рівнем мають бути доступні усім користувачам. Також NGMN вважає, що проектування і будівництво мережі 5G має проходити не кожним оператором окремо, а спільно всіма операторами регіонів.

Процес роботи в мережі п'ятого покоління приблизно такий: призначений для користувача пристрій виявляє мережу за допомогою вбудованої антени (цей етап залишається незмінним ще з другого покоління і технології GSM), мережа, тобто AMF через базову станцію запитує службові дані телефону.

Користувача пристрій посилає свої реєстраційні дані через базову станцію в функцію доступу і управління мобільністю (AMF), ця функція зіставляє реєстраційні дані пристрою з сервером, на якому містяться дані всіх абонентів і якщо надані дані збігаються, доступ в мережу дозволяється. Після реєстрації для користувача пристрій отримує доступ до UPF, а через неї - до послуг мережі.

Ще одна відмінність мережі п'ятого покоління - віртуалізація послуг і обробка даних в хмарних операційних системах - додало ще одне поняття до визначення архітектури: крім «Plane» - «площину», з'явилося поняття «Slicing» - «зріз», що означає різні настройки (або характеристики мережі) для окремих користувачів і груп, а також для обладнання. Передбачається, що провайдер

мережі 5G буде створювати спеціальні шаблони - віртуальні машини (NST, Network SliceTemplate), і користувачі зможуть оптимізувати для себе ці шаблони, тобто підключати необхідні послуги, орендувати програмне забезпечення. Архітектура зрізів не повинна бути відкритою, так як віртуальні машини, що працює віддалено (в «хмарі», тобто в Центрі Зберігання Даних провайдера 5G) можуть бути від різних виробників. Наприклад, найбільший постачальник дрютяної телефонії в Казахстані - АТ «Казахтелеком» використовує хмарні сервіси від компанії Microsoft (Hosted Lync, Hosted SharePoint, Hosted Exchange), а також віртуальний хостинг з операційними системами Windows (веб-сервер IIS) і Linux (веб-сервер Apache).

У 2016 році форум NGMN випустив документ «Description of Network Slicing Concept», «Опис концепції розбиття мережі», в якій логічна структура зрізів складається з трьох частин (від низу до верху): рівня ресурсів, рівня екземпляра мережевого сегмента та рівня екземпляра служби.

До рівня ресурсів відносяться всі фізичні і логічні ресурси. Фізичні ресурси - це всі компоненти, з яких складається мережа: базові станції, системи зберігання даних, сервера, маршрутизатори, комутатори, навіть кросове (сполучне обладнання, таке, як мідний або оптоволоконний кабель є фізичним ресурсом). Логічні ресурси - це згруповані за певною ознакою або для будь-якої мети фізичні ресурси, наприклад, до логічних ресурсів, призначеним для віртуального хостингу (послуги, що надає місце для зберігання даних на постійно працюючому, тобто знаходиться в мережі, комп'ютері-сервері) відносяться : власне, комп'ютер-сервер з операційною системою, система зберігання даних - комплекс, що складається з декількох жорстких дисків, з'єднаних один з одним, комутатори, маршрутизатори і сполучні кабелі, а також програмне забезпечення на вимогу замовника. Мережеві функції не належать до ресурсів, вони входять до складу зрізу мережевого сегмента. У той же час план мережевого сегмента, який представляє собою опис структури і необхідних мережевих функцій відноситься до логічних ресурсів.

Примірник мережевого сегмента - це і є «Slice» - зріз, який представляє

собою набір характеристик, параметрів, виділених ресурсів для розгортання послуг і служб, що надаються оператором мережі. Наприклад, зріз, призначений для обміну даними між машинами (датчиками, лічильниками) не вимагає системи зберігання даних, тільки сервер, комутатор і маршрутизатор, а також сполучні кабелі, тому що для передачі сигналу від пристрою до пристрою іноді досить одного біта даних - 0 або 1. Якщо згадати процедуру хендовера (переходу користувачького пристрою від однієї базової станції до іншої), то по ній відразу видно, що базова станція і призначений для користувача пристрій обмінюються між собою текстовими повідомленнями, які складаються з одного - двох слів (наприклад: NO REQUEST, NO RESPONSE і так далі). При цьому зріз для M2M (машина і машина) з'єднань повинен володіти надійно, тобто повідомлення обов'язково повинно бути доставлено і мати наднизьку затримку, тобто повідомлення повинно бути доставлено дуже швидко, наприклад, якщо програма дистанційного керування автомобілем посилає повідомлення на датчик автомобіля. Інший зразок зрізу - для надання послуги інтернет-телебачення навпаки, потребує системи зберігання даних, декількох серверах, маршрутизаторах і сполучному обладнанні для забезпечення постійного доступу до мультимедійної послуги, яка також вимагає наднизької затримки, але при цьому для неї є необов'язковою надійність, так як втрата декількох пакетів даних може бути не помічена користувачем.

Мережевий сегмент може використовувати різні ресурси, складатися з декількох логічно завершених підмереж, при цьому мережі можуть використовувати ресурси не тільки свого зрізу, а й іншого. Мережевий сегмент необхідно розгортати на віртуальній машині, тому що, завдяки Гіпервізору(спеціальним програмам, що розділяють фізичні ресурси комп'ютерів-серверів на кілька логічних складових) масштабованість, тобто збільшення кількості зрізів (наприклад, один зріз - одна віртуальна машина) буде дуже простою процедурою.

Рівень примірника служби - це кінцевий сервіс або програма, яка

надається користувачеві. Примірники служби давно стали частиною глобальної мережі. Класичний приклад такої служби - поштові сервіси, наприклад Gmail, яка завантажується через браузер і можливо відрізнити на вигляд від будь-якого іншого сайту, але вона використовує ті ж мережеві протоколи, що і Microsoft Outlook або інша автономна програма, встановлена на комп'ютері і при запуску зв'язуються з поштовим ящиком через поштові протоколи.

Мережа п'ятого покоління фізично повинна мати таку ж просту структуру, як і мережа LTE, тобто складатися тільки з базової мережі та мережі радіо-доступу. Але логічно 5G набагато більш складна за структурою: зберігся горизонтальний поділ на призначену для користувача і службову площину, додалося вертикальний поділ на зрізи, розширилася роль комп'ютерного контролю, додалися нові логічні елементи, такі, як функція контролю сесії або функція додатків.

Фізична структура мережі п'ятого покоління ще кілька років буде схожа на попереднє покоління, тому що виробникам користувацького обладнання (телефони, планшети і так далі) необхідно забезпечити спадкоємність технологій, що гарантують роботу в різних мережах, тим більше що на загальній схемі пристрою мережі п'ятого покоління вказані два види базових станцій. Також про плавний перехід від одного покоління зв'язку до іншого свідчить той факт, що в специфікаціях 3GPP як спосіб модуляції використовується Non-OFDM, який вже впроваджений в мережах LTE Advanced.

П'яте покоління зв'язку надасть виробникам і приватним користувачам послуги, які не передбачалися в мережах LTE або не функціонували належним чином, такі, як взаємодія між машинами, тобто використання різноманітних датчиків.

На закінчення необхідно сказати, що для розгортання мереж п'ятого покоління найкращим чином підходить компанія, якій належать 100% акцій стільникового оператора, що надає послуги стільникового зв'язку LTE. Якщо Міжнародний союз електрозв'язку представить міжнародної громадськості

затверджені специфікації 5G (IMT-2020) в грудні 2019 року, то компанії зможуть ввести в експлуатацію мережі п'ятого покоління до 2025 року.

2.7. Порівняння частоти в безпроводних системах мобільного зв'язку

Ранні стільникові мережі GSM працювали на частотах 850 МГц і 1900 МГц. Мережі 2G та 3G змінюють метод модуляції, але значною мірою використовуються однакові частини спектру з реорганізованими смугами частот. У міру розвитку 3G були включені додаткові смуги частот, а також спектр близько 2100 МГц. Технології 4G LTE принесли йому додаткові діапазони спектра та частоти, а саме близько 600 МГц, 700 МГц, 1,7/2,1 ГГц, 2,3 ГГц і 2,5 ГГц.

Плани частотного діапазону 5G є набагато складнішими, оскільки частотний спектр для 5G під 6 ГГц охоплює від 450 МГц до 6 ГГц, а частоти частот 5G міліметрової хвилі охоплюють від 24,250 до 52,600 ГГц, а також включають неліцензований спектр. Крім того, може бути спектр 5G в діапазоні від 5925 до 7150 МГц і від 64 ГГц до 86 ГГц. Отже, 5G буде включати весь попередній клітинний спектр і спектр великої кількості в діапазоні суб-6 ГГц, а за межі нижче 6 ГГц - це багатократно поточний клітинний спектр. Початковий випуск 3GPP 5G Нового нестандартного радіостанції (5G NR) включав кілька діапазонів частот до 6 ГГц. Другий випуск 3GPP 5G після IMT-2020 включатиме смуги частот FR2 у спектрі міліметрових хвиль.

Як і у попередніх стільникових поколіннях та випусках 3GPP, різні регіони та країни, ймовірно, також приймуть унікальний спектр для використання 5G. Наприклад, FCC США розглядає можливість відкриття 5,925 ГГц до 6,425 ГГц і 6,425 ГГц до 7,125 ГГц для неліцензованих використовуваних і консультує додавання можливостей широкосмугового мобільного зв'язку в спектрі 3,7 ГГц до 4,2 ГГц. В даний час FCC працює в спектрі дії в діапазоні від 27,5 ГГц до 28,35 ГГц, 24,25 ГГц до 24,45 ГГц і 24,75 ГГц до 25,25 ГГц, для діапазону 5G міліметрової хвилі. FCC також може

розглянути можливість відкриття середньої смуги частот 3,7 ГГц до 4,2 ГГц для 5G, а також може розглянути можливість відкриття смуг громадської безпеки 4,9 ГГц для доступу 5G. Крім того, FCC може також зробити додаткові діапазони доступними для 5G в діапазонах 2,75 ГГц, 26 ГГц і 42 ГГц. У грудні 2018 року FCC оголосив про заохочувальні дії в діапазоні від 37,6 до 38,6 ГГц, 38,6 ГГц до 40 ГГц та 47,2 ГГц до 48,2 ГГц. Більшість інших країн, що розвиваються, зазнають подібних міркувань щодо розподілу спектру для випадків використання 5G.

Однією з головних причин надання додаткового спектру для використання 5G є фізичні обмеження, пов'язані з пропускнуою здатністю та пропускнуою здатністю. Плани діапазону 4G складала від 5 МГц до 20 МГц смуги пропускання на канал, де стандарт 5G FR1 передбачає пропускну здатність від 5 МГц до 100 МГц на канал. Оскільки пропускну здатність прямо пропорційна максимальній пропускну здатності, 5X збільшення пропускну здатності стосується приблизно 5-кратного збільшення пропускну здатності. Більше того, 3GPP випуск 15 встановив нові форми хвилі та додавання $\pi/2$ BPSK як метод модуляції. Додаткові форми хвиль - це дискретне мультиплексування з ортогональним частотним поділом частотного перетворення трансформації Фур'є (DFT-S-OFDM) для FR1 і циклічний префікс OFDM (CP-OFDM) для FR2[21].

Хоча апаратне забезпечення, технологія та комунікаційна інфраструктура РФ доступні та здатні відповідати деяким вимогам ранніх специфікацій частоти та продуктивності 5G, більшість очікувань 5G все ще перевищують доступні на даний момент технології. Ці виклики включають економічно ефективне обладнання з необхідною частотою роботи, ручну/мобільну інтеграцію та щільну та високо розподілену мережеву інфраструктуру. Оскільки 4G LTE-послуги все ще розгортаються в США та інших країнах, швидше за все, пройде кілька років, перш ніж послуги 5G, що перевищують можливості 5G FR1, будуть життєздатними.

2.8. Різниця між технологіями 4G та 5G

а) Перш за все, хоча 4G-мережі, що базуються на LTE, проходять через швидке розгортання, 5G-мережі в основному складаються з наукових робіт та пілотних проектів.

б) Бездротова мережа до 4G в основному зосереджена на доступності необмеженої пропускної здатності, тоді як 5G має на меті забезпечити широке підключення для створення швидкого та стійкого доступу до користувачів Інтернету, будь то на вершині хмарочоса чи внизу під метро. Хоча стандарт LTE включає в себе варіант, який називається комунікацією машинного типу (MTC) для трафіку IoT, технології 5G розробляються від підстав для підтримки пристроїв, подібних до MTC.

с) Мережі 5G не стануть монолітною мережевою сутністю і будуватимуться навколо комбінації технологій: 2G, 3G, LTE, LTE-A, Wi-Fi, M2M тощо. Іншими словами, 5G буде розроблений для підтримки різноманітних застосувань, таких як IoT, підключені носіння, доповнена реальність та занурення в ігри. На відміну від 4G-аналогів, 5G-мережа запропонує можливість керувати безліччю підключених пристроїв та безліччю типів трафіку. Наприклад, 5G забезпечить надшвидкісні посилення для потокового перегляду HD відео, а також низьку швидкість передачі даних швидкості для сенсорних мереж[22].

Висновок до другого розділу

При проведенні аналізу кожне нове покоління стільникової технології включає зміни смуг частот і режимів роботи. Це не відрізняється від розвитку технологій 5G. Однак, чим відрізняється, є кількість доданого нового частотного спектру, і де в режимі електромагнітного спектру ці частоти знаходяться. Більше того, голод щодо більшої пропускної здатності також призводить політиків та виробників пристроїв до отримання максимальної продуктивності з переповнених діапазонів частот стільникового зв'язку частотою 6 ГГц за допомогою різноманітних методик, що агрегують декілька

стілникових діапазонів і збільшують пропускну здатність одного каналу. Нові додатки, такі як Інтернет речей (IoT) та зв'язок Machine to Machine (M2M), також заохочують промисловість досліджувати різноманітні режими роботи 5G, щоб відповідати безлічі додатків. Багато в чому 5G розробляється, щоб стати модульним рішенням завдань універсального бездротового підключення.

ЗДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ ПОКРИТТЯ СИГНАЛУ 5G НА ОСНОВІ PSO-BP-KRIGING

3.1. Аналіз алгоритму виявлення покриття

Для подолання обмежень традиційних методів у виявленні покриття сигналу мобільної мережі 5G запропонований алгоритм виявлення покриття сигналу на основі розподіленої сенсорної мережі для мобільної мережі зв'язку 5G. По-перше, отримана сила сигналу базової станції зв'язку збирається та попередньо обробляється випадковим чином розгортанням розподілених вузлів датчиків. Потім цільова функція нейронної мережі модифікується за допомогою функції варіограми, а початковий ваговий коефіцієнт нейронної мережі оптимізується за допомогою вдосконаленого алгоритму оптимізації потоку частинок. Далі навчена мережева модель використовується для інтерполяції сприйнятої сліпої зони. Нарешті, дані вибірки вузлів датчика та результат оцінки інтерполяції поєднуються для створення ефективного покриття сигналу мережі мобільного зв'язку 5G. Результати моделювання показують, що запропонований алгоритм може виявити реальну ситуацію покриття сигналу мережі мобільного зв'язку 5G краще, ніж інші алгоритми, і має певні можливості та перспективи застосування.

Завдяки популярності служб передачі даних та смарт-терміналів 4G-мережі не задовольняють потреби людей щодо потужності, швидкості, носія та спектру. Порівняно з технологією 4G, технологія 5G значно покращила швидкість передачі даних і використання ресурсів спектру, а також значно покращили досвід користувачів, охоплення бездротовим сигналом та стабільність передачі сигналу. Він має характеристики низької затримки, низького енергоспоживання, безпеки, стабільності та надійності [23]. Оскільки мережа мобільного зв'язку 5G реалізує подальші інновації та інтеграцію у сферах бездротового, термінального, сервісного та прикладного сценаріїв, це стало неминучою тенденцією та дослідницькою точкою в галузі зв'язку.

Майбутню мережу 5G відзначатиме висока автоматизація, інтелект, гнучкість, висока ефективність та стабільність. Для того, щоб краще впоратися з викликами, що постали перед розвитком мереж 5G, наукові установи та промисловість у всьому світі розпочали поглиблені дослідження технологій мобільного зв'язку 5G, включаючи неортогональні сигнали 5-го покоління для асинхронної сигналізації (5G-NOW) [24]. На сьогоднішній день загальні вимоги до бачення та продуктивності майбутньої мережі 5G досягли глобального консенсусу, включаючи більш високий трафік даних та швидкість роботи користувачів, масивні термінальні з'єднання, меншу затримку, більш високу надійність тощо.

Очікується, що в майбутньому трафік даних мережі 5G збільшиться в 1000 разів більше, ніж у мережі 4G, а рівень користувацького досвіду також зросте в 10-100 разів. Для того, щоб задовольнити ці вимоги, 5G представить нові прориви у кількох ключових технологіях, включаючи технологію бездротової передачі та ультра щільну різномірну мережеву технологію. З одного боку, можна використовувати передові методи бездротової передачі або збільшувати пропускну здатність спектру для збільшення використання ресурсів спектру. З іншого боку, вдосконалення просторового мультиплексування за допомогою розгортання криптографічних комірок досі є найбільш ефективним способом підвищення потужності бездротових систем зв'язку. Традиційні системи бездротового зв'язку зазвичай використовують розщеплення стільників, щоб зменшити радіус стільника. Однак при подальшому зменшенні зони покриття, розділення стільників буде важко здійснити. Потрібно інтенсивно розгортати невеликі базові станції з низькою потужністю у внутрішніх та зовнішніх точках, щоб сформувати надмірно неоднорідну архітектуру мережі. Завдяки меншій потужності передачі та меншому радіусу стільникового зв'язку 5G мереж мобільного зв'язку, високоточне виявлення покриття сигналу базової станції 5G мобільної мережі зв'язку стало одним із сучасних точок досліджень та передових технологій.

В даний час більш основною схемою виявлення покриття мережі

мобільного зв'язку є використання тестових терміналів, що перевозяться транспортними засобами, або ручні тестові термінали для виконання дорожніх випробувань [25]. Зміна напрямку смарт-антенного променя робить традиційний метод тестування дороги непридатним для мережі мобільного зв'язку 5G. Нинішня мережа мобільного зв'язку 5G знаходиться на критичній стадії тестування та випробування, і виявлення покриття сигналу повинно бути в будь-який час і в будь-якому місці. Традиційні методи дорожніх випробувань трудомісткі, і вони не здійснені в різних диких, особливо суворих умовах, не відповідають технічним вимогам поточної фази тестування. Крім того, хоча мережа 5G використовує низку технологій, таких як м'яко визначена архітектура хмари, віртуалізація мережі та нарізка, та встановлює можливості обчислення та зберігання на базовій станції через крайові обчислення для досягнення низької затримки мережевих послуг, базова станція фізично присутня та забезпечує взаємодію з доступом та інформацією для користувачів за допомогою технології бездротової передачі. Тому необхідно придумати метод, який може перевірити 5G бездротове покриття в будь-який час, повторно та в режимі реального часу.

У цій роботі я пропоную дослідницьку схему виявлення покриття сигналу через розподілені сенсорні мережі на основі спеціальної мережевої технології, і основний внесок нашої роботи полягає в наступному:

1. Розподілені вузли датчиків випадковим чином розгортаються для збору отриманого показника сили сигналу (RSSI) базової станції зв'язку 5G, а зібрані дані попередньо обробляються фільтрацією Гаусса, що зменшує вплив помилок на продуктивність алгоритму.

2. Алгоритм тріангуляції Делоне використовується для обчислення цільової області, і здійснюється вибір інтерполяційних точок.

3. Удосконалений алгоритм гібридної інтерполяції пропонується оцінити значення RSSI точки інтерполяції. Об'єктивна функція нейронної мережі зворотного розповсюдження (BP) модифікується варіограмою інтерполяції Кригінга та вдосконаленим алгоритмом оптимізації потоку частинок (PSO),

який долає надмірно рівне просторове вираження традиційної інтерполяції Кригінга та локальну конвергенцію інтерполяції нейронної мережі ВР.

4. Дані, зібрані вузлом датчика, і дані, оцінені точкою інтерполяції, обробляються комплексно, потім генерується ситуація в зоні покриття 5G мобільної мережі зв'язку, реалізуючи відтворюване в режимі реального часу виявлення покриття бездротової мережі.

Решта роботи організована наступним чином: спочатку вводимо відповідні дослідницькі основи роботи у підрозділі 2 та аналізуємо цитовану літературу, що цитується. Потім у підрозділі 3 описані основні теоретичні знання алгоритму. Архітектура та конкретні кроки алгоритму описані у підрозділі 4. У підрозділі 5 оцінюється продуктивність алгоритму та формується ситуація покриття мережі мобільного зв'язку 5G. Нарешті, ми підсумуємо нашу роботу у підрозділі 6.

Запропонована схема збирає значення RSSI через бездротові сенсорні вузли, розгорнуті в цільовій області мобільної мережі зв'язку 5G, а потім всебічно обробляє дані, зібрані всіма датчиками вузла, щоб генерувати ситуацію покриття мережею цільової області, тим самим реалізуючи всі навколо автоматизованого зондування та задоволення особливих вимог щодо виявлення ситуації в охопленні мережі мобільного зв'язку 5G, таких як детектування поля в режимі реального часу. За допомогою безпілотного літального апарату та інших методів бездротовий сенсорний вузол може бути розміщений у тестувальній зоні, особливо в тій місцевості, до якої важко дістатися традиційними тестами на дорозі.

Оскільки дані, сприйняті розподіленим вузлом датчика, є лише значенням RSSI у місці розташування вузла, одержується остаточне покриття мережі мобільного зв'язку 5G у всій області. Тому необхідно оцінити значення RSSI для інших областей, які сенсорний вузол не може сприймати.

В даний час існують переважно два методи оцінки значення RSSI: метод оцінки моделі поширення сигналу та метод оцінки інтерполяції. Метод оцінки моделі поширення сигналу заснований на тенденції розподілу даних значень

RSSI, зібраних вузлами датчиків, і для оцінки обрана відповідна модель втрат. Складність алгоритму невисока, але існуючі моделі зазвичай не можуть точно відповідати складній та різноманітній географічній обстановці цільової області, що призводить до низької точності. Поки не розроблена жодна зріла модель, придатна для мереж 5G. Однак метод оцінки інтерполяції, заснований на ознаках ознак вузлів в околицях, є відносно можливим і має високу точність. Зазвичай використовувані методи оцінки інтерполяції включають зворотну відстань, зважену на інтерполяцію, інтерполяцію Ньютона, інтерполяцію Кригінга тощо. У роботі [26] для оцінки значень RSSI замість методу лінійної інтерполяції використовується метод поліноміальної інтерполяції Ньютона замість методу лінійної інтерполяції, що підвищує точність інтерполяції. Однак завдяки впровадженню функції поліноміальної інтерполяції обчислювальна складність зростає. Метод інтерполяції, зважений на зворотну відстань, він має більш високу точність, коли точки інтерполяції більше дисперговані. Однак, оскільки розглядається лише позиційна залежність між вузлами, просторова кореляція є поганою, а величина розрахунку також велика. В роботі на основі просторової кореляції значень RSSI, отриманих датчиком вузла, метод інтерполяції Кригінга використовується для оцінки значень RSSI сприйманої сліпої зони. Однак ефект згладжування інтерполяції Кригінга має тенденцію до затемнення важливої інформації в районах з різкими змінами просторових даних, що призводить до неточного вираження інтерполяції в цьому регіоні.

В останні роки для подолання недоліків методу інтерполяції Кригінга були використані хронологічний аналіз, стохастичне моделювання, штучний інтелект та багато інших методів. Серед них, штучні нейронні мережі мають сильні можливості в класифікації даних з множиною атрибутів та розпізнаванні шаблонів і широко використовуються в багатьох сферах, таких як обробка сигналів [27]. Чагас та ін. успішно застосував нейромережеві технології для позиціонування задач на основі оцінки значення RSSI в. Jia та ін. встановлено, що крипова інтерполяція може краще відображати характеристики просторового розподілу цільової області, але точність інтерполяції нейронної

мережі вище. У роботі запропонована вдосконалена модель, що використовує технологію нейронної мережі ВР замість глобальної моделі Kriging, яка додатково розширюється лінійним зваженим методом агрегації для підвищення точності моделювання. Katsuaki запропонував метод інтерполяції нейронного Кригінга, який відтворює просторові характеристики регіоналізованих змінних і певною мірою покращує точність інтерполяції в. Однак, завдяки локальній конвергенції нейронної мережі, точність інтерполяції вищевказаного алгоритму потребує подальшого вдосконалення. У алгоритм PSO використовується для оптимізації ваги та порогу нейронної мережі ВР, і отримується модель PSO-ВР з більшою точністю та швидкістю швидкості конвергенції. Дійсність моделі перевіряється в практичних програмах.

Для того, щоб подолати недоліки вищезазначеного застосування алгоритму у виявленні покриття мережею 5G мобільного зв'язку, у цьому розділі пропонується вдосконалений алгоритм оптимізації гібридної інтерполяції. Завдяки корекції цільової функції нейронної мережі ВР алгоритм підвищує надійність та точність виявлення покриття мережі мобільного зв'язку 5G.

3.2. Принцип крипто-інтерполяції

Кригінг інтерполяція - це лінійний неупереджений метод оцінки для вивчення просторової мінливості та інтерполяції, який зазвичай використовується в сітковій статистиці в галузі геологічних досліджень [39,40]. У контексті даної роботи принцип полягає в оцінці значення RSSI точки інтерполяції за допомогою значення RSSI, отриманого датчиками вузлів у домені.

Встановіть значення RSSI точки інтерполяції на $R(x_0)$, значення RSSI, зібрані m вузлами датчика в околиці, є $R(x_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$). Тоді формула оцінки інтерполяції Кригінга визначається в рівнянні (3.1):

$$R(x_0) = \sum_{i=1}^m \lambda_i R(x_i), \quad (3.1)$$

де λ_i являє собою вагу $R(x_i)$, що використовується для оцінки значення RSSI в околицях. Для того, щоб забезпечити неупереджену оцінку, існує $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$, та $R(x_i)$ задовольняє гладкість другого порядку, отримуючи таким чином

$$\begin{cases} E[R(x_i) - R(x_j)] = 0 \\ \text{Var}[R(x_i) - R(x_j)] = E\{[R(x_i) - R(x_j)]^2\} \end{cases} \quad (3.2)$$

Щоб зробити $R^*(x_0)$ неупередженою оцінкою $R(x_0)$, розрахована дисперсія x_0 повинна бути найменшою:

$$\text{Var}_{\min}(x_0) = \text{Var}[R(x_0) - R^*(x_0)] = E\{[R(x_0) - R^*(x_0)]^2\}. \quad (3.3)$$

Вводячи множник Лагранжа μ для обчислення умовного екстремуму, його можна виразити як:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_i} E\{[R(x_0) - R^*(x_0)]^2 - 2\mu \sum_{i=1}^m \lambda_i\} = 0, \quad (3.4)$$

де $i = 1, 2, \dots, m$, шляхом виведення можна отримати наступні лінійні рівняння Кригінга:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \lambda_i \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_0 - x_j) \\ \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1 \quad j = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (3.5)$$

де $\gamma(x_i - x_j) = \frac{1}{2} E[R(x_i) - R(x_j)]^2$ представляє значення варіограми між x_i та x_j . Розв'язавши рівняння (3.5) маємо вагу λ_i .

Основою інтерполяції Кригінга є визначення закону зміни об'єкта дослідження (змінної) з просторовим положенням відповідно до ознак точки вибірки, щоб оцінити значення атрибута точки інтерполяції. Цей закон є варіограмою. Варіограмою пропонується описати просторові характеристики регіоналізованих змінних. Значення варіограми можна обчислити наступним рівнянням:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [R(x_i) - R(x_i + h)]^2, \quad (3.6)$$

де h – являє відстань поділу пари точок відбору проб, а $N(h)$ – являє собою кількість точок у всіх точках відбору проб, розділених h . Крива варіограми $\gamma(h)$ може бути встановлена шляхом обчислення значення варіограми різних відстаней розділення за рівнянням (3.6). З цієї кривої можна

отримати значення варіограми між атрибутом точки вибірки та атрибутом точки інтерполяції по сусідству, а множник Лагранжа μ_i і вагу λ_i можна отримати, замінивши значення варіограми на рівняння (3.5).

Зазвичай існуюча модель варіограми використовується для пристосування кривої варіограми методом найменших квадратів. Виходячи з цього, просторове розподілення, виражене інтерполяцією Кригінга, є рівним.

3.3. Принцип інтерполяції нейронної мережі ВР

Нейронна мережа ВР - це багат шарова нейронна мережа, що базується на основі алгоритму розповсюдження помилок. Численні дослідження показали, що тришарова нейронна мережа ВР з достатньою кількістю вузлів у прихованому шарі має можливість імітувати будь-яке складне нелінійне відображення [28].

Припустимо, є зразки P , кожен зразок має N вхідних компонентів та M вихідних компонентів для мережевого навчання. Обчислимо вихід вузла за допомогою функції рівняння (3.7):

$$u_i^k = f\left(\sum_{j=1}^{l_{k-1}} w_{i,j}^{k,k-1} u_j^{k-1} - \theta_i\right), \quad (3.7)$$

де u_i^k – вихід вузла; $w_{i,j}^{k,k-1}$ – вхідна вага; θ_i – поріг вузла; f – вихідна функція, яка зазвичай приймає вигляд сигмоїдної функції: $f(x)=1/(1+\exp(-x))$.

Обчислюємо вихідну помилку за допомогою цільової функції F :

$$F = \frac{1}{2} E\left[\sum_{p=1}^N \sum_{j=1}^M (y_{j,p} - o_{j,p})\right]^2, \quad (3.8)$$

де $o_{j,p}$ являє собою мережевий вихід, а $y_{j,p}$ являє собою бажаний вихід.

Коли F менше встановленої помилки ϵ , мережеве навчання закінчується. Інтерполяційну оцінку невідомих атрибутів точки можна виконати за допомогою навченої мережі. Хоча точність результатів, оцінених методом інтерполяції нейронної мережі, висока, просторову кореляційну структуру не можна гарантувати.

3.4. Алгоритм виявлення покриття мережі мобільного зв'язку 5G

Випадково розгорнуті розподілені датчики мають певну кількість сприйнятих сліпих зон. Технологія виявлення покриття мережі мобільного зв'язку 5G, запропонована в цій роботі, використовує алгоритм оптимізації гібридної інтерполяції для реалізації детектування покриття мережі для сприйнятої сліпої зони. Архітектура алгоритму показана на рис.3.1.

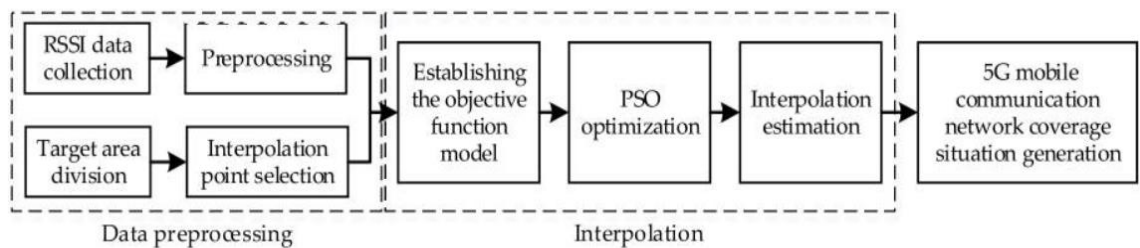


Рис. 3.1. – Архітектура технології виявлення покриття мобільної мережі 5G

Алгоритм складається в основному з трьох модулів: попередня обробка даних, оцінка гібридної інтерполяції та генерація ситуації покриття мобільної мережі 5G. Серед них попередня обробка даних в основному завершує збір та обробку даних та вибір цільових даних. Оцінка гібридної інтерполяції в основному завершує встановлення моделі об'єктивної функції, оптимізації потоку частинок та оцінки інтерполяції. Генерація ситуації покриття мережі мобільного зв'язку 5G поєднує попередньо отримані дані RSSI та результати оцінки інтерполяції для генерації рівних силових ліній сигналу, тоді виходить ситуація охоплення мережею цільової області 5G мобільної мережі зв'язку.

3.4.1. Попередня обробка даних

По-перше, для забезпечення точності зібраних даних необхідно відфільтрувати невеликі елементи ймовірності перешкод у вибірці. Оскільки значення RSSI декількох незалежних повторюваних придбань

підпорядковуюються розподілу Гаусса. Гауссова фільтрація може бути використана для фільтрації цих невеликих термінів втручання. Потім вибираються значення RSSI в діапазоні $f(x) \geq 0,6$ (емпіричне значення) у функції рівняння щільності ймовірності (3.9), а середнє значення отримується як вибіркoві дані, необхідні після попередньої обробки.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (3.9)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n (RSSI_m - \mu)^2, \quad (3.10)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n RSSI_m, \quad (3.11)$$

де $RSSI_m$ являє m -й результат придбання, n позначає кількість придбань, μ - середнє значення, а σ^2 - дисперсія.

Потім попередньо оброблені дані вибірки використовуються для поділу цільової області та вибору точок інтерполяції. Схема з'єднання Делоне ділить цільову область на кілька закритих трикутників, причому положення вузла датчика є вершиною сітки трикутника. У кожній сітці може бути обрана інтерполяційна точка.

3.5. Алгоритм оптимізації гібридної інтерполяції

Просторова кореляція вищезгаданої інтерполяції Кригінга є хорошою, але вираз занадто гладкий. Точність інтерполяції нейронної мережі висока, але просторова структура слабка. Для подолання недоліків двох методів цільова функція встановлюється наступним чином:

$$F = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_i - o_i}{\bar{y}} \right]^2 + \frac{1}{N(h_k)} \sum_{k=1}^{N(h_k)} \left[\frac{\gamma(h_k) - \gamma^*(h_k)}{\bar{\gamma}} \right]^2 \right\} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n \left[\max\left(\frac{o_i - o_{max}}{o_{max} - o_{min}}, 0\right) \right]^2 + \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n \left[\min\left(\frac{o_i - o_{min}}{o_{max} - o_{min}}, 0\right) \right]^2 \right\}, \quad (3.12)$$

де $\gamma(h_k)$ – являє собою значення варіограми даних вибірки; $\gamma^*(h_k)$ – являє собою значення варіограми, обчислене мережевим виходом; h_k – відстань поділу парних даткових вузлів групи k ; $N(h_k)$ - кількість точок усіх вузлів

датчика, розділених h_k ; \bar{y} і $\bar{\gamma}$ – середні значення y_i та $\gamma(h_k)$ відповідно; o_{\max} та o_{\min} - максимальні та мінімальні значення розрахункових значень відповідно; n_1 і n_2 - кількість вузлів, мережевий вихід яких більший, ніж o_{\max} та менший, ніж o_{\min} відповідно.

Як новий стандарт навчання, ця функція містить помилку варіограми та оцінене значення, що може ефективно покращити інтерполяційне вираження нейронної мережі.

3.5.1. Вдосконалений алгоритм оптимізації потоку частинок для нейронної мережі BP Neural Network

Хоча алгоритм розповсюдження помилок нейронної мережі BP має тенденцію до сходження до невеликої мережі, він, ймовірно, потрапить у локальний мінімум за умови навчання складних моделей розподілу даних. Оптимізація рою частинок має характеристики простого впровадження, високої ефективності та інтелекту. Ввівши цільову функцію нейронної мережі у функціональність фітнесу частинок, можна оптимізувати початковий коефіцієнт ваги. Однак стандартний алгоритм оптимізації рою частинок також може впасти в локальний оптимум. Для підвищення ефективності алгоритму нам потрібно вдосконалити стандартний алгоритм оптимізації рою частинок.

Принцип роботи стандартного алгоритму рій частинок полягає в наступному: в процесі роботи алгоритму частинка оновлює свою швидкість і положення відповідно до наступного рівняння:

$$\begin{cases} v_{id}(t+1) = \omega v(t) + c_1 r_1 (p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (p_{qd}(t) - x_{id}(t)) \\ x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \end{cases}, (3.13)$$

де v_{id} – компонент швидкості i -ї частинки; x_{id} – компонент d позиції i -ї частинки; p_{id} – оптимальна позиційна складова i -ї частинки; p_{qd} – оптимальна позиційна складова всіх частинок; c_1 і c_2 - коефіцієнти навчання, r_1 і r_2 - випадкові числа в $[0,1]$, а ω - коефіцієнт інерції. Для збалансування глобальних можливостей виявлення та локальних можливостей видобутку ω можна

динамічно регулювати під час пошуку. Eberhart запропоновано ω лінійну стратегію зменшення коригування у [29]:

$$\omega = \omega_{max} - (\omega_{max} - \omega_{min})t/T_f, \quad (3.14)$$

де ω_{max} та ω_{min} – початкові та згасаючі значення коефіцієнта інерції, відповідно, t – поточний час ітерації, а T_f – кількість кінцевих ітерацій. Ця стратегія певною мірою покращує продуктивність алгоритму, але в початковій ітерації ω легко стає занадто великим і викликає коливання, що призводить до низької ефективності пошуку алгоритму. При пізнішій ітерації ω легко стає занадто малим, що призводить до зниження точності пошуку.

Для вирішення цієї проблеми ми пропонуємо коефіцієнт мінливості σ , який поступово зменшується з кількістю ітерацій.

Конкретне рівняння таке:

$$\omega = \omega_{max} - (\omega_{max} - \omega_{min})t/T_f + \sigma \times randn, \quad (3.15)$$

$$\sigma = e^{(-t/T_f)}/2, \quad (3.16)$$

де $randn$ – випадкове число, що підпадає під розподіл Гаусса із середнім значенням 0 та дисперсією 1. У початковій ітерації ω з великим коефіцієнтом коливання покращує глобальне виявлення алгоритму; у пізнішій ітерації ω з меншим коефіцієнтом коливання посилює локальну експлуатаційну здатність алгоритму. Загалом, коли ω ослаблена від 0,9 до 0,4, алгоритм працює краще.

На рис. 3.2 – представлена схема діаграми, яка показує кроки оптимізації алгоритму ВР за допомогою вдосконаленого алгоритму оптимізації потоку частинок.

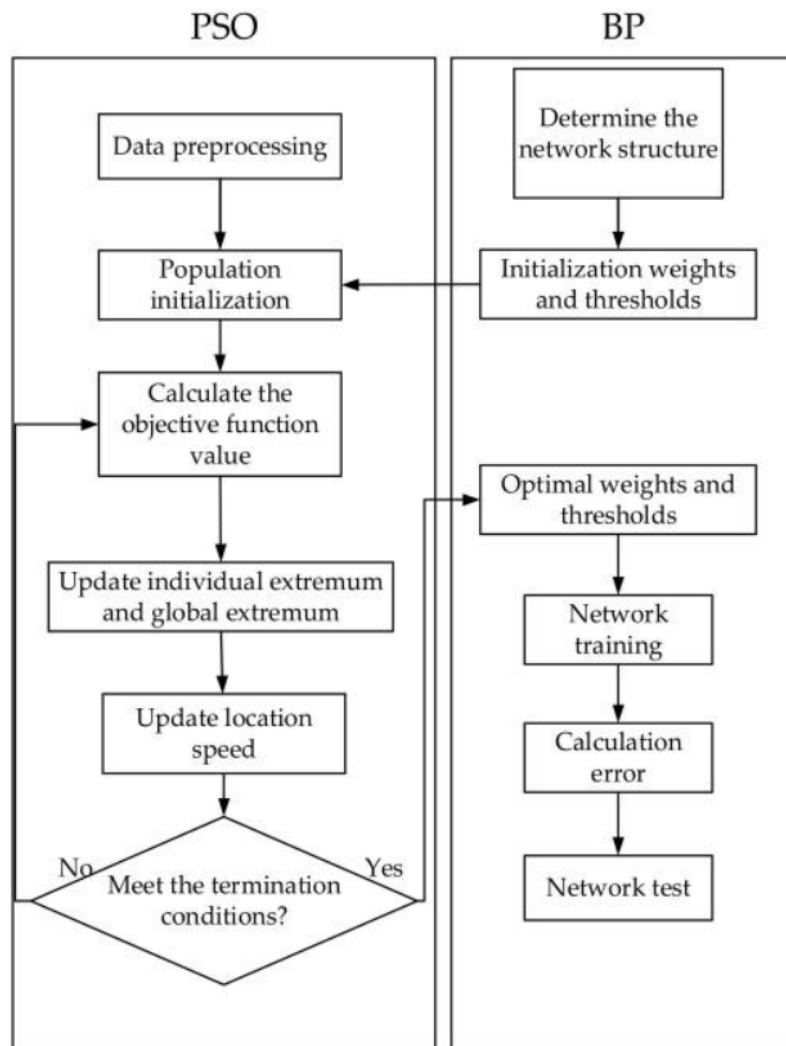


Рис. 3.2.– Блок-схема алгоритму PSO-BP

Конкретні кроки алгоритму такі:

1. Ініціалізація частинок;
2. Обчислити значення функції фітнесу;
3. Знайти оптимальні значення індивідів та груп;
4. Оновіть швидкість і положення частинок. Якщо задана максимальна кількість ітерацій буде досягнута заздалегідь в процесі оптимізації, вона зупиняється і виводить оптимальне рішення в цей час. В іншому випадку перейдіть до другого кроку і продовжуйте виконувати цикл;
5. Отримайте оптимальну вагу та поріг та призначте її до мережі BP;

6. Обчисліть похибку моделі мережі ВР. Якщо помилка не досягає цільового значення, продовжуйте оновлювати вагу та поріг мережі, поки умова не буде виконана.

3.5.2. Етапи алгоритму оптимізації гібридної інтерполяції

У порівнянні зі звичайною інтерполяцією Kriging та інтерполяцією нейронної мережі ВР, алгоритм інтерполяції PSO-BP-Kriging, запропонований у цій статті. Він має більш високу точність та надійність, і може ефективно подолати недоліки використання двох традиційних методів оцінки інтерполяції. Конкретні кроки алгоритму такі:

1. Обчисліть $\gamma(h)$, використовуючи зразки даних та виберіть відповідну модель для її відповідності;
2. Визначте структуру мережі. Включаючи фактори навчання, коефіцієнти навчання, цільові помилки та максимальну кількість ітерацій;
3. Обчислення варіограми $\gamma(h_k)$ у рівнянні (3.12) відповідно до відстані поділу h_k та відповідної $\gamma(h)$ різних пар вузлів датчика;
4. Використовуйте алгоритм PSO для визначення початкової ваги нейронної мережі;
5. Обчислити мережевий вихід відповідно до рівняння (3.7);
6. Оновіть наступну вагу ітерації відповідно до рівняння: $\Delta\omega_{i,j}^{k,k-1}(n+1) = \partial\Delta\omega_{i,j}^{k,k-1}(n) + \eta\delta_i^k\mu_j^{k-1}$, ∂ – коефіцієнт навчання, а η – коефіцієнт швидкості навчання);
7. Використовуйте похибку між мережевим виходом та зразком та $\gamma^*(h_k)$ для обчислення F з рівняння (3.12);
8. Якщо $F \leq \varepsilon$, то вага в цей час є останньою вагою мережі, в іншому випадку перейдіть до кроку (3.4);

9. Виберіть інші зразки для перевірки працездатності мережі. Якщо умови виконані, перейдіть до наступного кроку, інакше перейдіть до кроку (3.4);
10. Оцінка інтерполяції здійснюється за допомогою навченої мережі.

3.6. Ситуації в зоні покриття мобільної комунікаційної мережі 5G

Ситуація покриття мобільної мережі зв'язку 5G виходить за рахунок збору даних, синтезу даних, побудови ситуаційних графіків, підтримки карти та інших ключових технологій [30]. Оскільки робота зосереджена на збиранні даних, оцінці інтерполяції та генеруванні ситуації, то інші ключові технології тут не детально описані.

Комбінуючи оціночні дані точок інтерполяції в цільовій області з даними, зібраними датчиками, може бути представлена сила сигналу кожної позиції в зоні покриття сигналу і рівна лінія сили сигналу в зоні покриття сигналу 5G створюється мережа мобільного зв'язку. Відповідно до сформованої рівної лінії сили сигналу, може бути отримана ситуація покриття цільової області, яка більш інтуїтивно відображає ситуацію покриття реального сигналу в цільовій області.

3.7. Аналіз імітаційного експерименту

З метою перевірки працездатності запропонованої технології виявлення, в роботі моделюємо довкілля яке буде використовуватися як тестова мережа зв'язку 5G як приклад для проведення імітаційних експериментів. Фактичним середовищем для імітаційних експериментів було обрано тестову мережу 5G 400м×400м. У цьому районі є чотири базові станції зв'язку 5G, як показано на рис. 5а. Відповідно до основних даних, наданих тестером, охоплення сигналу отримують за допомогою моделювання ATOLL, як показано на рис.3.3.

Налаштування параметрів моделювання наведено в таблиці

1.1. Передбачається, що кількість базових станцій, розташування та покриття сигналу невідомі під час проведення експериментів з імітацією. Сорок два сенсорні вузли були розгорнуті за допомогою підходу випадкової доставки.

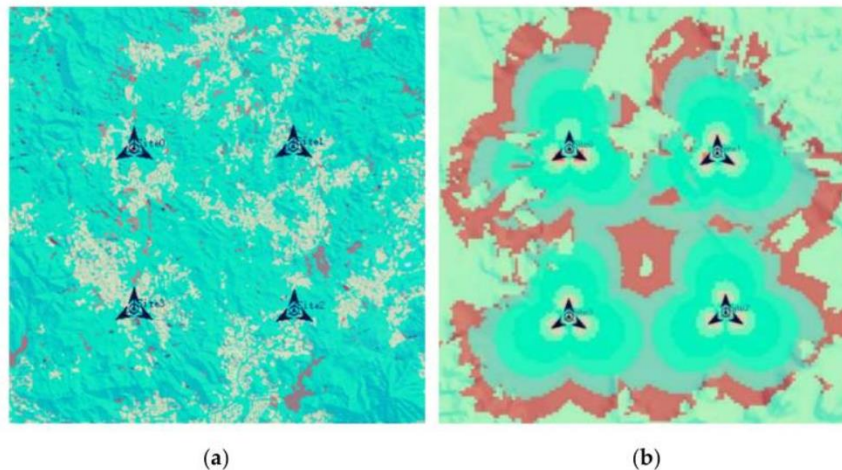


Рис. 3.3. – Імітаційне середовище

Таблица 1.1.

Налаштування параметрів моделювання

Параметри моделювання	Значення конфігурації
Розмір цільової площі	400м × 400м
Модель втрат шляху	Okumura-Nata
Стандартне відхилення затухання тіні	10 дБ
Частота несучої	3,4 ГГц
Мережева модель	Трьох секторна модель
Кількість користувачів у кожній комірці	100
Кількість вузлів датчиків	42

Для полегшення порівняльного аналізу точності інтерполяції 36 датчиків випадковим чином вибираються в якості точок відбору, а решта 6 використовуються як точки перевірки. У той же час, для перевірки працездатності запропонованого алгоритму, у цій роботі розроблено декілька моделей експериментів із трьох аспектів: аналіз ефективності прогнозованої

моделі, аналіз ефективності алгоритму інтерполяційної оптимізації та генерування ситуації в цільовому регіоні.

3.8. Прогнозний аналіз ефективності моделі

Зробимо прогнозне порівняння точності моделі. Як серцевина алгоритму, точність прогнозування моделі визначає точність результатів інтерполяції. Прогнозування значень RSSI здійснюється за допомогою моделі PSO-BP-Kriging, моделі BP-Kriging, звичайної моделі Kriging та моделі BP відповідно. Візьміть 36 пунктів вибірки, як зразки, випадковим чином відберіть 70% даних для навчального набору, а решту 30% - для тестового набору. Результати прогнозування показані на рис. 3.4.

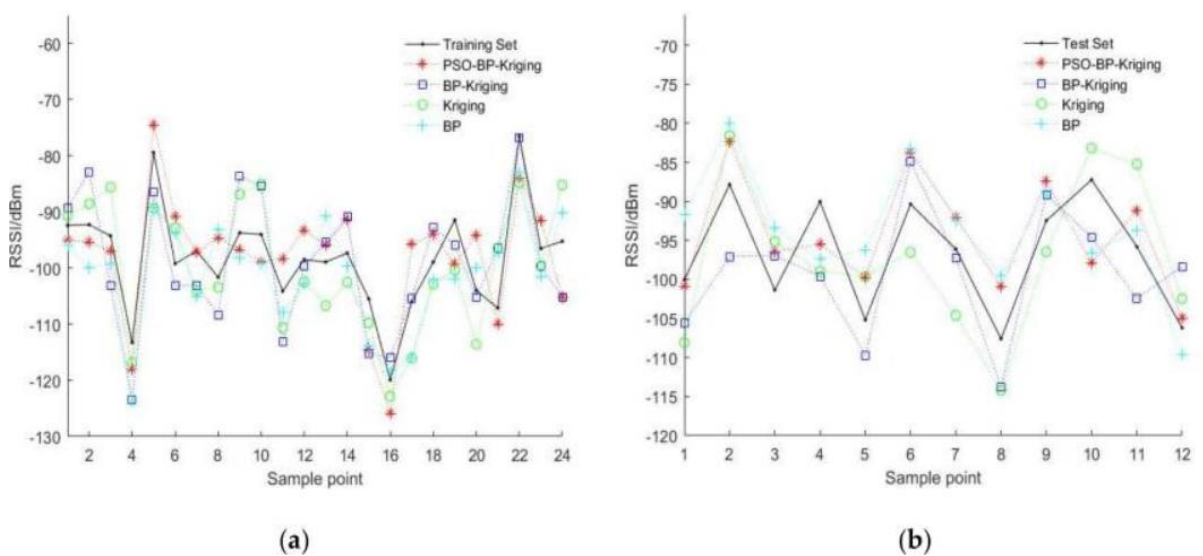


Рис. 3.4. – Результати прогнозування. (a) підбір прогнозування результатів навчання; (b) Результати прогнозування набору тестів.

Для того, щоб порівняти продуктивність алгоритму, середньоквадратична помилка кореня (RMSE) кожної моделі в навчальному наборі та тестовий набір обчислюється окремо. У навчальному наборі модель PSO-BP-Kriging - 6,178, модель BP-Kriging - 6,829, звичайна модель Kriging - 6,989, а модель BP - 6,866. У тестовому наборі модель PSO-BP-Kriging - 5,993, модель BP-Kriging - 6,513, звичайна модель Kriging - 6,925, а модель BP - 6,871. Для порівняння, модель

PSO-BP-Kriging має найнижчу RMSE та найвищу точність.

Для того, щоб зробити точніше прогнозування моделі більш переконливою, було проведено 5000 випадкових незалежних вилучень на 36 вузлах датчиків, обчислено середній RMSE та середній коефіцієнт визначення R^2 . Результати прогнозування кожної моделі представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Порівняння продуктивності різних моделей

Параметри продуктивності	PSO-BP-Kriging	BP-Kriging	Kriging	BP
RMSE	5.9756	6.5979	6.7193	6.6218
R^2	0.6541	0.6173	0.6054	0.5946

З таблиці 2 видно, що RMSE результатів прогнозування алгоритму в цій роботі нижче, ніж в інших моделях, і R^2 вище, тому точність прогнозування нашого алгоритму вище.

3.8.1. Аналіз придатності алгоритму

З метою перевірки застосовності алгоритму аналізується його надійність та складність. Спочатку проаналізуйте надійність алгоритму. Коли датчик-вузол розгортається в цільовій області протягом певного періоду часу, через різні причини, такі як споживання енергії вузлів, кількість ефективних сенсорних вузлів і кількість зібраних даних можуть бути зменшені, що неминуче вимагає від алгоритму бути міцним.

Тому, послідовно збільшуючи кількість невдалих датчиків, значення RSSI прогноуються вищевказаними чотирма алгоритмами, а прогнозовані результати порівнюються з вихідними даними для обчислення RMSE. Результати порівняння кожного алгоритму наведені на рисунку 3.5.

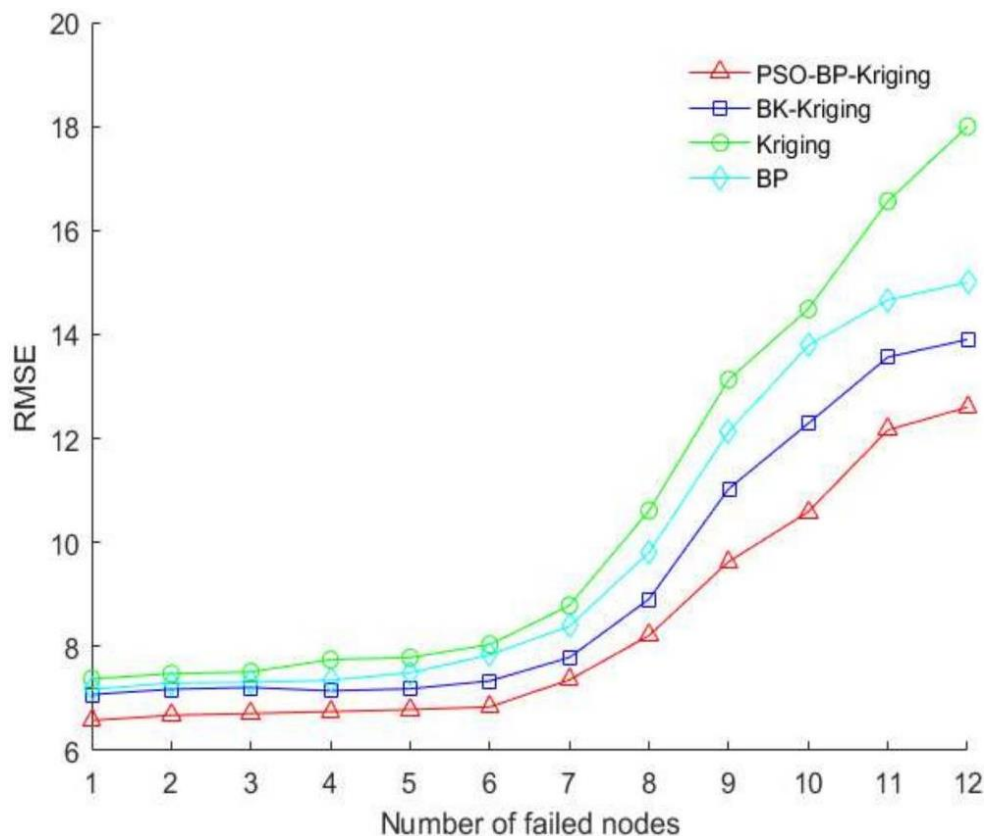


Рис. 3.5. - Зв'язок між RMSE та кількістю несправних вузлів у різних алгоритмах.

З рис. 3.5 видно, що коли кількість відмовних вузлів невелика, зміна RMSE кожного алгоритму є відносно стабільною, а алгоритм PSO-BP-Kriging – найнижчим. Коли кількість невдалих вузлів велика, RMSE кожного алгоритму збільшується, і, особливо, звичайний алгоритм Kriging має більш швидку тенденцію зростання. Отже, за допомогою наведеного порівняльного аналізу результат прогнозування алгоритму PSO-BP-Kriging є більш стабільним та надійним.

Проаналізуємо складність алгоритму. Запропонований у цій роботі гібридний метод інтерполяції в поєднанні з методом машинного навчання певною мірою збільшує часову складність обчислення. Однак при відновленні справжнього покриття певної області через більш високу точність прогнозування зазвичай потрібно менше даних датчиків вузла. Інші алгоритми можуть вимагати багаторазового внесення даних сенсорних вузлів, що, в свою чергу, збільшує обчислювальні витрати.

Підсумовуючи, алгоритм PSO-BP-Kriging має переваги у високій точності та гарній надійності. Зважаючи на три фактори точності прогнозування, надійності та складності обчислень, ми можемо використовувати алгоритм, для прогнозування, коли вузли датчиків мають певну можливість обробки даних.

3.8.2. Аналіз ефективності алгоритму оптимізації інтерполяції

Для того щоб перевірити точність алгоритму, ми беремо за приклад шість пунктів верифікації. Наведені вище чотири алгоритми використовуються для оцінки значень RSSI шести точок інтерполяції. Результат інтерполяції та фактичне значення показані на рис. 3.6.

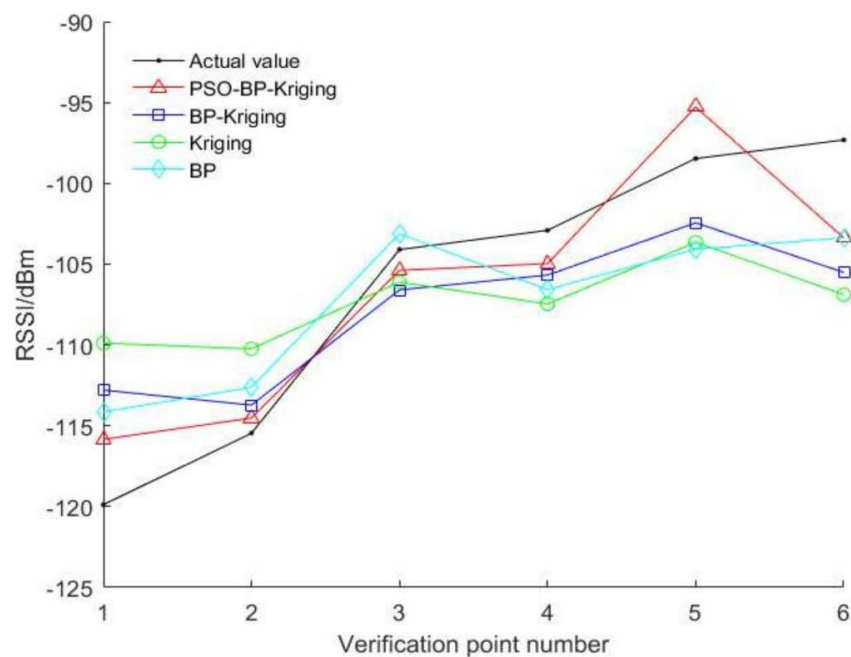


Рис. 3.6. – Порівняння алгоритмів інтерполяції

RMSE з чотирьох алгоритмів обчислюється окремо, де метод інтерполяції BP-Kriging становить 5.0006, звичайний метод інтерполяції Kriging - 6.7097, модель BP - 5.8327, а PSO-BP-Kriging - 3.4144. Не важко знайти, що RMSE нашого алгоритму мінімальний, тому точність інтерполяції найвища, а продуктивність – найкраща.

3.9. Генерування ситуацій із охопленням мережі 5G

Оцінка інтерполяції виконується за допомогою відповідних чотирьох алгоритмів відповідно, і ситуація покриття цільової області чотирма алгоритмами може бути сформована шляхом комбінування даних збору вузла датчика та даних оцінки точки інтерполяції, як показано на рисунку 3.7.

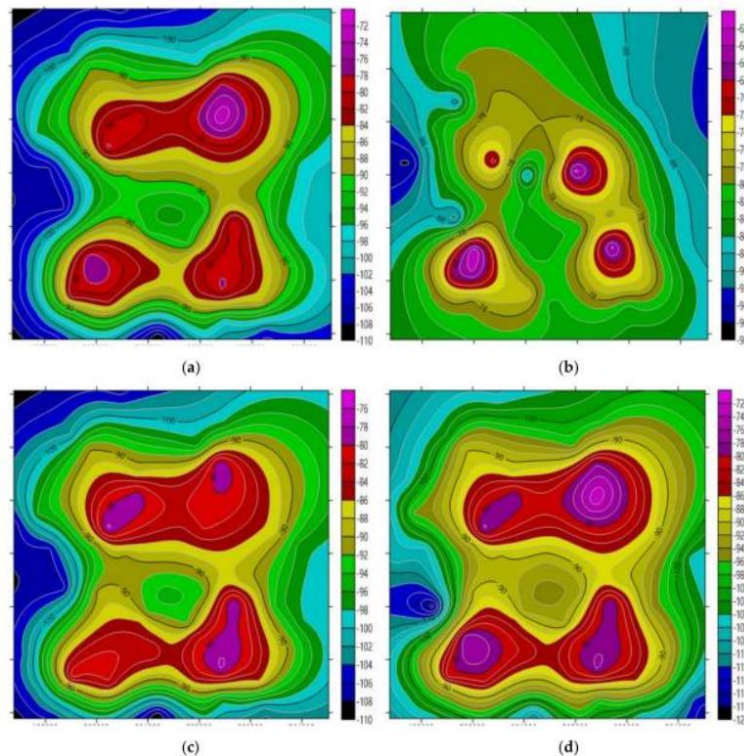


Рис. 3.7. – Покриття ситуації. (a) Kriging результатів інтерполяції; (b) результати інтерполяції BP; (c) результати інтерполяції BP-Kriging; (d) результати інтерполяції PSO-BP-Kriging.

При цьому 100 точок позиції випадковим чином вибираються з цільової області. Для забезпечення достовірності порівняння було обрано 5000 наборів експериментів для випадкового обчислення середнього RMSE результатів інтерполяції вищевказаних чотирьох алгоритмів у 100 точках позиції. Серед них середня RMSE звичайної інтерполяції Kriging - 21,2361, інтерполяція BP - 19,7344, інтерполяція BP-Kriging - 18,6917, а PSO-BP - Kriging - 15,3178. Після порівняння алгоритм, запропонований нами, має більш високу точність, і

отримана ситуація охоплення мережі найбільш близька до фактичної ситуації, що може краще відобразити реальне охоплення сигналу цільової області.

3.10. Аналіз достовірності алгоритму

Для перевірки практичності та ефективності алгоритму дев'ять точок позиції у фактичній тестовій мережі зв'язку 5G у питанні 5.1 випадковим чином вибираються як точки тестування, а значення RSSI визначаються традиційним методом дорожнього тестування. Крім того, значення оцінки інтерполяції дев'яти точок позиції дістаються з рівних силових ліній сигналу, сформованих алгоритмом у цій роботі. Результати випробувань двох методів наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Порівняння результатів випробувань двох методів (дБм).

Метод	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дорожній тест	-89.3	-82.8	-103.1	-113.1	-86.7	-108.3	-95.4	-90.8	-79.6
Інтерполяція	-87.9	-83.6	-105.1	-110.8	-89.3	-107.5	-93.1	-86.1	-81.5

З таблиці 3 видно, що в області, яку можна виявити традиційним методом випробування на дорозі, максимальне значення абсолютної похибки результату інтерполяції та результату дорожнього випробування становить 4,866, а середня абсолютна похибка лише 2,156. Тому ефективність алгоритму в цій роботі можна пояснити. Враховуючи, що в традиційному дорожньому тесті є недоступні області, алгоритм у цій роботі може виявити ширший діапазон і бути більш практичним.

Висновок до третього розділу

При дослідженні принципу роботи та технічних характеристик починаючи з мережі бездротових датчиків (WSN), у цій роботі пропонується

нова технологія виявлення покриття мережею мобільного зв'язку 5G, яка долає обмеження виявлення покриття звичайною мережею мобільного зв'язку, які забирають багато часу, трудомісткі та легко впливають на навколишнє середовище та рельєф. Завдяки вдосконаленому алгоритму гібридної інтерполяції реалізується генерація ситуації покриття цільової області 5G мережі мобільного зв'язку. Сформоване покриття мережі мобільного зв'язку 5G може інтуїтивно відображати охоплення цільової області і має певне опорне значення для вимірювання ефективності покриття 5G мереж мобільного зв'язку. В заключення, ефективність створеної ситуації з охопленням мережі перевіряється експериментами моделювання. У роботі алгоритм може генерувати ситуацію покриття мобільної мережі зв'язку 5G за наявності сприйнятої сліпої зони в WSN, а вимоги до вузлів бездротового сенсора низькі. Він може краще відповідати спеціальним вимогам оператора щодо покриття мережі мобільного зв'язку 5G в усіх напрямках, у будь-яку погоду, з хорошою повторюваністю тощо. Алгоритм є універсальним і може широко застосовуватися в телекомунікаціях, радіокомітетах та військових областях, де є великий попит на виявлення покриття бездротової мережі зв'язку.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі наведені результати, що відповідають меті дослідження, та в сумі є рішенням актуальної науково-практичної задачі – дослідження технічних аспектів побудови 5G.

В роботі, на підставі аналізу даних, отримані наступні результати:

Стільниковий зв'язок 5G, це технологія реалізація якої дозволить задовольнити цілий спектр потреб сучасного суспільства та компаній. Вимоги до стандарту, апаратне забезпечення та вимоги до безпеки, це ключові елементи розгляду впровадження технології 5G.

Є жорстка потреба у впровадженні технології 5G оскільки, витрати на пропуск зростаючого трафіку по мережах операторів зв'язку за станом на 2019 рік не покривається доходами від традиційних послуг. Основне зростання трафіку і доходів відбувається не в секторі пристроїв людей, а в секторі пристроїв інтернету речей, який є однією з базових цілей функціоналу 5G. Мережі 5G значно розширюють обмежений функціонал мобільних мереж попередніх поколінь. Мережі 5G здатні значно підвищити швидкість передачі даних через різні технології радіодоступу, і за допомогою залучення нових спектрів радіочастот. Цілий спектр різних сервісів інтернету речей буде доступний для вирішення. Мережа 5G, укупі з технологією інтернету речей, за допомогою промислових датчиків, а також за допомогою штучного інтелекту здатні істотно підвищити ступінь автоматизації виробництва. За рахунок мереж п'ятого покоління також можна буде поліпшити якість використання вже існуючих сервісів, де задіяні великі обсяги трафіку. Також можна буде використовувати на новому рівні додаток віртуальної і доповненої реальності. Нові сервіси з використанням 5G можуть бути реалізовані і в медицині. Низька затримка даних, яку здатні забезпечити мережі нового покоління, важлива і для розгортання розумних мереж електропостачань. У великих виробничих компаніях, у сфері з продажу, логістиці 5G дасть можливість використовувати більше промислових роботів, що виконують різні функції замість людей. Спектр

переваг над сучасними технологіями стільникового та інтернет зв'язку занадто великий. Мережа 5G забезпечує в 20 разів більшу швидкість в порівнянні з 4G.

Мережі п'ятого покоління будуть функціонувати на основі четвертого покоління. Розгляд алгоритмів побудови, архітектури та нова технологія виявлення покриття мережею мобільного зв'язку 5G, яка долає обмеження виявлення покриття звичайною мережею мобільного зв'язку дозволяє зробити висновок, що мережа 5G потребує лише затвердження схем та участі усіх операторів стільникового зв'язку для вирішення питання, від яких усі будуть у виграші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Paramanand Sharma and Sapana Shukla, "Comparative study of 1G, 2G,3G,AND 4G", Department of electronics and communication, RKGITW, ISSN No: 2319-5606
2. Gurinder Kaur and Komal Sharma, "Review paper on 5G technology" assistant professor of department of electronics and communication, rayatbahra university, ISSN NO: 2321-0613
3. Intelligence, G. (2014). Understanding 5G:Perspectives on future technological advancements inmobile. GSMA Intelligence.
4. D. Minoli, K. Sohraby, and B. Occhiogrosso, "IoT considerations, requirements, and architectures for smart buildings – energy optimization and next generation building management systems," IEEE Internet of Things Journal, vol. 4, no. 1, pp. 269–283, 2017.
5. Erik G. Larsson and Liesbet Van der Perre, "massive MIMO for 5G" IEEE 5G Tech Focus: Vol 1, Num 1, (March 2017)
6. Amy Nordum, Kristen Clark "5G bytes: beamforming Explained" IEEE spectrum staff, (Jul 2017)
7. Sandeep Singh and Mridul Chawla,"A eview on millimeter wave communication and effect on 5G system" Assistant professor of department of electronics & communication, chotu ram university science and technology, ISSN No: 2393-8021
8. Theodore S. Rappaport and Shu Sun, " Millimeter Waves Mobile Communication for 5G Cellular", Board of Governors of IEEE Vehicular Technology Society (VTS) (May 2013), INSPEC ISSN No: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2013.2260813
9. UzmaSiddique and HinaTabassum, " Wireless backhauling of 5G small cells" Department of Electrical and Computer Engineering, University of Manitoba (July 2015),ISSN No: 1536-1284 DOI: 10.1109/MWC.2015.7306534
10. Nurul H. Mahmood and Marta G. Sarret " Full duplex communication in 5G small cells" WCN section, Department of electronic system , Aalborg

University (Jul 2017), ISSN: 2376-656, DOI: 10.1109/WCMC.2017.7986534

11. X. Ge, L. Pan, Q. Li et al., "Multipath cooperative communications networks for augmented and virtual reality transmission," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 19, no. 10, pp. 2345–2358, 2017.

12. A. Asadi, W. Qing and V. Mancuso, "A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014.

13. A. Laya, L. Alonso, J. Alonso-Zarate and M. Dohler, "Green MTC, M2M, Internet of Things," Green Communications: Principles, Concepts and Practice, 2015

14. Y. Li, T. Wu, P. Hui, D. Jin and S. Chen, "Social-aware D2D communications: qualitative insights and quantitative analysis," IEEE Communications Magazine, 2014.

15. "Security architecture and procedures for 5G System," 3GPP TS 33.501, 2018

16. "Wireless Technology Evolution Towards 5G: 3GPP Release 13 to Release 15 and Beyond." 5G Americas, Feb. 2017.

17. "LTE to 5G: The Global Impact of Wireless Innovation." 5G Americas/Rysavy Research White Paper, Rysavy Research/5G Americas, Aug. 2018.

18. Бакулін М.Г., Крейнделін В.Б., Панкратов Д.Ю. Технології в системах радіозв'язку на шляху до 5G. 2018р.- 280с.

19. Вишне夫斯基 В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедія Wimax. Шлях до 5G. – М.: «Техносфера», 2016 р., 472 с.

20. "Next generation mobile networks," 5G WhitePaper, 2015.

21. R. Roy, J.S. Babu Simulation and performance analysis of free space optical systems using multiple TX/RX and polarized CO-OFDM techniques under atmospheric disturbances Int J Eng Res: Gen Sci, 3 (1) (2015), pp. 743-749

22. J. Ko, B. B. Lee, K. Lee, S. G. Hong, N. Kim and J. & Paek, "Sensor Virtualization Module: Virtualizing IoT Devices on Mobile Smartphones for Effective Sensor Data Management," International Journal of Distributed Sensor Networks, 2015.

23. Prados J., Ramos-Munoz J.J., Ameigeiras P., Andres-Maldonado P.

Modeling and dimensioning of a virtualized MME for 5G mobile networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2017;66:4383–4395. doi: 10.1109/TVT.2016.2608942.

24. 5GNOW 5th Generation: Non-Orthogonal Waveform of Asynchronous Signaling. [(accessed on 18 September 2015)];2015

25. Zuo J.B., Liu S., Xia H., Qiao Y.Y. Multi-Phase Fingerprint Map Based on Interpolation for Indoor Localization Using iBeacons. *IEEE Sens. J.* 2018;18:3351–3359. doi: 10.1109/JSEN.2018.2789431.

26. Yu C., Zhang J., Dong Y., Pan J. Realization on indoor position in gin basis of referencetag. *Int. J. Wavelets Multire solution Inf. Process.* 2014;12:1–10. doi: 10.1142/S0219691314610153.

27. Ko C.N., Chang Y.P., Wu C.J. A PSO method with nonlinear time-varying evolution for optimal design of harmonic filter. *IEEE Trans. Power Syst.* 2009;23:437–444. doi: 10.1109/TPWRS.2008.2004845.

28. Zhang L., Wang F.L., Sun T., Xu B. A constrained optimization method based on BP neural network. *Neural Comput. Appl.* 2018;29:413–421. doi: 10.1007/s00521-016-2455-9.

29. Shi Y., Eberhart R.C. A Modified Partical Swarm Optimizer. *IEEE World Congr. Comput. Intell.* 1998:69–73. doi: 10.1109/ICEC.1998.699146.

30. Zhou T. Harbin Engineering University; Harbin, China: 2013. Research on Several Key Techniques of Electromagnetic Situation Generation in Sea Battlefield [D].

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ