ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА МОБІЛЬНИХ ТА ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи побудови систем IoT з використанням технологій мобільних мереж п'ятого покоління»

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

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

_____ *Луцюк Іван Валерійович*
(підпис)

Виконав: здобувач(ка) вищої освіти гр. АРДМ-62
Іван ЛУЦЮК
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: Наталія РУДЕНКО
науковий ступінь, вчене звання (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент: Черевик
науковий ступінь, вчене звання (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Київ 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

Кафедра : Мобільні та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти: магістр

Спеціальність: 172 Електронні комунікації та радіотехніка

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
Наталія РУДЕНКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«____»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Луцюку Івану Валерійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи побудови систем IoT з використанням мобільних мереж п'ятого покоління»,
керівник кваліфікаційної роботи: к.т.н. доцент Руденко Наталія Вікторівна,

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «19 » жовтня 2023р. № 145

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «20»грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
1. Опис існуючих систем IoT та аналіз протоколів обміну даними, характеристики технологій 5G для IoT.
2. Розробка нових методів комунікації для IoT з використанням технологій 5G.
3. Тестування та порівняння з існуючими рішеннями, висновки та рекомендації для інтеграції розроблених методів в системи IoT.

1. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналіз Інтернет речей(IoT).
2. Аналіз мереж п'ятого покоління.
3. Методи побудови систем IoT.

2. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
3. Дата видачі завдання «15» жовтня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	25.10.2023	Виконано
2	Аналіз та ретроспектива проблемних аспектів в Інтернеті речей	01.11.2023	Виконано
3	Аналіз мереж п'ятого покоління	20.11.2023	Виконано
4	Застосування мереж п'ятого покоління для IoT	25.11.2023	Виконано
5	Розрахунок і моделювання мереж п'ятого покоління для IoT	28.11.2023	Виконано
6	Опис стартапу	30.11.2023	Виконано
7	Висновки, вступ, реферат	01.12.2023	Виконано
8	Презентація	18.12.2023	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ (підпис) Іван ЛУЦЮК (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ (підпис) Наталія РУДЕНКО (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 21 рис., 1 табл., 30 джерел.

Мета роботи – дослідження та розробка методів побудови систем Інтернету речей (IoT) з використанням технологій мобільних мереж п'ятого покоління (5G).

Об'єкт дослідження – системи Інтернету речей, зокрема їх архітектура, пристрої та засоби зв'язку. Дослідження охоплює аспекти функціонування та взаємодії компонентів систем IoT в умовах мобільних мереж 5G.

Предмет дослідження – методи побудови систем Інтернету речей, засновані на використанні технологій мобільних мереж 5G.

Короткий зміст роботи: вивчення та вдосконаленню методів побудови систем Інтернету речей через використання передових технологій мобільних мереж 5G. У роботі проводиться аналіз існуючих архітектур та протоколів для IoT, визначаються недоліки та можливості оптимізації. На основі результатів досліджень розробляються нові методи та рекомендації для ефективного впровадження систем IoT з використанням 5G-технологій. Результати роботи можуть бути використані для покращення комунікаційних аспектів та функціональності Інтернету речей в умовах сучасних мобільних мереж.I

КЛЮЧОВІ СЛОВА: IOT, 5G, АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖ IOT, МОБІЛЬНІ МЕРЕЖІ ТА ЇХ ТЕХНОЛОГІЇ, ОПТИМІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМАХ IOT, ПРОТОКОЛИ ОБМІНУ ДАНИМИ В IOT, ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМ IOT, ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ 5G В IOT, ВЗАЄМОДІЯ КОМПОНЕНТІВ IOT В УМОВАХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ.

ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining the master's degree: 70 pages, 21 figures, 1 table, 30 sources.

The purpose of the work is research and development of methods for building Internet of Things (IoT) systems using fifth generation (5G) mobile network technologies.

The object of research is Internet of Things systems, in particular their architecture, devices and means of communication. The study covers aspects of the functioning and interaction of IoT system components in the conditions of 5G mobile networks.

The subject of research is methods of building Internet of Things systems based on the use of 5G mobile network technologies.

Summary of the work: studying and improving the methods of building Internet of Things systems through the use of advanced technologies of 5G mobile networks. The work analyzes existing architectures and protocols for IoT, identifies shortcomings and opportunities for optimization. Based on research results, new methods and recommendations are being developed for the effective implementation of IoT systems using 5G technologies. The results of the work can be used to improve the communication aspects and functionality of the Internet of Things in the conditions of modern mobile networks.

KEY WORDS: IOT, 5G, IOT NETWORK ARCHITECTURE, MOBILE NETWORKS AND THEIR TECHNOLOGIES, OPTIMIZATION OF COMMUNICATION IN IOT SYSTEMS, DATA EXCHANGE PROTOCOLS IN IOT, INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF IOT SYSTEMS, USER EFFICIENCY NO 5G IN IOT, INTERACTION OF IOT COMPONENTS IN MOBILE CONDITIONS NETWORK

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

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

Направляється здобувач Луцюк І.В. до захисту кваліфікаційної роботи

за спеціальністю: Електронні комунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми: Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: «Методи побудови систем IoT з використанням мобільних мереж п'ятого покоління»

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

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

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Проведено аналіз обраної теми, вивчив відповідну літературу та здійснено практичні дослідження. У ході досліджень було виявлено, що основні поставлені завдання були успішно виконані. Результати отриманих даних свідчать про високий рівень професійної компетентності автора роботи. Вдало підібрана методика дослідження дозволила отримати достовірні результати, які служитимуть підставою для подальших досліджень у даній області.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача Луцюка Івана Валерійовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію: «Магістр з телекомунікацій і раліотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

«____»_____20___року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Луцюк І.В допускається дозахисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедрою _____ _____ Наталія РУДЕНКО
(назва) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Луцюка Івана Валерійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему «Методи побудови систем IoT з використанням технологій мобільних мереж п'ятого покоління»

Актуальність:

Системи IoT потребують надзвичайної ефективності, особливо в контексті великого обсягу даних, які збираються та обробляються цими системами. Технологія 5G може забезпечити високу пропускну здатність, необхідну для передачі великого обсягу даних в режимі реального часу, що особливо важливо для застосувань, таких як автономні автомобілі, медичні системи та інші.Тема є важливою і перспективною, оскільки об'єднує дві передові галузі технологій, спрямовані на вдосконалення ефективності та функціональності систем IoT в умовах сучасного цифрового світу.

Позитивні сторони.

1. Проведений аналіз використання перердових технологій IoT.
2. Розробка нових методів побудови систем IoT.
3. Реалізовані нові методи побудови систем IoT на базі мереж п'ятого покоління.

Недоліки.

1. Не досить розкрито питання безпеки в системах IoT.
2. Не представлено реалізацію методів в мережах п'ятого покоління.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної магістерської роботи.

Висновок: *кваліфікаційна магістерська робота заслуговує оцінку "відмінно", а здобувач Луцюк Іван заслуговує присвоєння кваліфікації «Магістр з телекомунікацій і раліотехніки».*

Рецензент: к.т.н., доцент каф. КІ _____ В.М. Черевик
науковий ступінь, вчене звання *підпис* *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*

ЗМІСТ

ВСТУП **10**
1. АНАЛІЗ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (IOT) **11**
1.1. Інтернет речей: його сутність та еволюція 11
1.2. Специфікації та різновиди IoT-пристроїв 16
1.3. Сучасні проблеми IoT 18
1.4. Сфери застосування IoT 27
1.5. Перспективи розвитку IoT 28
Висновки до розділу 1 31
2. АНАЛІЗ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ **32**
2.1. Загальна характеристика про технологію 5G 32
2.2. Стандарти та архітектура 5G 35
2.3. Безпека 5G 45
2.4. Інтеграція мереж 5G в існуючі мережі LTE 47
Висновки до розділу 2 50
3. МЕТОДИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ IOT **51**
3.1. Висока пропускна здатність та низька затримка 51
3.2. Масштабованість 55
3.3. Енергоефективність 56
3.4. Використання хмарних ресурсів 57
3.5. Керування якістю обслуговування (Quality of Service - QoS) 59
3.6. Використання мережевих функцій віртуалізації (Network Function Virtualization - NFV) 61
3.7. Безпека 63
Висновок до розділу 3 64
ВИСНОВКИ **66**
СПИСОК ПОСИЛАНЬ **67**
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ **70**

ВСТУП

Інтернет речей (IoT) - це концепція, що революціонізує наше розуміння та спілкування з оточуючим світом. За допомогою IoT, об'єкти, пристрої та системи оточують нас, здатні обмінюватися даними та взаємодіяти один з одним. Ця технологія має необмежені можливості, від покращення нашого повсякденного життя до трансформації промисловості та міст.

Однак для того, щоб IoT став дійсною реальністю, потрібні швидкі та надійні мережі. Мобільні мережі п'ятого покоління (5G) виступають як ключовий елемент, що надає IoT можливість блискучої ефективності та відкриває нові горизонти для застосування.

У даній роботі ми розглянемо методи побудови систем IoT з використанням технологій мобільних мереж п'ятого покоління. Ми проаналізуємо, як 5G революціонізує способи збору, передачі та обробки даних в мережах IoT. Вивчимо ключові переваги, які 5G пропонує для IoT-рішень, такі як низька затримка, висока пропускна спроможність та підтримка великої кількості одночасно підключених пристроїв. Далі, ми розглянемо практичні аспекти побудови систем IoT на базі 5G, включаючи вибір пристроїв, розробку програмного забезпечення та забезпечення безпеки цієї технологічної інфраструктури. Наша робота також зосередиться на визначенні потенційних викликів та обмежень, які можуть виникнути при розгортанні систем IoT на базі мобільних мереж 5G.

Для досягнення цілей нашої дослідження ми використаємо аналітичні методи, експериментальні випробування та вивчення вже наявних прикладів реалізації IoT на основі 5G. Важливо враховувати, що хоча ці технології відкривають нові можливості, вони також можуть породжувати нові виклики, пов'язані з безпекою, приватністю та стандартами взаємодії.

1. АНАЛІЗ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (IOT)

1.1. Інтернет речей: його сутність та еволюція

Інтернет речей, IP (англ. Internet of Things, IoT) — це концепція, за якої фізичні пристрої, оснащені датчиками, мікрочіпами, спеціальним програмним забезпеченням, унікальними ідентифікаторами (UID), можуть обмінюватися даними між собою та з комп'ютерними системами через Інтернет без людського втручання. Ця ідея виникла на основі розвитку персональних комп'ютерів (ПК) та локальних мереж (LAN), які дозволили з'єднувати цифрові машини між собою і передавати документи, дані та іншу інформацію в режимі реального часу. У 1999 році в Массачусетському Інституті технологій (MIT), групою дослідників під керівництвом Кевіна Ештона, був створений Auto-ID Center, як науково-дослідний проект, метою якого було створення глобальної системи відкритого стандарту для розміщення RFID всюди, а також створення нових технологій зондування. Вважається, що саме Кевін Ештон запропонував термін «Інтернет речей» (хоча він віддає перевагу словосполученню «Інтернет для речей»), щоб описати систему пов'язаних між собою фізичних об'єктів, що мають в конструкції датчики та під'єднані до мережі Інтернет [1] .

З року в рік кількість пристроїв, які мають доступ до Інтернету і можуть ним керувати, збільшується. Системи IP мають різні застосування, які вимагають різної специфіки роботи, але є спільні характеристики, які їх характеризують. IoT дозволяє більш тісно інтегрувати фізичний світ з комп'ютерними системами, що приносить користь у вигляді підвищення ефективності, економії та зменшення людського фактору. Інтелект. Незважаючи на те, що оточуючий інтелект і автономне керування не були частиною початкової ідеї Інтернету речей, а також не є необхідними для Інтернет-інфраструктури, дослідження в цій області змінюються. Існує багато технологій, які допомагають реалізувати IoT [2] .

У цій сфері важливою є технологія мережі (провідна або бездротова), яка

використовується для зв'язку між пристроями системи IoT (рис. 1.1).

Інтернет речей, IP (англ. Internet of Things, IoT) — це парадигма, за якої фізичні пристрої, обладнані датчиками, мікрочіпами, спеціальним програмним забезпеченням, унікальними ідентифікаторами (UID), можуть обмінюватися даними між собою та з комп'ютерними системами через Інтернет без людського втручання. Ця парадигма базується на розвитку персональних комп'ютерів (ПК) та локальних мереж (LAN), які дозволили з'єднувати цифрові машини між собою і передавати документи, дані та іншу інформацію в режимі реального часу. [17] У 1999 році в Массачусетському Інституті технологій (MIT), групою дослідників під керівництвом Кевіна Ештона, був створений Auto-ID Center, як науково-дослідний проект, метою якого було створення глобальної системи відкритого стандарту для розміщення RFID всюди, а також створення нових технологій зондування. Вважається, що саме Кевін Ештон запропонував термін «Інтернет речей» (хоча він віддає перевагу словосполученню «Інтернет для речей»), щоб описати систему пов'язаних між собою фізичних об'єктів, що мають в конструкції датчики та під'єднані до мережі Інтернет [3] .

«Розумна річ» - це фізичний об'єкт, який містить процесор, систему зберігання даних, давачі або сенсори та вбудовані мережеві технології. Він може бути будь-яким фізичним об'єктом, який має певну функцію, наприклад, годинником (Smart годинник), приладом для вимірювання тиску, автомобілем і т.пп. Він також може взаємодіяти з користувачами та оточенням або іншими пристроями за допомогою мережі. Це пов'язано з поняттям «розумні середовища». Це означає, що фізичний простір, де розташовані «розумні об'єкти», стає розумним, наприклад, закритий простір (автомобіль, будинок, кімната) або ціле місто. Основна ідея IoT полягає в тому, що різні фізичні об'єкти («розумні речі»), які мають вбудовані давачі або сенсори, можуть підключатися до мережі та обмінюватися інформацією з навколишнього середовища, обробляти її, та виконувати різні дії в залежності від типу отриманих даних та власного призначення [4].

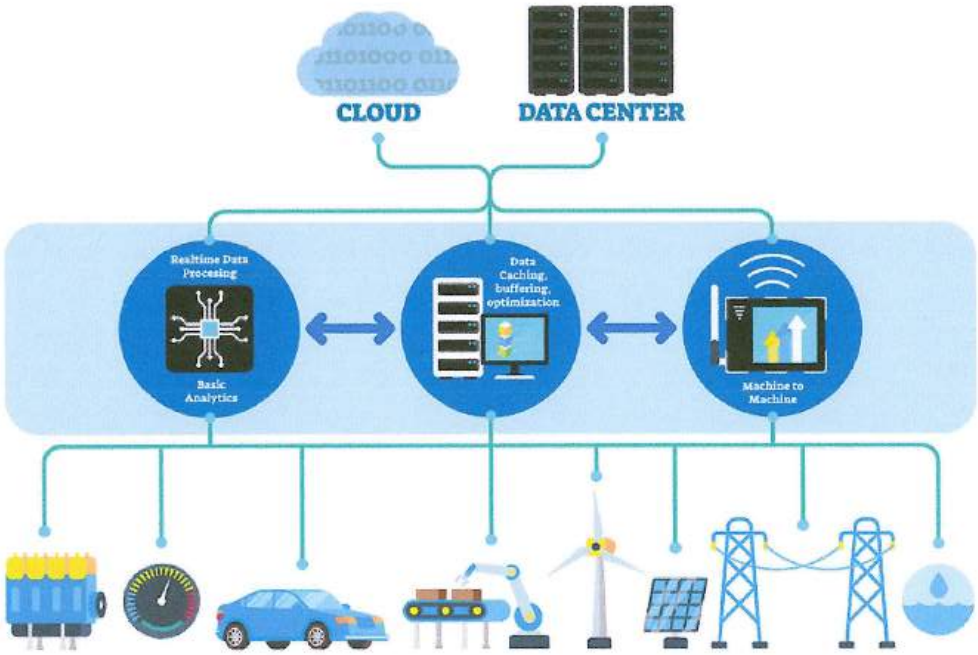


Рисунок 1.1 Концепція IoT

«Розумна річ» - це фізичний об'єкт, який містить процесор, систему зберігання даних, давачі або сенсори та вбудовані мережеві технології. Він може бути будь-яким фізичним об'єктом, який має певну функцію, наприклад, годинником (Smart годинник), приладом для вимірювання тиску, автомобілем і т.п. Він також може взаємодіяти з користувачами та оточенням або іншими пристроями за допомогою мережі. Це пов'язано з поняттям «розумні середовища». Це означає, що фізичний простір, де розташовані «розумні об'єкти», стає розумним, наприклад, закритий простір (автомобіль, будинок, кімната) або ціле місто. Основна ідея IoT полягає в тому, що різні фізичні об'єкти («розумні речі»), які мають вбудовані давачі або сенсори, можуть підключатися до мережі та обмінюватися інформацією з навколишнього середовища, обробляти її, та виконувати різні дії в залежності від типу отриманих даних та власного призначення [4].

З 1999 року IoT став не тільки засобом зв'язку між людиною та машиною, але й між машиною та машиною (M2M) та додатків, які застосовуються у виробництві та комунальних послугах (наприклад, газ та електрика). IoT та так званий

Індустріальний Інтернет дозволяють підвищити рівень автоматизації, гнучкості та ефективності у виробничих процесах, які вже використовують автоматизацію. Приклади включають нові інструменти, які допомагають віддалене та прогнозоване обслуговування, що знижує витрати та підвищує конкурентоздатність. Ці тенденції впливають на прогнози щодо масштабів впровадження IoT: очікується, що від 15 мільярдів до 50 мільярдів пов'язаних речей у 2020 році, які охоплюють всі сектори. Подальші прогнози щодо нових послуг, пов'язаних з IoT, дозволяють припустити, що потенційний дохід у багато разів більший, ніж ті, що отримуються від апаратного забезпечення та мережевого забезпечення [5]. У лютому 2018 року IoT Analytics склав рейтинг 10 кращих сегментів IoT, базуючись на зборі та класифікації проектів IoT. Три найкращі рейтингові сегменти належать до сфери застосування Industrial IoT (IIoT). Smart city зайняв перше місце, піднявшись з другого місця в рейтингу 2016 року (рис. 1.2). Деякі з найпопулярніших його програм — це розумний трафік, комунальні послуги, освітлення, моніторинг навколишнього середовища та громадська безпека. Друге місце в списку — підключена галузь. Найпопулярніші додатки — це моніторинг обладнання та дистанційне керування підключеними машинами, такими як крани, навантажувачі або навіть цілі шахти та нафтові родовища. Пов'язані будівлі стали найбільшим збільшенням сегменту з 2016 року. Більшість додатків передбачають автоматизацію споруд, що допомагає зменшити витрати на енергоносії [6].

«Річ» - це будь-який об'єкт, природний або штучний, стаціонарний або рухомий, який може передавати дані через мережу. Приклади включають управління автопарком і доставку, де «розумні рішення» дозволяють логістичній компанії слідкувати за положенням, швидкістю, вантажем та зберіганням. Інший приклад — моніторинг спалаху. Бездротові акустичні передавачі регулюють клапани, що керують потоками газу до спалахуючих резервуарів на нафтопереробних заводах, щоб покращити дотримання нормативів та зменшити втрати вуглеводнів шляхом своєчасного виявлення та усунення несправних клапанів

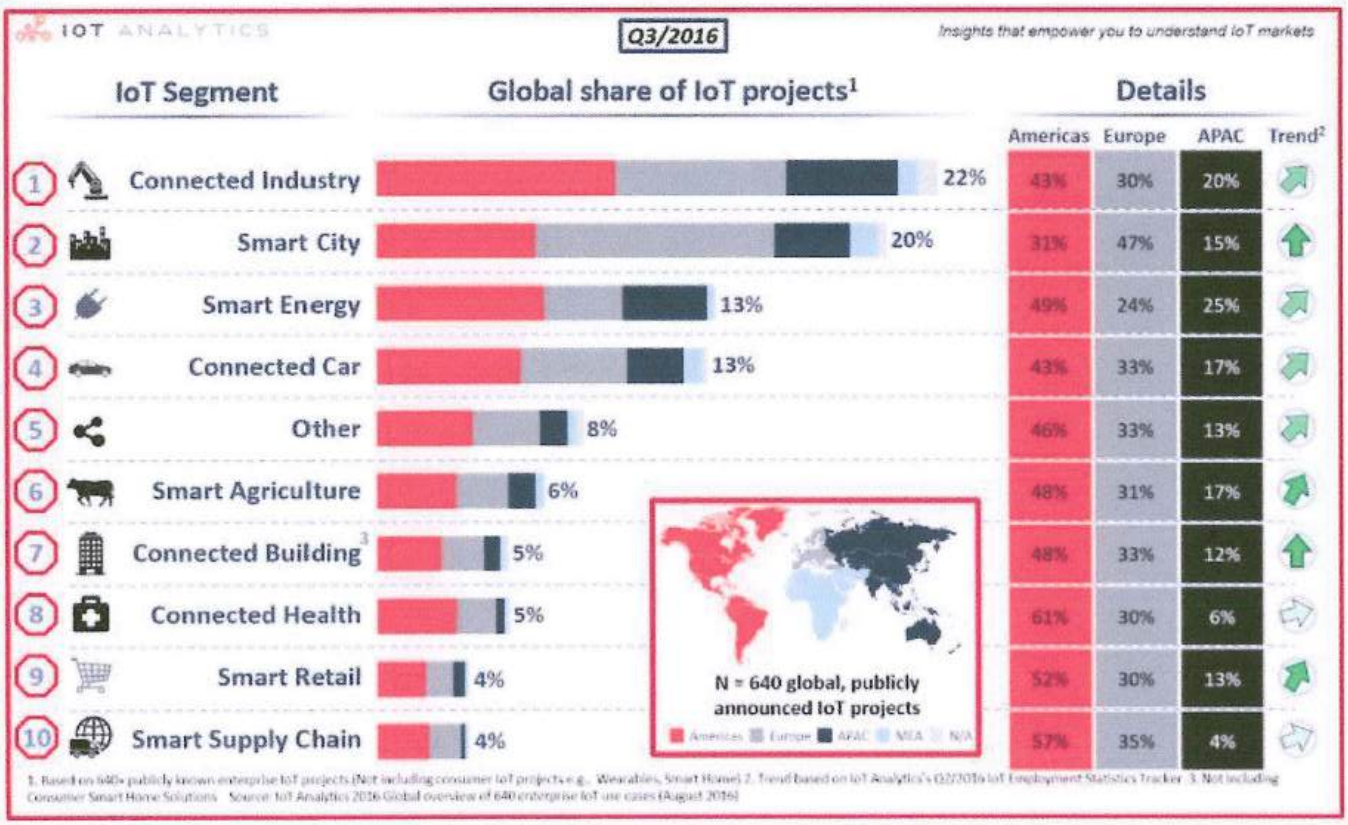


Рисунок 1.2 Найуспішніші сегменти Інтернету речей у 2018 році за результатами IoT Analytics

M2M система зв'язку типу машина-машина - це система, яка дозволяє пристроям передавати дані та команди без людського втручання. Вона використовує спеціальні апаратні модулі та протоколи для зв'язку між пристроями, які потребують моніторингу та керування. Наприклад, логістична компанія може відстежувати свої автомобілі та вантажі, а нафтопереробний завод може контролювати клапани, що регулюють потоки газу [7]. IoT включає ті ж пристрої, машини, що і M2M, але також дуже малі (малопотужні), особисті та дешеві пристрої, з дуже обмеженою функціональністю, які, можливо, не зможуть виправдати спеціальний апаратний модуль M2M. Відмінність між IoT та M2M полягає в тому, що IoT використовує мережу на базі IP та загальні/відкриті протоколи для передачі даних з пристроїв до хмари або проміжного програмного забезпечення, щоб забезпечити максимальну сумісність, а також особливу сумісність між самими приладами [13].

M2M система зв'язку типу машина-машина - це система, яка дозволяє пристроям взаємодіяти та керувати один одним без людського втручання. Вона

використовує спеціальні апаратні модулі та протоколи для зв'язку між пристроями, які потребують моніторингу та управління. Можна сказати, що M2M система зв'язку є технічною інфраструктурою, а IoT є більшою та складнішою системою. Важливість IoT полягає в тому, що він покращує якість життя середнього користувача. IoT створений для людей і використовується людьми з багатьох причин, таких як поліпшення здоров'я, бізнес-інновації та особисті спостереження за здоров'ям [8].

1.2. Специфікації та різновиди IoT-пристроїв

Постійне зниження цін на датчики та чіпи, а також поширення варіантів підключення за останні 15 років сприяли швидкому зростанню IoT.

Глобальний дефіцит чіпів, починаючи з 2020 року, дещо сповільнив цей прогрес, але кількість підключених пристроїв продовжуватиме зростати швидкими темпами, якщо дивитися на дальні горизонти.

IoT Analytics, постачальник аналітичних аналізів ринку для IoT, спостерігав перехід від 3,6 мільярдів пристроїв IoT у 2015 році до 11,3 мільярдів у 2020 році. З нетерпінням чекаючи на 2025 рік, вони прогнозують величезний стрибок до 27 мільярдів пристроїв IoT у всьому світі (рис.1.3).

Що стосується апаратного забезпечення, пристрої IoT зазвичай містять модем, антену, мікроконтролер (MCU), SIM-карту IoT (якщо стільниковий), акумулятор або перетворювач живлення, якийсь датчик і корпус для розміщення компонентів.

Що стосується програмного забезпечення, пристрої IoT повинні бути не тільки розумними, тобто мати можливість обробляти певну інформацію, але їм також потрібен доступ до Інтернету. Таке підключення до Інтернету можна встановити, наприклад, через фізичну локальну мережу (LAN), WiFi, Bluetooth, супутникове або стільникове з'єднання.

Зазвичай головний пристрій IoT є датчик. Ви хочете зменшити використання води? Тоді датчик, який може контролювати потік води, є критично важливою частиною того, як ваш пристрій IoT буде створювати цінність.

Деякі поширені типи датчиків включають:

1. Датчики температури (наприклад, моніторинг холодильних пристроїв)
2. Розташування (наприклад, GPS-відстеження активів)
3. Вібрація (наприклад, прогнозне обслуговування вітрових турбін)
4. Газ (наприклад, моніторинг витоків)
5. Вологість (наприклад, контроль якості їжі)
6. Тиск (наприклад, контроль рівня в баку)
7. Рівень (наприклад, вимірювання рівня контейнера для побутових відходів)
8. Акселерометр (наприклад, контроль цілісності під час транспортування)

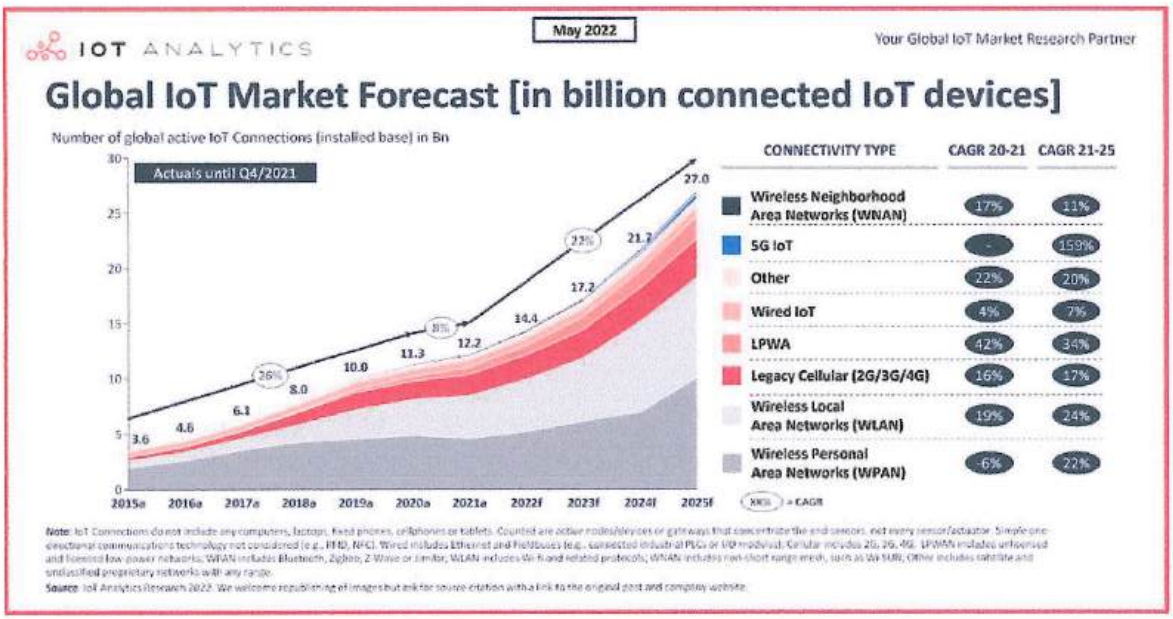


Рисунок 1.3 Ринок IoT пристроїв

Передача даних в Інтернет після їх захоплення є критичною. Вам потрібно буде вирішити, чи підходить ваш варіант використання, наприклад, для супутникове, стільникове або Wi-Fi підключення. У випадку стільникового зв'язку чи модем має підтримувати підключення до 2G, 3G, LTE Cat 1 bis, LTE-M або NB-IoT.

У сфері стільникового зв'язку дводіапазонні модеми майже завжди є хорошим рішенням. Це дає вам можливість вибрати оптимальну мережеву технологію для

розташування ваших пристроїв, а також резервний варіант підключення у разі проблем з одним із діапазонів.

Форма пристрою також має важливе значення. Це стосується форми та матеріалів, використаних для розміщення пристрою. Наприклад, транспортні засоби можуть перевозити важкі пристрої та є відносно просторими, але створення пристроїв для людей і тварин обмежить розмір, форму та вагу вашого пристрою. Вам також знадобляться рішення щодо надійності, наприклад, чи потрібно вашому пристрою витримувати кілька ударів і як розташувати антену.

1.3. Сучасні проблеми IoT

Незважаючи на активний зріст у сфері "Інтернету речей", світ, схоже, все ще не готовий до повного розуміння всіх переваг цієї концепції. Потенційні інвестори стикаються зі складнощами, такими як нестача фахівців, обмежені інвестиційні можливості та дефіцит знань. "Інтернет речей" не лише абстрактна ідея; вона базується на конкретних компонентах і технологіях. Давайте розглянемо основні з них для кращого розуміння. В першу чергу, це сенсори і датчики - це кінцеві пристрої "Інтернету речей", які збирають різні дані. Друга група - актуатори, також кінцеві пристрої, але вони вже можуть впливати на оточуюче середовище, наприклад, управляти освітленням, електронними замками, динаміками (рис. 1.3).

Мережі четвертого покоління працюють майже у всіх частотних діапазонах і це дозволяє економити чималі кошти. Зазначені компоненти приєднуються до шлюзів, які є спеціалізованими мікрокомп'ютерами, здатними виконувати початковий аналіз інформації, отриманої від датчиків, або видачу специфічних команд актуаторам. У великих масштабах системи, ці шлюзи підключаються до повноцінних серверів, які беруть на себе більш складну обробку і зберігання накопичених даних. При цьому ці сервери можуть об'єднуватися в мережу або використовуватися для створення хмарового рішення. Для забезпечення зв'язку між датчиками/актуаторами та шлюзами використовуються спеціалізовані енергоефективні технології передачі даних, такі як LoRa або ZigBee (рис. 1.4). З іншого боку, шлюзи взаємодіють з серверами за

допомогою стандартних мереж Ethernet або Wi-Fi [9].

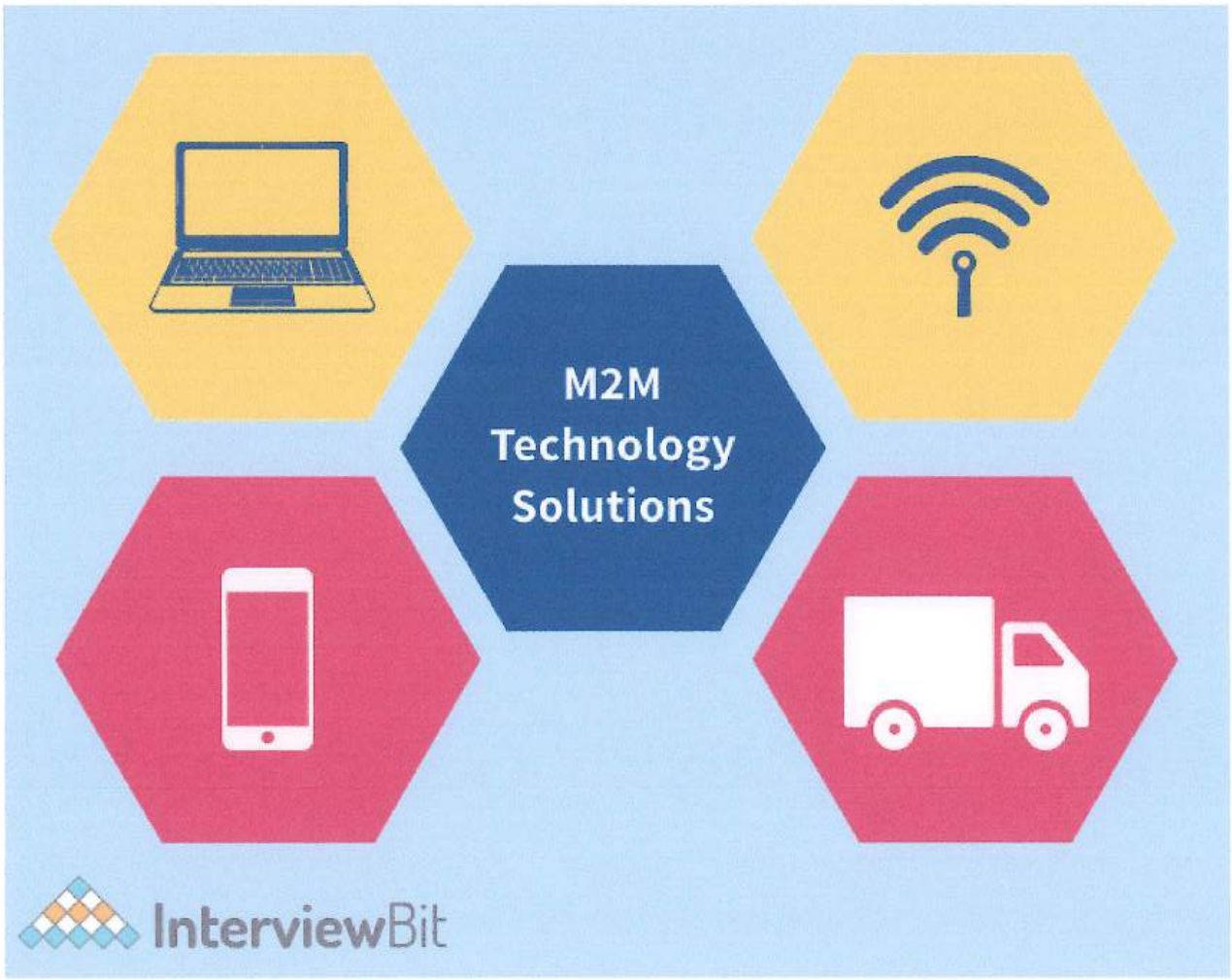


Рисунок 1.4 Технологія M2M

Коли початково розглядали тему "Інтернету речей", швидко стало очевидним, що існують два основних напрямки розвитку: "важкі" корпоративні рішення і рішення для кінцевих користувачів. Прикладом першого є промисловий Інтернет речей (IIoT), а другий об'єднує різноманітні споживчі електронні пристрої та "розумний дім". Початково ці напрямки здавалися незалежними, кожен з них мав свій власний ринок для корпорацій і кінцевих користувачів.

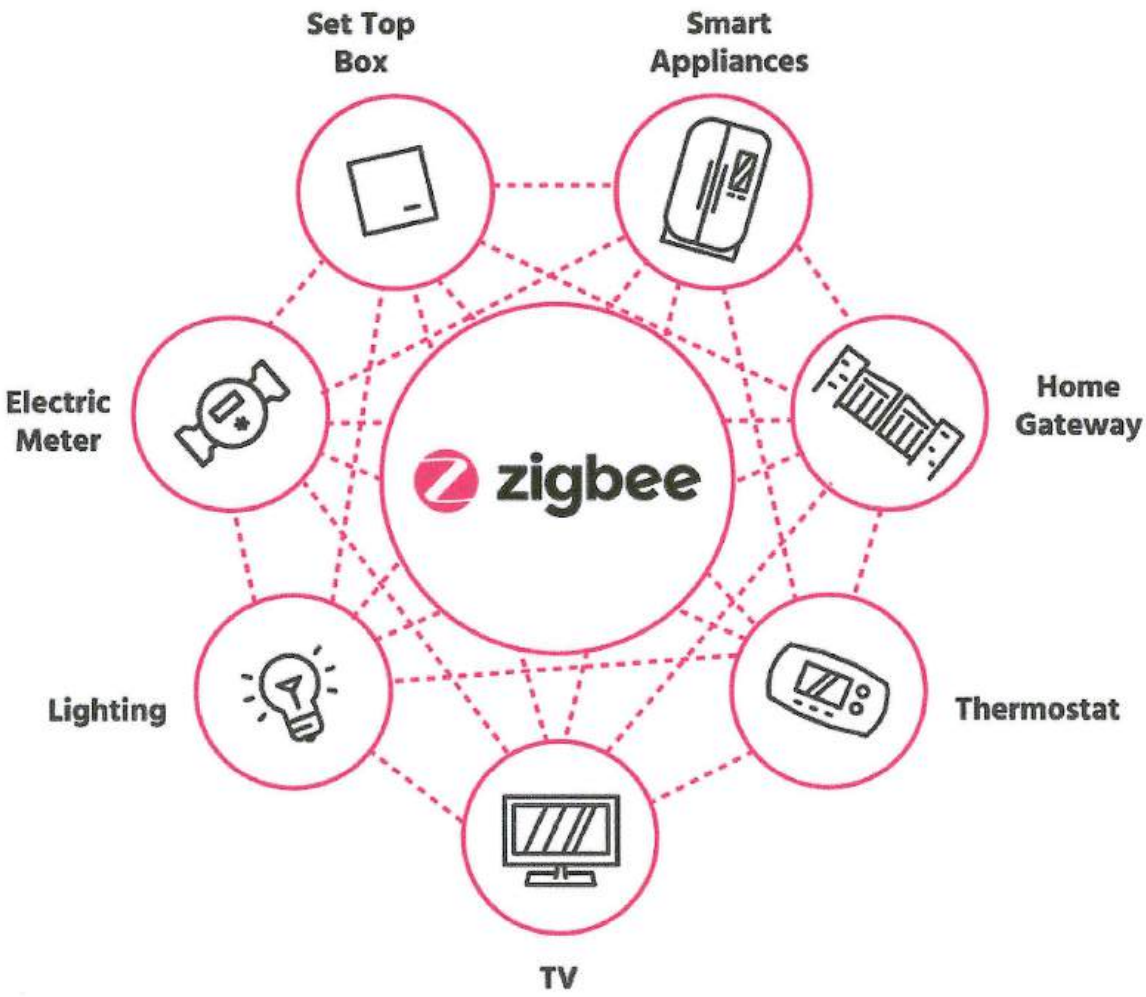


Рисунок 1.5 Будова ZigBee

Але зараз стає все більш очевидним, що головним вигодо набувачем є корпорації, особливо великі. Однією з ключових особливостей систем Інтернету речей є можливість збирати і аналізувати детальну інформацію, що вельми ціно для багатьох компаній. У сучасному конкурентному світі бізнесу той, хто краще розуміє свого клієнта і враховує найдрібніші нюанси, має перевагу. Інтернет речей надає можливість отримати цю інформацію, збираючи дані від мільярдів користувацьких пристроїв, таких як смартфони, годинники, побутова техніка, датчики розумного будинку і так далі. Кінцеві користувачі також отримують перевагу у вигляді додаткових сервісів та зручностей, які надає "розумна" електроніка, але фінансова вигода завжди

залишається у компаній [10]. Проте, навіть якщо компанії вміють збирати дані та використовувати їх на свою користь, це не гарантує, що їх проекти Інтернету речей будуть завжди успішними. Інтернет речей - це класичний приклад концепції, яка випередила свій час. Хоча є багато підходів, ідей і розробок, відсутні універсальна інфраструктура передачі даних і єдині стандарти. Існують десятки галузевих варіантів втілення Інтернету речей. Основну масу пристроїв Інтернету речей, ймовірно, повинні підтримувати мережі мобільного зв'язку, які охоплюють більшу частину населення Землі. Але існує проблема: існуючі технології 3G і навіть 4G не завжди підходять для масового впровадження Інтернету речей, оскільки швидкість передачі даних повинна бути вищою, а затримки меншою. Наприклад, в США нормальною затримкою в мережах LTE для людей вважається 50 мілісекунд, що досить для їхнього сприйняття, але для міжмашинних інтерфейсів, які використовуються пристроями Інтернету речей, бажано, щоб затримка була набагато менше, в межах кількох мілісекунд.

Інтернет речей взаємодіє з фізичними подіями, такими як рух, зміни температури, тиск або виконання дії, як, наприклад, замикання замка. У відміну від багатьох інших IT-пристроїв, IoT пов'язаний з реальними фізичними явищами та подіями. Один лише датчик може генерувати значну кількість даних, як, наприклад, акустичний датчик, який використовується для моніторингу обладнання. В інших випадках, навіть один біт інформації може передати важливі дані про стан пацієнта. Іншими словами, системи датчиків розвиваються відповідно до закону Мура, і можна виокремити різні класи цих систем. Закон Мура передбачає подвоєння кількості транзисторів на мікросхемах кожні два роки з 1965 року (рис. 1.5). У контексті росту Інтернету речей застосовуються принципи закону Мура, який передбачає подвоєння кількості транзисторів на мікросхемах кожні два роки. Це призвело до того, що пристрої стають меншими, потужнішими та доступнішими. Наприклад, акустичні датчики, використовувані для моніторингу обладнання, можуть генерувати значну кількість даних, що дозволяє здійснювати точний моніторинг та аналіз .

Однак, незважаючи на ефективність ARM-чіпів та загальний розвиток технологій, важливо враховувати, що масове впровадження мільярдів пристроїв в Інтернет речей призводить до великого споживання енергії. Навіть з енергоефективними

ARM-чіпами, системи датчиків та інші пристрої вимагають значної кількості енергії для постійної роботи.

Таким чином, обговорюючи Інтернет речей, важливо враховувати не лише технологічний прогрес, але й питання енергоефективності та управління енергією, оскільки це стає ключовим фактором в масштабному впровадженні IoT [11].

Графік показав, що нові моделі випускалися приблизно через 18-24 місяці після попередніх, і їх ємність зростала майже вдвічі. Інтернет речей відомий також тим, що його пристрої стають все меншими і дешевшими. Таким чином, передбачається, що мільярди пристроїв будуть підключені до Інтернету речей, і ці прогнози можуть збутися у майбутньому. Тому обговорюючи IoT, слід розглядати як мікроелектромеханічні системи, датчики і інші недорогі пристрої, так і силові та енергетичні системи, які необхідні для живлення цих пристроїв. Неправильно було б вважати, що граничні пристрої можуть працювати постійно без великого споживання енергії Мільярди малих датчиків все одно потребують значної кількості енергії.

Інтернет речей (IoT) взаємодіє з реальними фізичними явищами, включаючи рух, зміни температури, тиск та виконання конкретних дій, таких як замикання замка. У відміну від багатьох інших IT-пристроїв, IoT пов'язаний із конкретними фізичними подіями. Навіть один датчик може генерувати величезний потік даних, наприклад, акустичний датчик для моніторингу обладнання. У деяких випадках навіть один біт інформації може передати важливі дані про стан пацієнта.

Незважаючи на ефективність ARM-чіпів та загальний технологічний прогрес, масове впровадження мільярдів пристроїв IoT викликає значне споживання енергії. Навіть з енергоефективними ARM-чіпами, системи датчиків та інші пристрої потребують великої кількості енергії для стабільної роботи.

Прогнозуючи майбутнє, можна очікувати подальший розвиток IoT та зростання кількості підключених пристроїв. З цим ростом важливо враховувати не лише технологічний прогрес, але й енергоефективність та управління енергією, оскільки це стає ключовим фактором у масштабному впровадженні IoT.

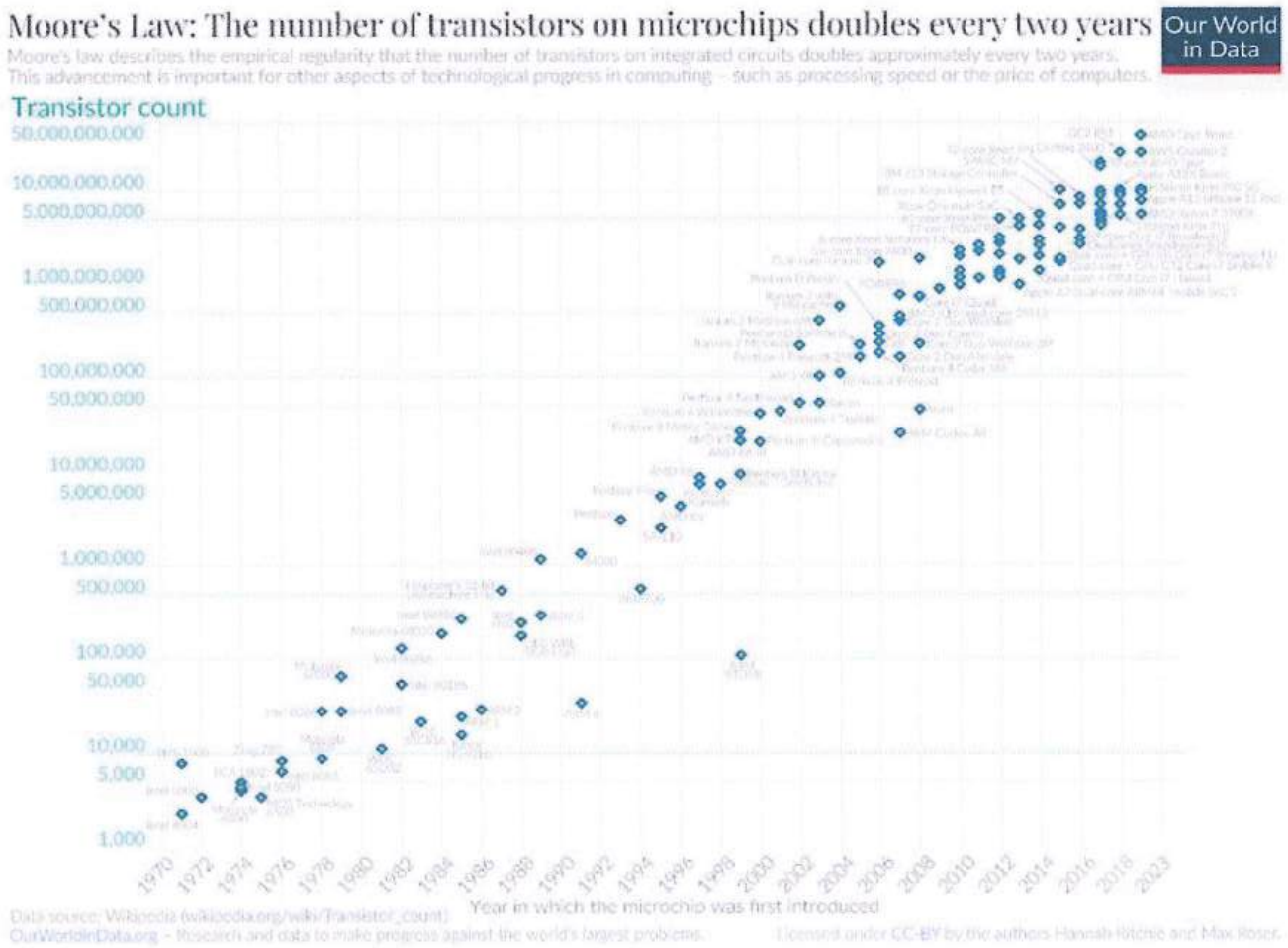


Рисунок 1.6 Закон Мура

За останні роки зросла кількість пристроїв, що підключаються до мережі, і це створює загрозу створення ботнетів для розподілених атак зловмисників. Розподілені атаки стають популярними серед зловмисників, оскільки вони ускладнюють виявлення джерела атаки і полегшують можливість завдання шкоди пристроям і додаткам .

Один із методів таких атак використовує Simple Network Management Protocol (SNMP) для захоплення незахищених мережевих пристроїв, таких як датчики, камери, принтери та роутери, і використовує їх як ботів для атак на інші пристрої (рис 1.6). Це збільшує кількість потенційно уразливих пристроїв і підвищує ризик атак на віддалені пристрої, які зазвичай не мають належного захисту [12].

Для захисту від таких атак важливо ідентифікувати всі пристрої, що можуть бути доступні через мережу і вразливі до атак. Віддалений доступ і управління пристроями повинні бути надійно захищені, оскільки обмежені обчислювальні ресурси пристроїв роблять їх схильними до ресурсомістких атак.

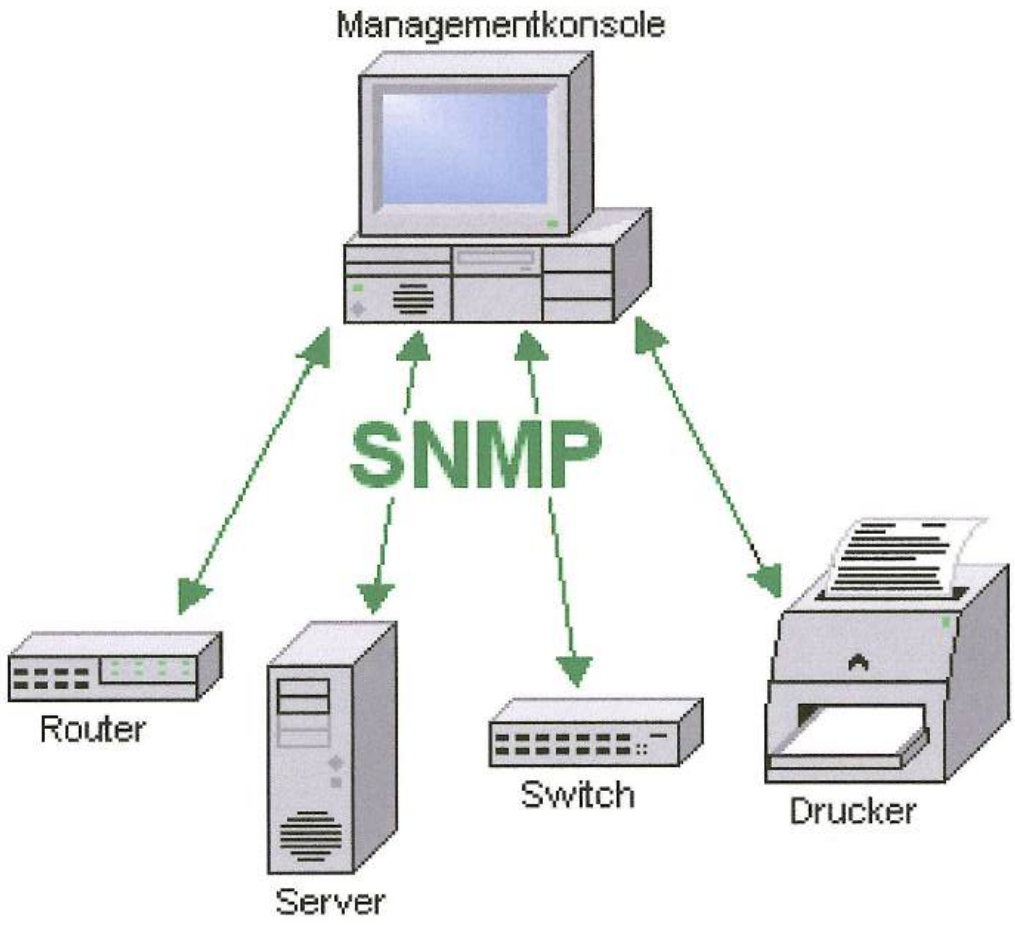


Рис 1.7 Структура SNM

Зловмисники також можуть використовувати фізичні перешкоди для запуску DoS-атаки на канали зв'язку між пристроями, роблячи їх недоступними. Велика кількість пакетів, що переповнюють мережу, також може порушити доступність мережі (рис. 1.7).

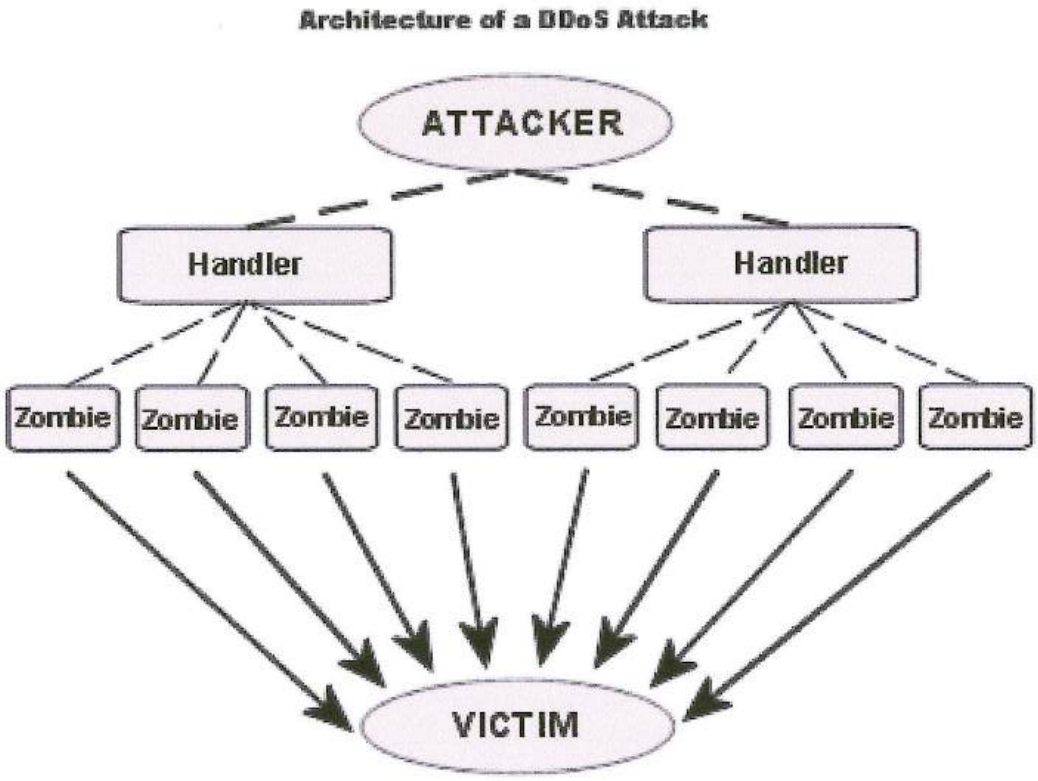


Рисунок 1.8 Структура DoS-атаки

Пасивні атаки можуть бути спрямовані на канали зв'язку для отримання даних. Забезпечення безпеки даних і інформації стає надзвичайно важливим, оскільки зловмисники можуть використовувати доступ до інфраструктури для злому і витоку даних.

Наразі, захист особистих даних в Інтернеті речей залишається серйозною проблемою, і разом із розвитком цієї технології, управління даними стає важливішим, ніж володіння інформацією.

Пасивні атаки, спрямовані на канали зв'язку для отримання даних, стають серйозною загрозою для безпеки в Інтернеті речей (IoT). Забезпечення безпеки даних та інформації стає критично важливим аспектом, оскільки зловмисники можуть використовувати доступ до інфраструктури для незаконного доступу, злому та витоку конфіденційної інформації.

На сучасному етапі захист особистих даних у світі IoT залишається актуальною та нагальною проблемою. Разом із стрімким розвитком цієї технології,

управління даними стає не лише питанням збереження інформації, але і критичним компонентом забезпечення конфіденційності та цілісності особистих та корпоративних даних

Захист від пасивних атак вимагає вдосконалених методів шифрування, автентифікації та моніторингу забезпечення. Розробники та користувачі повинні бути свідомими щодо потенційних загроз та вживати заходів безпеки для запобігання несанкціонованому доступу.

Одночасно із розвитком нових можливостей IoT, слід вдосконалювати та впроваджувати стратегії управління даними, які враховують високий рівень захисту та ефективність в умовах постійної еволюції кількості підключених пристроїв та обсягу генерованих даних.

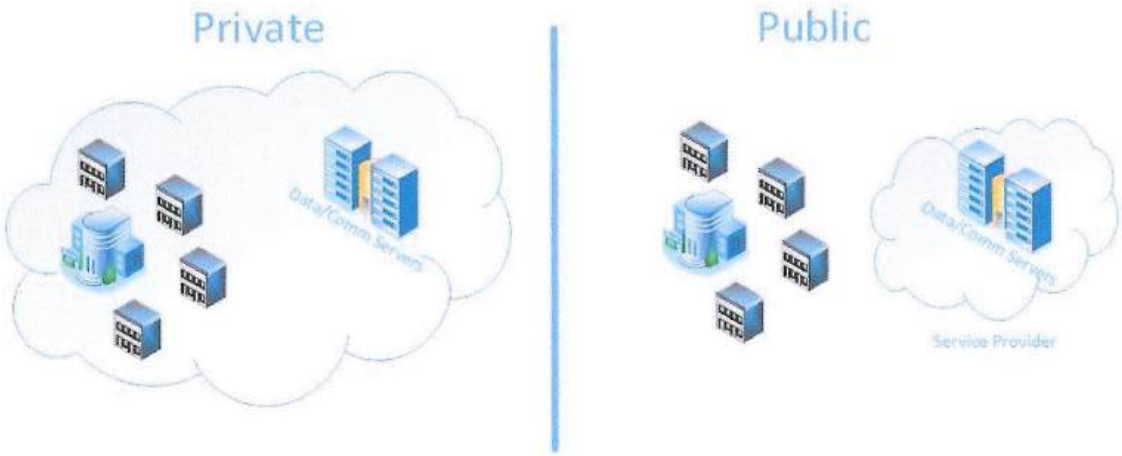


Рисунок 1.9 Відмінність хмар

Обираючи правильний хмарний підхід для IoT-проекту, слід враховувати специфічні потреби та обмеження, такі як безпека, доступність Інтернет-з'єднання та регуляторні вимоги. Ідеальний варіант може полягати в поєднанні різних типів хмарних сервісів для досягнення балансу між гнучкістю та безпекою.

Недавно була запущена модернізація масштабованих гібридних IoT-хмар, і була розроблена нова архітектура, відома як конвергентний модульний сервер.

Порівнюючи його зі звичайним сервером із масштабованим процесором, ці конвергентні модульні сервери надають значно більш потужні та гнучкі обчислювальні ресурси [14].

Модульні сервери використовують багатоядерні процесори зі зменшеним енергоспоживанням, що дозволяє знизити загальне споживання енергії та об'єм, необхідний для масштабування продуктивності всередині платформи та покращення взаємодії між ними. Ці сервери спеціально призначені для легких веб-рівневих завдань.

Архітектура конвергентного модульного сервера дозволяє балансувати навантаження між процесорними ядрами з мінімальною затримкою, завдяки можливості об'єднувати кілька процесорів в одному корпусі за допомогою швидкої та налаштовуваної структури з низькою затримкою.

Крім того, модульні сервери ефективно використовують енергію завдяки динамічному режиму очікування, який керує потужністю для кожного сервера. Це дозволяє процесорам перебувати в сплячому режимі або вимикати живлення, коли вони не використовуються.

1.4. Сфери застосування IoT

Інтернет речей (IoT) став неодмінною частиною технологічного прогресу, і його вплив на різні галузі значно змінює спосіб, яким ми ведемо бізнес, забезпечуємо медичну допомогу та управляємо виробництвом. Ця стаття присвячена огляду сфер застосування IoT та наданню прикладів успішних реалізацій цієї технології в промисловості, медицині, сільському господарстві та інших галузях.

У промисловості IoT впроваджується для покращення ефективності та безпеки виробничих процесів. Наприклад, системи моніторингу стану обладнання дозволяють вчасно виявляти потенційні поломки, запобігаючи непередбачені зупинки виробництва. Великі дані, зібрані від сенсорів, використовуються для оптимізації ланцюга постачання та управління запасами.

У медичній галузі IoT призначено важливу роль у вдосконаленні діагностики, моніторингу пацієнтів та управлінні медичним обладнанням. Наприклад, носимі

пристрої для вимірювання вітальних функцій можуть надсилати дані на хмарні сервери для аналізу лікарям. Впровадження IoT також допомагає вдосконалити системи управління лікарнями та оптимізувати лікування.

У галузі сільського господарства IoT використовується для моніторингу умов росту рослин, контролю за використанням ресурсів та автоматизації сільськогосподарських процесів. Системи розумного поливу, засновані на даних від сенсорів, можуть оптимізувати використання води та покращувати врожайність.

IoT впливає на розвиток сучасних міст, де впроваджуються системи розумного управління транспортом, енергопостачанням, відходами та безпекою. Наприклад, системи інтелектуального освітлення можуть адаптувати яскравість світла в залежності від умов оточення, що дозволяє зменшити енергоспоживання.

IoT стає необхідною складовою для вдосконалення та оптимізації різних галузей. Успішні реалізації IoT демонструють його потенціал у покращенні ефективності, забезпеченні безпеки та вдосконаленні життя людей. Із швидким розвитком цієї технології можна очікувати ще більше інновацій та покращень у різних галузях, що використовують IoT.

1.5. Перспективи розвитку IoT

На підставі аналізу існуючих досліджень Інтернету речей (IoT) можна зробити висновок, що практично всі наявні дослідницькі роботи обмежуються розгляданням системи IoT на обмеженій території або в контексті обмеженого засобу взаємодії. У попередньому розділі було проведено класифікацію цих досліджень на чотири групи, а саме "Інтернет наноречей", "Інтернет пристроїв з підтримкою WiFi", "Інтернет речей для розумного суспільства" та "Глобальний Інтернет речей". З цих робіт випливає, що кожна група спрямована на вирішення конкретних проблем, які виникають в мережі, на яку вони зосереджені, і при цьому використовують обмежений спектр методів взаємодії. Багато ранніх науково-дослідницьких робіт також спрямовані на розширення існуючих досліджень у сфері бездротових сенсорних мереж (WSN) для створення мереж на основі IoT.

Існуючі системи IoT, як правило, мають обмежений спектр методів спілкування та обмежену територію. Однак у майбутньому системи IoT будуть включати різні "речі" з різними типами взаємодії та належать до різних мереж, які пов'язані між собою, дозволяючи обмін необхідною інформацією. З цього випливає необхідність докладного вивчення інтеграції співіснуючих систем та створення нових систем IoT.

Необхідно використовувати великий адресний простір у комунікаційних технологіях для всіх масштабів мережі, особливо враховуючи різноманітні типи взаємодії в особистих мережах. Розвиток протоколів, таких як IPv6 та 6LoWPAN, може стати фундаментом для IoT, забезпечуючи ефективну комунікацію в мережі з великою кількістю "речей" (рисунок 1.8). Особлива увага приділяється проблемам енергоефективності та пропускної здатності в особистих обчислювальних мережах.

Еволюція протоколів, таких як IPv6 та 6LoWPAN, визначає ключовий аспект розвитку сучасних мереж Інтернету речей (IoT). Протокол IPv6 (Internet Protocol version 6) виступає як стандарт комунікаційного протоколу для надання унікальних IP-адрес для кожного пристрою в мережі, враховуючи зростання кількості підключених пристроїв у Інтернеті. Забезпечуючи значно більший адресний простір порівняно з IPv4, IPv6 забезпечує необхідну масштабованість для великої кількості "речей", що входять в склад мережі IoT.

Протокол 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) розглядається як рівень адаптації, спеціально призначений для обмежених мереж, таких як бездротові персональні мережі (WPAN). 6LoWPAN дозволяє обмінюватися пакетами IPv6 через стандартні радіотехнології, такі як IEEE 802.15.4, які характеризуються низькою споживаною енергією та обмеженою пропускною здатністю. Цей протокол є ключовим елементом для підтримки ефективної комунікації в мережах IoT, де пристрої можуть мати обмежені ресурси енергії та обчислювальної потужності.

Розвиток цих протоколів є стратегічно важливим для забезпечення надійності, ефективності та масштабованості мереж IoT. Їхні можливості сприяють створенню інфраструктури, яка забезпечує необхідні умови для взаємодії різноманітних пристроїв у світі Інтернету речей.

Як вказано у даній науковій статті, за останні роки були розроблені різноманітні

мережеві системи. Оскільки концепція Інтернету речей (IoT) пов'язана з різними видами мереж, які можуть бути побудовані за допомогою різних "речей", таких як наномашини, смартфони, побутова техніка, датчики, приводи, безпілотні літальні апарати (БПЛА), супутники і т.д., існують різні напрямки досліджень у галузі IoT. Різноманіття пристроїв, методів зв'язку, діапазонів, оточуючого середовища, застосунків і т.д. породжує різні вимоги до технології IoT. У даній статті ми розглядаємо існуючі дослідження з IoT з різних перспектив мереж і узагальнюємо вимоги, які необхідно врахувати для можливих систем IoT наступного покоління.

Також, в статті була представлена система виявлення цунамі, яка базується на супутнику та сенсорних терміналах, а також активна система моніторингу в реальному часі як приклади практичних реалізацій систем IoT. За результатами експериментів ці системи мають потенціал для покращення нашого повсякденного життя і, ймовірно, будуть широко використовуватися найближчим часом.

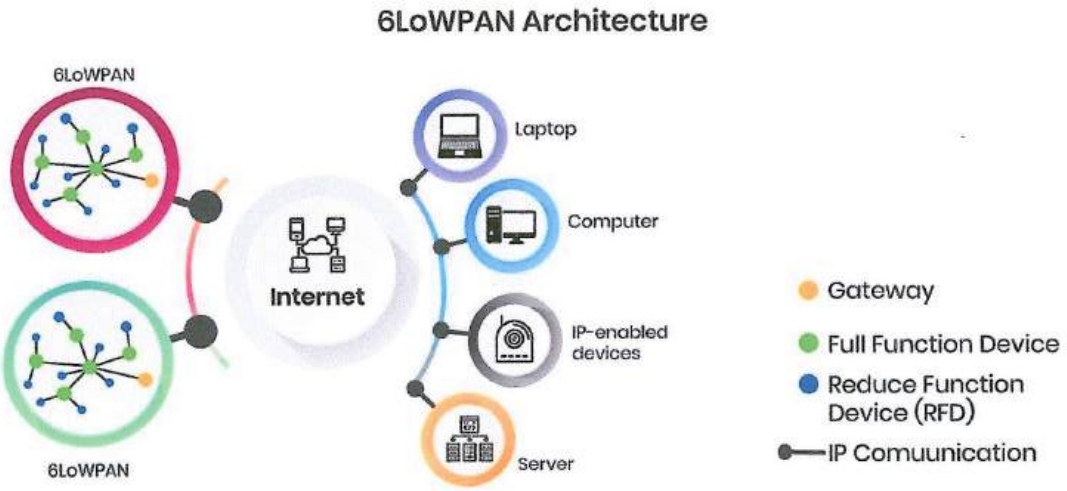


Рисунок 1.10 Архітектура 6LoWPAN

Розглянуто перспективи розвитку систем Інтернету речей (IoT), зокрема інтегрованих майбутніх систем IoT. Для впровадження систем IoT нового покоління визначено ряд наукових питань, при цьому використовуються існуючі дослідження як основу для структури IoT [15].

Концепція IoT є необхідною не тільки для обмеженої області наукових досліджень, але також має потенціал зацікавити декілька мережевих галузей, що потребують подальших наукових досліджень у майбутньому.

Розвиток мереж 5G та 6G забезпечить велику пропускну спроможність для пристроїв та відкриє нові можливості. Перехід до систем та платформ, які взаємодіють інтегровано, зробить IoT більш гнучким. Запровадження технологій для забезпечення високого рівня безпеки та конфіденційності стане надзвичайно важливим. Оптимізація споживання енергії та використання енергонезалежних джерел покращить енергоефективність. Розвиток стандартів для взаємодії різних IoT-пристроїв полегшить їх інтеграцію. Застосування алгоритмів машинного навчання допоможе в аналізі та обробці даних в реальному часі. Використання краудсорсингу для збору та обробки даних дозволить здійснювати точніші аналітичні операції.

Майбутні тенденції обіцяють покращення в різних аспектах технологій IoT, забезпечуючи високу швидкість передачі даних, безпеку та зручність використання. Це дозволить IoT відігравати ще більш вагому роль в нашому підключеному та інтелектуалізованому світі.

Висновки до розділу 1

У підсумку можна зазначити, що Інтернет речей (IoT) відіграє важливу роль у трансформації сучасного світу, створюючи нові можливості для зв'язку та взаємодії між пристроями. Використання IoT в різних сферах, таких як промисловість, медицина, транспорт і побут, показує його великий потенціал для оптимізації процесів і поліпшення якості життя. Однак разом із зростанням кількості підключених пристроїв з'являються нові виклики, такі як проблеми з безпекою та приватністю. Необхідно удосконалювати технічні та правові механізми для забезпечення стабільності та захисту користувачів в умовах постійного зростання Інтернету речей. Загалом, розвиток IoT є невід'ємною частиною швидкозмінюваного цифрового світу, і подальші дослідження та інновації в цій галузі важливі для досягнення більш ефективної та забезпеченої майбутньої інфраструктури.

2. АНАЛІЗ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

2.1. Загальна характеристика про технологію 5G

Нещодавно нараховувалось лише 4 покоління стільникового зв'язку. Наразі в світі швидко починає розгортатись п'яте покоління. Швидкому розвитку сприяє легке розгортання на мережах четвертого та третього покоління. П'яте покоління (5G)- це про розвиток штучного інтелекту та різних систем, які потребують швидкої та безперебійної роботи. П'яте покоління зв'язку діє на основі стандарту IMT-2020, що є тотожним з стандартом LTE-Advanced (рис. 2.1).

Відомо, що міліметрові хвилі негативно впливають на живі організми в міру збільшення потужності. Однак надійних досліджень впливу людини на мережі 5G не проводилося. Тому відсутність надійних досліджень не усуває і не підтверджує побоювання щодо небезпеки технологій.

Теоретичні максимальні швидкості 5G є досить новаторськими, але нам попереду дуже довгий шлях, перш ніж ви, ймовірно, досягнете такої пікової швидкості в реальному світі, незалежно від підключеного пристрою. Залежно від покриття 5G максимальна швидкість завантаження часто коливається від 1 Гбіт/с до 10 Гбіт/с, а затримка або час, необхідний для надсилання даних, може становити 1 мілісекунду (мс).

5G може працювати у декілька частотних діапазонах: від 3 ГГц до більш широких смуг 3-5 ГГц. Також новий стандарт 5G NR дозволяє використовувати діапазон міліметрових хвиль. При збільшенні частоти несучої зростає швидуість передачфі данних, фазовий шум системи

Найновіші варіанти 4G LTE-A теоретично можуть досягати 1 Гбіт/с, що сягає території 5G. Проте ці швидкості зараз недоступні ніде і в основному залежать від модему у вашому пристрої [16].

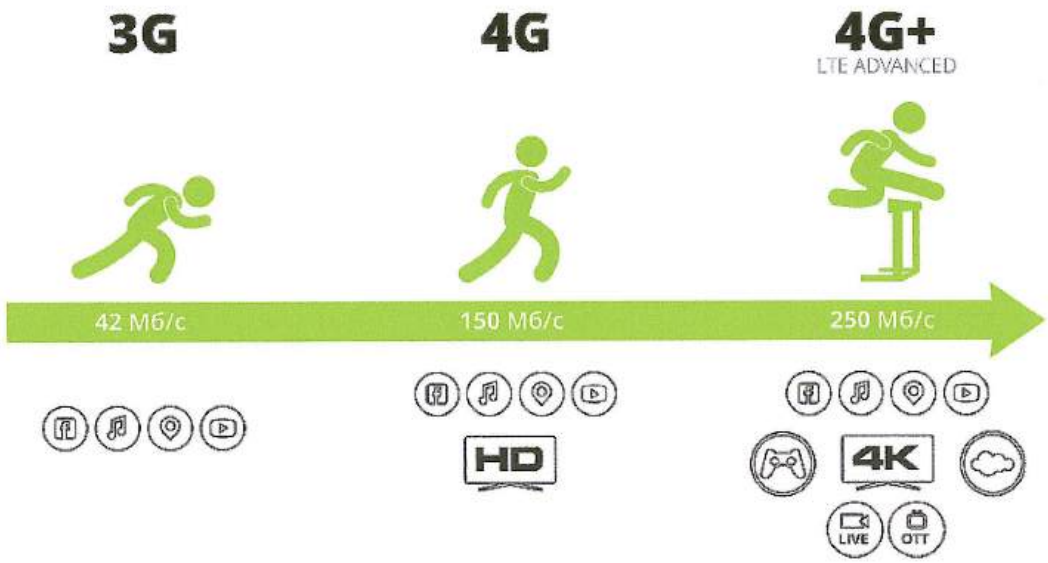


Рисунок 2.1 Еволюція мереж четвертого покоління

Звичайно, швидкість завантаження сильно залежить від типу мережі 5G, до якої ви підключені. Для непосвячених 5G складається з кількох різних діапазонів частот. Низько діапазонний спектр, який часто називають Sub-6 , здатний долати великі відстані та долати перешкоди, але забезпечує меншу швидкість завантаження. Для високосмугового спектру mmWave вірно протилежне — ви отримаєте надвисоку швидкість завантаження, але радіохвилі не можуть долати далеко або пробиватися через перешкоди.

Однак це не дуже багато означає окремо, тому ось таблиця, яка порівнює теоретичні швидкості технології 5G з різними поколіннями бездротових технологій.

Мережі 5G розширюють функціонал мереж стільникового зв'язку. За декілька років, поки є мережі п'ятого покоління сформувалось декілька основних призначень п'ятого покоління зв'язку:

Мережі 5G значно підвищили швидкість передачі даних порівняно з минулими поколіннями. Також 5G притаманна необмежена смуга пропускання

Розумний будинок та розумне місто. Це відеоспостереження, автоматизація приборів, електронний уряд та інші сервіси, які покращують наше життя.

Хмари. Мережа нового покоління дозволяє не лише зберігати інформацію чи

завантажувати інформацію, а й запускати додатки в хмарах. Це дозволить підвищити безпеку та захистити користувача від вірсної атаки.

Безпілотний транспорт (Driveless Vehicles). Це різні безпілотні автомобілі, поїзди тощо. Також цікава реальзація системи ADAS (Advanced Driver-Assistence Systems). Коли водієві стало погано або ще щось сталось, управління машиною перехоплює інша людина, яка може доставити машину в безпечне місце.

Доповнена віртуальна реальність (AR/ VR). Занурює людину у віртуальний світ. Можна використовувати не лише для ігор, а і для навчання (для прикладу на уроці анатомії можна побачити будову тіла людини)

Автоматизація промисловості. Мережі 5G разом з технологією IoT за допомогою штучного інтелекту II (AI), можуть значно підвищити автоматизацію виробництва. Великі обсяги різнорідних даних (великі дані) можна аналізувати в режимі реального часу на основі висновків (інсайтів) і за допомогою машинного та глибокого навчання (машинне навчання, глибоке навчання).

Порівняння мереж 4G та 5G представлено у табл. 2.1

Бездротова технологія 5G призначена для забезпечення вищої пікової швидкості передачі даних у декілька Гбіт/с, наднизької затримки , більшої надійності, великої пропускної здатності мережі, підвищеної доступності та більш уніфікованого користування для більшої кількості користувачів. Вища продуктивність і покращена ефективність розширюють можливості нового користувача та об'єднують нові галузі.

Загалом 5G використовується в трьох основних типах підключених послуг, включаючи розширений мобільний широкосмуговий доступ, критично важливі комунікації та масовий Інтернет речей. Визначальна здатність 5G полягає в тому, що вона розроблена для сумісності вперед — можливості гнучко підтримувати майбутні послуги, які сьогодні невідомі.

Таблиця 2.1

Відмінність четвертого та п'ятого покоління стільникового зв'язку

	LTE	**5G**
Радіочастота	До 6 ГГЦ	Від 30 ГГц до 300 ГГЦ
Швидкість завантаження	від 50 до 100 Мбіт/с	Від 1 до 20 Гбіт/с
Пропускна здатність	Близько 20 Мгц	Близько 30 ГГц
Затримка	Близько 50 мілісекунд	Менше 10 мілісекунд
Швидкість передачі данних	Завантаженя 300 Мбіт/с, вигрузка- 75 Мбіт/с	Близько 10 ГБ/сек

2.2. Стандарти та архітектура 5G

Спочатку стандарт 5G був пов'язаний зі стандартом IMT-2020 Міжнародного союзу електрозв'язку, який, серед інших вимог, передбачав теоретичну максимальну швидкість завантаження 20 гігабіт на секунду та 10 гігабіт на секунду. Згодом група галузевих стандартів 3GPP обрала стандарт 5G NR (Нове радіо) і LTE як свою пропозицію для стандарту IMT 2020.

5G NR може включати нижчі частоти нижче 6 ГГц (FR1) і вищі частоти вище 24 ГГц (FR2). Однак ранні розгортання FR1 з використанням програмного забезпечення 5G NR на 4G (неавтономному) апаратному забезпеченні мали лише трохи

кращу швидкість і затримку, ніж нова система 4G, рейтинг якої склав 15-50%.

Архітектура системи 5G визначена в TS 23.501. Пакетні протоколи для управління мобільністю (з'єднання і переміщення між базовими станціями) і управління сеансом (з'єднання з мережами і сегментами мережі) описані в TS 24.501. Специфікації для ключових структур даних можна знайти в TS 23.003.

IEEE охоплює декілька областей 5G з основним фокусом у ділянках дротів між дистанційною радіоголовкою (RRH) і базовим діапазоном (BBU). Стандарти 1914.1 зосереджені на архітектурі мережі та поділі з'єднання між RRU та BBU на дві ключові частини. Радіоблок (RU) до розподільчого блоку (DU), який є NGFI-I (інтерфейс переднього зв'язку наступного покоління), а DU до центрального блоку (CU) є інтерфейсом NGFI-II, що дозволяє створити більш різноманітну та економічно ефективну мережу. NGFI-I і NGFI-II мають визначені значення продуктивності, які повинні бути скомпільовані, щоб забезпечити можливість передачі різних типів трафіку, визначених ITU. Стандарт IEEE 1914.3 створює новий формат кадру Ethernet, здатний передавати IQдані набагато ефективніше залежно від використовуваного функціонального розподілу. Це засновано на визначенні функціональних розщеплень 3GPP .

5G NR (New Radio) — це новий ефірний інтерфейс, розроблений для мережі 5G. Передбачається, що це глобальний стандарт для ефірного інтерфейсу мереж 3GPP 5G (рисунок 2.3).

Стандарти 3GPP, що стоять за архітектурою мережі 5G, були введені Проектом партнерства третього покоління (3GPP), організацією, яка розробляє міжнародні стандарти для всього мобільного зв'язку. Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) та його партнери визначають вимоги та терміни для систем мобільного зв'язку, визначаючи нове покоління приблизно кожні десять років.

3GPP розробляє специфікації для цих вимог у серії випусків.«G» в 5G означає «покоління». Архітектура технології 5G представляє значний прогрес за межами технології 4G LTE (довготривала еволюція), яка йде на п'ятах 3G і 2G. Як ми описуємо в нашому пов'язаному ресурсі «Подорож до 5G», завжди існує період часу, протягом якого одночасно існує кілька поколінь мережі.

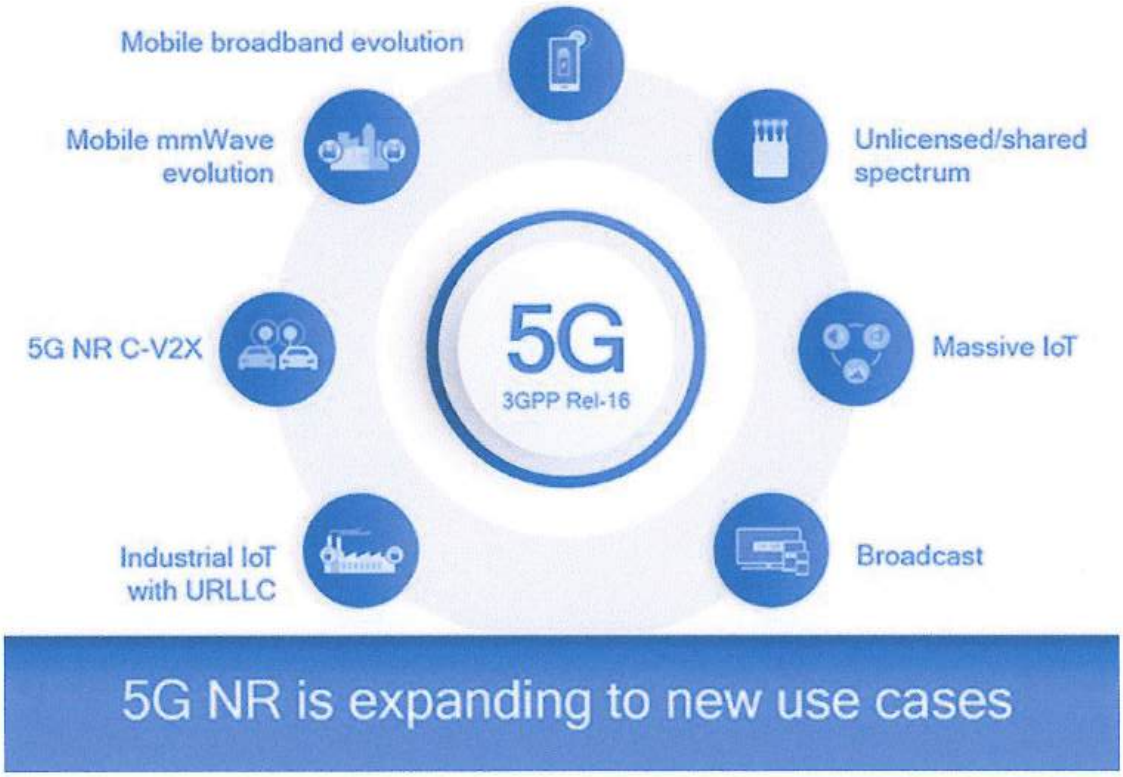


Рисунок 2.2 Технологія 5G NR

Як і його попередники, 5G має співіснувати з попередніми мережами з двох важливих причин: розробка та розгортання нових мережевих технологій займає величезну кількість часу, інвестицій та співпраці основних організацій і операторів. Перші користувачі завжди хочуть якомога швидше опанувати нові технології, тоді як ті, хто зробив великі інвестиції у великі розгортання існуючих мережевих технологій, таких як 2G, 3G та 4G LTE, хочуть використовувати ці інвестиції для якомога довше і, звичайно, до тих пір, поки нова мережа не стане повністю життєздатною [19]. (Зауважте, що мережі 2G та 3G припиняються, щоб звільнити місце для розгортання 5G. Дивіться нашу публікацію в блозі щодо оновлення мереж 2G, 3G, 4G.)Архітектура мережі мобільних технологій 5g значно покращується в порівнянні з попередніми архітектурами. Великі мережі з щільністю осередків забезпечують значні стрибки в продуктивності. Крім того, архітектура мереж 5G пропонує кращу безпеку в порівнянні з сучасними мережами 4G LTE.

Найновіші варіанти 4G LTE-A теоретично можуть досягати 1 Гбіт/с, що сягає території 5G. Проте ці швидкості зараз недоступні ніде і в основному залежать від модему у вашому пристрої.

Звичайно, швидкість завантаження сильно залежить від типу мережі 5G, до якої ви підключені. Для непосвячених 5G складається з кількох різних діапазонів частот. Низько діапазонний спектр, який часто називають Sub-6 , здатний долати великі відстані та долати перешкоди, але забезпечує меншу швидкість завантаження. Для високосмугового спектру mmWave вірно протилежне — ви отримаєте надвисоку швидкість завантаження, але радіохвилі не можуть долати далеко або пробиватися через перешкоди.

5G використовує такі концепції, як розділення мережі. Це розрізання мережевих ресурсів для різних типів трафіку, і кожен «зріз» (буквально - шматочок мережі) може використовувати свою технологію передачі даних. Завдяки гнучкості методу можна задовольнити найрізноманітніші і навіть суперечливі вимоги різних типів користувачів. LTE чудово підходить для передачі даних у мережі – його потрібно лише трохи покращити, щоб прискорити роботу [20].

Для передачі даних з мінімальною затримкою буде використовуватися «надна-дійний зв'язок з низькою затримкою». Це дозволяє передавати дані з надзвичайно низькою затримкою. Якщо в LTE мінімальна тривалість передачі становить одну мілісекунду, то тут мінімальна тривалість передачі триватиме частку мілісекунди, а надійність буде дуже високою, до 99,999%.

Окремий «зріз» у 5G присвячений IoT. Він дозволяє передавати дані на велику кількість малопотужних пристроїв.

В мережах п'ятого покоління архітектура мережі, яка раніше засновувалась на апартних рішеннях, перестала існувати. Тому 5G прийнято називати не мережею, а платформою. В мережах використовується програмне забезпечення, апартного майже немає. Порівняно з мережами попердніх поколінь, мережі 5G засновані на конфігуруючих мережах SDN (Software Defined Network) і віртуалізації мережевих функцій NFV(Network Function Virtualization). Ці мережі зображені на рис. 2.4.

Функції 5G реалізовані у віртуальній програмній функції VNF (Virtual Network

Function), яка працює в інфраструктурі NFV. Різниця між цими схожими за звучанням концепціями полягає в тому, що VNF - це функція, а NFV - технологія. У свою чергу, NFV реалізовано у фізичній інфраструктурі ЦОД на основі стандартного комерційного обладнання COTS (Commercial Off The Shelf). Обладнання COTS складається з серверів (обчислювальне обладнання), комутаторів (мережеве обладнання) та систем зберігання даних (обладнання для зберігання даних).

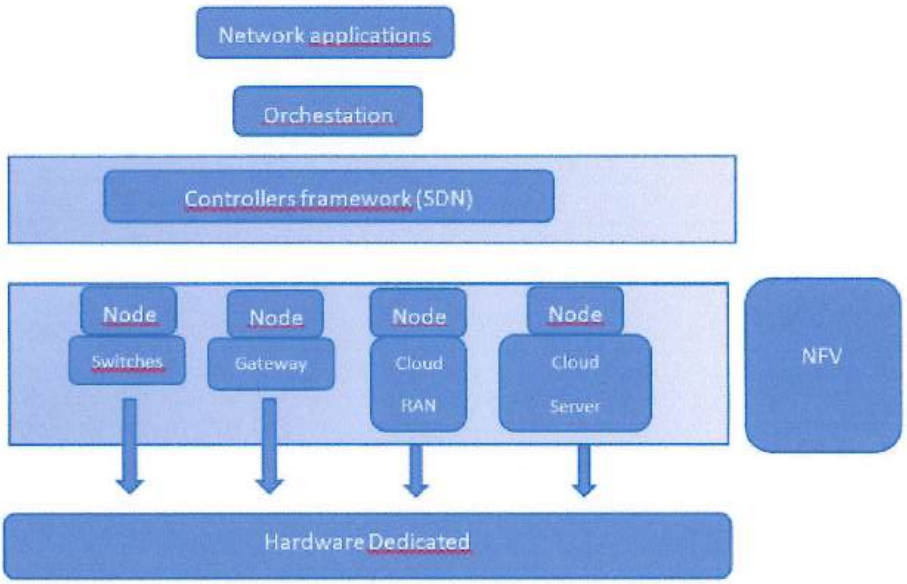


Рисунок 2.3 Структура Network Function Virtualization

Тому обладнання традиційної мобільної мережі замінюється програмними суб'єктами, що працюють у ЦОД на стандартних серверах та віртуальних машинах (ВМ).

Для реалізації програмних функцій, крім віртуальних машин, використовуються також програмні контейнери та програмна архітектура мікросервісів.

Архітектура розподіленої RAN в мережах 4G поступово еволюціонує до централізованої архітектури RAN.

В архітектурі 5G функції магістральної мережі реалізовані в центральній хмарі (Cloud RAN) на віртуальних машинах. Edge cloud також відіграватиме важливу роль

у розвитку мережі 5G, особливо технології MEC (mobile edge cloud) та Fog Cloud.

Дуже корисна функція 5G також вимагає віртуалізації мережі на основі NFV/SDN: розділення мережі. Технологія зрізу мережі дозволяє мережевий логічний поділ різних типів послуг 5G, які вимагають різних технологій RAT (технологій радіодоступу), мають різні характеристики середовища передачі даних і базуються на єдиному обсязі мережевих ресурсів (пулі).

Це розрізання мережевих ресурсів для різних типів трафіку, і кожен зріз (буквально -шматок мережі) може використовувати свою технологію передачі даних. Завдяки гнучкості методу можна задовольнити найрізноманітніші і навіть суперечливі вимоги різних типів користувачів. LTE чудово підходить для передачі даних у мережі – його потрібно лише трохи покращити, щоб прискорити роботу [21].

Для передачі даних з невеликими затримками буде використовуватися спеціальний фрагмент під назвою Ultra-Reliable Low-Latency Communications. Це дозволяє передавати дані з надзвичайно низькою затримкою. Якщо в LTE мінімальна тривалість передачі становить одну мілісекунду, то тут мінімальна тривалість передачі триватиме частку мілісекунди, а надійність буде дуже високою, до 99,9%.

Мережі п'яттго покоління поєднують різні технології, які будуть використовуватись в залежності від умов та вимог.

Це нова технологія радіодоступу (RAT), розроблена 3GPP для мобільних мереж 5G (п'ятого покоління). Він був розроблений як глобальний стандарт для наземного інтерфейсу мереж 5G. Технологія радіодоступу (RAT), розроблена 3GPP для мобільних мереж 5G (п'ятого покоління). Він був розроблений як глобальний стандарт для наземного інтерфейсу мереж 5G.

Дослідження 3GPP NR почалися в 2015 році, а перша специфікація була запущена наприкінці 2017 року. У той час як процес стандартизації 3GPP триває, галузь уже розпочала зусилля з впровадження проекту інфраструктури, що відповідає стандартам, і перша широкомасштабна комерціалізація 5G NR відбудеться до кінця 2018 року. З 2019 року багато операторів розгорнули мережі 5G NR, а виробники мобільних телефонів розробили мобільні телефони, які підтримують 5G NR.

Неавтономний (NSA) режим 5G NR відноситься до параметрів розгортання 5G NR, які залежать від рівня контролю, який має існуюча мережа 4G LTE над функціями контролю, тоді як 5G NR повністю зосереджено на рівні користувача. Повідомляється, що це прискорило впровадження 5G, але деякі оператори та постачальники критикували пріоритетне впровадження 5G NR NSA на тій підставі, що це може перешкодити введенню автономного режиму.

Щоб краще використовувати наявні активи, оператори можуть використовувати їх динамічно між 4G LTE та 5G NR. Спектр повторно використовується з часом між двома поколіннями мобільних мереж, тоді як мережі 4G LTE все ще використовуються для функцій керування, залежно від потреб користувачів. Якщо він сумісний з 5G NR, динамічне перемикання спектру (DSS) можна розгорнути на наявному обладнанні 4G LTE. Тільки термінали 5G NR повинні бути сумісними з DSS.

Автономний режим (SA) 5G NR відноситься до використання клітин 5G для сигналізації та передачі інформації. Він використовує нову архітектуру 5G Packet Core замість того, щоб покладатися на 4G Evolved Packet Core , щоб дозволити розгортання 5G без LTE. Очікується, що нижчі витрати та вища ефективність допоможуть розробити нові види використання. Однак під час початкового розгортання швидкість може бути нижчою, ніж у існуючих мереж через розподіл спектру.

5G NR підтримує п'ять інтервалів піднесучих: 15 кГц, 30кГц, 60кГц, 120 КГц, 240кГц.

Вся активність мобільної мережі проходить на частотах радіохвиль. Оскільки пристрої додаються до суміші, і все більше людей користуються ними частіше, ці частоти підсилюються.

Ви можете розглядати ці частоти як дороги, а дані, які передаються через них, як транспортні засоби. Коли доріг багато, дані переміщуються швидко. Але коли до таких же обмежених доріг додається більше автомобілів, ми отримуємо затори і все сповільнюється.

Ці частоти використовують не лише стільникові мережі — все, від мікрохвильових печей до маршрутизаторів Wi-Fi і дронів, займає певну «дорогу» в спектрі радіохвиль. Зараз більшість цих пристроїв працює в діапазоні від 3 ГГц до 6 ГГц, але ці

частоти швидко заповнюються. Оскільки все більше пристроїв підключається до мережі, всім цим даним буде потрібно більше місця для роботи.

Міліметрові хвилі, які часто називають mmWaves або високосмуговими 5G, — це частоти від 24 ГГц і вище. У міру збільшення частоти радіохвиль кожна хвиля звужується в довжині. Через високі частоти mmWave має обмежений діапазон лише від 300 до 500 футів і важко проникає в будівлі. Навпаки, мережі 3G і 4G здатні рухатися далі і краще проникати в будівельні матеріали. [4]

Донедавна міліметрові хвилі використовувалися лише супутниковими та радіолокаційними системами, які зазвичай використовувалися у військовій та аерокосмічній промисловості. Але в міру зростання споживання даних індустрія побачила необхідність — і можливість — використовувати міліметрові хвилі для мобільних мереж наступного покоління.

Міліметрові хвилі дозволяють створити мережі 5G, які забезпечують значно покращену швидкість і надійність. Передача даних через мобільні мережі з неймовірною швидкістю з непомітною затримкою може стати нормою, що відкриває шлях для інновацій у мобільних додатках даних.

Мережі 5G, які використовують mmWave, можуть відкрити двері для різноманітних додатків із великими обсягами даних. Він може забезпечити достатню пропускну здатність для зростання пристроїв, підключених до Інтернету.

Аналогічно, mmWave може відкрити можливості доповненої та віртуальної реальності, які можуть стати майбутнім того, як ми взаємодіємо з Інтернетом.

Хоча оператори продовжують обіцяти світле майбутнє для 5G , використання міліметрових хвиль для мобільних мереж вважалося недоцільним через їх обмеження.

Для початку міліметрові хвилі мають високе загасання в атмосфері. Це означає, що хвилі легко поглинаються газами в атмосфері, включаючи дощ. Це сильно обмежує їх дальність, навіть на коротких відстанях. Що ще гірше, вони рухаються лише стежками прямої видимості, а це означає, що будівлі, дерева і навіть листя можуть заважати їм. Хоча це створює серйозні проблеми для використання міліметрових хвиль для стільникового зв'язку, з'явилися нові технології антен та нові підходи, які

допомагають виконати обіцянку mmWave 5G [22]. Спектр міліметрових хвиль зображений на рис. 2.5.

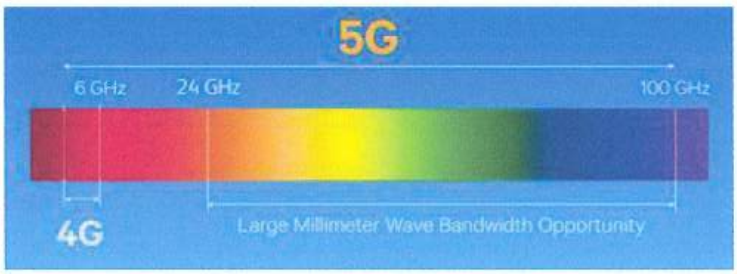


Рисунок 2.4 Міліметрові хвилі в 5G

Усталена техніка бездротового зв'язку для одночасного надсилання та отримання кількох сигналів даних по одному радіоканалу. Методи MIMO відіграють важливу роль у зв'язку Wi-Fi, а також у мережах 3G, 4G та 4G LTE.

Хоча не існує конкретної мінімальної кількості антен, необхідної для застосування масивного MIMO, загальноприйнятим порогом для системи є понад вісім антен передачі та вісім приймальних. Причому кількість може бути значно вищою, поширюючись на системи з десятками або навіть сотнями антен.

Масивний MIMO — разом із методами розумної антени, такими як формування променя та керування променем — є одними з ключових технологій, які забезпечують більш високу пропускну здатність та збільшення ємності, які обіцяє 5G. І вони необхідні для досягнення 100-кратної швидкості передачі даних і 1000-кратної пропускної здатності, зазначених у баченні Міжнародного мобільного телекомунікації-2020. Оскільки в масиві MIMO використовується набагато більше антен, ніж кількість UE в комірці, промінь набагато вужчий, що дозволяє базовій станції доставляти радіочастотну енергію до UE точніше й ефективніше. Фаза та посилення антени контролюються індивідуально, при цьому інформація про канал залишається у базової станції, що спрощує UE без додавання кількох приймальних антен. Встановлення великої кількості антен базової станції збільшить відношення сигнал/шум в осередку,

що призведе до підвищення місткості та пропускної здатності вузла. Принцип технології предствавлено на рис. 2.3. Оскільки 5G масивна реалізація MIMO здійснюється на частотах mmWave, необхідні антени мають невеликі розміри та прості в установці та обслуговуванні.

Для приймача міліметрових хвиль з вузьким фіксованим рознесенням піднесучих (subcarrier spacing, SCS) і тривалістю символу, прийнятого для LTE, таке збільшення ускладнює демодуляцію сигналу OFDM. У переміщених користувачів, із -за доплерівського зсуву, часовий параметр по когерентності каналу в міру підвищення несучої частоти зменшується, а це означає, що у системи на більш високих несучих частотах менше часу для вимірювання каналу і завершення передачі в одному слоті.

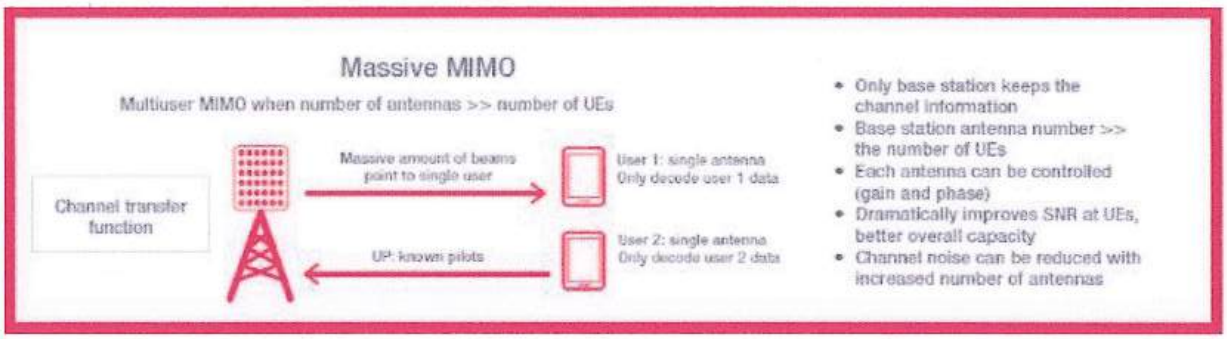


Рисунок 2.5 Принцип роботи масивного MIMO

Використання вузької відстані між піднесучими в міліметровому діапазоні призводить до неприпустимо великих значень вектора помилок зі значним погіршенням продуктивності. Тому тут, на відміну від систем LTE, використовують змінний коефіцієнт рознесення піднесучих або так звану масштабируемую нумерологію (scalable numerology).

Тому, щоб уникнути такого, в технології 5G NR примінюються OFDMA-сигнали з піднесучими з варійованим рознсенням. Використання технології стільникового зв'язку масштабованої нумерології робить можливим гнучкого використання мереж, в залежності від типу послуги, для прикладу додатки, які мають критичний рівень затримки.

Доречно використовувати піднесучі з широким спектром при малій тривалості символів та «вузькі» при передачі широкополлсного доступу в Інтернет і при використанні «Інтернету речей».

Тому розрорбники із 3GPP вирішил стандартувати коефіцієнт піднесучих, який закриває зазор в спектрі: починаючи з 15 кГц (LTE) і до інтервалу 30,60, 120 кГц.

Використання нумерології 4G допоможе планомірно розгорнути мережі 5G [24].

2.3. Безпека 5G

Нещодавно були знайдені проблеми з протоколом безпеки 5G Authentication and Key Agreement (AKA). Недоліки знайдені в інструменті Tamarin, який є найбільш відомим для криптографічних протоколів.

Той тип AKA, який пов'язаний з мережами 5G, гарантує , що пристрій і мережа 5G аутентифікаціють один одного, підтримуючи конфіденційний обмін даними. Однак в нинішньому вигляді AKA може не виконувати цих функцій, оскільки вкладені в ньому вимоги недостатньо точні та не деже стабільні.

Забезпечення безпеки 5G за допомогою AKA буде більш надійним, ніж для мережевих протоколів 3G і 4G. Зокрема, можливе виявлення місцезнаходження телефону в певному районі. Але хвилюватись не треба , бо розкриття ідентичності власника не буде. Через уразливість AKA може помилково стягуватися плата за використання мережі 5G іншим користувачем.

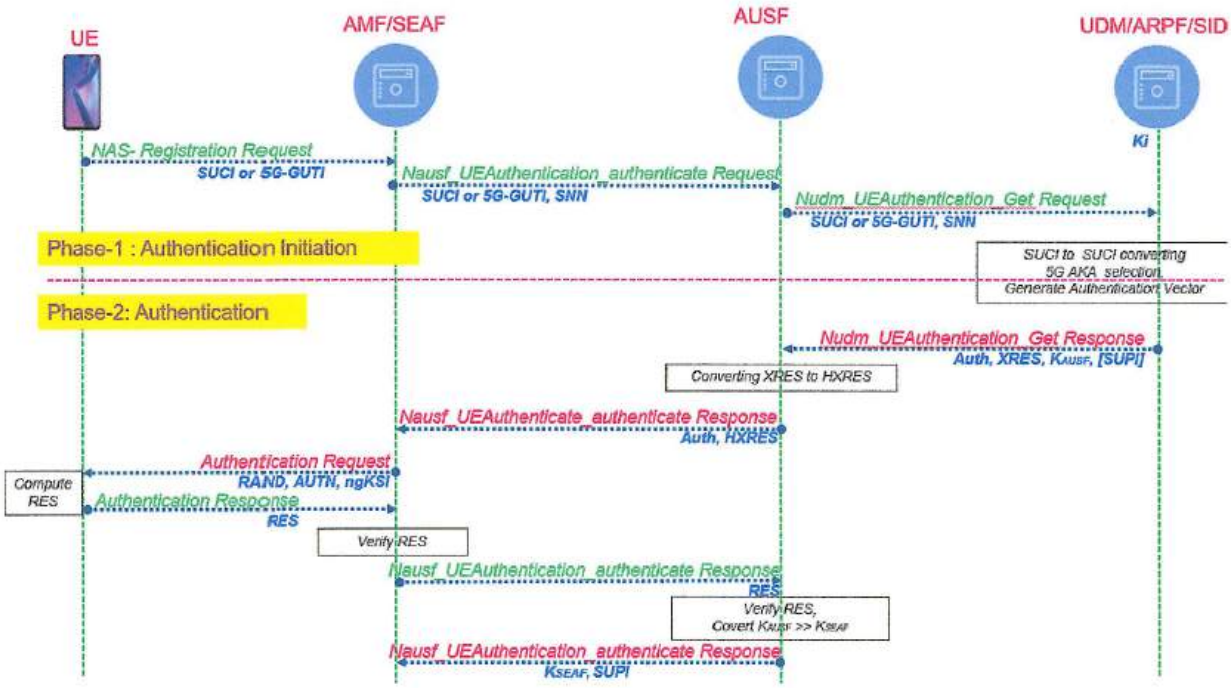


Рисунок 2.6 Захист даних в мережах 5G

Треба надати безпеки AKA необхідні властивості, які зараз відсутні, і модифікувати компонент підтвердження ключа. На їхню думку, AKA не забезпечує адекватного захисту особистих даних від активних атакуючих. Але виправити цей недолік буде непросто [18].

Небезпечна мережа 5G представляє поле для все більш поширених атак завдяки своїй високій швидкості, яка збільшує кількість доступних об'єктів атаки. Неважко уявити собі, чим може обернутися масована DDoS-атака на підприємство, що використовує сенсори IoT, підключені до мережі 5G.

Поки рано говорити, чи будуть хакери використовувати уразливості SIM-карт, якщо вони з'являться в пристроях IoT, але така можливість є. Тому наразі треба залучати спеціалістів, які завадять руйнівним атакам та винайдуть нові методи захисту інформації в мережах 5G.

Щоб мінімізувати схильність до атак, базові станції повинні забезпечити безпечне середовище для підтримки конфіденційних операцій, таких як шифрування та дешифрування даних користувачів, зберігання ключів. Крім того, переміщення конфіденційних даних має бути обмежено в цьому безпечному середовищі. Тому описані

нижче контрзаходи спеціально розроблені для мінімізації шкоди у разі крадіжки критичної інформації з базової станції:

- Перевірте цілісність пристрою.
- Взаємна аутентифікація (видача сертифікатів) базових станцій оператора.
- Оновлення безпеки.
- Механізм контролю доступу.
- Синхронізація часу.
- Фільтрація трафіку.

Це ті прості речі, які повинно робити аби забезпечити швидку і безперебійну роботу базової станції.

2.4. Інтеграція мереж 5G в існуючі мережі LTE

Щоб розгорнути систему 5G потрібно використовувати 2 режими: Non-Stand-Alone (NSA) та Stand-Alone (SA).

Основна відмінність NSA (неавтономної архітектури) і SA (автономної архітектури) полягає в тому, що NSA прив'язує керуючу сигналізацію радіомереж 5G до ядра 4G , тоді як схема SA підключає 5G безпосередньо до базової мережі 5G, і контрольна сигналізація взагалі не залежить від мережі 4G. NSA, як випливає з назви, — це послуга 5G, яка не є «окремою», а побудована на основі існуючої мережі 4G. SA, з іншого боку, дозволяє повністю незалежну роботу служби 5G без будь-якої взаємодії з існуючим ядром 4G.

Архітектура «Неавтономна» (NSA), де мережа радіодоступу 5G (AN) та її інтерфейс New Radio (NR) використовуються разом з існуючою основною мережею інфраструктури LTE та EPC (відповідно 4G Radio та 4G Core) , що робить технологію NR доступною без заміни мережі. У цій конфігурації підтримуються лише послуги 4G, але вони насолоджуються можливостями нового радіо 5G (менша затримка тощо). NSA також відомий як «E-UTRA-NR Dual Connectivity (EN-DC)» або «Архітектурний варіант 3».Технологію зображено на рис. 2.4.

Варто зазначити, що NSA і SA не є пропозицією, а є більшою мірою «рано чи пізно». MNO, які починаються з NSA, можуть поступово додаватися або переходити до SA з часом. Те, що ми бачили на Affirmed від перших користувачів 5G, — це насамперед розгортання АНБ, оскільки MNO змагаються за право хвалитися (і конкурентну перевагу) бути першими, хто пропонує швидкість 5G.

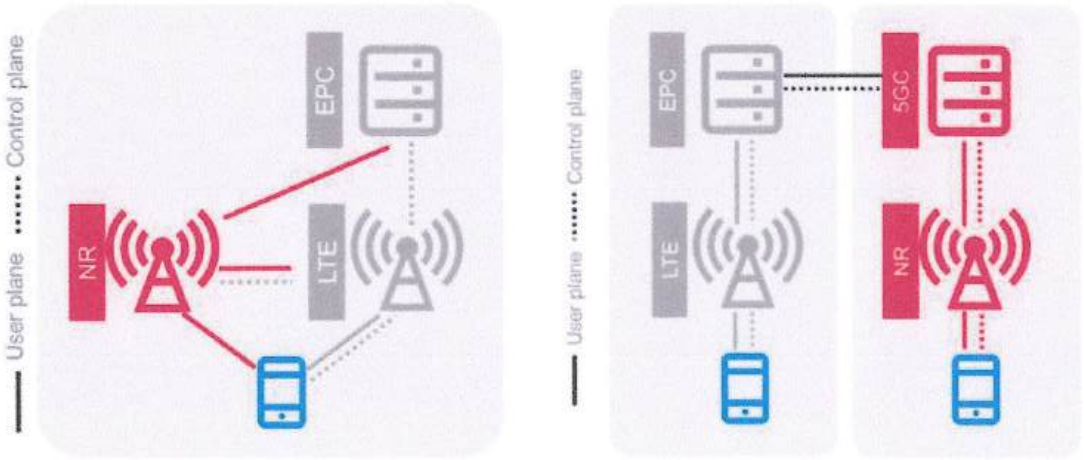


Рисунок 2.7 Технології 5G Non-Stand-Alone і 5G Stand-Alone (SA)

Ці MNO, як правило, були першими, хто також застосував технології 4G/LTE, і тому вони досить просунуті з точки зору віртуалізації мережі. Багато з них все ще використовують рішення Affirmed як своє віртуальне рішення Evolved Packet Core (vEPC). Однією з переваг рішення Affirmed на базі NSA є його здатність обробляти трафік як на основі 4G, так і на основі 5G, оскільки MNO перетворюють свої мережі.

Звичайно, в якийсь момент NSA і SA зближаться, коли MNO перейдуть на повну архітектуру 5G. Усвідомлюючи це, MNO було б добре шукати мобільну базову платформу, яка може легко переходити від неавтономної до автономної. Наявність повністю віртуалізованої архітектури 5G запропонує MNO гнучкість для міграції окремих функціональних можливостей їх існуючого рішення NSA на основну платформу 5G з часом, оскільки нові послуги 5G увімкнені, що дозволить їм монетизувати свої інвестиції поступово, а не вкладати всі гроші та сподіватися. щоб потім відшкодувати свої витрати.

Маючи чіткий шлях до розвитку своїх мереж від NSA до SA, оператори мобільних мереж можуть виграти гонку за прибутками, керуючи своїми мережами на веб-масштабі.

Також можна використовувати рефармінг частот.

Рефармінг називають процедуру перерозподілу частот. З кожним новим поколінням з'являються нові способи кодування, в тому числі і частоти.

Рефармування спектру на міжнародному рівні зазвичай використовується як процес управління, перепрофілювання діапазонів спектру на більш ефективні технології або нові послуги. Це дозволяє дозволяє власникам ліцензій розвивати технологію та надаються послуги в міру розвитку ринків.

Як розподілити частоти показано на рис. 2.5.

Наразі дуже швидко розвиваються мережі п'ятого покоління, тому намагаються інтегрувати 5G в мережі LTE. Інтеграція мереж буде простою, бо технології дуже схожі за інтерфейсами, але трохи відрізняються функціями, особливостями будови. Найкраща технологія для розгорортання 5G на основі LTE є NSA (Non-Stand-Alone).

Стандарт LTE зайняв свою нішу з урахуванням зниження вартості послуг та більш гнучкого використання нових та існуючих частот та отримав свій розвиток у технології LTE-A (LTE-Advanced).

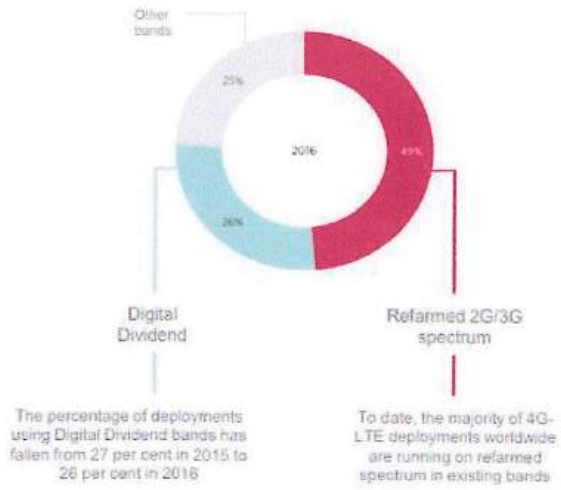


Рисунок 2.8 Процентний поділ частот

Новий стандарт оголосив про збільшення швидкості до 1 Гбіт/с. Звичайно, найпростіший спосіб досягти цього – розширити пропускну здатність, яку пропонує LTE-A, використовуючи суміщення несучих. Цей метод називається агрегацією несучих. У цьому випадку комбінація несучих може бути до 5, збільшуючи загальну ширину каналу до 100 МГц. Крім того, об'єднана несуча може бути розташована або в безперервному діапазоні частот, або в різних діапазонах частот, але загальна кількість об'єднаних несучих у спадному діапазоні має бути більше, ніж кількість об'єднаних несучих у зростаючому діапазоні.

Тому LTE-A з різних джерел пропонує різні варіанти швидкості, але максимальне зазначене значення становить 1 Гбіт/с для фіксованих користувачів і 300 Мбіт/с для мобільних користувачів.

Висновки до розділу 2

Розгортання технології 5G в сучасному світі стає ключовим етапом у розвитку бездротових комунікацій. Завдяки високій швидкості передачі даних, низькій затримці та підвищеній ємності мереж, 5G відкриває широкі перспективи для подальшого розвитку технологічного ландшафту. Ця інноваційна мережа обіцяє революцію в ряді галузей, таких як медицина, промисловість, автотранспорт і розваги, забезпечуючи надійний зв'язок для великої кількості пристроїв.

Запровадження 5G також створює умови для впровадження Інтернету речей (IoT) на новому рівні, де пристрої можуть спілкуватися один з одним майже миттєво. Це сприяє розвитку сучасних технологій і споживацького ринку, забезпечуючи широкі можливості для інновацій та ефективного використання ресурсів.

Незважаючи на безперечні переваги, пов'язані зі швидкістю та продуктивністю, впровадження 5G також супроводжується певними викликами. Питання щодо безпеки мережі, конфіденційності даних і впливу на здоров'я людей викликають обурення та неоднозначність серед громадськості. Важливо ретельно розглядати ці аспекти та розробляти ефективні стратегії для їх вирішення, забезпечуючи збалансований підхід до розвитку мережі 5G.

3. МЕТОДИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ IOT

Інтернет речей (IoT) є перспективною концепцією, яка трансформує наше оточення, дозволяючи фізичним пристроям взаємодіяти та обмінюватися даними в реальному часі через Інтернет. Ця технологія розширює можливості збору інформації та автоматизації у різних сферах життя та бізнесу. Сутність IoT полягає в тому, щоб зробити об'єкти ще більш "розумними", наділення їх здатністю сприймати, аналізувати та взаємодіяти з навколишнім середовищем.

3.1. Висока пропускна здатність та низька затримка

В контексті мереж п'ятого покоління (5G) визначна роль відводиться високій пропускній здатності та низькій затримці, що має вирішальне значення для застосувань Інтернету речей (IoT). Особливо це стає критичним у випадках, де вимагається миттєва реакція, наприклад, в сфері автономних автомобілів. Забезпечення великої швидкості передачі даних в мережах 5G стає основною перевагою, дозволяючи ефективну взаємодію IoT-пристроїв та забезпечуючи оперативний обмін інформацією. Низька затримка виконує критичну роль у сценаріях реального часу, де вимагається швидка передача сигналів та реакція на події. Ці технічні характеристики мереж 5G відкривають нові можливості для розвитку передових інноваційних рішень у сфері IoT, роблячи акцент на швидкості та точності обміну даними.

Це досягнення великої пропускної здатності та мінімізація затримки в мережах 5G стає фундаментальною передумовою для розвитку високоефективних IoT-систем, які потребують швидкого обміну даними для вирішення конкретних завдань. В автономних автомобілях, наприклад, де важливо отримати та обробити дані про навколишнє середовище в реальному часі, велика пропускна здатність мереж 5G гарантує, що інформація отримується та передається без значних затримок [25].

Поєднання високої пропускної здатності та низької затримки відкриває можливості для реалізації передових IoT-сценаріїв, таких як взаємодія великої кількості

датчиків у реальному часі чи впровадження високопродуктивних розумних систем управління містами. Ці технічні параметри мереж 5G не лише покращують потужність та швидкодію мережі для IoT, але також створюють основу для нових рішень, які можуть змінити спосіб, якими ми сприймаємо та використовуємо з'єднані пристрої в різних аспектах нашого повсякденного життя.

5G об'єднує нове радіо (NR) і хмарне ядро 5G (5GC), що забезпечує архітектуру на основі послуг, реалізовану як мікросервіси, розгорнуті в контейнерах. Архітектура 5G також забезпечує справжнє розділення функцій площини керування (CP) і площини користувача (UP), що забезпечує розширені можливості нарізки мережі. Це, у свою чергу, дозволяє одній мережевій архітектурі підтримувати безліч різноманітних варіантів використання, кожен з яких може вимагати різних характеристик мережевих послуг (пропускна здатність, затримка, тремтіння, кількість одночасних з'єднань, стійкість з'єднання тощо) (рис. 3.1).

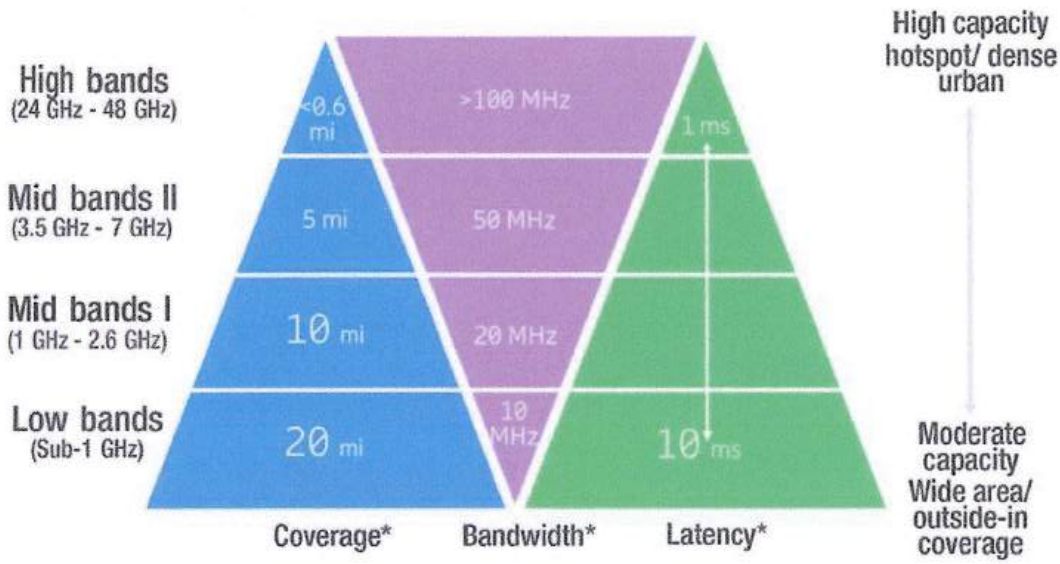


Рисунок 3.1 Затримки 5G

Параметри конструкції системи 5G визначають систему, здатну забезпечувати розширений досвід мобільного широкосмугового зв'язку (eMBB), у якому

користувачі повинні мати принаймні 50-100 Мбіт/с всюди та бачити пікові швидкості понад 10 Гбіт/с із затримкою обслуговування менше 1 мс під час руху. на швидкості понад 300 миль на годину! На додаток до вдосконалення мобільного широкосмугового зв'язку, система 5G також розроблена для роботи з масивними комунікаціями машинного типу, забезпечуючи масштабованість і гнучкість для розгортання пристроїв Інтернету речей (IoT) із часом роботи акумулятора, що перевищує 10 років.

Третій напрямок проектування системи 5G полягає в тому, щоб наскрізна система мала граничну доступність понад 99,999%, а також була здатна відтворювати наднадійний зв'язок із низькою затримкою (URLLC) із закінченням менше 5 мс. -системна затримка до кінця. Вимога до надійності URLLC для передачі 32-байтового пакету становить 1-10-5 із затримкою площини користувача 1 мс, що відповідає максимальному коефіцієнту блокових помилок (BLER) 10-5 або 0,001%. Для розгортання служб типу URLLC необхідно враховувати кілька додаткових факторів, наприклад: відповідний вибір спектру для покриття та пропускної здатності; вибір транспорту мережі радіодоступу (RAN); і варіанти архітектури базової мережі 5G. Ми розглянемо деякі критерії вибору для цих варіантів у решті цієї статті [26].

Розгортання будь-якої послуги 5G вимагає аналізу доступних параметрів спектру та вибору відповідного діапазону або комбінації спектру для цільового випадку використання; це особливо вірно у випадку служб із низькою затримкою. Щоб досягти вищої швидкості передачі даних, яка зазвичай пов'язана з системами 5G, потрібна широка смуга пропускання. Смуги спектру з шириною смуги каналу за замовчуванням 50 МГц або 100 МГц зазвичай знаходяться в діапазоні високочастотного спектру; однак системи 5G можуть використовувати будь-який доступний спектр і не обмежуються лише високочастотним діапазоном або спектром міліметрових хвиль. Можливості багаторівневої агрегації та агрегації несучих можна використовувати на всіх діапазонах для досягнення бажаних результатів. Таким чином, 5G слід розглядати як еволюцію, яка може спиратися на всі активи спектру.

Існує три класифікації спектру: низька смуга, середня смуга та висока смуга. Спектр низьких частот нижче 1 ГГц і зазвичай вважається «прибережною властивістю» всього спектру через його характеристики широкого покриття та його здатність

забезпечувати покриття зовні всередину та глибоке покриття всередині приміщень. 5 МГц, 10 МГц і 20 МГц є типовими розгорнутими смугами пропускання каналу в цьому діапазоні спектру. Низькочастотний спектр є основою для багатьох існуючих послуг 2G, 3G і 4G, а також IoT, і продовжуватиме обслуговувати ці сегменти в майбутньому. Низькочастотний спектр буде використовуватися для додатків 5G, які не вимагають наднизької затримки та високої постійної швидкості передачі даних і зазвичай оптимізовані для розгортання мереж макросот (широке покриття).

Спектр середньої смуги зазвичай розглядається як спектр вище 1 ГГц і нижче 6 ГГц, але в деяких випадках може розглядатися спектр аж до 8 ГГц. У цьому частотному діапазоні розкрито багато можливостей за допомогою моделей розгортання з ліцензованими, обмежено ліцензованими (наприклад, CBRS від 3,55 ГГц до 3,7 ГГц) і неліцензійними (наприклад, 5 ГГц). У найближчі роки планується зробити більше середньосмугового спектру, наприклад С-діапазону (від 3,7 ГГц до 4,2 ГГц), у якому можна отримати смугу пропускання 50 МГц і 100 МГц в залежності від розподілу спектру. Характеристики охоплення, пропускної здатності, затримки та пропускної здатності середньосмугового спектру роблять його чудовим кандидатом для розгортання послуг 5G URLLC. Ці характеристики можна додатково покращити шляхом об'єднання активів спектру середніх і низьких частот. Спектр середньої смуги зазвичай оптимізований для розгортання макросот і/або розгортання малих стільників між 3 ГГц і 6 ГГц. Смуги частот від 450 МГц до 6 ГГц відомі як діапазон частот 5G. Початкове розгортання 5G у середньому діапазоні в США відбуватиметься в діапазоні 2,5 ГГц.

Отже, запитаєте ви, де переваги наднизької затримки, обіцяні 5G? Вони належать до третьої класифікації спектру — високочастотний — у якому двонаправлені мультигігабітні швидкості та наднизькі затримки дійсно оживають. Високосмуговий спектр може стосуватися будь-чого, що перевищує 12 ГГц, і в рамках цієї класифікації є спектр міліметрових хвиль, який простягається від 30 ГГц до 300 ГГц.

3.2. Масштабованість

У реалізації Інтернету речей (IoT) в контексті мереж п'ятого покоління (5G) масштабованість виступає як суттєвий фактор, що визначає успішність та ефективність цих інноваційних систем. Мережі 5G спеціально розроблені для обробки великої кількості одночасних підключень, що відкриває необмежені перспективи для побудови розгалужених та високотехнологічних IoT-екосистем.

Забезпечення масштабованості важливо саме для IoT, оскільки ця технологія включає в себе значну кількість різноманітних пристроїв, що можуть бути підключені та взаємодіяти одночасно. Масштабованість мереж 5G визначається їхньою здатністю обробляти величезну кількість пристроїв без втрати якості обслуговування. Це робить можливим ефективне управління та координацію великого обсягу даних, що надходять від IoT-пристроїв, що активно взаємодіють у реальному часі.

У рамках розгляду мереж п'ятого покоління (5G) ключовим аспектом є їхні властивості масштабованості, які визначаються здатністю працювати з великою кількістю одночасно підключених пристроїв. Це стає важливим аспектом розвитку систем Інтернету речей (IoT), оскільки розгортання великої кількості пристроїв стає загальною тенденцією [27].

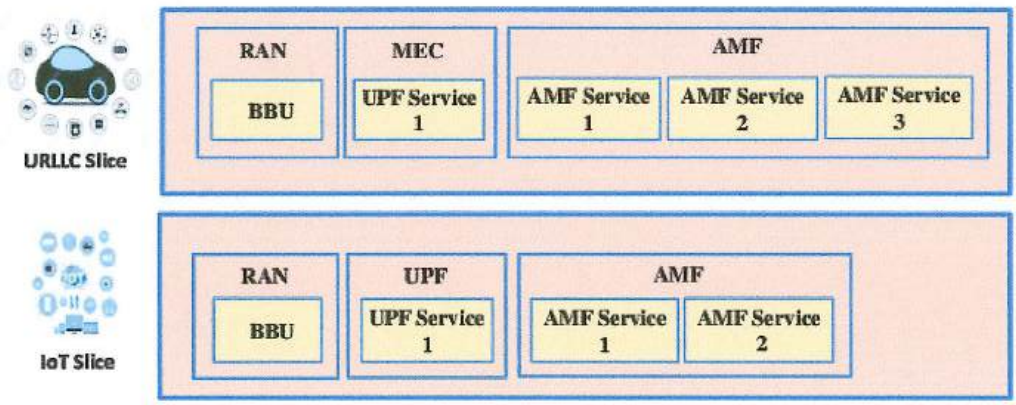


Рисунок 3.2 Маштабованість 5G

Мережі 5G забезпечують оптимізовані механізми керування ресурсами, які

дозволяють високоефективну обробку даних та сприяють забезпеченню надійного підключення для масштабного числа IoT-пристроїв. Це робить можливим широкомасштабне використання різноманітних пристроїв, таких як сенсори, медичні пристрої, розумні промислові рішення та інші, у мережах 5G.

Однією з переваг є здатність мереж 5G ефективно керувати великою кількістю одночасних підключень, що відкриває шлях для створення розгалужених та розширених IoT-екосистем. Це стає ключовим фактором для реалізації різноманітних застосувань, де велика кількість пристроїв може спільно працювати, обмінюватися даними та взаємодіяти у реальному часі, що робить масштабованість однією з визначальних рис мереж 5G в контексті розбудови IoT-рішень.

3.3. Енергоефективність

У плані енергоефективності, що представляє собою важливий аспект в розгляді мереж п'ятого покоління (5G), особливу увагу приділяється оптимізації споживання енергії IoT-пристроями, зокрема тими, що працюють на акумуляторі.

Мережі 5G впроваджують ряд технологічних рішень для забезпечення ефективного управління енергією. Використання технологій, таких як "сплячий режим" (sleep mode) для пристроїв, що не використовуються активно, та розумне керування ресурсами дозволяє значно зменшити споживання енергії в періоди неактивності.

Це має важливе значення для IoT-пристроїв, розташованих в областях, де доступ до джерел енергії обмежений, або для тих, які розміщені на мобільних платформах, таких як датчики у розумних одягах чи медичні пристрої. Забезпечення тривалої автономної роботи таких пристроїв є ключовим фактором для їхнього успішного впровадження в різні сфери, і мережі 5G відіграють роль у впровадженні енергоефективних стратегій, що забезпечують оптимальне використання ресурсів та максимальну тривалість роботи IoT-пристроїв на акумуляторах.

Мережа 5G — це динамічна система, яка безперервно споживає енергію та реагує на стрибки активності мережі. Понад 70% цієї енергії споживається антенами RAN, радіоблоками та елементами базових станцій. Процеси охолодження ядра/краю

та обчислювальні процеси, підсилювачі та транзитні лінії є додатковими областями, де можна покращити енергоефективність 5G [28].

Енергоспоживання базової станції 5G: оскільки кожна базова станція передає принаймні в 5 разів більше трафіку та працює в більшій кількості діапазонів частот, споживання електроенергії базовою станцією 5G принаймні вдвічі перевищує енергоспоживання 4G. Для перспективи кожна базова станція 5G споживає приблизно стільки ж електроенергії, скільки 73 домогосподарства. Додавання високоенергетичних активних антен (AAU) сприяє цьому збільшенню.

Енергоспоживання антени 5G. Масивні антенні решітки MIMO, що вимагають додаткових 1000 Вт потужності на сектор, також впливають на енергоспоживання 5G RAN. Потужність RAN можна зменшити, обмеживши масове розгортання MIMO міськими районами з інтенсивним трафіком. Інтеграція більшої кількості MIMO-антен С-діапазону зменшує вплив, оскільки для покриття тієї самої фізичної області потрібно менше стільників.

Енергоспоживання центру обробки даних 5G. З додатками 5G, прив'язаними до хмари для основних обчислень, аналізу та зберігання, ефективність центру обробки даних є важливим фактором для економії енергії 5G. Гіпермасштабувальники підвищили свою ефективність завдяки віртуалізації та економії масштабу, але на роботу центрів обробки даних все ще може припадати до 30% енергоспоживання 5G [29].

Вибухове зростання кількості периферійних обчислювальних установок для підтримки IoT також вимагає постійного зменшення розміру апаратного забезпечення та зменшення потужності, а також покращення автоматизації для усунення особистих операторів.

3.4. Використання хмарних ресурсів

Використання хмарних ресурсів стає суттєвим елементом ефективної інтеграції мереж п'ятого покоління (5G) з системами Інтернету речей (IoT). Завдяки великій пропускній здатності мережі 5G, дані можуть ефективно передаватися до та з хмарних обчислювальних ресурсів для подальшої обробки та аналізу.

Цей підхід дозволяє вирішити виклики щодо обмежених обчислювальних можливостей деяких IoT-пристроїв, переносячи частину обчислювального навантаження на хмарні сервіси. Мережі 5G, забезпечуючи високу швидкість передачі даних, забезпечують зручну інфраструктуру для швидкого і безперебійного обміну інформацією між пристроями та хмарними серверами.

Технологія 5G буде надзвичайно корисною для індустрії хмарних обчислень. Це пов'язано з тим, що хмарні технологічні інновації більш ефективні. Ця технологія покращує інтеграцію завдяки низькій або нульовій затримці, що забезпечує кращий зв'язок. Крім того, мета постачальників послуг, які використовують ідеї та технологію Cloud Native, полягає в досягненні розміру веб-сайту та економії на масштабах. Великі підприємства, такі як Intel і IBM, інвестують у хмарну мережу. Це передбачає розширення хмарних платформ, технологій і можливостей віртуалізації в мережі, щоб зробити її більш гнучкою та масштабованою. Мережі використовують 5G для швидкого переходу на цю програмно-визначену архітектуру, щоб задовольнити робочі вимоги та вимоги додатків, оскільки потреби споживачів і підприємств у пропускній здатності зростають. Крім того, хмара є вигідною сферою для зберігання будь-чого, не пов'язаного з пристроями, від додатків охорони здоров'я до автономних транспортних засобів і навіть до пристроїв для носіння та мобільних додатків. Ці технології працюватимуть краще, якщо вони використовуватимуть хмару та матимуть з'єднання 5G [30]. Надійність, продуктивність і ефективність хмарних продуктів і послуг повинні зрости. У результаті цих досягнень витрати на хмарний бізнес прискоряться. Наприклад, у червні 2021 року компанія FloLive, яка розробила хмарне рішення для об'єднання приватних локальних стільникових мереж для створення приватних глобальних мереж IoT 5G для своїх клієнтів, залучила 15,5 мільйонів доларів США у вигляді фінансування. Гроші будуть використані для розширення сервісу компанії, включаючи інвестування та розбудову її стеку технологій, оновлення її мережі до 5G, де вона використовується, і розробку глобальної SIM2Cloud. Згідно з даними Flexera 2021 State of the Cloud Report, респонденти очікують зростання витрат на хмару на 39 відсотків у наступні 12 місяців (рис. 3.3).

Використання хмарних ресурсів стає ключовим елементом для реалізації

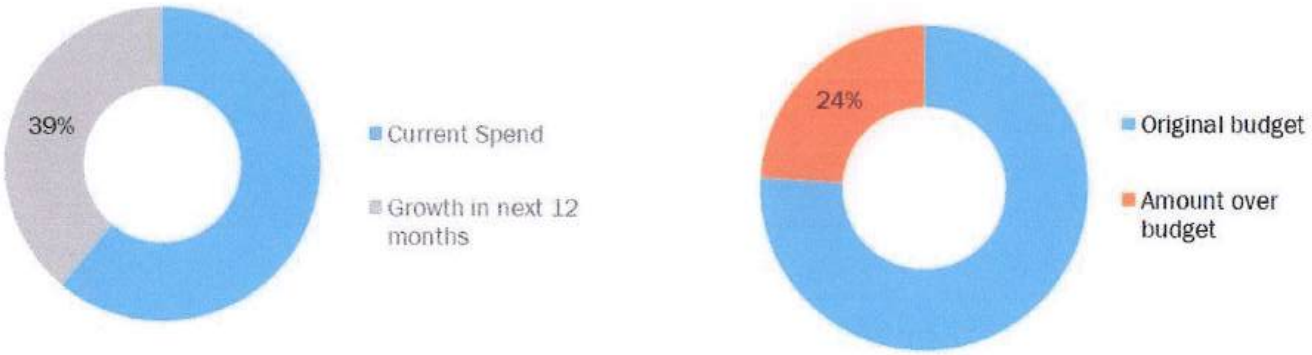


Рисунок 3.3 Енергоефективність 5G

розширених IoT-сценаріїв, де великі обсяги даних потребують високопродуктивної обробки та аналізу. Це особливо важливо в контексті розумних міст, промислових систем, а також в медичних та наукових дослідженнях, де великі обчислювальні можливості хмарних платформ можуть значно полегшити обробку та інтерпретацію зібраних даних з IoT-пристроїв.

3.5. Керування якістю обслуговування (Quality of Service - QoS)

Можливість керування якістю обслуговування (Quality of Service - QoS) це використання механізмів або технологій, які працюють у мережі для контролю трафіку та забезпечення продуктивності критичних програм з обмеженою пропускною здатністю мережі. Це дозволяє організаціям регулювати загальний мережевий трафік, визначаючи пріоритети для конкретних високопродуктивних програм.

QoS зазвичай застосовується до мереж, які передають трафік для ресурсомістких систем. Загальні послуги, для яких це потрібно, включають телебачення за протоколом Інтернету (IPTV), онлайн-ігри, потокове медіа, відеоконференції, відео на вимогу (VOD) і голос через IP (VoIP).

Використовуючи QoS у мережі, організації мають можливість оптимізувати продуктивність багатьох додатків у своїй мережі та отримати видимість бітрейту, затримки, тремтіння та швидкості пакетів своєї мережі. Це гарантує, що вони можуть проектувати трафік у своїй мережі та змінювати спосіб маршрутизації пакетів до

Інтернету чи інших мереж, щоб уникнути затримки передачі. Це також гарантує, що організація досягне очікуваної якості обслуговування для додатків і забезпечить очікуваний досвід користувачів.

Відповідно до значення QoS, основна мета полягає в тому, щоб дозволити мережам і організаціям визначати пріоритет трафіку, що включає виділену пропускну здатність, контрольований джиттер і меншу затримку. Технології, які використовуються для забезпечення цього, життєво важливі для підвищення продуктивності бізнес-додатків, глобальних мереж (WAN) і мереж постачальників послуг.

Мережі 5G надають можливість динамічно регулювати параметри QoS в залежності від особливостей та вимог конкретних IoT-сценаріїв. Це стає особливо важливим у випадках, коли різні типи пристроїв мають різні вимоги до пропускної здатності, затримки чи надійності з'єднання.

Наприклад, в сфері медичних IoT-застосувань можливість гарантувати низьку затримку та стабільне з'єднання може бути вирішальною для успішної передачі важливих даних. У той час як для інших сценаріїв, таких як відстеження інвентарю або моніторинг довкілля, може бути важливою велика пропускна здатність та менш строгі вимоги до затримки.

Загалом, можливість налаштовувати параметри QoS в мережах 5G дозволяє враховувати різноманітні потреби IoT-систем та забезпечує оптимальне використання ресурсів для різних типів пристроїв.

Ця гнучкість в управлінні якістю обслуговування в мережах 5G надає можливість точного налаштування параметрів для кожного конкретного IoT-пристрою, що має велике значення для різноманітних сценаріїв використання.

Важливим аспектом є також здатність мережі 5G адаптуватися до змінних умов зв'язку, які можуть виникати у зоні розгортання IoT-пристроїв. Наприклад, при збільшенні навантаження на мережу або виникненні тимчасових перешкод, система може динамічно реагувати та оптимізувати параметри QoS для забезпечення стабільного та ефективного з'єднання для всіх пристроїв.

Розуміння того, як працює програмне забезпечення мережі QoS, залежить від визначення різних типів трафіку, які воно вимірює. Це:

Пропускна здатність: швидкість з'єднання. QoS може вказати маршрутизатору, як використовувати пропускну здатність. Наприклад, призначення певної пропускної здатності різним чергам для різних типів трафіку.

Затримка: час, необхідний пакету для проходження від джерела до кінцевого пункту призначення. На це часто може впливати затримка в черзі, яка виникає під час перевантаження, і пакет очікує в черзі перед передачею. QoS дозволяє організаціям уникнути цього, створивши пріоритетну чергу для певних типів трафіку.

Втрата: кількість даних, втрачених у результаті втрати пакетів, що зазвичай відбувається через перевантаження мережі. QoS дозволяє організаціям вирішувати, які пакети відкидати в цій події.

Зміна затримки: Нерегулярна швидкість пакетів у мережі внаслідок перевантаження, що може призвести до того, що пакети надходять із запізненням і не в порядку послідовності. Це може спричинити спотворення або розриви аудіо та відео, що доставляються.

Цей підхід дозволяє розширити можливості використання мереж 5G в різних галузях, таких як індустрія 4.0, медицина, транспорт та інші, де різноманітність застосувань вимагає індивідуального підходу до керування якістю обслуговування. Це також відкриває перспективи для впровадження розумних технологій, що реагують на змінні умови та гарантують ефективну роботу розширених IoT-екосистем в мережах 5G.

3.6. Використання мережевих функцій віртуалізації (Network Function Virtualization - NFV)

Віртуалізація мережевих функцій (NFV) привернула значну увагу промисловості та наукових кіл як важливий зсув у наданні телекомунікаційних послуг. Завдяки відокремленню мережевих функцій (NF) від фізичних пристроїв, на яких вони працюють, NFV має потенціал для значного скорочення операційних витрат (OPEX) і капітальних витрат (CAPEX), а також сприяння розгортанню нових послуг із підвищеною гнучкістю та швидшим часом оцінювання. Парадигма NFV все ще

знаходиться в зародковому стані, і дослідницьке співтовариство має широкий спектр можливостей для розробки нових архітектур, систем і додатків, а також для оцінки альтернатив і компромісів у розробці технологій для її успішного розгортання. У цій статті, після обговорення NFV та його зв'язку з додатковими областями програмно-визначених мереж (SDN) і хмарних обчислень, ми оглядаємо сучасний стан NFV і визначаємо перспективні напрямки досліджень у цій галузі. Ми також оглядаємо ключові проекти NFV, зусилля зі стандартизації, раннє впровадження, варіанти використання та комерційні продукти.

NFV дозволяє відокремити комунікаційні служби від спеціального обладнання, такого як маршрутизатори та брандмауери. Це розділення означає, що мережеві операції можуть надавати нові послуги динамічно та без встановлення нового обладнання. Розгортання мережевих компонентів із віртуалізацією мережевих функцій займає години, а не місяці, як у традиційних мережах. Крім того, віртуалізовані служби можуть працювати на менш дорогих типових серверах замість пропрієтарного обладнання.

Додаткові причини використання віртуалізації мережевих функцій включають:

Pay-as-you-go: моделі NFV з оплатою за використання можуть зменшити витрати, оскільки підприємства платять лише за те, що їм потрібно.

Менша кількість пристроїв: оскільки NFV працює на віртуальних машинах, а не на фізичних машинах, потрібно менше пристроїв і нижчі експлуатаційні витрати.

Масштабованість: масштабування мережевої архітектури за допомогою віртуальних машин відбувається швидше та простіше, і це не вимагає придбання додаткового обладнання.

В контексті використання мережевих функцій віртуалізації (Network Function Virtualization - NFV) в мережах п'ятого покоління (5G), цей підхід виявляється ключовим для створення та ефективного управління мережевими сервісами, сприяючи інтеграції та оптимізації IoT пристроїв.

NFV дозволяє розміщення мережевих функцій на віртуальних ресурсах замість традиційного апаратного забезпечення, що полегшує масштабування та управління інфраструктурою. Це особливо важливо в контексті розгортання IoT-систем, де

велика кількість різнорідних пристроїв потребує гнучкої та адаптивної мережевої інфраструктури.

Застосування NFV у мережах 5G дозволяє швидко впроваджувати та масштабувати мережеві сервіси для підтримки різних типів IoT-застосувань. Це може включати в себе оптимізацію шляхів передачі даних, керування багаторівневою безпекою або підтримку розподіленого обчислення для IoT пристроїв.

Крім того, за допомогою NFV можливе швидке внесення змін у конфігурацію мережі, що є важливим в умовах швидко змінюючогося середовища IoT. Ця технологія визначається своєю гнучкістю та здатністю пристосовуватися до вимог різноманітних IoT-застосувань, полегшуючи їхню інтеграцію та управління в мережах 5G.

3.7. Безпека

У контексті використання Інтернету речей (IoT) в мережах п'ятого покоління (5G), забезпечення високого рівня безпеки стає ключовим аспектом, особливо з урахуванням значного збільшення кількості підключених пристроїв та обміну чутливою інформацією.

Однією з головних викликів є масштабування заходів забезпечення безпеки на велику кількість пристроїв. В мережах 5G важливо розглядати заходи забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності даних, зокрема у зв'язку з розподіленими застосуваннями IoT.

Розробка високопродуктивних методів аутентифікації та авторизації стає обов'язковою для забезпечення безпеки комунікації між пристроями та мережею 5G. Врахування унікальних властивостей IoT-пристроїв, таких як обмежені обчислювальні ресурси, важливо для розробки ефективних заходів захисту.

Застосування шифрування для захисту передачі даних, а також використання механізмів виявлення та відновлення випадкових помилок може допомогти забезпечити цілісність і доступність інформації в умовах високого обсягу даних, що пересилаються у мережі.

Окрім того, важливо враховувати можливі ризики в області введення в

експлуатацію нових технологій, таких як використання штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу та передбачення загроз безпеки.

Розвиток Інтернету речей (IoT) та технології 5G вносять величезні можливості в сферу зв'язку та комунікацій. Проте, ці технології стикаються із значущими викликами у забезпеченні безпеки. Пасивні атаки на канали зв'язку стають загрозою для конфіденційності та цілісності даних, особливо з урахуванням великої кількості підключених пристроїв у світі IoT.

Однією з найбільших турбот є захист особистих даних, які збираються та обробляються в системах IoT. З урахуванням обмежених ресурсів багатьох пристроїв, вони стають легкою мішенню для зловмисників, які можуть використовувати слабкі місця в програмному та апаратному забезпеченні для атак та витоку даних.

Технологія 5G, хоча й обіцяє швидкість та низькі затримки, також приносить свої виклики у справі безпеки. Збільшення масштабів підключення вимагає стійкості мережі та захисту від масштабних атак. Важливо розробляти високі стандарти безпеки, включаючи криптографічні протоколи та механізми автентифікації, для успішного впровадження цих технологій.

Усунення безпекових загроз від 5G та IoT вимагає постійного вдосконалення методів захисту та реагування на нові виклики. Все це є ключовим для забезпечення безпеки користувачів та захисту конфіденційності даних в сучасному швидкозмінюваному цифровому світі.

Висновок до розділу 3

Було розглянуто основні методи побудови систем IoT. Чотири ключові аспекти, які було розглянуто – висока пропускна здатність та низька затримка, масштабованість, енергоефективність та можливість керування якістю обслуговування – визначають основні переваги мереж 5G для реалізації розширених IoT-сценаріїв.

Забезпечення великої пропускної здатності та низької затримки виявляється важливим для застосувань, де швидкість реакції має вирішальне значення, таких як автономні автомобілі. Масштабованість мереж 5G дозволяє ефективно обслуговувати

велику кількість одночасних підключень, що є критичним для розгортання розмаїтих IoT-систем. Енергоефективність стає необхідною для тривалої автономної роботи пристроїв, особливо тих, які працюють на акумуляторі. Можливість керування якістю обслуговування дозволяє адаптувати параметри мережі під конкретні вимоги різних типів IoT-застосувань.

Основні методи побудови систем IoT вивчені, і в результаті цього виділено чотири ключові аспекти, які визначають переваги мереж 5G у впровадженні розширених IoT-сценаріїв. Ці аспекти, а саме висока пропускна здатність та низька затримка, масштабованість, енергоефективність та можливість керування якістю обслуговування, відіграють важливу роль у забезпеченні оптимального функціонування систем IoT.

Забезпечення високої пропускної здатності та низької затримки стає критичним для застосувань, де час реакції має вирішальне значення, таких як автономні автомобілі. Масштабованість мереж 5G виявляється ключовою для ефективного обслуговування великої кількості одночасних підключень, що стає важливим для розгортання різноманітних IoT-систем.

Енергоефективність стає невід'ємною частиною тривалої автономної роботи пристроїв, особливо тих, що працюють на акумуляторі. Здатність керування якістю обслуговування дозволяє адаптувати параметри мережі під конкретні вимоги різних типів IoT-застосувань, забезпечуючи оптимальну продуктивність та ресурсозбереження.

Таким чином, висвітлені аспекти демонструють, як мережі 5G є ідеальним інструментом для підтримки високопродуктивних та ефективних IoT-рішень в різних галузях, починаючи від автотранспорту і закінчуючи вдосконаленням побутової та промислової автоматизації.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було досліджено різноманітні методи побудови систем Інтернету речей (IoT) на базі мереж п'ятого покоління (5G). Детально розглянуті різні аспекти впровадження цих технологій, включаючи високошвидкісний обмін даними, зниження затримок і підвищення надійності зв'язку. В рамках дослідження було виявлено основні переваги використання мереж 5G для підтримки IoT, такі як збільшена пропускна здатність, покращена енергоефективність та розширені можливості зв'язку великої кількості пристроїв.

Одним із аспектів, на який була звернута увага, є забезпечення високого рівня безпеки передачі даних в мережах IoT на базі 5G. Детально проаналізовано можливі загрози та запропоновано рішення для забезпечення конфіденційності та цілісності інформації, передаваної між пристроями.

Крім того, у дослідженні розроблено концепції оптимального використання ресурсів мережі, зокрема ефективного розподілу пропускної здатності та енергоефективного управління пристроями IoT. Проаналізовано стратегії оптимізації для забезпечення стійкості мережі та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Результати цього дослідження вказують на те, що використання мереж 5G для розвитку IoT має великий потенціал у забезпеченні високоефективного та інноваційного зв'язку між пристроями. Впровадження розроблених методів та рекомендацій може сприяти не лише покращенню продуктивності мережі, але й розвитку нових сфер застосування для технологій Інтернету речей. Такий підхід важливий для створення ефективних та динамічних інфраструктур, які відповідають сучасним вимогам та високим стандартам зв'язку.

Здобуті у ході дослідження знання та розроблені рекомендації можуть стати основою для подальших наукових досліджень та практичного впровадження систем Інтернету речей на базі мереж п'ятого покоління. Такий підхід сприяє вдосконаленню сучасних технологій зв'язку, розширює можливості взаємодії між пристроями та сприяє створенню ефективних та інноваційних рішень в галузі Інтернету речей.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Dhar D. Energy Efficient Routing Algorithm with Sleep Scheduling in Wireless Sensor Network [Електронний ресурс] / D. Dhar, K. Praveen // International Journal of Computer Science and Information Technologies – Режим доступу до ресурсу: https://pdfs.semanticscholar.org/a7b3/bd02a2ceb6b6f7b4ba1c897d38055146a137.pdf.

2. Gottheil A. Energy Efficiency with IoT [Електронний ресурс] / Avrohom Gottheil. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://theiotmagazine.com/energy-efficiency-with-iot-99afb953579a.

3. Internet of Things [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things.

4. Стандарт LTE [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://1234g.ru/4g/lte/obshchaya-informatsiya-o-standarte-lte.

5. Мережева архітектура [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://coderlessons.com/tutorials/telekom/uznaite-lte/setevaia-arkhitektura-lte.

6. Радіодоступ 5G - 1 частина [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://itechinfo.ru/content/сеть-радиодоступа-5g-часть-1.

7. 5G New Radio [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php.

8. Проблеми 5G NR [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://wireless-e.ru/standarty/problemy-5g-new-radio/.

9. Raza M. Towards low power and lossy networks for IoT [Електронний ресурс] / M. Raza, M. A. Javed, S. A. R. Zaidi // Sensors. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.mdpi.com/1424-8220/18/3/773.

10. Gubbi J. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions [Електронний ресурс] / J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami //

Future Generation Computer Systems. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X12000689.

11. IoT Security Challenges and Solutions [Електронний ресурс] / S. Alrawais, M. Alhothaily, A. Alhowaish, E. Hu // Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S131915782030080X.

12. Machine Learning for IoT Data Analysis: A Survey [Електронний ресурс] / S. A. Arshad, M. H. Rehmani // Digital Communications and Networks. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864818301960.

13. 5G-enabled IoT for Smart Cities [Електронний ресурс] / M. Z. Shakir, A. I. T. Z. A. Rahman, A. U. R. Khan // IEEE Access. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/7742844.

14. Mobile Edge Computing for the Internet of Things: A Comprehensive Survey [Електронний ресурс] / Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/7999257.

15. Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities [Електронний ресурс] / M. Hassan, E. Ahmed, S. H. Ahmed // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8273807.

16. 5G NR (New Radio) in Rel-15 [Електронний ресурс] / 3GPP. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.3gpp.org/technologies/new-radio.

17. A Survey of Machine Learning in Big Data Processing [Електронний ресурс] / J. Chen, Y. Hong, R. Zhang, X. Zheng // ACM Computing Surveys. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3154784.

18. Cellular Internet of Things: Technologies, Standards, and Performance [Електронний ресурс] / M. S. Hossain, M. M. A. Hashem, A. Al-Mamun // IEEE Access. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8804811.

19. Low Latency Communication for Internet of Things: A Comprehensive Survey [Електронний ресурс] / A. Asadi, Q. Wang, V. M. Leung // IEEE Internet of Things

Journal. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8706572.

20. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology [Електронний ресурс] / E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold. – Academic Press, 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.elsevier.com/books/5g-nr/dahlman/978-0-12-814323-0.

21. Machine Learning for Future Wireless Communications [Електронний ресурс] / L. B. Le, L. T. Hoang, D. Niyato // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8335373.

22. Security and Privacy in Internet of Things (IoT): Models, Applications, and Future Directions [Електронний ресурс] / A. Dorri, S. S. Kanhere, R. Jurdak, P. Gauravaram // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/7462201.

23. Mobile Edge Computing: A Survey [Електронний ресурс] / M. Chen, Y. Hao, M. Li // IEEE Access. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/7065233.

24. A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications [Електронний ресурс] / Y. Atzori, A. Iera, G. Morabito // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/6480740.

25. Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical Layer to Application [Електронний ресурс] / X. Lin, X. Tao, Y. Wang // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8333547.

26. Machine Learning for Internet of Things Data Analysis: A Survey [Електронний ресурс] / Y. Zhou, F. Ding, H. Zhang // Digital Communications and Networks. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864818302059.

27. 5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation [Електронний ресурс] / A. Ghosh, J. Zhang, J. G. Andrews. – Academic Press, 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.elsevier.com/books/5g-nr/ghosh/978-0-12-814323-0

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

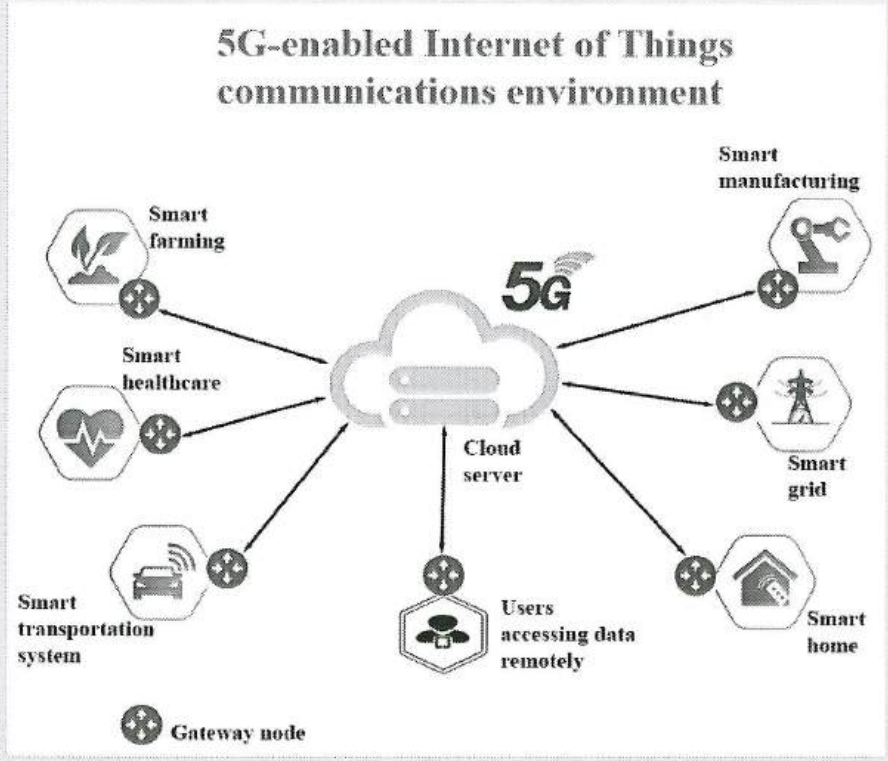
Методи побудови систем IoT з використанням технологій мобільних мереж п'ятого покоління

Студент групи АРДМ-62
Луцюк Іван

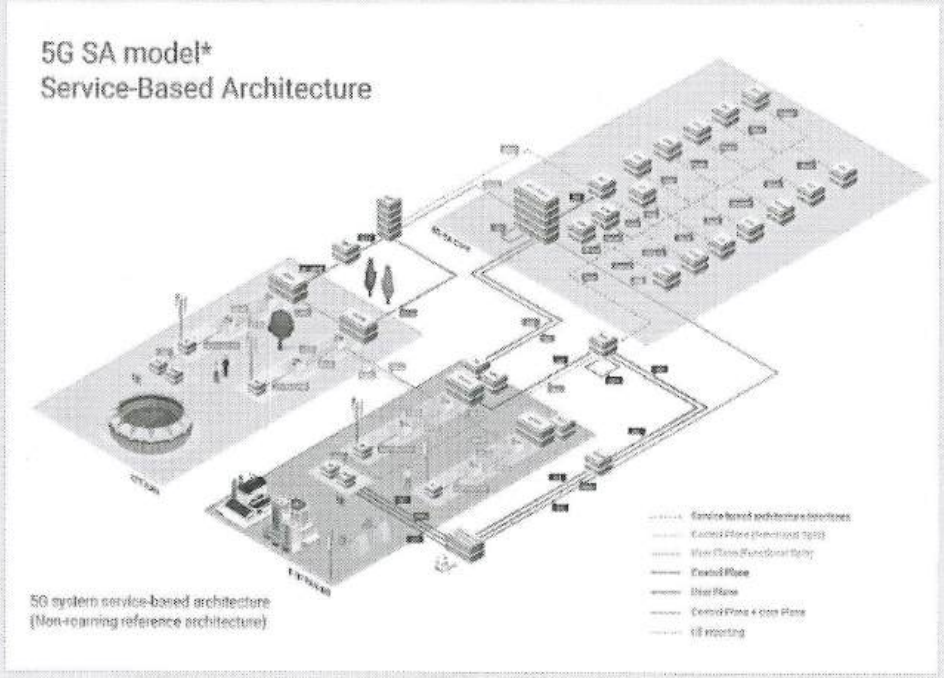
Київ 2024

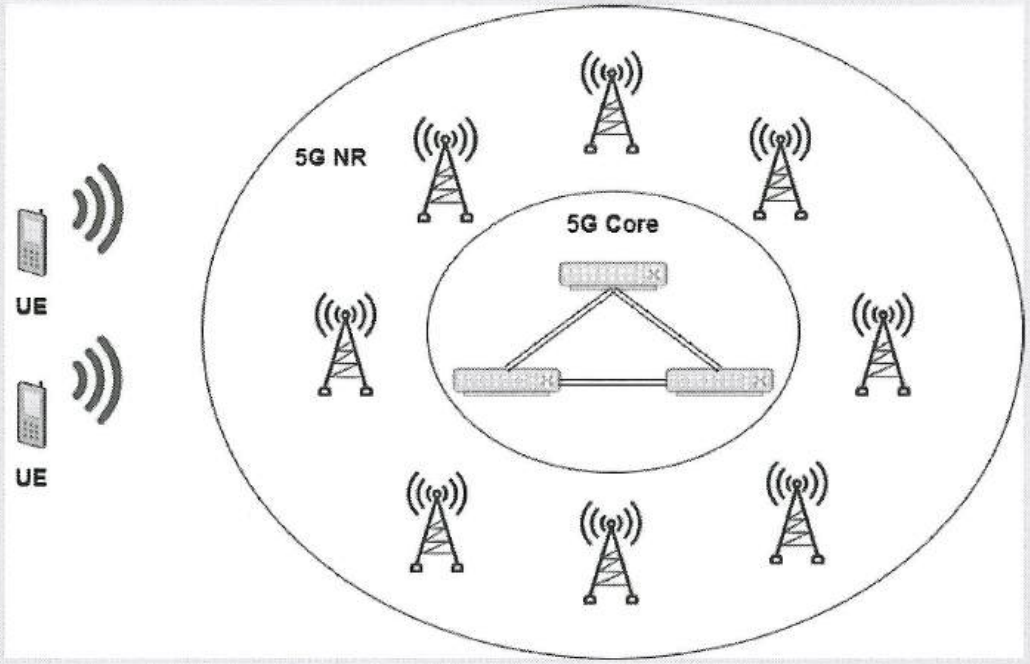
Чому 5G для IoT?

- Висока швидкість передачі даних
- Низька затримка
- Охоплює велику територію
- Розбиття (сегментація) мережі 5G



Архітектура 5G для IoT





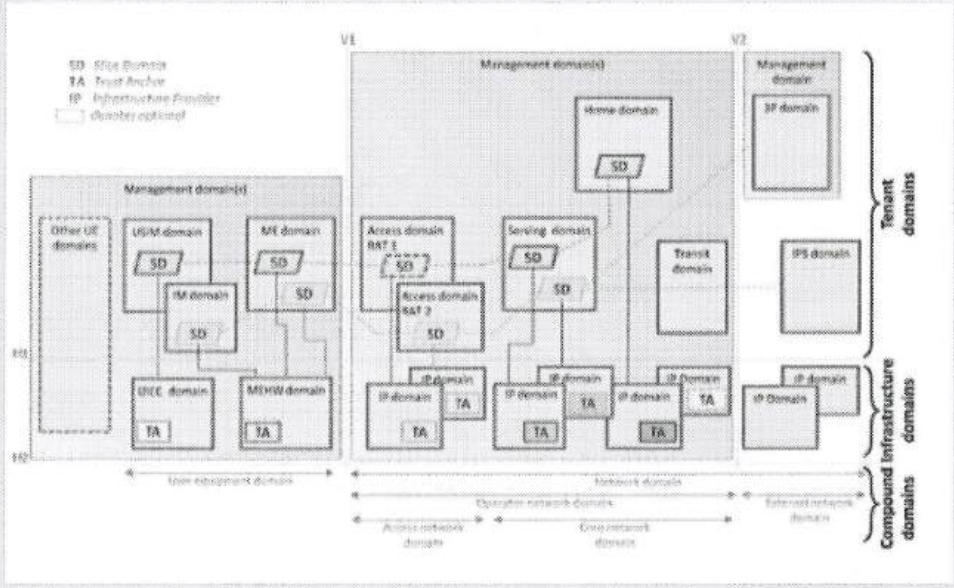
Безпека та конфіденційність 5G

Операційний процес
- Забезпечення безпеки операцій, наприклад розподіл обов'язків, використання мінімальних привілегій, реєстрація
- Моніторинг виконання функцій безпеки, керування вразливостями та виявлення атак

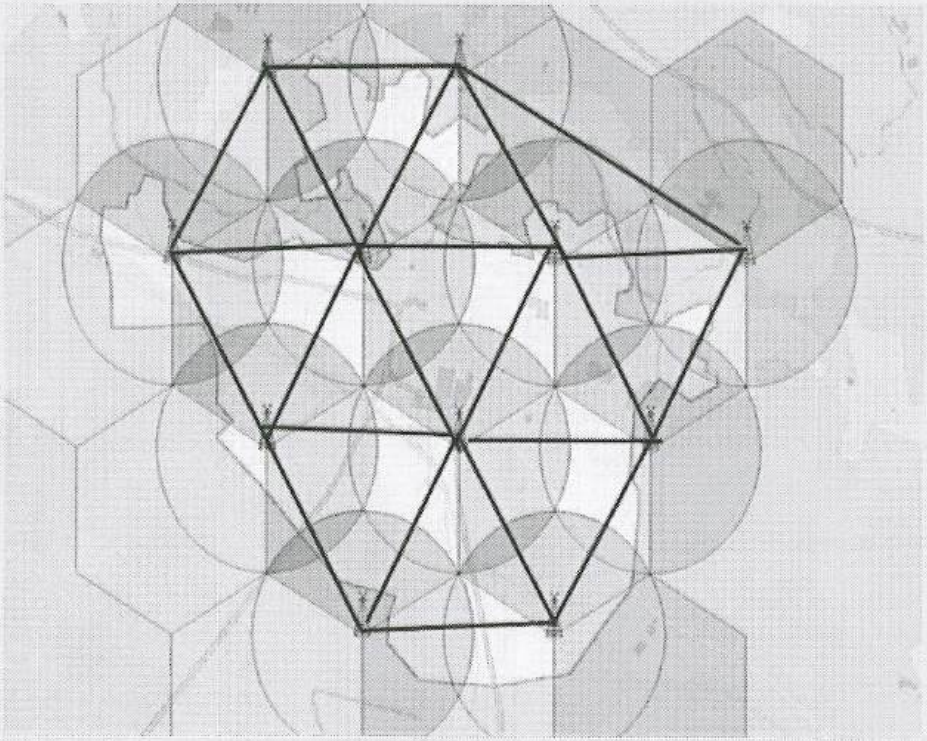
Розгортання
- Надійний дизайн мережі з урахування надійності та відмовостійкості
- Конфігурація параметрів безпеки

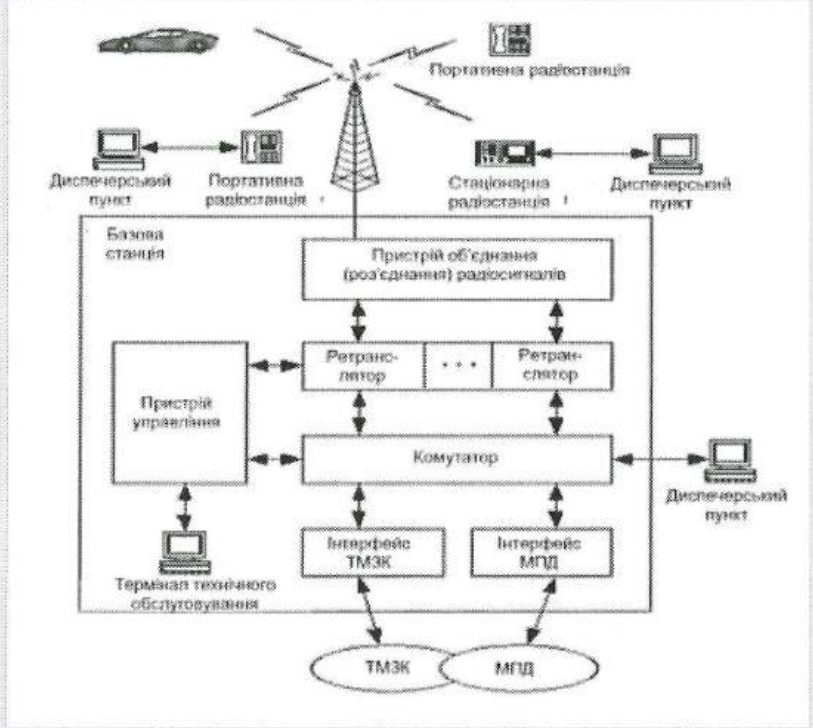
Процес розробки продукту
- Надійний дизайн мережі з урахуванням надійності та стійкості
- Конфігурація параметрів безпеки
- Контроль версій і оновлення програмного забезпечення безпеки

Процес стандартизації
- Протоколи безпеки, алгоритми, сховище

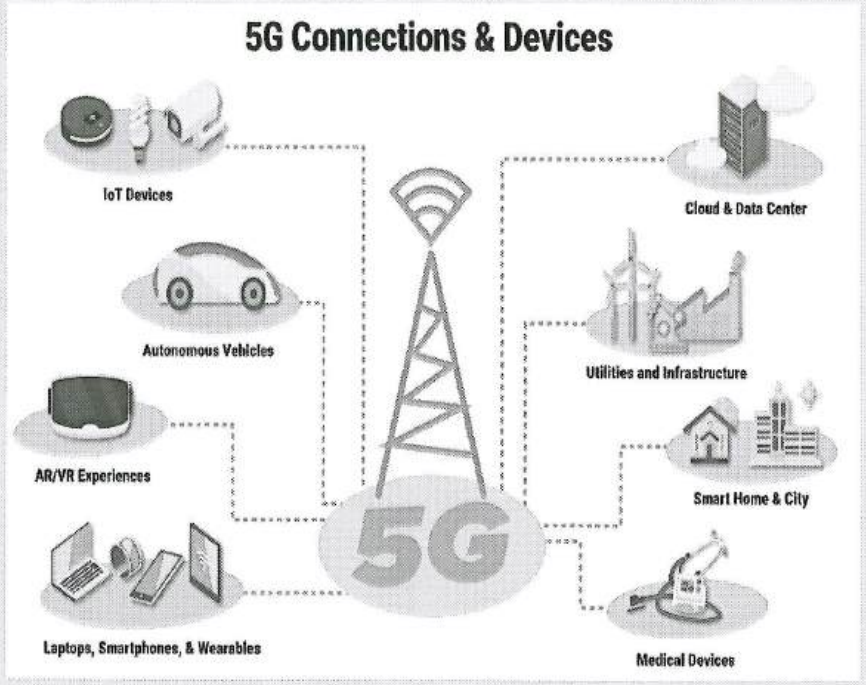


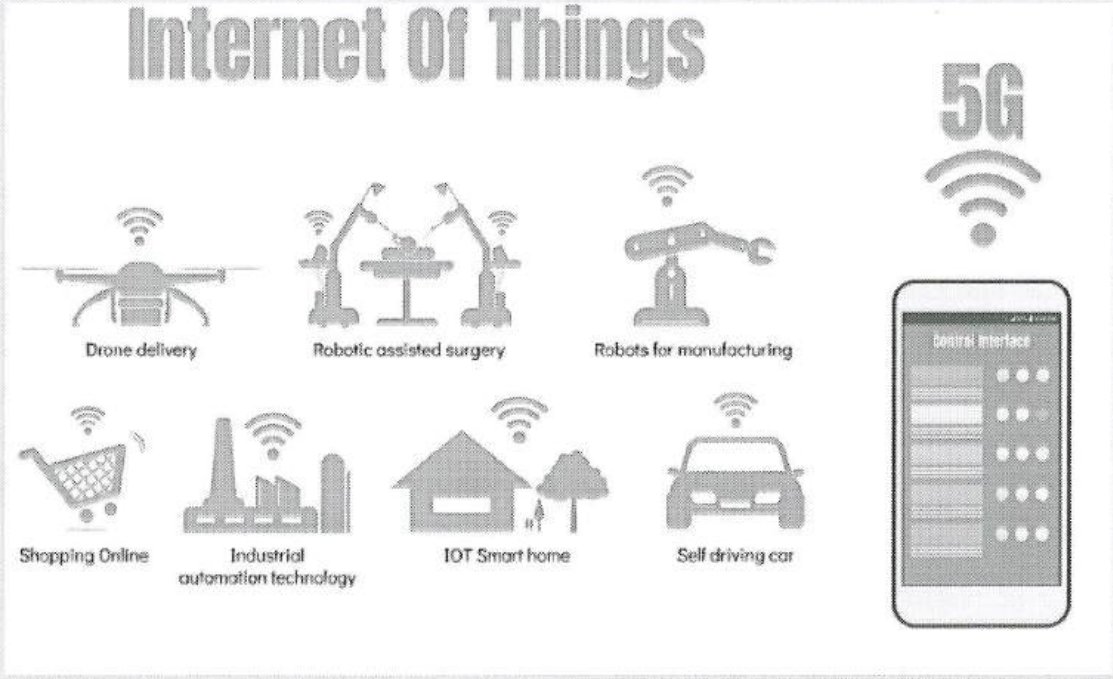
Мережеве планування систем бездротового зв’язку





Знайомство з IoT





Інтернету речей (IoT), які працюють завдяки 5G

Розумні міста

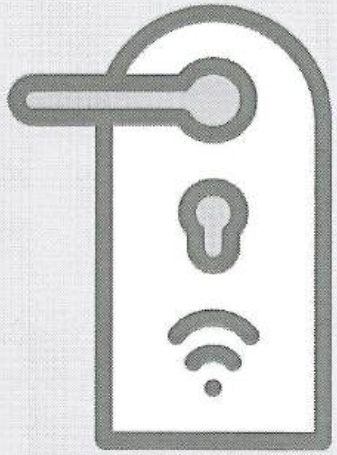
5G підтримує такі додатки для розумних міст, як інтелектуальне керування дорожнім рухом, громадська безпека та екстрені служби, а також розумне управління відходами.



Розумні будинки

5G дає змогу працювати з розумними домашніми додатками, такими як віддалений моніторинг дому, управління енергією та домашня автоматизація.

Пристрої та датчики 5G IoT



РОЗУМНІ ДОМАШНІ ПРИСТРОЇ

Пристрої 5G IoT для розумних будинків включають термостати, камери безпеки та холодильники.



ПРОМИСЛОВІ ДАТЧИКИ

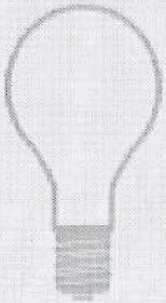
Датчики 5G IoT для промислового використання включають датчики для прогнозного обслуговування, відстеження активів і моніторингу навколишнього середовища.



Висновок



У кваліфікаційній роботі було досліджено різноманітні методи побудови систем Інтернету речей (IoT) на базі мереж п'ятого покоління (5G). Детально розглянуті різні аспекти впровадження цих технологій, включаючи високошвидкісний обмін даними, зниження затримок і підвищення надійності зв'язку. В рамках дослідження було виявлено основні переваги використання мереж 5G для підтримки IoT, такі як збільшена пропускна здатність, покращена енергоефективність та розширені можливості зв'язку великої кількості пристроїв.



Апробація результатів магістерської роботи

Дослідження безпеки та приватності систем Інтернету речей у мережах мобільного зв'язку.«Зв'язок» №6 2023

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

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

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

Автор: Іван Луцюк

Назва: Методи побудови систем IoT з використанням технологій мобі-льних мереж п'ятого покоління

Координатор: Наталія Руденко

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:5.5

Коефіцієнт подібності 2:3.1

Тривога: 10

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

....

Дата *Підпис Наукового керівника*