

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:
«ІНФОРМАЦІЙНА ІНФРАСТРУКТУРА SMART CITY НА БАЗІ
ТЕХНОЛОГІЙ 6G»

на здобуття освітнього ступеня магістр
за спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології
(назва)

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

(підпис) Олександр ЗАВЕЛЯ
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Виконав:
здобувач вищої освіти
група ІСДМ-62

Керівник
к.т.н.

Рецензент:
науковий ступінь,
вчене звання

Олександр ЗАВЕЛЯ
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
Ольга ПОЛОНЕВИЧ
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК

“_____” _____ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Завелі Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Побудова інформаційної інфраструктури Smart City на базі технології 6G

керівник кваліфікаційної роботи: Ольга ПОЛОНЕВИЧ к.т.н., доцент

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від “15” жовтня 2024 р. № 320

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «27» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи:

1. Принципи побудови та функціонування Smart City.
2. Характеристики мереж 6G.
3. Науково-технічна література.

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

1. Аналіз вимог до майбутніх «розумних міст».
2. Дослідження технології 6G як основи для розгортання інфраструктури Smart City
3. Нарізка мережі 6G для надання послуг в Smart City.

5.Перелік ілюстраційного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання «15» жовтня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір технічної літератури	15.10-05.11.24	
2.	Аналіз вимог до майбутніх «Розумних міст»	06.11-12.11.24	
3.	Дослідження технологій мереж 6G.	13.11-19.11.24	
4.	Дослідження моделей нарізки мережі 6G.	20.11-03.12.24	
5.	Висновки по роботі	04.12-10.12.24	
6.	Розробка демонстраційних матеріалів, доповідь.	11.12-20.12.24	
7.	Оформлення бакалаврської роботи	21.12-27.12.24	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Олександр ЗАВЕЛЯ

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ольга ПОЛОНЕВИЧ

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття ступня магістр: 68 стор., 17 рис., 5 табл., 18 джерел.

Мета роботи – дослідження особливостей та переваг побудови Smart City на основі технології 6G.

Об'єкт дослідження – інформаційна інфраструктура Smart City.

Предмет дослідження – особливості інтеграції технології 6G в інформаційну інфраструктуру Smart City.

Короткий зміст роботи. В роботі проведено поглиблене дослідження та аналіз майбутніх технологій для «Розумних міст». Досліджено особливості мереж 6G та їх переваги для побудови Smart City.

Запропоновано модель нарізки мережі та архітектуру штучного інтелекту для спрощення інтелектуального керування мережею та підтримки послуг штучного інтелекту в мережах 6G. Архітектура спрямована на забезпечення синергії ІІІ та нарізки мережі. Представлено математичну модель нарізки мережі для ІоТ «Розумних міст». Представлено показники оцінки продуктивності впроваджених технологій нарізки мережі в контексті ІоТ «розумних міст» із підтримкою 6G.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖІ 6G, SMART CITY, «РОЗУМНЕ МІСТО», НАРІЗКА МЕРЕЖІ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ISAC, RIS, NTN

ABSTRACT

The text part of the qualifying work for obtaining a bachelor's degree: 68 pp., 17 fig., 5 tables, 18 sources.

The purpose of the work is to study the features and advantages of building a Smart City based on 6G technology.

The object of the research is the information infrastructure of a Smart City.

The subject of the research is the features of integrating 6G technology into the information infrastructure of a Smart City.

Summary of the work. The work provides an in-depth study and analysis of future technologies for "Smart Cities". The features of the 6G network and their advantages for building a Smart City are studied.

A model of network slicing and artificial intelligence structures are proposed to expand the intelligent control network and support artificial intelligence services in 6G networks. The architecture is aimed at ensuring the synergy of AI and network slicing. A mathematical model of network slicing for IoT "Smart Cities" is presented. Performance indicators for the implementation of network slicing technologies in the context of IoT "smart cities" with 6G support are presented.

KEYWORDS: 6G NETWORKS, SMART CITY, NETWORK SLICING, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ISAC, RIS, NTN

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИМОГ ДО МАЙБУТНІХ «РОЗУМНИХ МІСТ».....	11
1.1 Вимоги до «розумних міст».....	11
1.2 Аналіз можливостей, які надають «розумні міста».....	12
1.3 Проблеми впровадження «розумних міст».....	20
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 6G ЯК ОСНОВИ ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ SMART CITY.....	23
2.1 Телекомунікаційні мережі для «Розумного міста».....	23
2.1.1 Виклики для «Розумних міст» пов'язані з великими даними.....	23
2.1.2 Перспективні системи зв'язку для «розумного міста».....	26
2.2 Ключові характеристики та технології мереж шостого покоління.....	28
2.2.1 Технічні характеристики 6G.....	28
2.2.2 Технології мереж шостого покоління.....	33
2.3 Можливості, які відкриває 6G для «Розумного міста».....	46
РОЗДІЛ 3 НАРІЗКА МЕРЕЖІ 6G.....	52
3.1 Нарізки мережі для IoT «розумних міст» у рамках 6G.....	52
3.1.1 Математична модель нарізки мережі.....	52
3.1.2 Оцінка продуктивності.....	58
3.2 Нарізка мережі 6G з інтеграцією AI.....	59
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)	71

ВСТУП

Актуальність теми. Розумні міста майбутнього — це ключ до задоволення постійно зростаючих потреб громадян. Інформаційні та комунікаційні досягнення дозволять краще керувати доступними ресурсами. Конвергенція мереж 6G і технологій III має величезні перспективи для трансформації різних секторів і відкриття нових можливостей для інновацій, ефективності та економічного зростання. 6G — це більше, ніж покращення вимог до ключових показників продуктивності, таких як підвищення швидкості передачі даних, розширена пропускна здатність мережі та низька затримка. Передбачається, що мережі 6G матимуть наступні унікальні функції. По-перше, космічні мережі (супутники на низькій навіколоземній орбіті), повітряні мережі (безпілотні літальні апарати), і наземні мережі (базові станції стільникового зв'язку, інтегровані в мережі SAGIN) забезпечать глобальне покриття та послуги на вимогу. По-друге, можливість віртуалізації ресурсів за допомогою методів нарізки мережі та віртуалізації кінцевого користувача за допомогою методів цифрових двійників. Розширена віртуалізація мережі забезпечити гнучке управління мережею. По-третє, інтелект зможе проникнути в усі куточки мереж, починаючи від кінцевих користувачів, краю мережі й закінчуючи віддаленою хмарою, що призведе до всюдисущого інтелекту. Ряд мережевих вузлів буде оснащено вбудованими функціями штучного інтелекту, що сприяє не лише інтелектуальному управлінню мережею, але й підтримує послуги III. Очікується, що розгортання мереж 6G розкриє великі можливості для розвитку Smart City та впровадження технологій, які досі є недоступними, через брак ресурсів телекомунікаційних мереж.

Мета роботи — дослідження особливостей та переваг побудови Smart City на основі технології 6G.

Для досягнення мети, у магістерській роботі успішно виконано наступні завдання:

1. Аналіз вимог до майбутніх «розумних міст».

2. Дослідження технології 6G як основи для розгортання інфраструктури Smart City

3. Нарізка мережі 6G для надання послуг в Smart City.

Об'єкт дослідження – інформаційна інфраструктура Smart City.

Предмет дослідження – особливості інтеграції технології 6G в інформаційну інфраструктуру Smart City.

Методи дослідження. Під час написання магістерської кваліфікаційної роботи були використані методи теоретичного дослідження, імітаційного моделювання.

Наукова новизна: Запропоновано модель нарізки мережі та архітектуру штучного інтелекту для спрощення інтелектуального керування мережею та підтримки послуг штучного інтелекту в мережах 6G.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення і результати магістерської роботи опубліковані на II Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу». Збірник тез. – К.: ДУІКТ, 2024.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИМОГ ДО МАЙБУТНІХ «РОЗУМНИХ МІСТ»

1.1 Вимоги до «розумних міст»

«Розумне місто» - це місто, яке використовує технології для покращення результатів усіх аспектів роботи міста та покращення послуг, які воно пропонує своїм жителям. Воно збирає та використовує дані для прийняття рішень, а також створює мережі партнерів серед урядів, компаній, некомерційних організацій, громадських груп, університетів і лікарень, щоб розширити та покращити свою здатність обслуговувати своїх жителів.

Виникнення поняття «розумне місто» обіцяло, що технології є ключем до вирішення багатьох проблем, з якими стикаються міста в нашому сучасному світі. З роками ця обіцянка виправдалася лише частково. Технології змінили наше життя та розвиток наших міст. Однак технології є лише засобом, а не ключем до кращого життя в містах. Це створює можливості для інноваційного розвитку міста, але щоб зробити наші міста розумнішими, нам потрібно розумно та інклюзивно використовувати технології для задоволення потреб місцевих громад, підприємств і громадян. «Розумні міста» повинні бути, в першу чергу, орієнтовані на людей, забезпечувати сталий соціальний та економічний розвиток. При цьому, будуючи «розумні міста» слід враховувати, що люди мають різні потреби залежно від різних умов, і бар'єри та виклики, з якими вони стикаються, можуть відповідно відрізнятися.

Серцем розумного міста є люди. Мешканці міста хочуть жити в безпечних, здорових місцях, які пропонують економічні можливості. Більшість міст у всьому світі прагнуть досягти трьох цілей:

- краща якість життя мешканців і відвідувачів.
- економічна конкурентоспроможність для залучення промисловості та талантів.
- екологічно свідома увага до сталого розвитку.

Ці три цілі — якість життя, економічна конкурентоспроможність і сталість -

мають бути наріжними каменями ініціативи «розумного міста».

Підхід, орієнтований на людей, означає створення міст не лише для людей, а й з людьми. У контексті розумніших та інклюзивних міст підхід, орієнтований на людей, вимагає глибокої взаємодії з потребами всіх мешканців і зацікавлених сторін у містах шляхом значущої участі громади, подолання цифрового розриву, розвитку необхідної цифрової інфраструктури та управління, а також нарощування потенціалу за допомогою багатьох зацікавлених сторін партнерства. Це також вимагає застосування системного та стратегічного підходу до цифрової трансформації, розуміння її потенціалу та забезпечення її відповідності існуючим місцевим, національним і глобальним пріоритетам, наприклад, розумний транспорт, доступне житло або скорочення викидів вуглецю.

Підхід, орієнтований на людей, має п'ять ключових аспектів, що визначають системний спосіб зробити міста розумнішими та інклюзивнішими.



Рис.1.1. Ключові аспекти «розумного міста»

1.2 Аналіз можливостей, які надають «розумні міста»

Вся концепція розумного міста обертається навколо громадян. Вони є центральним елементом розумних міст. Усі інші функції розумних міст так чи інакше покликані сприяти комфорту його мешканців. Розумне місто підтримується креативністю та новими ідеями, а джерелом цих ідей та креативності є його громадяни.



Рис.1.2. Можливості, які надає мешканцям «Розумне місто»

Система охорони здоров'я в «розумному місті».

Технологічний прогрес у сфері охорони здоров'я є революційним і значною мірою забезпечує захист життя людей від хвороб. Моніторинг здоров'я відіграє важливу роль у виявленні проблеми на ранніх стадіях. Управління охороною здоров'я є життєво важливим для будь-якого «розумного міста» майбутнього. Компоненти інтелектуального управління охороною здоров'я на рівні міста можуть включати особисту медичну допомогу, розумну лікарню, телемедицину/онлайн-консультації, розумну медицину, розумний контроль захворювань і розумну звітність у сфері охорони здоров'я.

Перший рівень цієї системи - персональна мережа тіла із сенсорними пристроями для моніторингу різноманітної діяльності людського тіла. Ці заходи можуть включати відстеження кроків, моніторинг серцевого ритму, моніторинг рівня кисню в крові та моніторинг сну. Ці датчики зазвичай називають Healthcare IoT (H-IoT). Граничні обчислення виправляють вимоги до низької затримки між датчиком і процесором даних, забезпечуючи меншу відстань між ними та вищу

швидкість обробки. Крім того, датчик Н-ІоТ генерує величезну кількість даних, і його збір вручну не має значення, тому ML і методи аналізу великих даних використовуються в поточних рішеннях, щоб зробити процес більш продуктивним і своєчасним.

Інші аспекти охорони здоров'я, де використовуються технології наступного покоління, включають медичне навчання, сенсорні протези, точні процедури, реабілітацію на основі віртуальної реальності та доповненої реальності (VR/AR) і реабілітацію після травм.

Транспорт «розумного міста».

Загальна розумна дорожня інфраструктура зазвичай надає такі послуги, як: моніторинг у режимі реального часу, інформація в режимі реального часу, планування подорожі та вказівки, інтелектуальна система освітлення доріг, розумна система сигналізації на дорозі, керування навантаженням дорожнього руху, управління швидкістю та навколишнім середовищем, а також система оповіщення, керування паркуванням та вказівки, реагування на інциденти та аварії, контроль та надзвичайні ситуації управління системою.

Придорожня інфраструктура використовує датчики, включаючи детектори тиску, детектори індуктивної петлі, мікрохвильові детектори, детектори зображення, ультразвукові детектори та інфрачервоні детектори, щоб виявляти об'єкти, їх положення та швидкість для виконання складних розрахунків, а потім передавати результати іншим компонентам загальної системи інфраструктури, а також розумним транспортним засобам, які пересуваються по інфраструктурі. Компоненти системи створюють модель у поточний момент часу для поточної точки місця, що містить дані в реальному часі, а потім передають її іншим компонентам перед обчисленням оновленої моделі в наступний момент часу. Потім інші власники стеків системи отримують модель за допомогою високошвидкісних каналів зв'язку, і використовують цю інформацію для подальшого використання в розрахунку моделі моменту часу відповідно до свого положення в інфраструктурі.

Автономна транспортна система без водіїв — це потреба розумних міст майбутнього. Дослідження багатьох аспектів автономних транспортних засобів

ідуть дуже активно: розрахунок складності, ідентифікація ризиків, аналіз сценаріїв і точне прийняття рішень у реальному часі.

Аспект розумного транспорту в розумному місті має унікальну функцію зв'язку між автомобілями та транспортними засобами, що складається з транспортного засобу до інфраструктури (V2I), транспортного засобу до пішохода (V2P), транспортного засобу до транспортного засобу (V2V), транспортного засобу до датчиків (V2S), транспортного засобу до хмари (V2C) і автомобіля до дому (V2H). У організованому порядку ця комунікація може допомогти вирішити проблеми транспортної інфраструктури міста.

Ще одна проблема транспортної інфраструктури сучасного міста – затори. Чим більш населеним стає місто, тим більше пасажирів приїжджає на дорогу, що створює навантаження на транспортну інфраструктуру. Ретельне планування є вирішальним фактором, який використовується для розподілу трафіку шляхом розміщення комерційних центрів і зон у розумно вибраних точки для плавного руху транспорту. Новою парадигмою вирішення цього питання є використання літаючих автомобілів. Використання літаючих автомобілів (очевидно, під ретельним плануванням і контролем) може забезпечити ефективне і швидке вирішення цієї проблеми. Значні виклики в цій сфері включають безпеку загальної транспортної інфраструктури, сертифікацію навчання та стандартизацію в усьому світі в області пілотів, а також виробництво автомобілів, правила та норми авіаційного руху, вплив на навколишнє середовище, логістику та сталість, прийняття людиною та кібербезпеку.

Високий рівень екологічності.

Екологічність «розумного міста» — це важлива складова концепції сталого розвитку, яка передбачає інтеграцію технологій для забезпечення ефективного використання природних ресурсів, зменшення викидів вуглецю, збереження біорізноманіття та покращення якості життя мешканців міста.

Відновлювані джерела енергії відіграють важливу роль у підтримці здорового навколишнього середовища. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітряні турбіни, енергозберігаючих технологій у

будівлях та інфраструктурі, а також системи "розумного" освітлення, яке автоматично регулюється залежно від часу доби та погодних умов, є невід'ємною складовою «розумного міста»

Переробка відходів завжди була однією з головних проблем модернізації, оскільки вона вимагає хорошого місця звалища та досвідченої методології перетворення відходів у матеріал, придатний для повторного використання. Переробка відходів також відіграє важливу роль у підтримці більш здорової та доброї економіки розумного міста. Впровадження систем сортування та переробки сміття, зменшення кількості відходів на звалищах через використання технологій для переробки матеріалів та зменшення використання одноразових виробів.

Крім того, для «розумного міста» важливим є створення енергоефективних будівель з використанням екологічних матеріалів та сучасних технологій для забезпечення оптимального споживання енергії та ресурсів. Створення парків, зелених зон, дахів і фасадів, покритих рослинами, що допомагають знижувати рівень вуглецевих викидів, покращують якість повітря та зменшують ефект "теплового острова". Це також забезпечує підтримку біорізноманіття.

«Розумні будинки»

Щоб забезпечити якість життя своїм громадянам, розумні будинки в розумному місті відіграють основну роль. Урбанізація зростає в усьому світі. Це чинить тиск на населення міст, що в кінцевому підсумку погіршує життя міста через перенаселення. Основною одиницею міського життя є дім, і технологічний прогрес у технологіях «розумного будинку» дає можливість вести здоровий спосіб життя вдома. Домашня автоматизація є важливим аспектом «розумних будинків», а пристрої Інтернету речей виступають основою для домашньої автоматизації. Інтегрована система, що складається з цих пристроїв, повинна бути енергозбереженою та забезпечувати дружнє середовище для кінцевого користувача.

Усередині дому забезпечення простоти шляхом автоматизації повсякденних завдань здійснюється за допомогою пристроїв штучного інтелекту, Інтернету речей, пов'язаних між собою безпосередньо або через центральний менеджер

«розумного будинку». Такий розумний домашній менеджер призводить до стандартизації та сумісності різних протоколів зв'язку та обміну даними, а також для керування. Використання пристроїв штучного інтелекту, машинного навчання та Інтернету речей у розумних будинках разом забезпечує моніторинг охорони здоров'я на особистому рівні. Розумний будинок дозволяє налаштувати автоматичне управління різними пристроями, такими як освітлення, опалення, кондиціонування, жалюзі тощо. Все це можна контролювати через смартфон або голосові команди. Також, «розумні будинки» надають можливість користувачу управляти всіма пристроями і системами будинку віддалено. Розумні термостати та датчики можуть автоматично регулювати температуру в будинку в залежності від присутності мешканців. Вони можуть знижувати температуру або вимикати обігрівачі, коли мешканців немає вдома, що сприяє економії енергії.

«Розумний будинок» може включати камери спостереження, датчики руху, віконні і дверні датчики, що забезпечують високий рівень безпеки. Вони можуть сповіщати мешканців про небезпеку чи до зволати їм дистанційно керувати відкриванням дверей. Розумні пристрої, такі як холодильники, пральні машини, посудомийні машини, можуть автоматично регулювати свої налаштування для максимального ефекту при мінімальних витратах енергії.

Контроль за стихійними лихами.

Одним із важливих аспектів управління розумними містами є планування, моніторинг та контроль кризи міста. Для цього різні зацікавлені сторони беруть участь у роботі для негайного виявлення загрози, обміну інформацією про неї між різними департаментами, планування курсу заходів і подальших дій. Боротьба зі стихійними лихами є ключовим аспектом, про який потрібно подбати для будь-якого традиційного та розумного міста. У розумному місті про нього стає ще важливіше піклуватися, оскільки вони добре організовані та добре керовані, а всі дії, які там виконуються, підтверджуються даними.

Оскільки планування на випадок стихійних лих здійснюється шляхом передбачення очікуваних лих і відповідного планування задовго до фактичного настання події, є достатньо часу для перегляду та поступового вдосконалення

планування. Це планування зосереджується не лише на технології та інфраструктурі, але й на підготовці людини до зустрічі з лихом.

«Розумний бізнес».

Підприємницька діяльність має вирішальне значення для життя міста. Технологічно узгоджена бізнес-система потрібна майбутнім розумним містам на основі розрахованих і прогнозованих KPI, щоб забезпечити економічну та орієнтовану на вимоги систему, яка регулює потребу споживати життєвий цикл продукту. Система розумного виробництва є набагато продуктивнішою та ефективнішою, ніж традиційний підхід до виробництва, і її використовують провідні виробники, включивши її у свої виробничі методики. Придатність цього підходу є набагато кращою з точки зору капітальних витрат, ланцюжка поставок і суміжних процесів, а також окремого виробництва. Поєднання технологій із загальними процесами для отримання більш плідних результатів є метою, яку потрібно досягти, ведучи бізнес більш розумно, і основним компонентом майбутніх розумних міст.

Виробничий процес є частиною, яка показує промислову силу країни/міста. Усвідомлюючи важливість виробництва, багато міст почали пропонувати спеціальні промислові зони з усіма можливостями для комерційних виробничих підприємств або формування промислового сектора міста, щоб стати центром експертного та якісного виробництва для конкретних технологічних галузей/продуктів. Крім того, дослідження зараз спрямовані на багатозаводське інтелектуальне виробництво.

Безпека жителів

У розумному управлінні містом моніторинг міста є ключовим завданням. Електронна візуальна система, що працює в режимі реального часу, наразі розгорнута у великих містах світу з центральними диспетчерськими пунктами, встановленими для моніторингу стану міста. Визначення ключових точок для моніторингу є основою для всієї архітектури безпечного міста. Зазвичай це робиться шляхом прогнозування дослідження ризиків і наслідків і додавання точок входу/виходу та невидимих меж міської території. Після завершення розробки

точок і технологій моніторингу виконується комплексний цілодобовий моніторинг і аналіз для проактивного реагування. Автоматизоване та ручне керування сповіщеннями здійснюється після виявлення інциденту/кризи, яке потім поширюється до відповідних зацікавлених сторін, таких як органи охорони здоров'я, правоохоронні органи, а також місцевий уряд для відповідних дій та стримування ситуації.

Загальний план можливої архітектури розумного міста, як показано на рис.1.3, можна зобразити чотирма рівнями: сенсорний рівень (нижній), рівень передачі на другому рівні, рівень керування даними на третьому рівні та прикладний рівень у верхній частині.

Сенсорний рівень— Цей рівень складається з фізичних компонентів, таких як датчики та пристрої. Вони використовуються для збору великих обсягів даних із різноманітних пристроїв/гаджетів, таких як розумні годинники, камери спостереження, побутова техніка, транспортні засоби, медичні пристрої тощо.

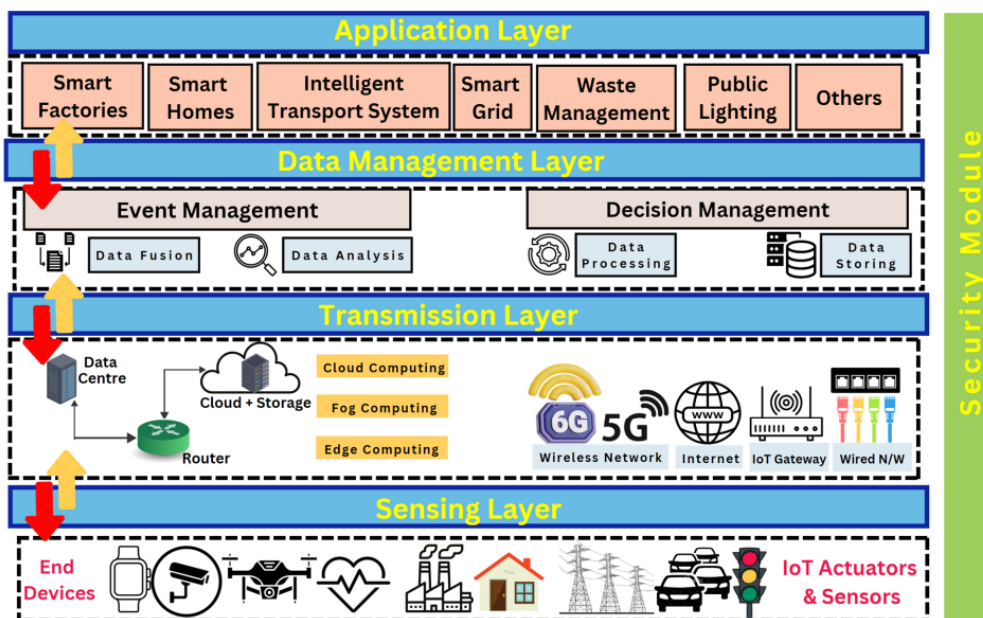


Рис.1.3. Можлива архітектура «розумного міста»

Рівень передачі - цей рівень з'єднує фізичні пристрої з рівнем керування. З'єднання може бути забезпечено за допомогою бездротових технологій (6G, 5G або LTE) або за допомогою з'єднань малого радіусу дії, таких як Bluetooth, Zigbee,

M2M тощо.

Рівень керування даними - цей рівень відповідає за очищення даних, маніпулювання даними, організацію даних, їх аналіз, прийняття рішень і зберігання.

Рівень програм - цей рівень діє як інтерфейс для надання послуг громадянам. Програми приймають рішення на основі даних, наданих нижчими рівнями.

1.3 Проблеми впровадження «розумних міст»

Впровадження «розумного міста» — це нове та складне явище, яке передбачає інтеграцію різних технологій, зацікавлених сторін і сфер для покращення якості життя громадян, підвищення стійкості та сприяння економічному зростанню. Однак впровадження розумних міст не позбавлене проблем [2].

Технічні проблеми.

Технічні проблеми є одними з найпомітніших факторів, які перешкоджають впровадженню «розумних міст». Відсутність стандартизації та взаємодії є двома основними технічними проблемами, з якими стикаються міста. Технології «розумного міста» зазвичай розробляються різними постачальниками та організаціями, що може призвести до фрагментації, складності та проблем із сумісністю. Це може ускладнити безперебійну роботу різних технологій, що призведе до збільшення витрат і затримок у реалізації. Тому розробка стандартизованих інтерфейсів, протоколів і моделей даних є важливою для створення безперебійної екосистеми розумного міста.

«Розумне місто» використовує великі масиви даних, що збираються різними сенсорами та пристроями. Це може включати датчики для моніторингу якості повітря, трафіку, водозабезпечення та енергоспоживання. Інтеграція численних пристроїв і сенсорів в єдину систему вимагає складної мережі зв'язку та високу надійність. Для того, щоб забезпечити ефективне функціонування «розумного міста», необхідна наявність високошвидкісних каналів зв'язку, які підтримують

великі обсяги даних. Це включає в себе оптоволоконні мережі, 5G та інші технології передачі даних.

Захист приватності та кібербезпека.

Захист приватності та кібербезпека є ключовими аспектами для успішного розвитку «розумних міст». Оскільки технології, що використовуються в таких містах, включають Інтернет речей, великий аналіз даних, штучний інтелект, бездротові мережі та інші інновації, важливо зберігати баланс між інноваціями та захистом приватності громадян. Розумні міста використовують дані з різних джерел, таких як камери спостереження, датчики, мобільні додатки, GPS-навігація тощо. Важливо, щоб ці дані оброблялись згідно з принципами захисту приватності та законодавством.

Слід пам'ятати, що мережі IoT, які складають основу «розумних міст», можуть бути уразливими до кібератак. Зловмисники можуть намагатися виявити слабкі місця в цих системах, щоб здійснити доступ до конфіденційної інформації або порушити нормальну роботу інфраструктури. Саме тому, дані, які передаються між різними компонентами інфраструктури, повинні бути захищені за допомогою сучасних технологій шифрування, щоб уникнути їх перехоплення або несанкціонованого доступу. Крім того, важливо, щоб доступ до критичних систем і даних мали лише авторизовані особи.

Фінансові та юридичні труднощі.

Фінансові та юридичні труднощі також є основними факторами, які перешкоджають реалізації «розумного міста». Фінансування є найважливішою проблемою, з якими стикаються міста під час реалізації проектів розумного міста. Ініціативи «розумного міста» часто коштують дорого, а міські бюджети зазвичай обмежені. Крім того, проекти розумних міст часто вимагають довгострокових інвестицій, через що містам може бути важко отримати фінансування. Крім того, правові та регуляторні проблеми, такі як конфіденційність даних і право власності, можуть створювати перешкоди для впровадження технологій «розумного міста». Тому міста повинні розробити інноваційні моделі фінансування та тісно співпрацювати з юридичними експертами, щоб подолати ці виклики.

Соціальні та культурні виклики.

Соціальні та культурні виклики є ще одним набором факторів, які можуть перешкоджати реалізації розумного міста. Опір змінам є загальною проблемою, з якою міста стикаються під час реалізації проектів «розумного міста». Громадяни можуть вагатися щодо впровадження нових технологій або зміни своєї поведінки, що призводить до повільного впровадження та затримок у впровадженні. Крім того, проблеми щодо конфіденційності та безпеки є поширеними серед громадян, які можуть хвилюватися про те, як їхні дані збираються, зберігаються та використовуються. Вирішення цих проблем має вирішальне значення для зміцнення громадської довіри та підтримки проектів «розумного міста».

Впровадження технологій у міське середовище часто створює бар'єри для певних груп населення, особливо для людей похилого віку, малозабезпечених або тих, хто не має доступу до інтернету або сучасних гаджетів. Це може спричинити соціальну ізоляцію та нерівний доступ до послуг, таких як онлайн-освіта, цифрові послуги або медичне обслуговування. Важливо забезпечити доступність цифрових технологій для всіх верств населення та навчання використанню цих технологій.

Застосування штучного інтелекту, аналізу великих даних та автоматизації може мати етичні наслідки, наприклад, у вирішенні питань працевлаштування або прийняття важливих рішень щодо громадян. Можуть виникати питання про справедливість, дискримінацію та етичність використання алгоритмів. Важливо розробити етичні рамки та регулювання щодо використання технологій у «розумних містах», щоб забезпечити справедливе і етичне ставлення до всіх громадян.

Впровадження «розумного міста» – це складний процес, який потребує інтеграції різних технологій, зацікавлених сторін і областей рішень. Технічні, фінансові, правові, соціальні та культурні проблеми є одними з найпомітніших факторів, які перешкоджають реалізації розумного міста. Вирішення цих проблем вимагає спільного та інноваційного підходу, який залучає всіх зацікавлених сторін. Роблячи це, міста можуть подолати ці виклики та створити більш стійке та придатне для життя майбутнє для всіх громадян.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 6G ЯК ОСНОВИ ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ SMART CITY

2.1 Телекомунікаційні мережі для «Розумного міста»

2.1.1 Виклики для «Розумних міст» пов'язані з великими даними

В ідеальному «розумному місті» громадяни міста отримують вигоду від надання найсучасніших, високошвидкісних та розумних засобів зв'язку, а також транспорту. Крім того, підключення є основою кожного аспекту «розумного міста». У «розумному місті» майбутнього забезпечення безпечної, ефективної, високошвидкісної та сумісної між доменами мережі є вирішальною вимогою. Передача відповідальності між датчиками кінцевих точок, периферійними обчисленнями, туманними обчисленнями та хмарними обчисленнями додатково підкреслює необхідність надійної комунікаційної інфраструктури, яка надає дані в реальному часі вузлам-учасникам. Ця передача зменшує обсяг даних, що передаються в хмару, оскільки необроблені дані тепер обробляються на рівні межі за допомогою туманних обчислень, а потім оброблена інформація пересилається на хмарні сервери для аналізу.

Основа «розумних міст» – інтернет речей. Інтернет речей — це генерація значної кількості даних. Його використання та впровадження пристроїв і датчиків на основі Інтернету речей для автоматизації міської інфраструктури в кінцевому підсумку призведе до створення багатьох островів великих даних у різних аспектах розумного міста. Витрати на управління постійно зростаючими обсягами даних є величезними, і їх необхідно планувати та належним чином розглядати під час техніко-економічного обґрунтування створення розумного міста.

На рисунку 2.1. Виклики для «розумних міст» пов'язані з великими даними.



Рис.2.1 Виклики для «розумних міст» пов'язані з великими даними

Через відсутність стандартизації в IoT здебільшого датчики використовували пропрієтарні формати. Отже, система має обробляти вихідні дані в різних форматах, створені пристроями, що надаються різними постачальниками. З цією проблемою частіше стикаються програми, пов'язані з навколишнім середовищем. Вилучення та об'єднання інформації з таких несумісних між собою форматів постачальників, а також стандартизація та доступність для всієї системи є ще одним завданням. Додаткова складність може бути додана під час керування неструктурованими даними.

Проблему перетворення невизначеності даних у достовірність шляхом виконання різних перевірок і фільтрів необхідно вирішити перед обробкою вищих ієрархій системи. Дані можуть містити зміщення, шум або ненормальні показання, і такі речі повинні бути нормалізовані, перш ніж дані використовуватимуться для прийняття рішень. Дуже доречно визначити, чи є дані релевантними та придатними

кандидатами для подальшого аналізу чи ні.

Завдяки експоненціальному зростанню можливостей генерації даних, зберігання й обробки технологія переходить від орієнтованої на дані до орієнтованої на знання. Виникають вимоги щодо наявності ефективної, швидкої та масштабованої підтримки управління великими даними. Дані можуть мати різні значення всередині компонентів системи, і відповідно до цього дані можуть розміщуватися та оброблятися на різних рівнях. Найпоширенішими є рівні пристрою, краю, туману та хмар. Обчислення на межах і тумані призводять до основної економії обчислювальних і комунікаційних ресурсів на рівні хмари.

Дані є найважливішим активом будь-якої системи. Підтримання його конфіденційності та цілісності є делікатним завданням для кожного розробника системи. Крім того, система та її абоненти залежать від її своєчасної доступності, що також є проблемою. Дані в будь-якій системі зазвичай мають два стани, тобто дані в дорозі та дані в стані спокою. Конфіденційність даних може бути досягнута різними способами на дисках, мережах і каналах обробки.

Дані стають новим золотом у майбутньому технологічно орієнтованому світі, де все базується на ретельному зборі й аналізі даних. Залежність від даних створює нові виклики щодо збору, обробки, транспортування, зберігання, аналізу, обробки та видалення даних щодо конфіденційності, цілісності та доступності. Аналіз великих даних і ML стають все більш залученими в аспекти повсякденного життя, а залучення AI в автоматизацію до існуючих процесів і завдань. Однак, щоб повною мірою скористатися перевагами великих даних, необхідно вирішити проблеми, пов'язані з великими даними. У довгостроковій перспективі ці проблеми зазвичай зростали експоненціально; отже, для успішної аналітики великих даних необхідні початкове бачення, довгострокове планування, розробка стратегії, процес досягнення цілей, а потім процедури та дії для досягнення цих цілей.

2.1.2 Перспективні системи зв'язку для «розумного міста»

У середовищі бездротового зв'язку, що швидко розвивається, кожне наступне покоління мереж досягало значних технологічних стрибків, глибоко змінюючи спосіб підключення та взаємодії. Від аналогової простоти 1G до цифрової майстерності 5G, подорож мобільних мереж відзначена постійними інноваціями та зростанням вимог до швидших, надійніших і ефективніших систем зв'язку. Оскільки 5G стає глобальною реальністю, закладаючи основу для взаємопов'язаного світу, пошук ще більш досконалих мереж веде нас до ери шостого покоління (6G) [3]

Зв'язок 5G був розроблений у комерційних масштабах у 2020 році. Багато розвинених країн тепер мають комерційну мережу 5G, доступну для звичайних клієнтів. Дослідницьке співтовариство вже дивиться на межі 5G (B5G) або, більш лаконічними словами, на базі мережі 6G, яка покликана задовольнити потреби зв'язку в 2030 році.

Висока пропускна здатність і низька затримка та надійність мережі дуже важливі. Архітектура «розумного міста» також об'єднується, щоб скоротити пропускну здатність, пропонуючи технологічні досягнення та контроль, щоб зосередитися на більшій кількості областей «розумного міста», які раніше не входили в сферу дії. Багатофункціональний мультимедійний додаток, рішення для моніторингу в масштабах міста з аудіо-відео в реальному часі, покращення роздільної здатності екрана, зв'язок між пристроями/пристроями з хмарою/пристроями з клієнтами/хмарою з клієнтами, а збільшення абонентської бази мобільного зв'язку призведе до приблизно 5+ зетабайт на місяць до 2030 року. Щоб забезпечити таку пропускну здатність, ведуться дослідження з розробки нового набору стандартів і технологій, які стануть комунікаційною інфраструктурою шостого покоління.



Рис.2.2. Трансформація з 5G на 6G

Основні дослідницькі дії в цьому високошвидкісному мобільному зв'язку включають eMBB, який в основному використовується для орієнтованого на клієнта високошвидкісного мобільного доступу до Інтернету для мультимедійних програм. URLLC у критично важливому прикладному середовищі, де вимоги до надійної та узгодженої мережі з низькою затримкою суворі для забезпечення надійного підключення. mMTC зосереджується на забезпеченні підключення до великої кількості недорогих малопотужних пристроїв для спілкування, споживаючи при цьому якомога менше енергії. Майбутні вдосконалення в цій сфері призведуть до повсюдного мобільного широкосмугового зв'язку (uMBB), що забезпечить покриття всієї планети мережею 6G, зрештою оновивши eMBB. Цей uMBB забезпечить розширення смуги пропускання, яке, як очікується, охопить мінімум 1 Гбіт/с на користувача для керування такими послугами, як мобільна віртуальна реальність. Іншим важливим удосконаленням стане наднадійний широкосмуговий зв'язок із низькою затримкою (ULBC), який забезпечує високонадійне мережеве з'єднання з низькою затримкою з вищою пропускну здатністю для автоматизованих керованих транспортних засобів (AGV), робототехніки та БПЛА. Для розгортання масивних датчиків і виконавчих механізмів у вертикалях масивний наднадійний зв'язок із малою затримкою (mULC) оновить mMTC шляхом використання та поєднання функцій mMTC і URLLC.

2.2 Ключові характеристики та технології мереж шостого покоління

2.2.1 Технічні характеристики 6G

Разом зі збільшенням щільності з'єднання в розумних містах виникнуть гострі вимоги до більш енергоефективних мереж. Очікується, що мережі 6G наступного покоління будуть у 100 разів енергоефективнішими порівняно з 5G. Крім того, існує низка служб і програм, які вимагають глобального покриття, що поширюється над землею, космосом і під водою разом із високоточним позиціонуванням і всеосяжним інтелектом. [4] Прогнозується, що світовий трафік даних, створений з мобільних пристроїв, щорічно зростатиме на 55% до 2030 року, і очікується що в 2030 році місячний трафік даних зросте до 5016 ексабайт (EB) на місяць [5]. Крім того, до 2030 року кількість підписок на мобільні та M2M-пристрої зросте до 17,1 мільярда та 97 мільярдів відповідно. 5G не може повністю задовольнити потужні можливості обробки даних разом із зазначеними вище вимогами, особливо в парадигмі «розумного міста». Щоб усунути ці обмеження, дослідники зараз прагнуть розробити шосте покоління мобільних стільникових систем. Завдяки використанню технологій 6G «розумні міста» можуть використовувати більш широкий спектр передових додатків, наприклад, у автономних транспортних засобах, електронній охороні здоров'я, розумних мережах, а також управлінні водою та відходами. Крім того, 6G може відкрити двері для безлічі нових програм, таких як захоплюючий ігровий досвід, доповнена реальність, голографічний зв'язок і віртуальна реальність.

Мережа шостого покоління обіцяє кардинально змінити правила мобільного бездротового зв'язку завдяки своїй надшвидкій швидкості передачі даних, низькій затримці та широкому підключенню. Мережі 6G трансформують мережі мобільного зв'язку шляхом інтеграції штучного інтелекту та машинного навчання для плавного поєднання фізичного, цифрового та біологічного світів. Ця інтеграція дозволить створювати нові сценарії використання та додатки, які раніше були недоступні для мереж 5G. Крім того, мережі 6G закладуть основу для розвитку

розумних міст, автономних транспортних засобів та інших додатків, які вимагають надійного з'єднання з високою пропускнуою здатністю та малою затримкою.

Мережі шостого покоління (6G) будуть прагнути запропонувати продуктивність, яка в 10–100 разів краща, ніж у мереж 5G. В таблиці 2.1 представлено порівняльний аналіз основних показників мереж 4G, 5G і 6G (для останньої представлено очікуваний прогноз).

Таблиця 2.1

Порівняння 4G, 5G і 6G

Ознака	Технологія 4G LTE	5G	6G (очікувано)
Розгортання	Широке розгортання по всьому світу	Глобальне розгортання	Очікується приблизно до 2030 року
Швидкість передачі даних	До 1 Гбіт/с	До 10 Гбіт/с	До 1 Тбіт/с
Затримки	20-50 мілісекунд	1-10 мілісекунд	Субмілісекунда
Діапазони частот	Від 600 МГц до 2,5 ГГц	24-100 ГГц (включаючи mmWave)	Терагерцові (ТГц) діапазони
Пропускна здатність	20 МГц	До 800 МГц	До декількох ГГц
Пропускна здатність мережі	Обмежений	У 10 разів більша ємність, ніж 4G	У 100 разів більша ємність, ніж 5G
Спектральна ефективність	Помірна	Висока	Надзвичайно висока
Енергоефективність	Помірна	Покращено в порівнянні з 4G	Висока оптимізація
Щільність з'єднання	До 100 000 пристроїв/км ²	До 1 млн пристроїв/км ²	До 10 млн пристроїв/км ²
Підтримка мобільності	До 350 км/год	До 500 км/год	Покращена підтримка мобільності
Випадки використання	Мобільний інтернет, потокове відео	Покращений мобільний широкосмуговий доступ, IoT, AR/VR	Просунутий IoT, голографічний зв'язок, послуги на основі штучного інтелекту

Продовження таблиці 2.1

Порівняння 4G, 5G і 6G

Ознака	Технологія 4G LTE	5G	6G (очікувано)
Основні технології	OFDMA, MIMO	Масивний MIMO, формування променя, сегментація мережі	Просунутий штучний інтелект, машинне навчання, квантовий зв'язок
Безпеки	Базове шифрування, мережева безпека	Покращене шифрування, сегментація мережі, безпечне завантаження	Передова квантова криптографія, підвищена безпека на основі штучного інтелекту
Інфраструктури	Макроеlementи, дрібні клітини	Макроеlementи, малі комірки, міліметрові комірки	Всюдисущі розумні поверхні, розумні поверхні з можливістю реконфігурації

Завдяки своїй здатності досягати надвисокої (до 1 Тбіт/с) швидкості передачі даних і широкої смуги частот Терагерц вважається ключовим фактором розвитку технології 6G. Дві основні причини необхідності використання діапазону ТГц для 6G такі: по-перше, у діапазоні нижче 6 ГГц дефіцит спектра та несучільність представляють серйозну проблему для досягнення вищих швидкостей передачі даних. По-друге, технології mmWave нижче 100 ГГц забезпечують недостатню пропускну здатність. У ТГц наявність великої доступної смуги пропускання в діапазоні від десятків до сотень гігагерц дає потенціал для доставки надзвичайно високих швидкостей передачі даних, які долають обмеження пропускну здатності мереж 5G. Діапазон ТГц розташований між діапазонами частот мм хвилі та інфрачервоним діапазоном і використовує діапазон частот від 0,1 до 10 ТГц для еквівалентного діапазону довжин хвиль від 0,03 мм до 3 мм. Для використання 6G пропонується смугу частот від 95 ГГц до 3 ТГц. Зв'язок на частотах ТГц вимагає використання менших стільників, які можуть мати відбиток покриття лише в кілька десятків метрів. Щоб забезпечити ефективне формування променя в цьому високочастотному діапазоні, знадобляться масивні антенні решітки для діапазону

ТГц. Зв'язок ТГц можна використовувати разом із реконфігурованими інтелектуальними поверхнями (RIS) для досягнення NLOS-поширення та збільшення площі покриття [9]. RISs можна змусити розумно спрямовувати падаючий промінь радіохвиль у бажаних напрямках, виконуючи зсув фази за допомогою розумного контролера. Це дозволяє RIS перетворювати канал LOS ТГц у віртуальний канал LOS. Таким чином, використання RIS зменшує чутливість блокування ТГц сигналів, що підвищує надійність ТГц системи зв'язку.

Передбачається, що мережі шостого покоління, що використовують частоти ТГц, забезпечать сантиметрову точність, які не можуть забезпечити звичайні методи GPS. У високочастотних ТГц технологіях локалізації використовується концепція, відома як одночасна локалізація та відображення (SLAM), за допомогою якої точність визначення місцезнаходження покращується завдяки поєднанню навколишніх зображень високої роздільної здатності з орієнтовною дальністю користувача. Крім того, ТГц сигнали також традиційно використовуються для бездротового зондування та отримання зображень у різних програмах, наприклад, у сфері безпеки харчових продуктів, контролю якості та безпеки.

На рисунку 2.3 зображено загальний огляд архітектури 6G і висвітлено ключові технічні засоби. Різні будівельні блоки організовані в три рівні: інфраструктура, мережева служба та програма.

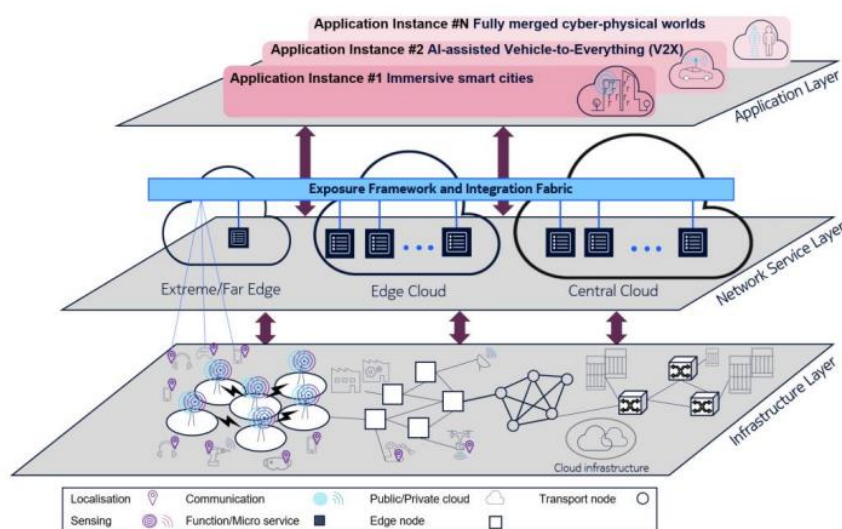


Рис.2.3. Системний погляд на архітектуру 6G

Рівень інфраструктури складається з RAN, CN і транспортних мереж, які містять радіобладнання (невіртуалізовані радіофункції, такі як радіоблоки (RUs), розподілені блоки (DU) або навіть класичні базові станції), комутатори, маршрутизатори, зв'язок посилення, центри обробки даних, хмарна інфраструктура тощо. Рівень інфраструктури забезпечує фізичні ресурси для розміщення мережевої служби (NS) і елементи прикладного рівня. Рівень інфраструктури також містить удосконалення RAN, які забезпечують надзвичайно низьку затримку, високу надійність, доступність, високу швидкість передачі даних, високу ємність, доступне покриття, високу енергоефективність, точну локалізацію та інтегроване зондування. Архітектура 6G об'єднує різні (під)мережеві рішення в мережу мереж. Мережа мереж може легко та гнучко адаптуватися до нових топологій, щоб відповідати вимогам надзвичайної продуктивності та глобального покриття послуг, що значно перевищує можливості 5G.

Передбачається, що рівень мережевих послуг буде заснований на хмарі та мікросервісах із розширенням функцій і мікросервісів від центральної хмари до крайньої хмари. Extreme edge cloud відноситься до всіх пристроїв за межами RAN. Реалізація на основі мікросервісів може забезпечити вдосконалення в бік програмної, інтелектуальної та ефективної архітектури 6G. Крім того, за допомогою хмарного підходу архітектури RAN і CN можна оптимізувати, наприклад, зменшити певну складність шляхом видалення кількох точок обробки для певного повідомлення та усунення дублювання функцій між функціями.

Одним із ключових технологічних факторів рівня мережевих послуг є впровадження екстремальної хмари. Хмара Extreme edge охоплює частину мережі з високою гетерогенністю пристроїв із широким розмаїттям технологій, як апаратного, так і програмного забезпечення. Такими пристроями можуть бути персональні пристрої (смартфони, ноутбуки...), а також величезна різноманітність пристроїв Інтернету речей (IoT) (носні пристрої, сенсорні мережі, підключені автомобілі, промислові пристрої, підключена побутова техніка тощо). Концепції периферійних і екстремальних обчислень стають все більш актуальними для архітектури та послуг 6G. Для створення хмарлетів на межі мережі знадобляться

власні хмарні технології зі зв'язком між програмами та функціями, здатними задовольнити велику кількість взаємопов'язаних активів із гнучкою сітчастою топологією. Ще один важливий аспект цього шару — структура експозиції та інтеграційна структура. Він встановлює канал зв'язку, який забезпечує безперебійну взаємодію та мережу в різних доменах.

Управління мережею та оркестровка поступово рухаються до підвищення рівня автоматизації та повністю автоматизованого керування замкнутим контуром. Це підтверджується паралельним впровадженням досягнень у технологіях AI/ML. Мета цього переходу полягає в тому, щоб забезпечити структуру для оптимальної підтримки надійності, гнучкості, стійкості та доступності за допомогою концепції «безперервної оркестровки» — тобто безперебійної оркестровки, що охоплює пристрій, межу й хмару, і враховує зміни в інфраструктурі, вимогах і збоях.

2.2.2 Технології мереж шостого покоління

Мережі шостого покоління (6G), на відміну від попередніх поколінь, повинні будуть підтримувати величезний і різноманітний діапазон підключених інтелектуальних пристроїв з дуже суворими вимогами щодо наднизької затримки, широких діапазонів частот, дуже високих швидкостей передачі даних і високої енергоефективності. Це також будуть першочерговими вимогами для впровадження будь-якого «розумного міста». Усе це зробить мережі 6G більш складними, динамічними та різноманітними.

Таблиця 2.2

Потенційні технології мереж шостого покоління

Потенційна технологія 6G	Короткий опис
Штучний інтелект (AI)	AI можна використовувати для аналізу, управління та оптимізації ресурсів, а також для ефективної підтримки мереж 6G. ШІ можна використовувати для таких завдань, як ефективна оцінка каналу, енергоефективність, розпізнавання модуляції, кешування даних, прогноз трафіку, управління радіоресурсами.

Продовження таблиці 2.2

Потенційні технології мереж шостого покоління

Потенційна технологія 6G	Короткий опис
Блокчейн (BC)	Тип технології для забезпечення безпеки, конфіденційності та масштабованості і надійності.
Квантові обчислення (QC)	Базуючись на квантовій теоремі про відсутність клонування та принципі невизначеності, абсолютна випадковість вводиться шляхом використання квантової природи інформації, яка забезпечує безпеку та розширену пропускну здатність каналу.
Неземні мережі (NTN)	Включає дрони та супутники та використовується для розширення зони покриття наземних БС, забезпечення додаткової ємності в густонаселених міських гарячих точках. Використовується для аварійного відновлення та у віддалених або сільських районах.
Мобільні периферійні обчислення (MEC)	Розміщуючи обчислювальні ресурси ближче до кінцевого користувача, це зменшує затримки та підвищує швидкість обробки та локальну безпеку
Інтегроване зондування та зв'язок (ISAC)	Оптимізує розподіл дефіцитних ресурсів і сприяє кращому процесу прийняття рішень шляхом поєднання датчиків і зв'язку завдань, що підвищує ефективність.
Реконфігуровані інтелектуальні поверхні (RIS)	Плоска поверхня з набором пасивних елементів, характеристики яких можна динамічно змінювати. Використовується в 6G-THz для покращення покриття, сценарії NLOS.
Голографічний зв'язок (HC)	НС – це програма, яка використовується для передачі захоплюючих та інтерактивних голограм у розмір людини, що складаються з 3D-відео та зображень, які потребують надзвичайно високі швидкості передачі даних із наднизькою затримкою.
Зв'язок у видимому світлі (VLC)	VLC пропонує численні переваги, такі як енергоефективність, економічна ефективність, неліцензований спектр, відсутність електромагнітних перешкод, безпечний доступ технологія та велика пропускну здатність.

Використання штучного інтелекту.

Використання штучного інтелекту дозволить мережам 6G стати більш гнучкими, розумними та стійкими до вирішення мережових завдань. AI можна використовувати для аналізу, управління та оптимізації ресурсів, а також для

ефективної підтримки мереж 6G.

III моделює здатність людського мозку обробляти інформацію, яка використовується для розробки теорій і методів, дозволяючи машинам імітувати мозок. Машинне навчання (ML) – це підрозділ штучного інтелекту, який виконує прогнози та допомагає приймати рішення на основі вивчення даних. Дані зв'язку можна аналізувати за допомогою алгоритмів ML, які можуть оцінити втрату сигналу в певному бездротовому середовищі. Алгоритми ML також можуть бути реалізовані для розробки пілотних сигналів і підтримки ефективного розподілу ресурсів.

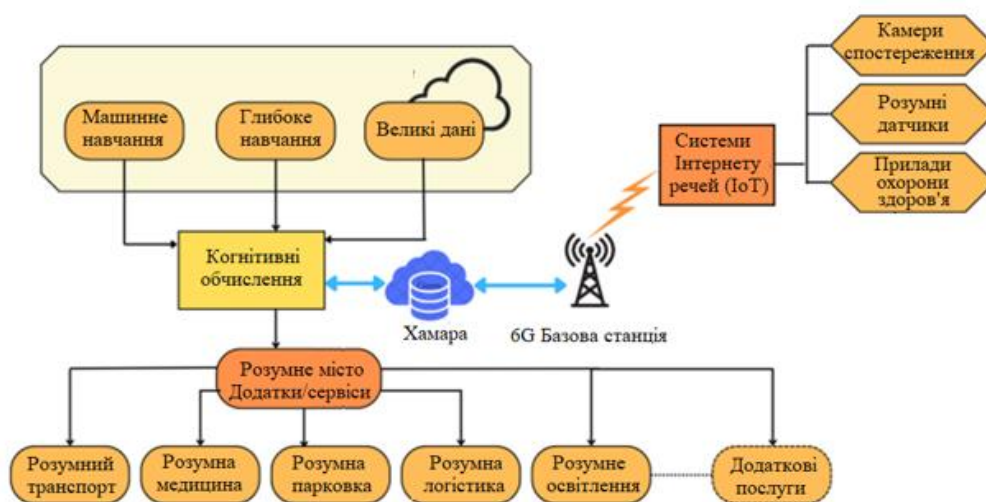


Рис.2.4. Штучний інтелект в розумних містах

Для досягнення повного потенціалу 6G існує потреба у покращенні визначних факторів за допомогою інтелектуальних та інноваційних технологій. Методи машинного навчання можна використовувати для оцінки та прогнозування каналу або виявлення та декодування символів. Алгоритми машинного навчання можуть бути реалізовані в різноманітних програмах, таких як вибір променя, попереднє кодування, ідентифікація символів, вибір антени, зменшення перешкод/шуму тощо. Вибір використання найкращого алгоритму машинного навчання залежить від даної програми, обсяг навчальних даних, можливість

передачі параметрів між середовищами тощо. Для автономної мережі 6G модель машинного навчання повинна мати можливість пристосовуватися до будь-яких змін у топології, що означає, що мережа повинна навчатися за допомогою безперервного зворотного зв'язку онлайн без втручання людини. Параметри моделі навчання налаштовуються за допомогою повторюваного онлайн-навчання, щоб адаптуватися до мінливого мережевого середовища [6].

Онлайн-навчання та навчання можна використовувати для виконання маршрутизації пакетів, призначення каналів, планування висхідної/низхідної лінії зв'язку та інших бездротових дій. В останні роки концепція мереж радіодоступу штучного інтелекту (AI-RAN) викликала значний інтерес, оскільки вона має потенціал для прогнозування моделей трафіку, які можна використовувати для оптимізації розподілу мережевих ресурсів у реальному часі [7]. Це забезпечує ефективне балансування навантаження та використання ресурсів, що зменшує витрати на мережеві ресурси. Крім того, це допомагає мінімізувати час простою та покращити доступність мережі 6G.

Штучний інтелект і ML можна використовувати для забезпечення ефективної та надійної взаємодії між декількома новими технологіями 6G, такими як THz, RIS, NTN, ISAC тощо, щоб максимально використати потенціал цих технологій, що може значно підвищити потужність, продуктивність, надійність, енергоефективність тощо. За останнє десятиліття на арені штучного інтелекту та машинного навчання було досягнуто значного прогресу, що сприяло перетворенню традиційної бездротової системи на інтелектуальну систему, яка має здатність вирішувати різноманітні виклики, такі як:

- забезпечення ефективної взаємодії між різними майбутніми бездротовими технологіями та підвищення продуктивності;
- зробити середовище бездротового зв'язку більш динамічним;
- проведення оцінки стану каналу зв'язку з використанням методів ML;
- аналіз можливостей зберігання даних і їх розміщення ближче до пристроїв IoT;

- можливість використовувати ІІІ для вивчення та прогнозування руху користувачів, щоб ефективно розподіляти ресурси та усунути перевантаження.

Інтегроване зондування та зв'язок (ISAC) у концепції розумного міста.

Розумні міста тепер мають широкий спектр датчиків, включаючи пристрої IoT, датчики навколишнього середовища, камери та інші точки збору даних. Мета полягає в тому, щоб збирати дані в режимі реального часу про широкий спектр послуг, таких як управління трафіком, споживання енергії, якість повітря, управління відходами тощо. Усі ці програми також вимагають високоточних датчиків на додаток до високопродуктивного бездротового підключення. Мережі шостого покоління вийдуть за рамки простого надання послуг зв'язку та забезпечать всюдишнє зондування функцій, які будуть здатні відображати або вимірювати навколишні об'єкти. Спекулятивні технологічні тенденції показують, що майбутні бездротові системи 5G і 6G переважно використовуватимуть нові функції зондування. Ця функціональність датчиків із здатністю мережі збирати сенсорну інформацію про навколишнє середовище може полегшити навчання та створити інтелектуальні дані, які можна застосувати в кількох випадках використання з урахуванням місця розташування/оточення. У той час як функція зв'язку зосереджена на передачі інформації та отриманні її з шумного середовища, функція сприйняття, навпаки, використовує галасливі спостереження та отримує з них значущу інформацію [8].

У ISAC зондування може надати знання про навколишнє середовище, що може покращити функціональність систем зв'язку. Зондування може не тільки підвищити точність оцінки каналу, але й суттєво зменшити накладні витрати, оскільки процес оцінки каналу для отримання каналів на основі зондування не потрібно повторювати для окремих посилянь. В іншому прикладі вирівнювання променя за допомогою зондування використовує карту навколишнього середовища та інформацію про місцезнаходження користувачів, надану зондуванням, щоб допомогти базовій станції відповідним чином вирівняти та налаштувати промінь і його потужність для максимізації пропускної здатності. ISAC у поєднанні з різними передовими комунікаційними технологіями стане потенційним рішенням для

зниження вартості зв'язку та досягнення вищої енергоефективності та вищої ефективності використання спектру в розумних містах майбутнього.

Можна виділити наступні програми, які використовують 6G ISAC у сценаріях розумного міста:

1. Деякі програми вимагають високої точності локалізації. Для таких інтенсивних програм локалізації в розумних містах базова станція може використовувати свої спільні ресурси зондування та зв'язку. Завдяки вищій пропускній здатності система 6G ISAC може підтримувати кращу продуктивність відстеження та локалізації, а для випадків використання поза приміщенням вона може забезпечити точність локалізації до рівня сантиметра. Для транспортних засобів, коли два або більше об'єктів наближаються один до одного, важливо мати високу точність відносної локалізації. У додатках, пов'язаних із автоматичним складуванням, точність на рівні сантиметра полегшує розміщення на рівні пристрою, забезпечуючи ефективне й точне розміщення компонентів, які мають найменший форм-фактор. За цих обставин локалізація відіграє центральну роль на арені розумного міста на основі ISAC і може бути виконана за допомогою різних методів, таких як різниця в часі прибуття (TDOA) і кут прибуття (AOA).

2. Розпізнавання жестів і дій. Ще одна програма на основі ISAC — розпізнавання жестів і дій у сценарії «розумного міста». Системи ISAC використовують високу пропускну здатність, що забезпечує високу роздільну здатність і чіткість захоплення жестів, і створює широкий спектр додатків, використовуючи методи захоплення жестів і активності. Цей метод має особливу перевагу перед сучасними методами на основі камери щодо захисту конфіденційності та особистої інформації. Цю програму також можна використовувати як функцію безпеки під час виявлення вторгнень. Іншим варіантом використання можуть бути інтелектуальні лікарні для виявлення медичних проблем за допомогою датчиків дихання без використання пристроїв камери.

3. Розширене зондування. ISAC також можна використовувати в розширеному зондуванні, яке використовує пристрої для визначення

навколишнього середовища. ISAC пропонує можливості зображення високої роздільної здатності разом із можливостями зв'язку, які можна використовувати в інфраструктурі інтелектуального «розумного міста». Його можна використовувати для моніторингу якості повітря та забруднення, виявлення дрібних твердих часток, визначення газу, виявлення вибухових речовин, сканування безпеки багажу тощо.

4. Зображення, картографування та реконструкція навколишнього середовища. Високоточне зондування з надвисокою роздільною здатністю на основі 6G відкриває широкий спектр перспектив у 3D-зображенні та картографуванні. Цю функцію можна використовувати в програмах для навігації, просторової локалізації, оновлення відомостей про навколишні об'єкти тощо. У міських районах ISAC і густо розташовані базові станції мають більшу відстань сприйняття, більше поле зору та вищу роздільну здатність, що може потенційно уможливити 3D-локалізацію та реконструкцію середовища. Згенеровану таким чином реконструйовану карту можна використовувати для таких програм, як інтелектуальний моніторинг транспортного потоку, виявлення аварій і виявлення черг, які є життєво важливими випадками використання в «розумних містах».

Blockchain (BC) в «розумному місті» з підтримкою 6G.

Архітектура розумного міста з підтримкою 6G буде все більш децентралізованою та програмною, тому вкрай важливо забезпечити надійний механізм безпеки та конфіденційності в цій складній гетерогенній архітектурі. Коаліція програм «розумного міста» з підтримкою Blockchain та 6G може вирішити ці проблеми шляхом встановлення довіри до розподілених платформ.

Blockchain працює за допомогою моделі розподіленої книги. Це забезпечує децентралізовану незмінну домовленість, щоб сторони могли незалежно здійснювати транзакції та перевіряти дані в реєстрі, і це відбувається без будь-яких вимог посередників. Блоки з'єднані між собою в Blockchain за допомогою смарт-контрактів, які є самовиконуваними та покладаються на криптографічні протоколи. Записи, прийняті та додані в розподілену книгу, не можуть бути видалені або змінені, і вони незмінні, що забезпечує цілісність і безпеку даних. Структура

блокчейну підтримує анонімність відстеження, що досягається шляхом з'єднання різних блоків за допомогою хешів.

Програми розумного міста пов'язані з добробутом громадян, тому будь-яка вразливість кібербезпеки, наприклад, відмова в обслуговуванні (DoS), сповіщення, фальсифікація повідомлень, спуфінг, зловмисне програмне забезпечення та атаки підслуховування, можуть серйозно поставити під загрозу цілісність переданих даних, що призведе до небезпечних ситуацій. Подібним чином конфіденційність користувачів також є найвищими. Через неоднорідну та складну природу мереж 6G забезпечення конфіденційності стає складним завданням, особливо якщо поряд із ними розгортаються інші технології, такі як ШІ, хмара тощо. Методи анонімізації також використовуються для захисту даних користувача шляхом скорочення особистої ідентифікаційної інформації перед передачею даних через мережу. Використання Blockchain в «розумних містах» забезпечить більш контрольоване управління, оскільки посередники не контролюватимуть дані. Blockchain також дозволяє шифрувати та відстежувати передані дані, зберігаючи при цьому анонімність. Blockchain допомагає досягати цілей розумного міста, наприклад, безпечний і швидкий обмін даними, зменшення шахрайства, регулятивні процеси та аудити, а також управління споживанням енергії.

Квантова комунікація (QC).

У прагненні задовольнити стрімко зростаючий попит на інтелектуальний, швидкий, надійний, безпечний і екологічний зв'язок, потреба у більшій обчислювальній потужності систем також швидко зросла. Внутрішній паралелізм, що забезпечується основними концепціями квантової механіки, і її потенціал, проілюстрований нещодавніми результатами щодо технології контролю якості, чітко розкриває певні перспективи перевершити традиційні обчислювальні системи. Квантова комунікація (QC) використовує техніку квантового ключа, яка базується на квантовій теоремі про відсутність клонування та принципі невизначеності. Абсолютна випадковість вводиться завдяки використанню квантової природи інформації, яка, у свою чергу, забезпечує безпеку.

Використовуючи квантовий зв'язок у бездротових мережах 6G, буде створено надійну систему зв'язку. QC має здатність виявляти підслуховування.

Крім забезпечення захисту від кібер-атак, квантовий зв'язок має здатність досягати надзвичайно високої швидкості передачі даних. У 6G у каналах зв'язку можна використовувати шифрування кібербезпеки на основі квантового та ML, що може додатково підвищити безпеку та конфіденційність. Квантовий розподіл ключів (QKD), який є протоколом квантового зв'язку, використовує квантову механіку для встановлення ключа між двома сторонами, що спілкуються. QKD має потенціал для використання в підводному зв'язку 6G, супутниковому зв'язку та системах зв'язку ТГц. Квантовий зв'язок, який використовується у футуристичних комунікаційних мережах 6G, може збільшити пропускну здатність каналу та полегшити квантову криптографію та квантову телепортацію.

На відміну від традиційних двійкових комунікаційних мереж, квантовий зв'язок має потенціал для забезпечення абсолютної випадковості, безпеки, більш високої пропускну здатності інформації та значного покращення якості передачі. Крім того, квантові методи мають потенціал надшвидкого виконання завдань, який перевершує можливості класичних систем. Щоб розширити перспективи інтеграції традиційної передачі даних у квантову систему, доступно кілька протоколів квантового зв'язку, які є квантовою телепортацією, квантовий розподіл ключів (QKD) і щільне кодування. Методи множинного доступу, такі як поділ за довжиною хвилі та поділ частоти, можуть використовуватися в квантових мережах, як і у випадку класичних систем зв'язку. Використання квантового зв'язку може істотно підвищити енергоефективність, спектральну ефективність і безпеку бездротових систем 6G.

Для мережевого проектування систем 6G використання квантових обчислювальних алгоритмів може допомогти в управлінні складними проблемами оптимізації, пов'язаними з плануванням користувачів, розподілом ресурсів, проектуванням топології мережі, виявленню даних, маршрутизацією та проектуванням формування променя.

Зв'язок у видимому світлі (VLC).

VLC пропонує численні переваги, такі як енергоефективність, економічність, неліцензований спектр, відсутність електромагнітних перешкод, технологія безпечного доступу та велика пропускна здатність [10]. Для VLC з діапазоном довжин хвиль 380–780 нм висока пропускна здатність даних порядку Гбіт/с досягається завдяки великій смузі пропускання, яка приблизно в 1000 разів більша, ніж у радіочастотних передач.

Мобільні периферійні обчислення (MEC).

Мережі шостого покоління призначені для плавної та повної інтеграції різних додатків, таких як IoT, дрони (повітряні мережі), підводний зв'язок і супутниковий доступ. Усі ці інтегровані програми значною мірою покладатимуться на передові технології штучного інтелекту та машинного навчання. Це призведе до надмасивних додатків і послуг, що вичерпують обчислення. Граничні обчислення привернули величезну увагу як метод розвантаження обчислень і кешування та розглядаються як вбудована можливість у 6G. Розгортання обчислювальних ресурсів відбувається в безпосередній близькості від кінцевого користувача. Завдяки цьому зменшується затримка, підвищується швидкість обробки, а також забезпечується безпека на місці. MCE - це архітектурний стандарт, наданий ETSI для граничних обчислень, який забезпечує гнучкість розгортання в точках агрегації, радіовузлах або на межі основних вузлів для забезпечення ефективності, багаторазового використання та розширюваності.

Реконфігуровані інтелектуальні поверхні (RIS)

Реконфігуровані інтелектуальні поверхні утворюють плоску поверхню з масивом пасивних елементів, характеристики яких можна динамічно змінювати за допомогою електронних схем для відображення падаючих електромагнітних хвиль [11]. Зв'язок шостого покоління (6G) ТГц завдяки високій частоті дуже чутливий до перешкод у навколишньому середовищі, тому сигнал прямої видимості (LoS) легко блокується. Поширення NLOS також страждає від заломлення, відбиття, розсіювання та дифракції на частотах ТГц. Ідея RIS полягає в тому, щоб покращити покриття та якість сигналу шляхом контролю середовища розповсюдження. Концепція розгляду середовища як оптимізованої змінної називається

інтелектуальним радіосередовищем, або нещодавно названим інтелектуальним радіосередовищем.

Реконфігуровані інтелектуальні поверхні — це плоска поверхня, що має велику кількість відбиваючих пасивних елементів, які мають здатність керовано відбивати хвилю сигналу, отриману від передавача, до призначеного приймача. Оскільки реконфігуровані інтелектуальні поверхні можна розглядати як додатковий елемент у бездротових системах, його інтеграція в бездротові мережі не вимагає зміни їх стандартизації. Таким чином, розгортання реконфігурованої інтелектуальної поверхні в бездротових системах може бути прозорим для користувачів, що забезпечує відмінну сумісність і високу гнучкість. Формування променя відбиття за допомогою реконфігурованої інтелектуальної поверхні підтримує посилення співвідношення сигнал/перешкода плюс шум для користувачів, розташованих поблизу реконфігурованої інтелектуальної поверхні, таким чином покращуючи продуктивність.

Оскільки RIS вважається майже пасивним відбиваючим елементом, споживання електроенергії значно зменшується. Крім того, RIS використовує просту конфігурацію та має низькі витрати на виробництво та розгортання. Завдяки всім цим перевагам RIS вважається привабливою технологією для 6G для розширення зв'язку і зондування. Оскільки RIS може інтелектуально змінювати хвилі вихідного відбитого сигналу, щоб зосередитися на цільовому положенні приймача, він знаходить застосування у високоточному позиціонуванні.

Крім наземних додатків, RIS можна використовувати в поєднанні з безпілотними літальними апаратами (БПЛА), які можуть ефективно розширити покриття мережі. Завдяки високій мобільності БПЛА можна розташувати таким чином, щоб забезпечити домінуючу лінію зв'язку LoS для користувачів на землі. З іншого боку, RIS може розумно змінювати свої відбиваючі елементи для реалізації пасивного формування променя. Крім того, RIS з його недорогими метаповерхнями має здатність імітувати можливості MIMO. Таким чином, лише змінюючи фазовий зсув метаповерхонь, можна досягти більшого підсилення, що скасовує вимогу використання кількох антен у БПЛА.

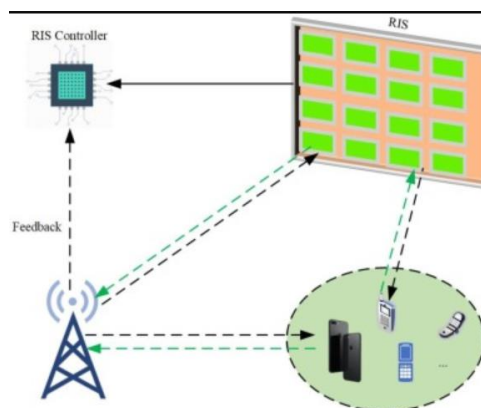


Рис.2.5 Реконфігуровані інтелектуальні поверхні (RIS)

Неземні мережі (NTN).

NTN можна класифікувати на повітряні (БПЛА/дрони), супутники на низькій навколоземній орбіті (LEO), супутники на середній навколоземній орбіті (MEO) і супутники на геостаціонарній навколоземній орбіті (GEO). Серед цих бортових пристроїв супутники LEO знаходяться відносно ближче до поверхні Землі, тому пропонують швидший час відгуку (менша затримка в обидва кінці). Однак, оскільки вони знаходяться близько до поверхні Землі, вони мають меншу зону покриття. Таким чином, щоб забезпечити глобальне покриття, знадобляться мегасузір'я супутників LEO. Рисунку 2.6 показано схематичне зображення наземних і бортових мереж і супутників LEO, MEO і GEO.

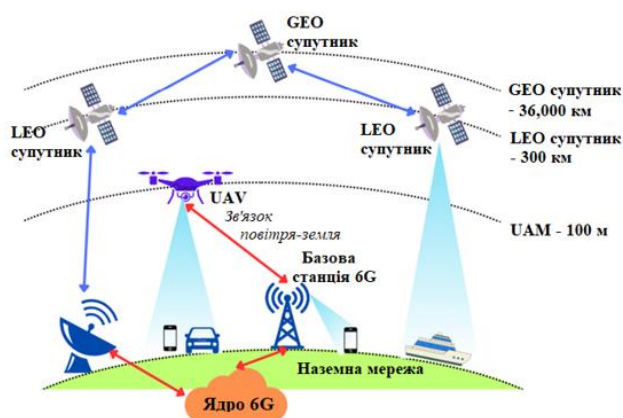


Рис.2.6 Схематичне зображення наземних і бортових мереж і супутників LEO, MEO і GEO

Використання бортових базових станцій (ABS), БПЛА та безпілотних літальних апаратів у «розумних містах» з 6G надає наступні переваги:

- бортові базові станції забезпечуватимуть покриття прямої видимості (LoS), високоякісне покриття 6G "повітря-земля". Вони також розширюють зону покриття наземних базових станцій;
- Бортові базові станції можна використовувати для забезпечення додаткової високої пропускну здатності в густонаселених міських «гарячих точках», що інакше було б неможливо з наземною базовою станцією;
- БПЛА-БС можна використовувати для обробки раптових стрибків трафіку під час аварійного відновлення або під час великих громадських зібрань, таких як спортивні заходи, концерти тощо;
- У віддалених або сільських районах, де немає телекомунікаційної інфраструктури, БПЛА-БС можна використовувати як недороге рішення для забезпечення підключення.

Метою технології 6G є забезпечення тривимірного покриття в космосі-повітря-море-землі за допомогою інтегрованого зондування, зв'язку та обчислення. Щоб забезпечити глобальне безперебійне покриття, використання супутникового зв'язку стає все більш вигідним. Наступним рубежем для досягнення повсюдного зв'язку є угруповання супутників на низькій навколоземній орбіті (LEO), які підтримують 6G. Супутникові мережі з підтримкою LEO-6G мають нижчі витрати на будівництво, меншу затримку, безперебійне глобальне покриття, набагато сильніші сигнали та вищу щільність користувачів. [12]

Щоб задовольнити вимоги до високошвидкісного мобільного зв'язку, традиційну техніку OFDM, яка працює в частотно-часовій області, пропонується замінити ортогонально-частотно-часовим простором (OTFS), яка стосується доплерівської області затримки. Використання техніки OTFS у мережах 6G може вирішити проблеми з високою швидкістю.

2.3 Можливості, які відкриває 6G для «Розумного міста»

Крім того, наголошується, що спільне використання систем IoT і технології 6G призводить до створення різноманітних конструкцій, здатних отримувати велику кількість даних. Розумніші світловідбиваючі поверхні та екосистеми, наприклад, можуть з'явитися як новий тренд у водінні в результаті бездротової мережі 6G. Відповідно до цієї гіпотези, інтелектуальні відбиваючі поверхні виконують роль стін, проїжджих частин, входів і завершених конструкцій. Як результат, простіше чітко бачити під час руху та отримувати чіткі сигнали[15]. Таким чином, коли в системі встановлено мережу зв'язку 6G, ризику втрати або аварій на дорогах практично не буде.

Прийняття технології 6G може призвести до широкого розгортання систем Інтернету речей, які включають штучний інтелект та аналітику великих даних. Ці рішення можуть прокласти шлях до створення систем IoT у розумних містах, які запропонують більш практичну та безпечну транспортну мережу. Крім того, цілком можливо, що ці системи покращать безпеку в розумних містах, завдяки чому жителі почуватимуться безпечніше. Комп'ютерне бачення на основі глибокого навчання є ще одним важливим компонентом технології 6G.

Бездротове підключення 6G може представляти значний прогрес у бездротовій передачі та зборі енергії в розумних містах. Відповідно до цього методу стільникові мережі 6G можна використовувати в розумних містах для передачі енергії для збору врожаю. Поява таких тенденцій матиме значний позитивний вплив на навколишнє середовище, оскільки вони зменшать величезну кількість вуглецевих слідів.

На рис. 2.6. представлено загальний огляд технологій «розумного міста» на базі мережі шостого покоління.

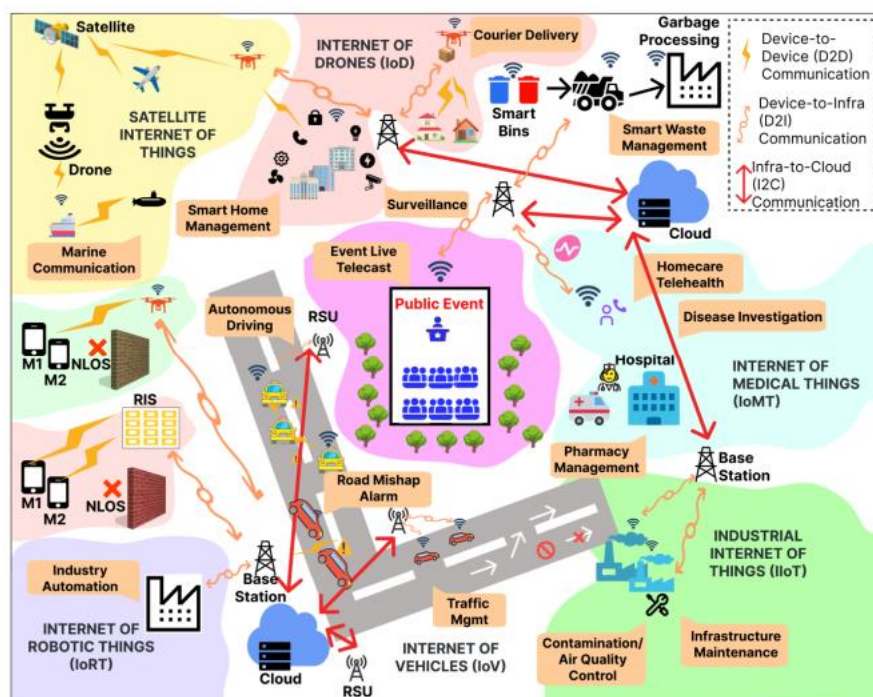


Рис.2.7 Загальний огляд технологій «розумного міста» на базі мережі шостого покоління.

У Industry 4.0 концепція розумного виробництва спрямована на сприяння процесам і виробничим потокам, які є більш адаптивними та стійкими до швидко мінливих вимог ринку. Він охоплює три частини: логістику, попит-пропозицію та розумні фабрики. На розумній фабриці ключову роль відіграють два типи роботів, що співпрацюють, а саме роботи-транспортери та роботи-виробники, таким чином утворюючи динамічну складну роботизовану екосистему, що підтримується ШІ. Існує вимога щодо роботи цих роботів і датчиків у режимі реального часу в середовищі розумної фабрики, яка вимагає високонадійного зв'язку з високою швидкістю передачі даних і наднизькою затримкою. Це пояснюється тим, що прийняття рішень базується на великих даних у реальному часі, зібраних цією мережевою багатороботною системою на розумній фабриці. Ключовими технологіями для задоволення цих суворих вимог є мобільний зв'язок 6G, великі дані, робототехніка та штучний інтелект. Рис. 2.8 показує розумну архітектуру фабрики.

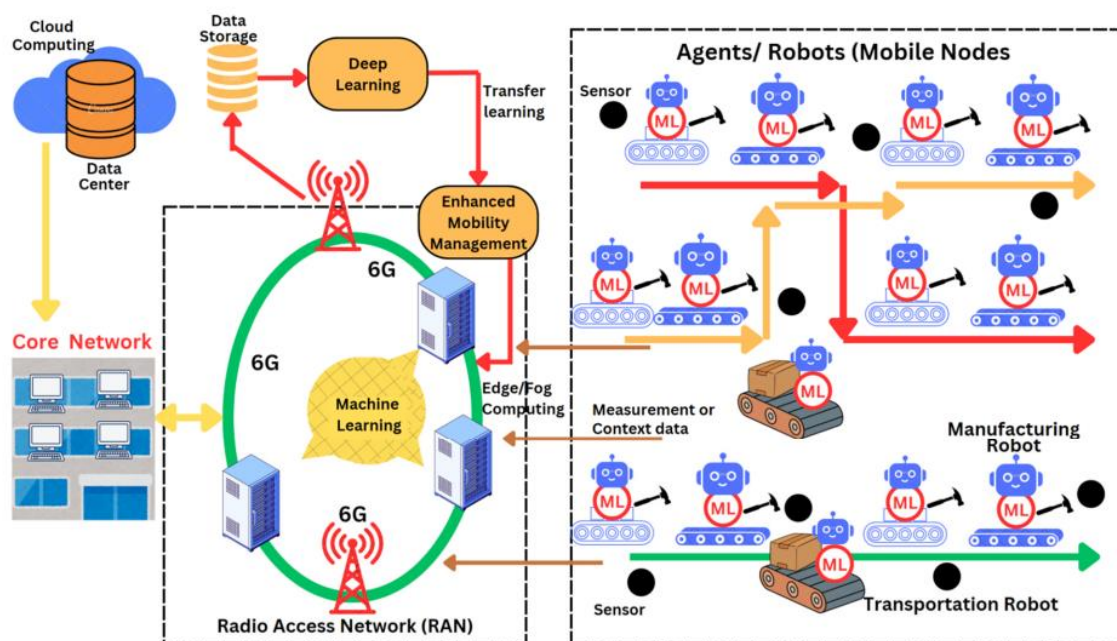


Рис. 2.8 Розумна архітектура фабрики [16]

Розумну фабрику можна візуалізувати як чотири області: роботи/агенти, частина RAN, базова мережа та мережа машинного навчання. Технологія цифрового близнюка (DT) також може бути використана для вирішення проблемрозумних фабрик. Віртуальні копії фізичних систем або об'єктів можна використовувати в технології цифрових близнюків для моделювання, оптимізації та моніторингу їх продуктивності та поведінки.

З появою мереж 6G з'являються нові та захоплюючі можливості та програми. Ось деякі з основних застосувань, запланованих для 6G.

Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок (eMBB): В умовах 6G технологія eMBB, доповнена можливостями 5G, забезпечить значно вищу швидкість передачі даних і надійніше з'єднання. Ця розробка може ще більше трансформувати потокові сервіси, забезпечивши універсальний доступ до контенту надвисокої чіткості.

Наднадійний зв'язок із низькою затримкою (URLLC): URLLC має вирішальне значення для додатків, чутливих до часу, таких як дистанційна хірургія та автономні транспортні засоби. Він забезпечує наднизьку затримку, необхідну для зворотного зв'язку в режимі реального часу, і забезпечує ефективність

критично важливих для безпеки систем.

Масовий машинний зв'язок (mMTC): Поширення IoT в таких секторах, як ПоТ, розумні міста, інфраструктура та сільськогосподарські технології, підкреслює зростаючу важливість mMTC. Цей підхід спрямований на ефективне підключення численних пристроїв, уникаючи при цьому перевантаження мережі, що є ключовим фактором для майбутнього успіху ПоТ.

Голографічна комунікація: Голографічна телеприсутність — це футуристичний додаток, пов'язаний з високошвидкісними мережами. Це дозволяє проводити 3D-відеоконференції з високою роздільною здатністю, що створює ілюзію фізичної присутності, незважаючи на відстань.

Інтеграція з периферійними обчисленнями: Периферійні обчислення в мережевій архітектурі дозволяють обробляти дані поблизу їх джерела, а не на централізованих серверах. Це має важливі наслідки для аналітики штучного інтелекту та прийняття рішень у секторах охорони здоров'я та автомобілебудування (інтеграція периферійних обчислень у мережеву архітектуру).

Цифрові двійники: Цифровий двійник — це віртуальна модель фізичної сутності (наприклад, продукту чи екосистеми), яка використовує дані датчиків, прогнозні моделі та передові мережеві технології для моделювання сценаріїв, оптимізації операцій, зниження витрат та підвищення ефективності в реальних умовах.

Випробування мережі 6G наближають світ до впровадження 6G, тому дуже важливо визнати та усунути невід'ємні ризики, які супроводжують цей стрибок вперед.

Розгортання мереж 6G пов'язане зі значними проблемами, такими як зростання загроз кібербезпеці та проблеми з конфіденційністю. Галузеві експерти, політики та дослідники повинні активно працювати разом, щоб забезпечити безпечний перехід до цього нового покоління бездротового зв'язку.

Розумна медицина ще одна можливість, яку відкриють мережі шостого покоління. Використання технологій 6G разом із машинним навчанням і

розширеними статистичними моделями може забезпечити більш персоналізоване та точне лікування. Завдяки цьому зменшується час очікування пацієнта, підвищується ефективність медичного персоналу та з'являються можливості для економії коштів. Майбутні мережі 6G спрямовані на досягнення більш гармонійного взаємозв'язку між людиною та машиною. Крім того, 6G може задовольнити чутливі до затримки надзвичайно наднадійні вимоги додатків охорони здоров'я. Нещодавно було представлено концепцію Інтернету медичних речей (IoMT). Ця концепція передбачає пристрої IoT, пов'язані зі сектором охорони здоров'я та виконання функції збору медичних даних і запуску медичних програмних додатків. Пристрої IoMT здатні передбачати ризики, швидко приймати рішення та вживати відповідних дій. Як відносно нові концепції, натхненні прогресом у нанотехнологіях, Інтернет нано речей (IoNT) та Інтернет біо-нано речей (IoNT) започаткували новий вимір у системах охорони здоров'я. Усередині тіла ці біо-наномашини спілкуються одна з одною за допомогою молекулярного зв'язку, який є біотехнологією, де інформація обмінюється через молекули.

Одним із важливих стовпів сталого розвитку в розумному місті є ефективне виробництво енергії, її розподіл і передача. Раніше енергетичні мережі базувалися на централізованому виробництві електроенергії та однонаправленому потоці енергії. Розумна мережа тепер передбачає впровадження ІКТ та технологій 5G/6G разом із ШІ, хмарні обчислення та масовий міжмашинний зв'язок, щоб зробити його більш ефективною системою розподілу енергії. Системи розумного управління електромережами забезпечують двонаправлений потік енергії з більш розширеними функціями, такими як моніторинг у реальному часі, самовідновлення та обізнаність, безпека, масштабованість, стійкість, автоматичне прийняття рішень тощо. Основними компонентами інтелектуальної мережі є системи реагування на попит (DR), передова інфраструктура вимірювання (AMI), автоматизація електромереж, розподілені енергетичні ресурси (DER) і системи енергоменеджменту (EMS). Крім того, інтелектуальна мережа повністю інтегрує в мережу відновлювані джерела енергії, такі як енергія вітру та сонця. Мережа розумної електромережі складається з трьох компонентів: генерації, передачі та

споживання енергії, як показано на рис.2.9.

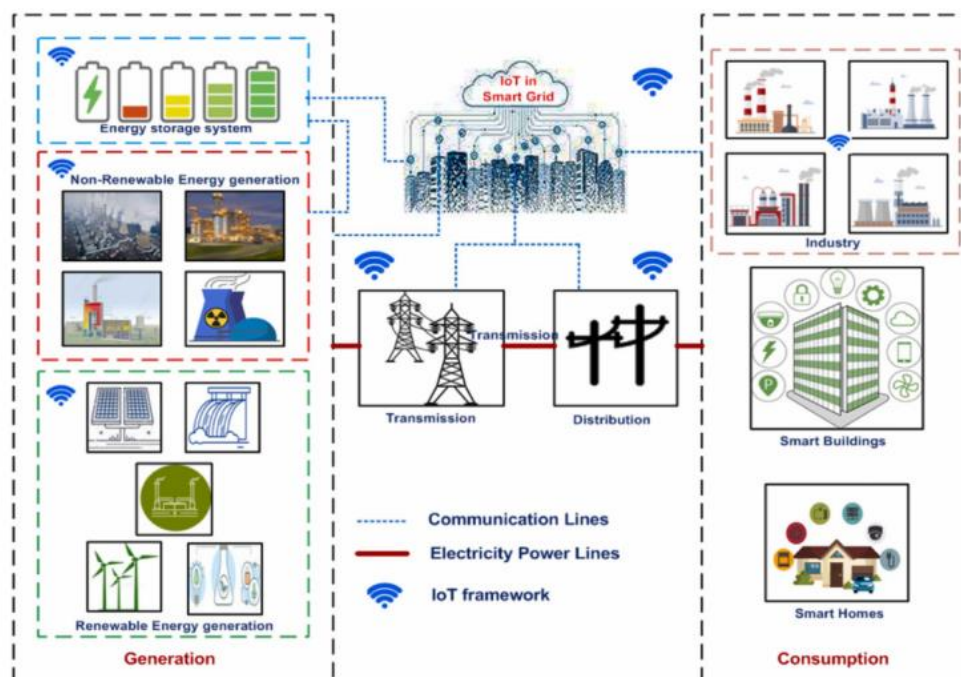


Рис.2.9 Розумна енергетична мережа [17]

Серед кількох проблем, пов'язаних із впровадженням інтелектуальної мережі, по-перше, масивні дані, зібрані з лічильників, датчиків і систем керування, необхідно обробити, проаналізувати та ввести в дію, а також отримати інформацію, щоб оптимізувати мережу. Подруге, в мережі існує проблема повільного з'єднання між пристроями та датчиками, що призводить до затримки відповіді. Ці проблеми можна вирішити, використовуючи функції та можливості 6G, які забезпечують швидший і надійний обмін даними з низькою затримкою та можуть підтримувати величезну кількість датчиків/пристроїв. Крім того, бездротові мережі 6G можуть безперешкодно інтегрувати передові технології, такі як периферійні обчислення, кібердвійник і блокчейн для підвищення надійності та стійкості систем розумних мереж. Технологія блокчейн може забезпечити безпеку, надійність і прозорість транзакцій розумної електромережі, таким чином забезпечуючи однорангову торгівлю енергією та цілісність даних.

РОЗДІЛ 3 НАРІЗКА МЕРЕЖІ 6G

3.1 Нарізки мережі для IoT «розумних міст» у рамках 6G

3.1.1 Математична модель нарізки мережі

У сфері 6G нарізка мережі полегшує розробку персоналізованих віртуалізованих мереж, призначених для задоволення унікальних вимог різноманітних програм у «розумних містах». Це пропонує не тільки неперевершений рівень зв'язку, але й універсальність для адаптації до постійно мінливих і різноманітних комунікаційних потреб пристроїв Інтернету речей, поширених у міському середовищі. «Розумні міста» є прикладом заплутаності сучасного міського життя завдяки своїй складній мережі мережевих гаджетів, датчиків і систем. Поєднання 6G із нарізкою мережі є потужною силою, яка має потенціал революціонізувати комунікаційні інфраструктури шляхом їх оптимізації. Поєднання 6G і нарізки мережі відкриває потенціал для комунікаційної структури, яка є не тільки ефективною та стійкою, але й здатною масштабуватися та адаптуватися до мінливих вимог міських районів.

Ефективний розподіл ресурсів і відповідні конфігурації для розподілу завдань мають вирішальне значення для задоволення постійно мінливих комунікаційних вимог різних програм Інтернету речей. Враховуючи великий обсяг конфіденційних даних, які генерує «розумне місто» IoT, надзвичайно важливо впроваджувати надійні криптографічні методи для ефективного вирішення проблем безпеки та конфіденційності. Щоб подолати проблеми взаємодії між різними сегментами мережі та пристроями, вкрай важливо звернути увагу на неоднорідний характер екосистем Інтернету речей. Як показано на рисунку 3.1 архітектура нарізки мережі 6G включає кілька унікальних компонентів, а саме мережу доступу, базову мережу, периферійну хмару, транспортну мережу та площину обслуговування. Такий архітектурний дизайн полегшує ефективний розподіл і сегрегацію ресурсів для широкого спектру послуг.



Рис.3.1. Нарізка потоку мережі шостого покоління [14]

Створення сегментів мережі, дозволить ефективно розподілити ресурси, забезпечити швидкий зв'язок у відповідності з різноманітними і постійно мінливими вимогам до зв'язку додатків IoT розумних міст у контексті 6G.

Математична постановка оптимізаційної задачі виглядає наступним чином:

$$\begin{array}{ll}
 \underset{X}{\text{minimize}} & f(X) \\
 \text{subject to} & g_i(X) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 & h_j(X) = 0, \quad j = 1, \dots, p,
 \end{array} \tag{3.1}$$

де $f(X)$ представляє цільову функцію, а $g_i(X)$ і $h_j(X)$ є обмеженнями нерівності та рівності відповідно.

X представляє змінні рішення для оптимальної конфігурації нарізки. Задача стоїть в мінімізації загальної функції витрат $f(X)$ з урахуванням певних обмежень.

Цільова функція $f(X)$ визначається як зважена сума різних показників ефективності, що відображає суть оптимальної конфігурації нарізки

$$f(X) = \sum_{k=1}^N w_k \cdot \left[\alpha_k \text{Метрика}_k(X) + \beta_k \cdot \left(\frac{\gamma_k \cdot \text{Обмеження}_k(X)}{\delta_k + \text{Обмеження}_k(X)} \right)^{\theta_k} \right], \quad (3.2)$$

де $\text{Metric}_k(X)$ представляє показник ефективності для k -го аспекту оптимальної конфігурації зрізу, а w_k — вага, призначений k -му показнику.

На рис. 3.2 наведено схему процесу проектування сегментації мережі для 6G.

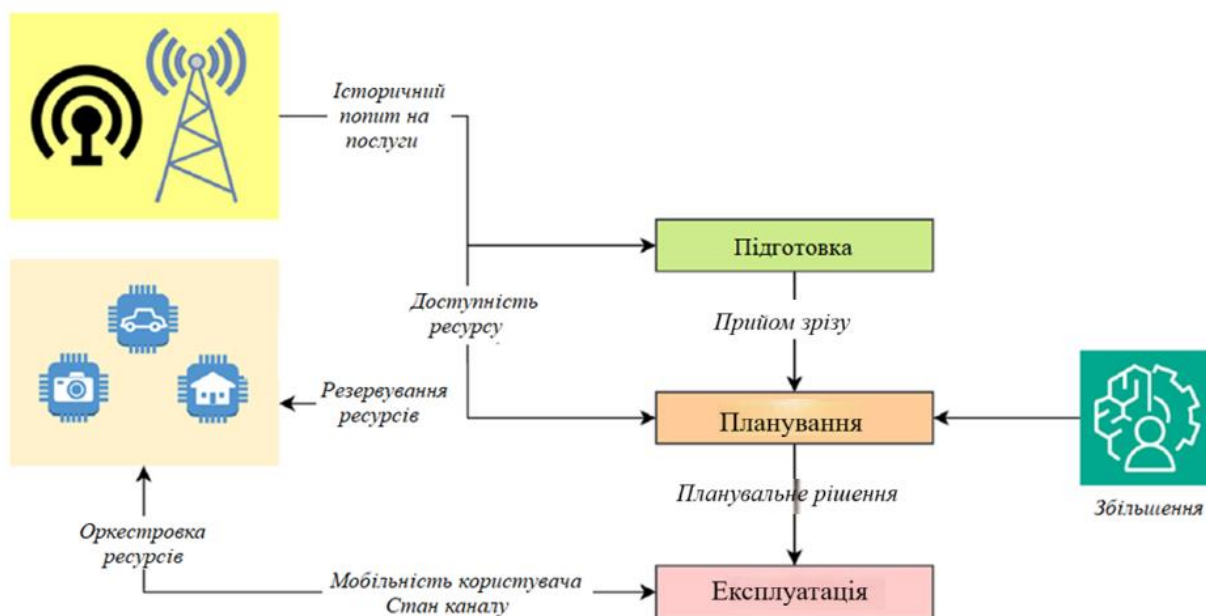


Рис.3.2 Сегментація мережі 6G

Процес передбачає збір специфікацій, окреслення вимірювань, визнання обмежень, встановлення цілей, побудову математичної основи, оптимізацію організації, оцінку ефективності, точне налаштування змінних і завершення плану.

Щоб оптимізувати впровадження нарізки мережі для IoT розумних міст в епоху 6G, пропонується математичну модель, яка охоплює ключові фактори та проблеми.

Основна цільова функція:

$$f(X) = \sum_{k=1}^N w_k \cdot \text{Метрика}_k(X), \quad (3.3)$$

де використовуються такі терміни:

- X - представляє змінні рішення для оптимальної конфігурації нарізки.
- N – кількість розглянутих показників.
- $\text{Metric}_k(X)$ позначає показник продуктивності для k -го аспекту оптимальної конфігурації нарізки.
- w_k – вага, присвоєна k -й метриці.

Проблема оптимізації підлягає різноманітним обмеженням, що забезпечує здійсненність конфігурації нарізки мережі. Загальний вигляд обмежень надається наступним чином:

$$g_i(X) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad (3.4)$$

$$h_j(X) = 0, \quad j = 1, \dots, p, \quad (3.5)$$

де використовуються такі терміни:

- $g_i(X)$ і $h_j(X)$ є обмеженнями нерівності та рівності відповідно.
- m – кількість обмежень нерівності, а p – кількість обмежень рівності.

Змінні рішення X позначають параметри, які встановлюють конфігурацію нарізки мережі. Ці фактори точно налаштовані для досягнення бажаного рівня продуктивності.

Серед інших факторів змінні рішення можуть включати розподіл ресурсів, розподіл смуги пропускання та встановлення порогових значень затримки. У математичній моделі точні рівняння та формули визначають зв'язки між змінними рішення та показниками ефективності. Вони можуть охоплювати різноманітні можливості:

$$\text{Метрика}_1(X) = \frac{\text{загальна смуга пропускання}}{\text{число сегментів}} \quad (3.6)$$

$$\text{Метрика}_2(X) = \text{Затримка}_{\text{сегмент1}} - \text{Затримка}_{\text{сегмент2}} \quad (3.7)$$

$$\text{Метрика}_3(X) = \frac{\text{використання ресурсів}_{\text{сегмент 1}}}{\text{використання ресурсів}_{\text{сегмент 2}}} \quad (3.8)$$

де кожен показник відображає важливий аспект конфігурації нарізки мережі для IoT розумних міст у 6G.

Комплексна математична модель забезпечує основу для майбутніх процесів впровадження, гарантуючи методичне та оптимізоване розгортання технологій нарізки мережі, спеціально розроблених для конкретних потреб IoT розумних міст у середовищі 6G.

Алгоритм, наведений нижче, спрямований на реалізацію нарізки мережі для IoT «розумних міст» у контексті технологій 6G. Він дотримується ітераційного процесу для оптимізації конфігурації нарізки мережі на основі визначених вимог, показників, обмежень і цілей.

Алгоритм- Процес впровадження IoT розумних міст у контексті технологій нарізки мережі в 6G:

Вхідні дані: Вимоги, Показники, Обмеження, Цілі.

Вихід: оптимізована конфігурація нарізки мережі

Ініціалізація: $t \leftarrow 0$, $T_{\max} \leftarrow$ Максимальна кількість ітерацій

Ініціалізація конфігурації: випадкова або на основі попередніх знань

Поки $t < T_{\max}$

Процес впровадження IoT «розумних міст» у контексті технологій нарізки мережі в 6G:

1. Оцінка продуктивності:

- Розгортання поточної конфігурації нарізки мережі.
- Вимірювання показника ефективності за допомогою визначених показників.

2. Налаштування параметрів:

- Оновлення параметрів конфігурації на основі оцінки.

На цьому кроці параметри конфігурації нарізки мережі налаштовуються на основі показників продуктивності, отриманих на етапі оцінювання. Це включає в себе аналіз даних про ефективність для визначення областей, де можна зробити покращення. Такі параметри, як розподіл ресурсів, розподіл пропускної здатності та порогові значення затримки, точно налаштовуються для підвищення загальної продуктивності. Цей крок має вирішальне значення для забезпечення адаптації конфігурації до конкретних вимог і обмежень додатків IoT у розумних містах.

3. Оптимізація конфігурації.

Використання алгоритмів оптимізації (наприклад, генетичні алгоритми) для вдосконалення конфігурації.

Алгоритми оптимізації використовуються для систематичного пошуку найкращої можливої конфігурації, яка відповідає визначеним цілям. Генетичні алгоритми імітують процес природного відбору, генеруючи рішення ітеративно та вибираючи найефективніші з них для створення наступного покоління рішень. Застосовуючи ці алгоритми, конфігурація уточнюється ітераційно для досягнення оптимального або майже оптимального рішення, яке врівноважує всі показники продуктивності.

4. Моніторинг продуктивності.

Постійний моніторинг продуктивності необхідний, щоб переконатися, що коригування та оптимізація дають бажаний ефект. Цей крок передбачає відстеження в режимі реального часу ключових показників ефективності (KPI), таких як затримка, пропускна здатність, надійність і використання ресурсів.

Завдяки ретельному моніторингу цих показників будь-які відхилення або несподівані дії можна швидко виявити та усунути. Ця постійна оцінка допомагає підтримувати стабільність і ефективність конфігурації нарізки мережі протягом усього процесу оптимізації.

5. Перевірка. Якщо продуктивність задовільна, зупиняється процес перевірки.

6. Збільшити лічильник ітерацій: $t \leftarrow t + 1$

7. Доопрацювання дизайну:

- опис і документування оптимізованої конфігурації нарізки мережі.
- виведення оптимізованої конфігурації.

3.1.2 Оцінка продуктивності

Для оцінки продуктивності використовують наступні параметри: затримка, надійність, пропускна здатність, масштабованість, показники безпеки.

Затримка є критично важливим аспектом програм «розумного міста». Для кількісного визначення затримки використовуються такі показники:

$$\text{Час прийому-передачі (RTT)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Час відправки}_i - \text{Час доставки}_i) \quad (3.9)$$

$$\text{Одностороння затримка} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Час відправки}_i - \text{Час доставки}_i) m \quad (3.10)$$

Надійність забезпечує постійний і надійний зв'язок. Показники включають наступне:

$$\text{Рівень втрати пакетів} = \frac{\text{Кількість втрачених пакетів}}{\text{Загальна кількість надісланих пакетів}} \quad (3.11)$$

$$\text{Доступність} = \frac{\text{Загальний час безвідмовної роботи}}{\text{Загальний час}} \quad (3.12)$$

Пропускна здатність вимірює швидкість успішної передачі даних:

$$\text{Пропускна здатність} = \frac{\text{Загальна кількість надісланих даних}}{\text{Загальний час}} \quad (3.13)$$

Масштабованість оцінює здатність мережі витримувати збільшене навантаження:

Пропускна здатність мережі = максимальна кількість одночасних підключень

$$\text{Використання ресурсів} = \frac{\text{Використані ресурси}}{\text{Загальна кількість ресурсів}} \quad (3.14)$$

Ці показники забезпечують всеосяжну структуру оцінки для оцінки продуктивності впроваджених технологій нарізки мережі в контексті IoT «розумних міст» із підтримкою 6G.

3.2 Нарізка мережі 6G з інтеграцією AI

У той час як поточні наземні мережі забезпечують гарне покриття в густонаселених районах, 6G має забезпечити універсальне покриття, в тому числі в сільській місцевості, віддалених районах і малонаселених районах. Космічні, повітряні та наземні сегменти мережі інтегровані в Інтегрованих мережах космос-повітря-земля (SAGIN), що може забезпечити глобальне покриття, полегшити послуги на вимогу та підтримувати високошвидкісні послуги з малими затримками.

Багато служб мають суворі вимоги до QoS у різних вимірах. Програми мобільної віртуальної реальності (VR) і потокового відео з голограмами вимагають високої швидкості передачі даних, наприклад, швидкість передачі даних мобільного VR становить до 5 Гбіт/с. Інші додатки можуть вимагати надвисокої надійності (автономне водіння, промислові системи управління і т.д.).

З розвитком методів штучного інтелекту, периферійних обчислень і обчислень на пристроях інтелект передається з віддаленої хмари на край мережі та кінцевих користувачів. Таким чином, штучний інтелект буде інтегрований у мережі 6G для інтелектуального керування мережею шляхом безпосереднього вивчення великої кількості даних у мережі. Крім того, повсюдний інтелект сприятиме створенню ряду служб ШІ, в яких ШІ надається як послуга.

Вищезазначені вимоги створюють нові проблеми для розробки схем нарізки мережі для мереж 6G. По-перше, SAGIN не тільки збільшує кількість інтегрованих сегментів мережі, але також вводить додаткову динаміку доступності мережевих ресурсів завдяки мобільності супутників і маневреності БПЛА. Схеми нарізки мережі повинні адаптуватися до широкомасштабного SAGIN, враховуючи динамічну доступність ресурсів.

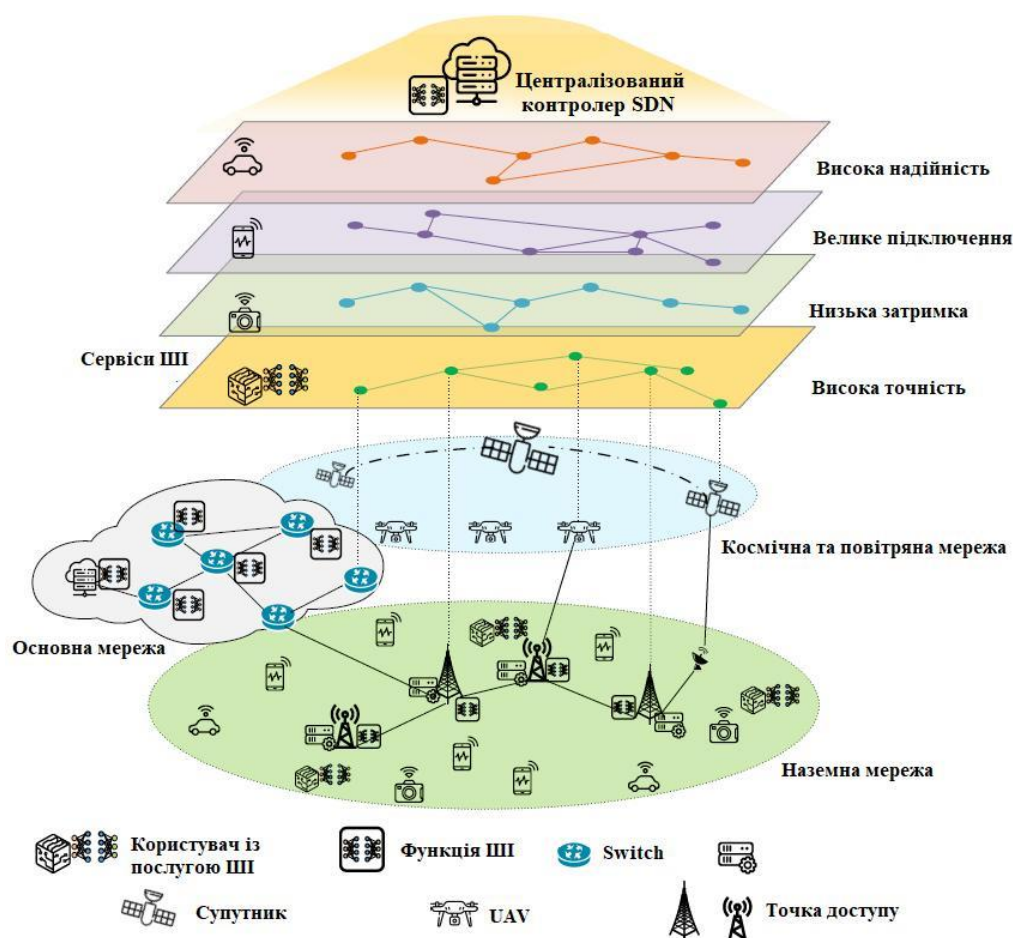


Рис.3.3 Ілюстрація архітектури штучного інтелекту для нарізання мережі для мереж 6G

Крім того, підтримка диверсифікованих послуг із суворими вимогами до QoS ще більше ускладнює проектування схеми нарізки мережі. По-друге, повсюдний інтелект полегшує роботу багатьох нових послуг III, які будуть домінувати в мережах 6G.

Для вирішення вищезазначених проблем на рис.3.3. представлена архітектура нарізки мережі на основі III для мереж 6G.

Архітектура спрямована на інтеграцію SAGIN і повсюдного інтелекту, а також підтримку різноманітних послуг із суворими вимогами до QoS. У порівнянні з нарізкою мережі для мереж 5G запропонована архітектура має дві нові характеристики. По-перше, штучний інтелект інтегрований у контролери SDN для реалізації інтелектуального нарізання мережі, таким чином, щоб кількома сегментами мережі з суворими вимогами до QoS можна було ефективно та економічно ефективно керувати за допомогою методів штучного інтелекту, які називаються III для нарізки. По-друге, нові служби штучного інтелекту підтримуються нарізкою мережі. На додаток до сегментів мережі для звичайних служб, нові сегменти мережі будуються для служб III на основі загальної фізичної інфраструктури, яка називається нарізка для III.

Життєвий цикл нарізки мережі складається з трьох етапів:

Підготовчий етап: На цьому етапі потрібно побудувати та налаштувати сегменти мережі на основі вимог до послуг, трафіку даних, інформації про користувача та доступності ресурсів віртуальної мережі. Для досягнення мети контролер SDN виконує такі завдання:

- Вилучення вимог до послуг – це завдання полягає у класифікації послуг шляхом вилучення їхніх вимог до QoS, наприклад затримка обслуговування, пріоритет обслуговування, пропускна здатність і надійність. 3GPP має стандартизовані конкретні значення послуги/типу зрізу для класифікованих послуг, таких як розширений мобільний широкосмуговий зв'язок, наднадійний зв'язок із малою затримкою та масові послуги зв'язку машинного типу.

- Віртуалізація мережевих ресурсів і функцій. Мережеві ресурси, такі як комунікаційні, обчислювальні та кеш-ресурси, об'єднуються у віртуалізовані

блоки ресурсів за допомогою вдосконалених методів віртуалізації ресурсів. Подібним чином мережеві функції, такі як брандмауер, трансляція мережевих імен і система доменних імен, відокремлені від виділених апаратних мережевих функцій у віртуальні мережеві функції (VNF). Завдяки віртуалізації контролер SDN може гнучко керувати мережевими ресурсами та функціями.

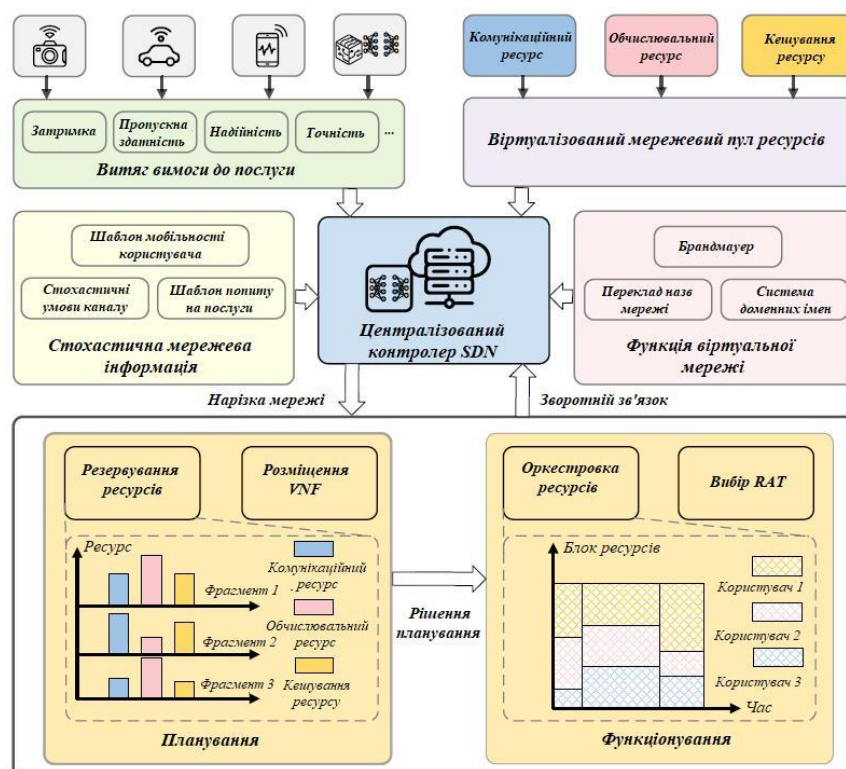


Рис.3.4. Ілюстративний приклад життєвого циклу нарізки мережі, який включає фази підготовки, планування та експлуатації

Після виконання цих завдань контролер SDN може створювати сегменти мережі для кожного дозволеного запиту сегмента.

Фаза планування. Цей етап спрямований на резервування мережевих ресурсів для сегментів для надання послуг. Етап планування діє у великому часовому масштабі. Час розділено на кілька періодів планування (вікон) для кожного фрагмента. Тривалість кожного вікна планування залежить від попиту на послугу

та динаміки мережі, значення якої коливається від кількох хвилин до кількох годин. Для досягнення мети на етапі планування виконуються наступні два кроки:

1.Збір інформації про послуги та мережу. Завдяки функції глобального керування контролером SDN можна збирати велику кількість інформації про мережу з базових фізичних мереж, наприклад вимоги до послуг, стохастичні умови каналу та шаблони мобільності користувачів. Зібрана інформація використовується для наступного прийняття рішень щодо резервування ресурсів;

2.Резервування ресурсів. На початку кожного вікна планування контролер SDN регулює кількість зарезервованих мережевих ресурсів для кожного сегмента на основі відстежуваної продуктивності сегмента. Зарезервовані віртуалізовані мережеві ресурси кожного фрагмента зіставляються з фізичною мережею. Наприкінці кожного вікна планування деяка системна інформація повертається до контролера SDN, наприклад використання ресурсів, продуктивність системи та задоволеність угоди про рівень обслуговування. На основі інформації зворотного зв'язку контролер SDN може коригувати рішення щодо резервування ресурсів для адаптації до динамічних мережевих середовищ, гарантуючи при цьому вимоги QoS.

3) Етап експлуатації. Ця фаза призначена для планування обслуговування фрагмента з використанням зарезервованих ресурсів для передплачених кінцевих користувачів. Операційний етап працює в набагато меншому часовому масштабі (наприклад, 100 мс), ніж на етапі планування. Зокрема, під координацією централізованого контролера SDN локальні контролери SDN розподіляють мережеві ресурси для кінцевих користувачів у кожному сегменті відповідно до їх трафіку даних у реальному часі. Операційні рішення включають вибір технології радіодоступу (RAT), визначення асоціації користувача з конкретними точками радіодоступу, визначення правильного протоколу та пов'язаних параметрів і оркестрування ресурсів серед кінцевих користувачів

Роль штучного інтелекту в нарізці мереж.

Як показано на рис. 3.5, нарізка мережі на основі ШІ є потенційним рішенням у якому ШІ відіграє різні ролі на різних фазах нарізки мережі.



Рис.3.5 Рішення для нарізки мережі на основі штучного інтелекту, в якому штучний інтелект відіграє різні ролі на етапах підготовки, планування та експлуатації

ІІІ для підготовки: На підготовчому етапі ІІІ має виконати два завдання.

1) Прогнозування попиту на послуги. На основі історичних даних попит на послуги можна спрогнозувати за допомогою методів ІІІ, таких як рекурентні нейронні мережі. Попередні дослідження показують, що попит на послуги та використання ресурсів зрізу можна точно передбачити. Результати прогнозування можуть бути використані для прийняття рішень на етапі планування.

2) Допуск фрагментів - контролер SDN допускає сегменти для максимального використання ресурсів мережі з урахуванням доступності ресурсів і вимог до послуг. Оскільки рішення про допуск зрізу є двійковим, ця проблема вважається цілочисельною задачею оптимізації. У великомасштабних мережах із складним розподілом доступності ресурсів звичайні рішення для оптимізації стають складними та нерозв'язними, тоді як рішення на основі ІІІ є потенційними.

ІІІ для планування:

На етапі планування ІІІ може виконувати два завдання.

1) Розміщення VNF – контролер SDN розгортає VNF для підтримки служб у мережі. Ресурси, виділені для VNF, повинні динамічно коригуватися відповідно до змінних у часі вимог до обслуговування, щоб гарантувати вимоги до затримки

обслуговування. Методи глибокого навчання можуть бути застосовані для покращення використання ресурсів у динамічних мережових середовищах.

2) Резервування ресурсу - Контролер SDN резервує ресурси для різних сегментів на основі їхніх вимог до обслуговування. Оскільки навантаження трафіку даних змінюються в часі, резервування ресурсів має адаптуватися до динамічних вимог у реальному часі, які можна вирішити за допомогою методів навчання з підкріпленням (RL), таких як глибокий детермінований градієнт політики (DDPG).

III для експлуатації: Два приклади робочих завдань:

1) Оркестровка ресурсів – зарезервовані ресурси фрагмента виділяються кінцевим користувачам. Рішення визначаються на основі мобільності користувачів у реальному часі, вимог до послуг тощо. Для ефективного використання ресурсів можна застосувати методи RL для динамічної оркестровки ресурсів;

2) Вибір RAT. Щоб максимізувати корисність системи, для кожного кінцевого користувача вибирається оптимальна RAT серед кількох кандидатів RAT. Завдяки мобільності користувачів продуктивність RAT, яку сприймають користувачі, є стохастичною. Таку проблему можна вирішити методами багаторукового бандита, наприклад, контекстного бандита.

Процедура штучного інтелекту для нарізки передбачає обмін інформацією між кінцевими користувачами, точками доступу та контролером SDN. Процедура проілюстрована на рис. 3.3 з наступними кроками:

1) Точки доступу збирають стохастичну інформацію на рівні користувача, таку як моделі попиту на послуги кінцевих користувачів, моделі мобільності та стохастичні умови каналу;

2) Точки доступу перетворюють інформацію рівня користувача в бажану інформацію рівня обслуговування. Наприклад, інформацію про щільність користувачів можна отримати в результаті обробки інформації про місцезнаходження користувача, а для такого абстрагування, об'єднання та аналізу даних можна використовувати методи III;

3) Оброблена інформація про рівень обслуговування доставляється до контролера SDN;

4) Контролер SDN запускає алгоритми планування на основі ІІІ для прийняття рішень на основі зібраної інформації про рівень обслуговування;

5) Визначені планувальні рішення надсилаються назад до всіх точок доступу;

6) Точки доступу забезпечують виконання отриманих планувальних рішень, наприклад, резервування мережевих ресурсів для відповідних сегментів;

7) Кінцеві користувачі в обслуговуванні повідомляють свою інформацію в реальному часі до своїх пов'язаних точок доступу, таку як запити на обслуговування в реальному часі, умови каналу та розміри даних завдань;

8) Точки доступу запускають алгоритм роботи на основі ІІІ для розподілу ресурсів для кінцевих користувачів на основі інформації на рівні користувача в реальному часі;

9) Запити на обслуговування від кінцевих користувачів підтримуються виділеними мережевими ресурсами. Наприклад, обчислювальні завдання можна розвантажувати на точки доступу за допомогою комунікаційного ресурсу, а потім обробляти за допомогою обчислювальних ресурсів. Для кожного слота операції у вікні планування повторюються кроки 7-9;

10) Точки доступу відстежують продуктивність сегментів у мережі з огляду на прийняті рішення щодо планування шляхом вимірювання рівня задоволеності кінцевих користувачів у всіх робочих слотах у вікні планування;

11) Точки доступу повідомляють про продуктивність мережі контролеру SDN;

12) Контролер SDN приймає рішення щодо планування для наступного вікна планування та коригує політику планування на основі інформації зворотного зв'язку.

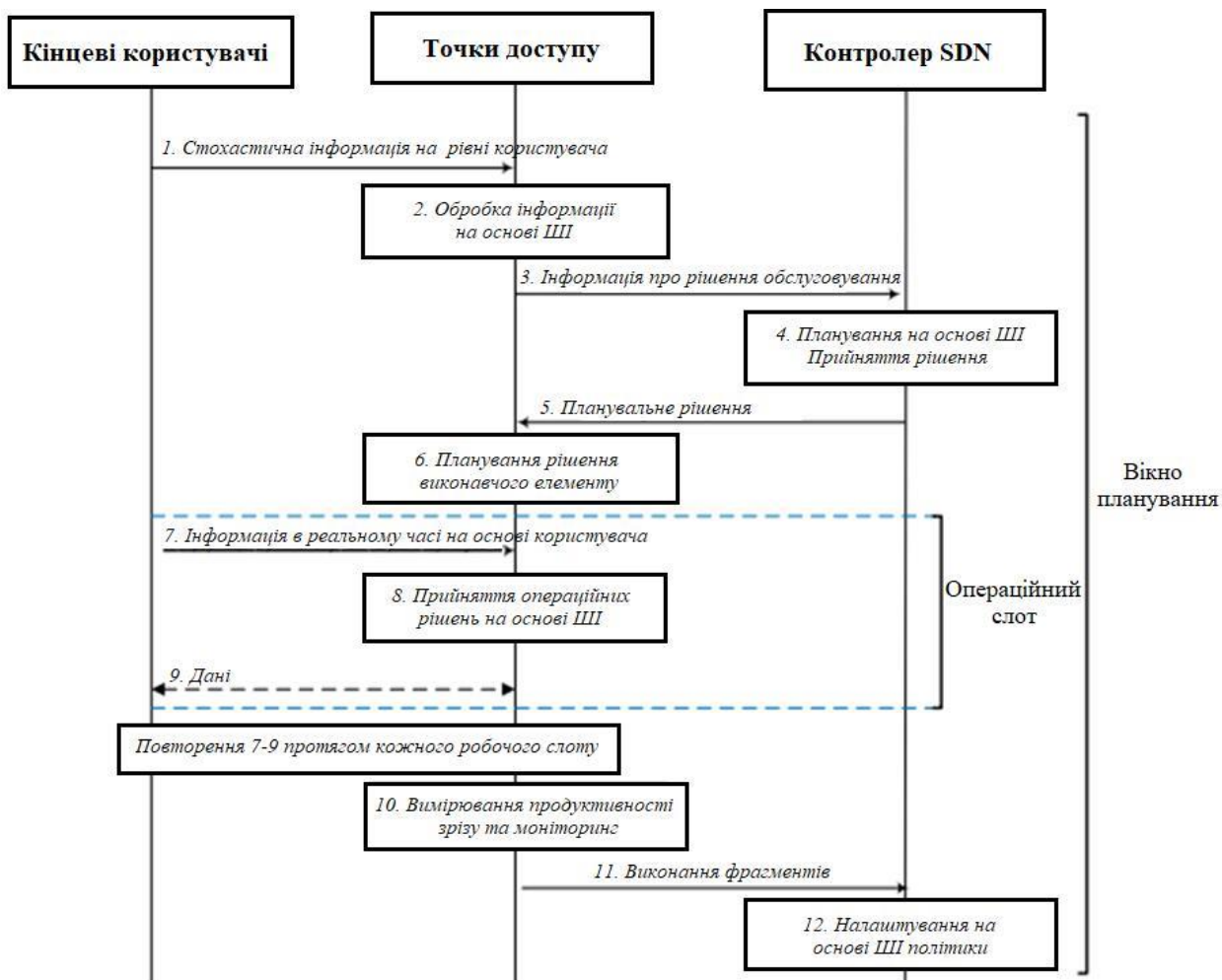


Рис.3.6. Процедура обміну інформацією в ШІ для нарізки

ВИСНОВКИ

Телекомунікаційна індустрія за кілька років зробить революційний стрибок з появою 6G. Ця технологія пропонує безпрецедентну швидкість, нижчу затримку та радикальні можливості, які ґрунтуються на фундаменті, закладеному 5G.

В роботі проведено поглиблене дослідження та аналіз майбутніх технологій для розумних міст. Розумні міста краще використовують простір, зменшують трафік, забезпечують чистіше повітря та забезпечують ефективніші громадські послуги, що покращує якість життя людей. Для покращення послуг розумного міста бездротова мережева система 6G, орієнтована на IoT, буде дуже корисною для обробки величезних обсягів вхідних «сенсорних» даних.

Запропоновано модель нарізки мережі та архітектуру штучного інтелекту для спрощення інтелектуального керування мережею та підтримки послуг штучного інтелекту в мережах 6G. Архітектура спрямована на забезпечення синергії ШІ та нарізки мережі. Штучний інтелект для нарізки має допомогти зменшити складність керування мережею, одночасно адаптуючись до динамічних мережевих середовищ, використовуючи можливості штучного інтелекту в нарізці мережі.

Описано математичну модель нарізки мережі для IoT розумних міст у рамках 6G. Представлено показники оцінки продуктивності впроваджених технологій нарізки мережі в контексті IoT «розумних міст» із підтримкою 6G.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Javed, Abdul Rehman; Zikria, Yousaf Bin; Rehman, Saif ur; Shahzad, Faisal; Jalil, Zunera (2021): Future Smart Cities: Requirements, Emerging Technologies, Applications, Challenges, and Future Aspects. TechRxiv. Preprint. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.14722854.v1>
2. Gracias, J.S.; Parnell, G.S.; Specking, E.; Pohl, E.A.; Buchanan, R. Smart Cities—A Structured Literature Review. *Smart Cities* 2023, 6, 1719–1743. <https://doi.org/10.3390/smartcities6040080>
3. Chataut, R.; Nankya, M.; Akl, R. 6G Networks and the AI Revolution—Exploring Technologies, Applications, and Emerging Challenges. *Sensors* 2024, 24, 1888. <https://doi.org/10.3390/s24061888>
4. Ishteyaq, I.; Muzaffar, K.; Shafi, N.; Alathbah, M.A. Unleashing the Power of Tomorrow: Exploration of Next Frontier with 6G Networks and Cutting Edge Technologies. *IEEE Access* 2024, 12, 29445–29463.
5. Tariq, F.; Khandaker, M.R.; Wong, K.-K.; Imran, M.A.; Bennis, M.; Debbah, M. A speculative study on 6G. *IEEE Wirel. Commun.* 2020, 27, 118–125.
6. Kato, N.; Mao, B.; Tang, F.; Kawamoto, Y.; Liu, J. Ten challenges in advancing machine learning technologies toward 6G. *IEEE Wirel. Commun.* 2020, 27, 96–103.
7. Khan, N.A.; Schmid, S. AI-RAN in 6G Networks: State-of-the-Art and Challenges. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2023, 5, 294–311
8. Liu, F.; Cui, Y.; Masouros, C.; Xu, J.; Han, T.X.; Eldar, Y.C.; Buzzi, S. Integrated sensing and communications: Towards dualfunctional wireless networks for 6G and beyond. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2022, 40, 1728–1767
9. Pan, C.; Ren, H.; Wang, K.; Kolb, J.F.; Elakashlan, M.; Chen, M.; Di Renzo, M.; Hao, Y.; Wang, J.; Swindlehurst, A.L.; et al. Reconfigurable intelligent surfaces for 6G systems: Principles applications and research directions. *arXiv* 2020, arXiv:2011.04300.
10. Filgueiras, H.R.D.; Lima, E.S.; Cunha, M.S.B.; Lopes, C.H.D.S.; De Souza, L.C.; Borges, R.M.; Pereira, L.A.M.; Brandao, T.H.; Andrade, T.P.V.; Alexandre, L.C.;

et al. Wireless and Optical Convergent Access Technologies Toward 6G. *IEEE Access* 2023, 11, 9232–9259

11. Di Renzo, M.; Zappone, A.; Debbah, M.; Alouini, M.-S.; Yuen, C.; de Rosny, J.; Tretyakov, S. Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How It Works, State of Research, and The Road Ahead. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2020, 38, 2450–2525

12. Liu, S.; Gao, Z.; Wu, Y.; Ng, D.W.K.; Gao, X.; Wong, K.; Chatzinotas, S.; Ottersten, B. LEO satellite constellations for 5G and beyond: How will they reshape vertical domains? *IEEE Commun. Mag.* 2021, 59, 30–36

13. Warriar, A.; Aljaburi, L.; Whitworth, H.; Al-Rubaye, S.; Tsourdos, A. Future 6G Communications Powering Vertical Handover in Non-Terrestrial Networks. *IEEE Access* 2024, 12, 33016–33034.

14. Alwakeel, A.M.; Alnaim, A.K. Network Slicing in 6G: A Strategic Framework for IoT in Smart Cities. *Sensors* 2024, 24, 4254. <https://doi.org/10.3390/s24134254>

15. Zhihan, L.; Qiao, L.; Kumar Singh, A.; Wang, Q. AI-empowered IoT security for smart cities. *ACM Trans. Internet Technol.* 2021, 21, 1–21.

16. Chen, Z. ., Chen, K.-C. ., Dong, C. ., & Nie, Z. . (2021). 6G Mobile Communications for Multi-Robot Smart Factory. *Journal of ICT Standardization*, 9(03), 371–404. <https://doi.org/10.13052/jicts2245-800X.934>

17. Mohammed H. Alsharif, Abu Jahid, Raju Kannadasan, Mun-Kyeom Kim, «Unleashing the potential of sixth generation (6G) wireless networks in smart energy grid management: A comprehensive review, *Energy Reports*» Volume 11, 2024, Pages 1376-1398, ISSN 2352-4847,

18. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.011>.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)

МОЖЛИВОСТІ «РОЗУМНОГО МІСТА»



Рис.1 Можливості, які надає мешканцям «Розумне місто»

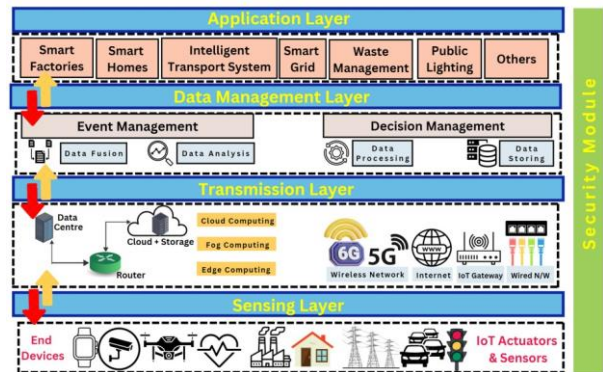


Рис.2. Можлива архітектура «Розумного міста»

ПОРІВНЯННЯ 4G, 5G I 6G

Ознака	Технологія 4G LTE	5G	6G (очікувано)
Розгортання	Широке розгортання по всьому світу	Глобальне розгортання	Очікується приблизно до 2030 року
Швидкість передачі даних	До 1 Гбіт/с	До 10 Гбіт/с	До 1 Тбіт/с
Затримки	20-50 мілісекунд	1-10 мілісекунд	Субмілісекунда
Діапазони частот	Від 600 МГц до 2,5 ГГц	24-100 ГГц (включаючи mmWave)	Терагерцові (THz) діапазони
Пропускна здатність	20 МГц	До 800 МГц	До декількох ГГц
Пропускна здатність мережі	Обмежений	У 10 разів більша ємність, ніж 4G	У 100 разів більша ємність, ніж 5G
Спектральна ефективність	Помірна	Висока	Надзвичайно висока
Енергоефективність	Помірна	Покращено в порівнянні з 4G	Висока оптимізація
Щільність з'єднання	До 100 000 пристроїв/км²	До 1 млн пристроїв/км²	До 10 млн пристроїв/км²
Підтримка мобільності	До 350 км/год	До 500 км/год	Покращена підтримка мобільності
Випадки використання	Мобільний інтернет, потокове відео	Покращений мобільний широкосмуговий доступ, IoT, AR/VR	Просунутий IoT, голографічний зв'язок, послуги на основі штучного інтелекту
Основні технології	OFDMA, MIMO	Масивний MIMO, формування променя, сегментація мережі	Просунутий штучний інтелект, машинне навчання, квантовий зв'язок
Безпеки	Базове шифрування, мережева безпека	Покращене шифрування, сегментація мережі, безпечне завантаження	Передова квантова криптографія, підвищена безпека на основі штучного інтелекту
Інфраструктури	Макроелементи, дрібні клітини	Макроелементи, малі комірки, міліметрові комірки	Всюдишні розумні поверхні, розумні поверхні з можливістю реконфігурації

АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 6G

Потенційна технологія 6G	Короткий опис
Штучний інтелект (AI)	AI можна використовувати для аналізу, управління та оптимізації ресурсів, а також для ефективної підтримки мереж 6G. ШІ можна використовувати для таких завдань, як ефективна оцінка каналу, енергоефективність, розпізнавання модуляції, кешування даних, прогноз трафіку, управління радіоресурсами, управління мобільністю тощо.
Блокчейн (BC)	Тип технології для забезпечення безпеки, конфіденційності та масштабованості і надійності.
Квантові обчислення (QC)	Базуються на квантовій теоремі про відсутність клонування та принципі невизначеності, абсолютна випадковість вводиться шляхом використання квантової природи інформації, яка забезпечує безпеку та розширену пропускну здатність каналу.
Неземні мережі (NTN)	Включає дрони та супутники та використовується для розширення зони покриття наземних БС, забезпечення додаткової ємності в густонаселених міських гарячих точках. Використовується для аварійного відновлення та у віддалених або сільських районах.
Мобільні периферійні обчислення (MEC)	Розміщуючи обчислювальні ресурси ближче до кінцевого користувача, це зменшує затримки та підвищує швидкість обробки та локальну безпеку.
Інтегроване зондування та зв'язок (ISAC)	Оптимізує розподіл дефіцитних ресурсів і сприяє кращому процесу прийняття рішень шляхом поєднання датчиків і зв'язку завдань, що підвищує ефективність.
Реконфігуровані інтелектуальні поверхні (RIS)	Плоска поверхня з набором пасивних елементів, характеристики яких можна динамічно змінювати. Використовується в 6G-THz для покращення покриття.
Голографічний зв'язок (HC)	HC – це програма, яка використовується для передачі захоплюючих та інтерактивних голограм у розмір людини, що складаються з 3D-відео та зображень, які потребують надзвичайно високої швидкості передачі даних із наднизькою затримкою.
Зв'язок у видимому світлі (VLC)	VLC пропонує численні переваги, такі як енергоефективність, економічна ефективність, неліцензований спектр, відсутність електромагнітних перешкод, безпечний доступ технологія та велика пропускання здатність.

