

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

**Тема:** «Удосконалення технологій стільникових мереж 5G»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Тетяна ДИКА  
(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олексій ЗУЄВ  
(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ  
(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ ” 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Дикої Тетяни Василівни

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення технологій стільникових мереж 5G»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: дослідження стільникових мереж 5G та аналіз методів удосконалення

4. Зміст пояснювальної записки: дослідження сучасних стільникових мереж 5G; проектування мережі 5G; удосконалення технологій стільникових мереж 5G

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація із зазначеними ілюстраціями

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	27.04.2023- 28.04.2023	Виконано
2	Вступ	29.04.2023	Виконано
3	Дослідження сучасних стільникових мереж 5G	30.04.2023- 12.05.2023	Виконано
4	Проектування тестової мережі 5G	13.05.2023- 25.05.2023	Виконано
5	Удосконалення стільникової мережі 5G	26.05.2023- 5.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	15.06.2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Олексій ЗУЄВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Тетяна ДИКА

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Удосконалення технологій стільникових мереж 5G» містить 52 сторінок, 5 рисунків, 46 використаних джерел.

СТІЛЬНИКОВА МЕРЕЖА 5G, ТЕХНОЛОГІЯ, NR, SDN, NFV, MEC.

Об'єкт дослідження – стільникові мережі 5G.

Предмет дослідження – удосконалення технологій мережі 5G.

Мета кваліфікаційної роботи – полягає в аналізі існуючих проблем, викликів та обмежень, з якими стикається стільникова мережа 5G та варіанти їх вирішення. Запропонувати метод удосконалення стільникова мережа 5G за допомогою розгортання системи моніторингу та MEC.

Метод дослідження – огляд літератури на тему стільникової мережі 5G, аналіз методів усунення недоліків та удосконалення функцій.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при аналізі сучасних досліджень стільникових мереж, їх недоліків та для подальшого удосконалення стільникових мереж 5G.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. Дослідження сучасних стільникових мереж 5G.....	11
1.1. Стандарти стільникових мереж.....	11
1.2. Вимоги до показників ефективності стільникових мереж 5G.....	12
1.3. Ключові технології стільникових мереж 5G.....	14
1.4. Аналіз недоліків та шляхів їх вирішення.....	19
РОЗДІЛ 2. Проектування мережі 5G.....	24
2.1. Формування основних випадків використання.....	24
2.2. Варіанти побудови мережі.....	27
2.3. Компанії, які виготовляють обладнання для побудови мережі.....	29
2.4. Оцінка радіопокриття.....	33
РОЗДІЛ 3. Удосконалення стільникової мережі 5G.....	39
3.1. Розгортання МЕС.....	39
3.2. Розгортання системи моніторингу.....	41
ВИСНОВКИ .....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	48

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3GPP (3rd Generation Partnership Project) – партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній.

5GC (5G core) – глобальний стандарт.

AI (Artificial intelligence) – штучного інтелекту.

AR (augmented reality) – доповнена реальність.

BS (base station) – базова станція.

Cellular V2X (cellular vehicle-to-everything) – мобільний транспортний засіб до всього.

CRAN (Comprehensive R Archive Network) – мережа веб-серверів по всьому світу, на яких зберігаються ідентичні, актуальні версії коду і документації.

CP (control plane) – функція площини керування.

CUPS (common unix printing system) – сервер друку для UNIX-подібних операційних систем.

D2D (device-to-device) – зв'язок між пристроями.

eMBB (enhanced mobile broadband) – мобільний широкосмуговий зв'язок

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – діяльність Європейського інституту телекомунікаційних стандартів.

E2E (end-to-end) – наскрізне тестування.

ERS (Ericsson Radio System) – модульне масштабоване рішення для створення мережі радіодоступу, що масштабується.

EPS (evolved packet system) – електронна система управління.

IETF (internet engineering task force) – відкрите міжнародне співтовариство проєктувальників, учених, мережевих операторів і провайдерів.

ISG (Industry Specification Group) – групи, які працюють поряд з нашими традиційними комітетами зі стандартизації в конкретній технологічній галузі.

FGPA (Field Programmable Gate Arrays) – програмована користувачем вентильна матриця, що програмується користувачем.

FR1 (Frequency Range 1) – частотний діапазон, які були виділені для 5G в діапазоні від 450 МГц до 6 ГГц.

FR2 (Frequency Range 2) – частотний діапазон, які були виділені для 5G в діапазоні від 24,25 ГГц до 52,6 ГГц.

GSMA (Groupe Speciale Mobile Association) – глобальна асоціація мобільного зв'язку.

HetNet (Heterogeneous network) – гетерогенна комп'ютерна мережа.

ISM (information security management) – управління інформаційною безпекою.

ITU-T (international telecommunication union - telecommunication sector) – телекомунікаційний зв'язок.

IoT (internet of things) – інтернет речей.

LTE (long term evolution) – мобільний протокол передавання даних.

LPWAN (low-power wide-area network) – бездротова технологія передачі невеликих за обсягом даних на далекі відстані.

Massive MIMO (multiple-input multiple-output) – системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами.

mMTC (massive machine-type communications) – масовий зв'язок машинного типу.

MEC (Mobile Edge Computing) – колокація периферійних пристроїв і мобільної мережевої інфраструктури.

M2M (machine-to-machine) – міжмашинний зв'язок.

mmWave (millimeter wave) – міліметрові хвилі.

NAT (network address translation) – це механізм у мережах TCP/IP, що дає змогу перетворювати IP-адреси транзитних пакетів.

Netflow — мережевий протокол, призначений для обліку мережевого трафіку

NF-NRF (Network Repository Function) – функція забезпечення взаємодії із зовнішніми додатками.

NFV (Network Function Virtualization) – віртуалізація мережевих функцій.

NR (New Radio) - глобальний стандарт для радіоінтерфейсу мереж 5G.

NS (Network Slicing) – це мережева архітектура.

NSA (non-standalone) – неавтономна архітектура розгортання.

OpenFlow – протокол управління процесом обробки даних.

QoS (Quality Of Service) – якість послуг, які надає комунікаційна мережа.

RAN (Radio Access Network) – мережа радіодоступу.

RS (relay stations) - ретрансляційна станція.

SA (standalone) – автономна архітектура розгортання.

SDN (Software-Defined Networking) – програмно-визначені мережі.

SMF (Session Management Function) – фундаментальний елемент сервісно-орієнтованої архітектури 5G.

SNMP (Simple Network Management Protocol) – простий протокол мережевого управління.

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол керування передаванням.

UDP (User Datagram Protocol) – протокол користувачьких датаграм.

UE (user equipment) – користувачьке обладнання з підтримкою 5G.

URLLC (ultra-reliable and low-latency communication) – високонадійного з'єднання з дуже низькою затримкою передавання даних.

UP (user plane) – функція площини користувача.

VR (virtual reality) – віртуальна реальність.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Мобільні мережі є важливою складовою сучасного життя. Кожні десять років з'являється нове покоління мобільних мереж, які отримують вигоду від технологічних удосконалень у передачі даних та зменшенні затримок. Впровадження технології п'ятого покоління є однією з ключових тенденцій в цій галузі.

Зі збільшенням попиту на більш швидкісні та надійні комунікаційні мережі для підтримки зростаючої кількості підключених пристроїв і нових додатків Інтернету речей (IoT), автономних транспортних засобів і розумних міст, технології стільникових мереж 5G представляють собою критично важливе рішення для задоволення цих потреб. Впровадження технологій 5-го покоління здатне сприяти значному економічному прогресу та підвищити рівень життя суспільства.

З урахуванням потенційних переваг та недоліків 5G, вкрай важливо проводити дослідження та аналіз, які допоможуть у реалізації, застосуванні та розвитку. Ці дослідження можуть стати основою для прийняття важливих рішень і вдосконалення стандартів, допомагаючи мінімізувати ризики.

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

**Мета і завдання дослідження.** Метою цієї роботи є розгляд та оцінка різних аспектів технології 5G, зокрема її технічні характеристики, особливості та розгортання. Визначити потенційні напрямки та методи покращення технології з метою забезпечення ще більшої продуктивності, надійності та ефективності мережі.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Визначення основних викликів і проблем стільникової мережі 5G.
2. Розглядається поточний стан технологій, їх обмеження та недоліки.
3. Оцінка нових алгоритмів та протоколів для покращення ефективності та продуктивності стільникової мережі.

**Об'єктом дослідження** – стільникові мережі 5G.

**Предметом дослідження** – удосконалення технологій мережі 5G.

**Методи досліджень.** Було проведено детальний аналіз наявних наукових досліджень, статей та публікацій пов'язаної з стільниковою мережею 5G. Розгляд існуючих рішень, стандартів, протоколів та технологій, що застосовуються в мережі. Зібрані дані про продуктивність мережі 5G, такі, як пропускна здатність, затримка, втрати пакетів та інші показники ефективності.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати, як метод удосконалення стільникової мережі 5G при використанні сервери МЕС та розгортання системи моніторингу показників ефективності.

**Апробація отриманих результатів.** Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

# РОЗДІЛ 1

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИЙ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ 5G

### 1.1. Стандарти стільникових мереж

Стандарти є керівною силою для досліджень, розробок, інновацій, формування політики та промисловості. Вони регламентують виконання виробничих завдань і реалізацію продукції, забезпечуючи при цьому якість. Крім того, стандарти забезпечують взаємодію між дослідницькими методами або продуктами. Існують різні типи організацій з розробки стандартів, які працюють над пропозиціями стандартів у різних вертикалях [1].

3GPP, один з головних органів стандартизації, який встановлює стандарти і вимоги до інфраструктури мережі та кінцевого обладнання, має кілька активних робочих і дослідницьких груп, які займаються питаннями розгалуження мереж 5G. Перша робоча група (SA1 3GPP) фокусується на варіантах використання і вимогах 5G для додатків зі складними вимогами до зв'язку, низькою затримкою і дуже високою доступністю. Друга робоча група (SA2) визначає вибір архітектури для підтримки мережевого розшарування. Розглядає ці теми в наступних робочих групах: LAN для вертикальних галузей промисловості (Vertical\_LAN), промисловий IoT, неопублічні мережі (NPN) і наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC). Ці групи також розробили концепції автономних неопублічних мереж (SNPN) і інтегрованих неопублічних мереж з загальною мережею (PNI-NPN). Третя робоча група (SA3) займається питаннями безпеки, а SA5 - управлінням сегментами [2].

Один з ключових стандартів 5G - це New Radio (NR), розроблений Міжнародним союзом зв'язку (ITU) та 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Цей стандарт визначає радіотехнології, які дозволяють передачу даних на високих швидкостях та забезпечують підтримку масштабування мережі, низької затримки та енергоефективності. NR охоплює різні частотні діапазони, включаючи низькі, середні та високі частоти, що дозволяє використовувати різні діапазони для різних

сценаріїв використання. NR використовує ряд нових технологій, таких як масивні MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), багатонасійкова передача та інші, для поліпшення ефективності та якості зв'язку [3].

За допомогою стандарту NR 5G можливе використання широкого спектру радіочастот, включаючи високочастотні діапазони, такі, як міліметрові хвилі (mmWave). Це дозволяє досягати надзвичайно високої швидкості передачі даних, що перевищують 10 Гбіт/с. Крім того, використання більш широкого спектру ресурсів дозволяє забезпечити більше підключених пристроїв на одну базову станцію та зменшити затримку [4].

Інші важливі компоненти стільникових мереж 5G включають стандарти мережевої архітектури, такі, як 5G Core (5GC) та Network Slicing. 5GC визначає нову архітектуру мережі, яка забезпечує гнучкість та масштабованість для підтримки різних послуг та застосунків. Network Slicing дозволяє створювати віртуальні мережі з окремими характеристиками та вимогами до якості обслуговування для різних сценаріїв використання, включаючи автономні автомобілі, медичні системи та індустріальні IoT-застосунки [5].

## **1.2. Вимоги до показників ефективності стільникових мереж 5G**

Для забезпечення успішної реалізації 5G мережі, необхідно встановити конкретні вимоги до її показників. Ці вимоги охоплюють широкий спектр аспектів, включаючи пропускну здатність, затримку, надійність, покриття та енергоефективність.

Мережа 5G має на меті здійснити революційний стрибок у швидкості передачі даних, затримках, масовому підключенні, надійності мережі та енергоефективності. Ці можливості спрямовані на реалізацію високошвидкісного зв'язку, Інтернету речей, доповненої віртуальної реальності, тактильного Інтернету тощо. Очікується, що вимоги 5G будуть задоволені завдяки новому спектру в мікрохвильових діапазонах 3,3-4,2 ГГц і використанню великої пропускну здатності, доступної в діапазонах міліметрових хвиль, збільшенню просторових ступенів свободи у

великих антенних решітках і 3-D MIMO, ущільненню мереж і новим формам сигналу, що забезпечують масштабованість і гнучкість для задоволення різноманітних вимог послуг 5G. На відміну від однорозмірних базових мереж 4G, базові мережі 5G повинні бути гнучкими і адаптивними, і очікується, що вони одночасно забезпечуватимуть оптимізовану підтримку різних категорій використання 5G [6].

Основною вимогою до 5G є відсутність будь-яких обмежень зони щільності, межі покриття, політики доступу для підтримки послуг мультимедійного мовлення високої роздільної здатності. Мережа 5G є невід'ємною частиною декількох технологій і працює швидше, ніж мережі 4G, які надають високошвидкісні широкосмугові послуги [7].

Мережа 5G надає значно вищу якість, пропускну здатність і швидкість передачі даних, порівняно з мережами 4G. Підвищена пропускну здатність необхідна для надання розширених послуг мобільного широкосмугового зв'язку між користувачем та мережею для забезпечення швидкого з'єднання. Бездротові мережі 5G здатні підтримувати збільшення пропускну здатності до 1000 разів з піковою швидкістю передачі даних близько 10 Гбіт/с, що дозволить підключити до 100 мільярдів пристроїв і забезпечити майже нульову затримку.

У 2019 році щомісячний мобільний трафік сягнув 38 Ексабайт, а до 2025 року цей показник, за оцінками, становитиме 160 Ексабайт при 30-відсотковому середньорічному темпі зростання. З іншого боку, кількість пристроїв, підключених до Інтернету, втричі перевищить чисельність населення світу до 2022 року, коли на одного користувача припадатиме 3,6 пристрою порівняно з 2,4 пристрою на користувача у 2017 році [8].

Таке зростання пов'язане з появою нових додатків в Інтернеті, таких як онлайн-відеоігри, автомобільний зв'язок, тактильний Інтернет, дистанційна хірургія, віртуальна реальність (VR) і доповнена реальність (AR), які потребують не тільки великої пропускну здатності, але й складних вимог, таких як величезна кількість з'єднань і наднизька і надійна затримка.

Для того, щоб задовольнити ці вимоги, державні та приватні ініціативи майже десять років тому почали розробляти мобільні мережі п'ятого покоління. Принципи побудови цієї нової технології були спрямовані на досягнення 100-кратної швидкості передачі даних, наскрізної затримки менше 1 мс, надійності 99,999% тощо. Серед іншого, враховуючи поточний вуглецевий слід ІКТ-індустрії, ці складні експлуатаційні вимоги повинні бути досягнуті за рахунок економії 90% споживання енергії [9].

### **1.3. Ключові технології стільникових мереж 5G**

Стільникова мережа п'ятого покоління (5G) включає в себе ряд ключових технологій, які дозволяють досягти високої швидкості передачі даних, знизити затримку, підвищити ємність мережі та покращити якість обслуговування. Ці технології визначають нові стандарти телекомунікаційної індустрії та забезпечують основу для розвитку різноманітних послуг і застосунків, включаючи Інтернет речей (IoT), автономні автомобілі, віртуальну реальність та багато іншого.

Мережа 5G повинна підтримувати різноманітні вертикалі, такі, як автомобільна промисловість, охорона здоров'я, енергетика, виробництво, інформаційно-розважальні послуги тощо, з вичерпною кількістю варіантів використання в кожній з них. Ці сценарії використання вимагають дуже різних вимог до продуктивності мережі, які не можуть бути забезпечені мережами 4G (і попередніми). Рішення реалізується за допомогою розбиття мережі на сегменти. Логічна мережа, яка називається зрізом мережі 5G, складається з декількох елементів мережі: мережі доступу - радіо- або дротової, опорної мережі, транспорту, периферійних елементів мережі тощо. Кожен з цих елементів може використовуватися як окремо, так і спільно з іншими сегментами мережі. При цьому ці ресурси можуть належати різним операторам або навіть іншим мережевим постачальникам. Кожен фрагмент мережі 5G ізольований від інших фрагментів мережі таким чином, що використання інших фрагментів не впливає на якість обслуговування, що забезпечується цим фрагментом [10].

Зі стрімким попитом на IoT, багато підприємств будуть створені для мереж 5G і розгорнутимуться у величезних масштабах. Такі технології, як хмарні, програмно-визначені мережі (SDN) та віртуалізація мережевих функцій (NFV), що спирається на наднадійний зв'язок з низькою затримкою, змінять промислові додатки Інтернету речей та всю мобільну екосистему [11].

NFV забезпечує віртуалізацію мережевих функцій, таких як брандмауери, маршрутизатори та балансувальники навантаження, тоді як SDN відокремлює площину управління від площини даних, що дозволяє централізовано керувати та конфігурувати мережеві пристрої. Разом NFV та SDN пропонують нову еру гнучкості та адаптивності мережі, дозволяючи організаціям легше адаптуватися до мінливих потреб та вимог клієнтів. Переваги NFV і SDN не обмежуються традиційними операторами мереж, а поширюються на широкий спектр галузей, включаючи постачальників хмарних послуг, телекомунікаційні компанії і підприємства всіх розмірів [12].

Поєднання NFV та SDN надає додаткові переваги. NFV доповнює SDN, розділяючи мережеві функції, які можуть бути віртуалізовані, від фізичних пристроїв. Це дозволяє більшу гнучкість і легкість управління, оскільки мережеві функції можуть бути розгорнуті та конфігуровані швидко та незалежно від апаратних обмежень.

Насправді, SDN і NFV, разом з хмарними, периферійними і туманними обчисленнями, можна розглядати як один з аспектів широкої трансформації під назвою "софтверізація", яка сприяє автоматизації процесів, оптимізації витрат, скороченню часу виходу на ринок і поліпшенню якості надання послуг. Водночас, Інтернет речей (IoT), сенсорний Інтернет, міжмашинний зв'язок (MTC), хмарне виробництво, хмарна робототехніка створюватимуть нові сервіси та послуги, починаючи від промислових послуг і додатків, починаючи від виробничих і життєво важливих послуг, закінчуючи розумним містом.

Технологія D2D, яка буде реалізована в мережі 5G, буде використовуватись для забезпечення більш високої швидкості передачі даних, надання однорангових послуг та покращення покриття. D2D-зв'язок надає ряд переваг, таких як

розширення покриття, управління енергоспоживанням, ефективність використання спектра, підвищення пропускної здатності за рахунок повторного використання радіоресурсів, що дозволяє надавати мережеві функції пристроям, які також надають послуги, а саме: безпеку, розвантаження трафіку та послуги наближення на основі визначення місцезнаходження.

D2D-зв'язок може використовувати неліцензований діапазон ISM або ліцензований стільниковий діапазон, який може надавати послуги безпеки і управління ресурсами з стільникової мережі [7].

Метою технології 5G є не лише підключення більшої кількості телефонів, але й забезпечення зв'язку з мільярдами машин та комп'ютерів, незалежно від того, де вони знаходяться - вдома чи в офісі. Смартфони, смарт-годинники та принтери - це найпоширеніші пристрої та машини, які можна підключити до бездротового зв'язку, обмінюючись величезними обсягами даних через бездротове середовище без помітних затримок. Сповіщення про майбутні події, відповідні документи або матеріали, необхідні для важливих зустрічей, з'являтимуться на пристрої користувача [11].

Технологія зв'язку "мобільний транспортний засіб до всього" (C-V2X) є однією з найважливіших послуг для 5G. C-V2X - це технологія, що впроваджується для оптимізації транспортних перевезень та зв'язку між транспортними засобами. Вона обіцяє трансформувати інформацію, пов'язану з безпекою та ефективністю на автомагістралях і в межах міст, як шляхом з'єднання окремих транспортних засобів, так і шляхом створення спільної інтелектуальної транспортної системи (C-ITS), яка може зменшити затори і забруднення, підвищити ефективність пересування і уникнути дорожніх зіткнень. Ключова концепція зв'язку C-V2X полягає в побічному зв'язку, і в багатьох дослідженнях пропонується прямий зв'язок C-V2. І прямий C-V2X зв'язок використовує ширококомовний режим роботи. Широкомовлення може використовувати передачу в декілька хопів для покращення покриття [13].

C-V2X підтримує два режими зв'язку через єдину платформу для забезпечення зв'язку Wifi-короткого радіусу дії та стільникового зв'язку далекого радіусу дії. Зв'язок Wifi-короткого радіусу дії не вимагає підписки на мережу або покриття, тоді



як стільниковий зв'язок далекого радіусу дії вимагає підписки на мережу і покриття. LTE-V2X - це поточний стандарт C-V2X, який завершився в березні 2017 року як 3GPP-Release 14 і був вдосконалений для підтримки майбутнього 3GPP-Release 16, який підтримує можливості, вдосконалення та послуги NR-5G [14].

Для передачі невеликого обсягу даних з датчиків з часовими обмеженнями використовується зв'язок M2M. Відповідно до спектральних ресурсів використовуються два типи технологій випадкового доступу, а саме: широкосмугові мережі з низьким енергоспоживанням (LPWAN) та стільниковий IoT. Для підвищення енергоефективності та покращення зв'язку в M2M-комунікаціях використовуються агрегація та вивантаження даних. M2M-комунікації передбачають використання інтелектуальних машин, які автоматично виконують всі операції зі збору, обробки та передачі даних. Розгортання з використанням виконавчих механізмів, датчиків, машин і об'єктів, які працюють самостійно з невеликою допомогою або без допомоги людини, відоме як M2M-комунікація. Наприклад, датчики використовуються для реєстрації зайнятості паркувальних місць в режимі реального часу. У M2M-комунікації через 5G дослідники розробили різні механізми підтримки невеликих пакетів даних для зменшення споживання енергії та уникнення перевантаження мережі.

Машинний зв'язок вимагатиме нових архітектур, ідей і ключових компонентів стільникової мережі для підтримки мобільності на вимогу лише для певних користувачів, які її потребують. Пропускна здатність стільникових мереж, що використовуються технологіями M2M, повинна бути здатна обслуговувати мільярди вузлів для різних сервісів Інтернету речей. Популярність послуг IoT та M2M безпосередньо пов'язана з розвитком пропускної здатності стільникових мереж 5G для масової обробки даних, включаючи зображення високої чіткості та системи управління обладнанням, що здійснюються машинами. Збільшення кількості підключених пристроїв [11].

З кожним днем у мережі з'являється все більше користувачів, і їхні вимоги до швидкості передачі даних і трафіку зростають. Спектральна ефективність і використання смуги пропускання є основними характеристиками для збільшення

пропускної здатності мережі, щоб задовольнити вимоги перевантаженого трафіку. Існуючий діапазон частот, в якому працює весь бездротовий зв'язок, знаходиться в діапазоні від 300 МГц до 3 ГГц. Цей діапазон необхідно розширити, щоб відповідати вимогам, тому наступне покоління досліджує невикористаний діапазон частот від 3 до 300 ГГц. Смуги частот 57-64 ГГц і 164-224 ГГц недоступні для зв'язку. Цей новий спектр може підтримувати в тисячі разів більше даних і підвищити пропускну здатність порівняно з нинішнім спектром. Ці високочастотні короткохвильові хвилі можуть передавати дані зі значно більшою швидкістю на короткі відстані. З одного боку, міліметрові хвилі відкривають нові горизонти для задоволення потреб майбутнього транспортного вибуху, з іншого боку, ставлять багато проблем, наприклад, недоліком міліметрових хвиль є те, що вони проходять повз будівлі і можуть поглинатися рослинами і краплями дощу [15].

Міліметрові хвилі (mmWave) – технологія, яка використовує високочастотні діапазони від 30 ГГц до 300 ГГц для передачі даних. Ця технологія має велику пропускну здатність, що дозволяє досягати високих швидкостей передачі даних, але їхнє поширення обмежене в порівнянні з нижчими частотами. Для забезпечення стабільного зв'язку використовуються масиви антен та адаптивні алгоритми керування, що дозволяють компенсувати втрати сигналу через вплив перешкод та відстань передачі. Однак, міліметрові хвилі мають обмежене поширення в порівнянні з нижчими частотами. Тому одним з викликів удосконалення технологій 5G є розробка ефективних алгоритмів керування та використання масивів антен, що дозволять компенсувати втрати сигналу і покращити якість зв'язку.

Технологія Massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) є ще однією ключовою складовою 5G. Вона передбачає використання сотень і навіть тисяч антен, приєднаних до базової станції для покращення спектральної ефективності та пропускної здатності. Ця технологія полягає в об'єднанні антен, радіостанцій і спектру для забезпечення більшої пропускної здатності і швидкості для вхідного сигналу 5G. Здатність масового MIMO збільшувати пропускну здатність і спектральну ефективність зробила його вирішальною технологією для нових стандартів бездротового зв'язку. Може обробляти дані від одночасної передачі

датчиків з набагато меншою затримкою і забезпечувати датчикам більш високу швидкість передачі даних і надійне з'єднання. Системи масового MIMO відіграватимуть вирішальну роль, дозволяючи передавати інформацію, зібрану за допомогою розумних датчиків, в режимі реального часу на центральні пункти моніторингу для таких застосувань розумних датчиків, як автономні транспортні засоби, дистанційна охорона здоров'я, розумні мережі, розумні антени, розумні автомагістралі, розумні будівлі і розумний моніторинг довкілля [16].

#### **1.4. Аналіз недоліків та шляхів їх вирішення**

Розвиток технологій 5G має вирішальне значення в сучасному технологічному світі. Вони суттєво впливають на те, як ми взаємодіємо з цифровим світом, і змінюють спосіб використання технологій. Здатність передавати дані з блискавичною швидкістю, яку забезпечує технологія 5G, відкриває можливості для нових додатків і послуг у різних секторах. Вплив технології 5G на промисловість величезний і може вплинути на багато аспектів, таких як продуктивність, ефективність та інновації. У виробничому секторі технологія 5G дає можливість використовувати промислові технології для прискорення виробничих процесів і підвищення ефективності.

З іншого боку, розвиток технології 5G також супроводжується певними проблемами, такими як питання безпеки та конфіденційності. Розвиток технології 5G принесе значні зміни в індустрію і відкриє нові можливості в різних секторах. Швидкості, пропонована технологією 5G, полегшують здійснення атак і доступ до персональних даних, тому для галузі важливо, щоб використовувана технологія 5G відповідала встановленим стандартам безпеки. Вплив розвитку мережі 5G є величезним і вплине на продуктивність, ефективність та інновації [17].

Мережі 5G будуть надзвичайно гнучкими, надійними, швидкими, безпечними, стійкими і доступними за ціною завдяки масштабованій технології, що дозволить впоратися з очікуваним різким зростанням кількості підключених пристроїв і людей, не викликаючи при цьому різкого збільшення енергоспоживання і складності

управління в гетерогенних мережах. Вона буде повністю інтегрована в ланцюги поставок через галузеві, секторні та національні кордони. Потрібен новий спосіб мислення щодо мереж і пристроїв 5G, які створюють зв'язок на нульових відстанях, що включає обчислення і розповсюдження контенту ближче до людей і машин [11].

Отже, одним із найбільших проблем, які виникають у стільникових мереж 5G - це обмежений охоплюючий радіус базових станцій. В порівнянні з попередніми поколіннями мереж, 5G базові станції мають менший діапазон дії через використання високочастотних смуг. Це означає, що операторам зв'язку потрібно буде встановлювати більше базових станцій, щоб забезпечити стабільний сигнал усюди.

Проблеми безпеки, пов'язані з погано захищеними віртуалізованими розгортаннями, не можна залишати поза увагою, і постачальники мережевого обладнання повинні вирішувати їх за допомогою рішень, орієнтованих на конкретну реалізацію. Деякі з цих вразливостей: втрата доступності (переповнення або збій NF, підслуховування інтерфейсу на основі послуг або NF), втрата цілісності (зміна зв'язку між NF і отримання незаконного доступу до NF, модифікація даних на NF), втрата контролю (компрометація NF, помилка в протоколі або реалізації), інсайдерські атаки (незаконна модифікація конфігурації NF) і крадіжка послуг (використання пролomu для несанкціонованого доступу до NF). Безпечний зв'язок між NF в межах основної мережі пов'язаний з низкою проблем: Створення та спільне використання контексту безпеки, автентифікація та авторизація NF-NRF під час виявлення та реєстрації сервісу, автентифікація та авторизація NF-NF під час доступу до сервісу, захист конфіденційності повідомлень, а також цілісності та безпеки, пов'язаної з транспортуванням [18].

Базові станції та кінцеві користувачі стикаються з проблемами енергоспоживання через високу швидкість передачі даних, використання багатьох активних повітряних інтерфейсів та мобільність [19]. Через високе енергоспоживання підсилювачів потужності, що використовуються для обслуговування великих територій, потужність, споживана макроклітинкою базових станцій і малими комірками, зростає зі збільшенням навантаження на трафік [20].

Удосконалення енергоефективності може бути досягнуто за допомогою розробки енергозберігаючих технологій та оптимізації процесів живлення. Використання енергоефективних компонентів та алгоритмів у базових станціях може допомогти зменшити витрати енергії та зберегти ресурси. Режими сну базових станцій повинні бути ефективно реалізовані для економії енергії. Необхідно дослідити вплив методу розподілу потужності базових станцій, а також проблем передачі і покриття на енергоефективність малих стільникових мереж.

Одним з потенційних вдосконалень є розробка нових методів передачі сигналу, таких як використання хвиль міліметрового діапазону, які мають значно більшу пропускну здатність. Однак, це вимагає розробки нових антен та інфраструктури, що забезпечує покриття цих сигналів. Такі інновації можуть значно підвищити продуктивність та швидкість передачі даних, відкриваючи нові можливості для мобільного зв'язку, інтернету речей та автономних транспортних засобів.

Але міліметрові хвилі не можуть поширюватися на більші відстані, тому використовують малі стільники, як ретранслятори. Малі стільники зменшують проблеми з обривом зв'язку і допомагають у швидкому перемиканні, але вимагають безпеки, оскільки ретрансляція даних є загрозою для безпеки даних. Розгортання тисяч міні-базових станцій з низьким енергоспоживанням, зібраних в тісній групі, формує команду для передачі сигналів в обхід перешкод. Це дозволяє користувачам безперервно отримувати сигнали без втрат на шляху проходження. Таким чином, будуть заощаджені витрати та енергія, що витрачаються на процес ретрансляції. Крім того, пристрій, закритий від базових станцій малих стільникових мереж, передаватиме сигнал з низьким рівнем потужності, що також зменшить споживання енергії мобільними телефонами, тим самим збільшуючи час роботи від батареї [15].

Організація з розробки стандартів проєкту 3GPP працює над тим, щоб зменшити затримки в мобільних мережах 5G до найнижчого можливого рівня. Останнім часом ці мережі використовують великі буфери для максимального застосування мережі та мінімізації втрат бездротових ресурсів. Однак, незважаючи на перевантаження TSP, вузькі місця все ще спостерігаються на шляху передачі

даних у мережі радіодоступу (RAN). Як наслідок, це впливає на продуктивність мережі і погіршує якість обслуговування (QoS). Вивчення і поліпшення поведінки буферів, розгорнутих в пристроях мобільних мереж 5G, може допомогти вирішити ці проблеми (принаймні, зменшивши затримку цих буферів).

Взагалі, для усунення недоліків та шляхів удосконалення стільникових мереж 5G, необхідна постійна співпраця між операторами зв'язку, виробниками обладнання, дослідниками та урядовими органами. Це дозволить ідентифікувати проблеми, виробляти нові технологічні рішення та впроваджувати їх на практиці. Тільки шляхом постійного вдосконалення та інновацій можна досягти оптимальної продуктивності, надійності та задоволення потреб користувачів у мережах 5G.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

У цьому розділі було проведено детальний огляд сучасних стільникових мереж п'ятого покоління. Розглянуто основні характеристики, ключові технології, вимоги і недоліки. Також було визначено, що 5G має потенціал стати новою революцією в галузі мобільних телекомунікацій, забезпечуючи значні покращення у швидкості передачі даних, затримці, ємності мережі та підключенні великої кількості пристроїв одночасно.

Також були аналізовані недоліки стільникової мережі 5G, такі, як проблеми з конфіденційністю та безпекою даних, зростання витрат на інфраструктуру та залежність від технологій. Для досягнення рівного та розумного використання переваг 5G, необхідна активна співпраця та зусилля з боку уряду, промисловості та суспільства. Технологія все ще перебуває на стадії розробки, і дослідження її життєздатності тривають. Швидкість, на яку претендує ця технологія, здається важкодосяжною через некомпетентну технологічну підтримку в більшості частин світу. Багато старих пристроїв не будуть сумісними з 5G, отже, всі вони потребують заміни на нові, що є дорогим задоволенням.

Отже, мережа 5G надасть швидкі та стабільні бездротові з'єднання, розширить можливості IoT, підтримає розвиток промисловості та створить нові перспективи

для інновацій та прогресу. Висока швидкість передачі даних, низька затримка та велика пропускна здатність роблять його ідеальним для застосувань, що вимагають надійності зв'язку. Однак нинішня мережа 5G буде недостатньою для задоволення нових вимог, таких як покращення особистого споживчого досвіду та цифрова трансформація промисловості в наступному десятилітті. Таким чином, зараз саме час розглянути питання безперервного розвитку та вдосконалення 5G, щоб розширити її можливості в майбутньому.

## РОЗДІЛ 2

### ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G

#### 2.1. Формування основних випадків використання

Технологія 5G безумовно є однією з найважливіших інновацій в галузі бездротових зв'язків. Вона обіцяє високу швидкість передачі даних, низьку затримку, велику ємність і підвищену надійність зв'язку. Однак перед тим, як введення 5G стане повноцінною реальністю, потрібно виконати багато досліджень і тестувань.

Один з ключових етапів перед впровадженням технології 5G - це проектування тестової мережі. Формування основних випадків використання для проведення досліджень є важливою частиною цього процесу. Мережа до 5G, з точки зору радіотехнологій, варіанти використання розглядаються як: розширений мобільний ширококутовий зв'язок (eMBB), масовий зв'язок машинного типу (mMTC) і наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC). Ці три сценарії мають різні вимоги щодо пропускної здатності, затримки, мобільності, щільності з'єднання та швидкості передавання даних.

Розширений мобільний ширококутовий зв'язок (eMBB) – перший сценарій, який характеризується вищою швидкістю передачі даних, покращеною затримкою, більшою щільністю користувачів і пропускною спроможністю їхнього трафіку для безмежного покриття і хот-спотів.

Основна увага зосереджена на підтримці постійно зростаючого навантаження на швидкість передачі даних для кінцевих користувачів за рахунок збільшення пропускної здатності системи. Це досягається шляхом виходу за межі поточних обмежень частотного спектру, в першу чергу основним з яких є доступна смуга пропускання. Це обмеження долається шляхом ліцензування доступної пропускної здатності в діапазоні до 10 ГГц а також відкриттям частот міліметрового діапазону, де широка смуга частот можна легко виділити широку смугу частот. Антенні



решітки з декількома антенними елементами забезпечують масивний множинний вхід і множинний вихід (MIMO) і формування променя, що збільшує пропускну здатність мережі за рахунок використання багатопроменевого поширення. eMBB - це початковим етапом розгортання 5G і допомагає розвивати сучасні широкосмугові варіанти використання, такі, як Ultra-HD і 360° потокове мовлення, а також нові медіа-додатки доповненої реальності (AR) і віртуальної реальності (VR). віртуальної реальності (VR), а також нові медіа та додатки [21].

Масовий зв'язок машинного типу (mMTC) – другий сценарій застосування 5G в контексті послуг Інтернету речей (IoT). З впровадженням 5G, мережеві оператори передбачають значний підвищений попит на широкосмуговий бездротовий зв'язок з боку густонаселених користувачів. Це дозволить надавати різноманітні послуги, які потребують великого обсягу бездротових даних, такі, як завантаження і потокове передавання мультимедіа. Він створений для того, щоб відповідати потребам розвитку сучасного цифрового покоління і фокусується на послугах, пов'язаних з високими стандартами щільності та зв'язку.

Зв'язок mMTC, розгорнутий у мережах 5G, відкриває нові можливості для реалізації концепції IoT. Його ключові переваги це збільшена пропускну здатність до 1 Гбіт/с та дуже низька затримка всього 1 мс. Окрім цього, mMTC призначений для підтримки нових послуг та програм, що базуються на IoT. За допомогою mMTC відкривається можливість дослідження того, як IoT буде розвиватися в майбутньому після впровадження 5G [22].

Ця послуга призначена для сценаріїв, що характеризуються великою кількістю малопотужних пристроїв на невеликій території, необхідних для спорадичної передачі відносно невеликого обсягу даних без затримок. Сценарій масового зв'язку машинного типу вимагає ретельного вибору техніки каналного кодування. Ключові вимоги до сценарію mMTC полягають, головним чином, у забезпеченні ефективного зв'язку з великою кількістю недорогих пристроїв машинного типу з наднизьким енергоспоживанням. Розглядає переважно застосування в носячих пристроях і сенсорних мережах. Основні ключові показники ефективності для послуг mMTC

включають збільшення щільності з'єднання, розширення покриття та подовження терміну служби батареї. [23].

Третій сценарій - наднадійні комунікації з низькою затримкою (URLLC) - включає ті додатки, які мають справу з критично важливими для безпеки і місії комунікаціями, такими як автоматизація автомобілів, автоматизація заводів і дистанційно керовані хірургічні операції, де потрібна швидкість реагування і надійність.

URLLC – ще один сценарій використання 5G, який відкриває нові можливості для критичних застосувань, які потребують надзвичайно низької затримки та високої надійності. Цей сценарій особливо важливий для автономних автомобілів, медичних послуг, промисловості 4.0 і віртуальної реальності. Завдяки 5G, можна досягти майже миттєвого зв'язку між пристроями, забезпечуючи надійну передачу даних в режимі реального часу. Це має критичне значення для безпеки та ефективності в сферах, де навіть малі затримки можуть мати серйозні наслідки [24].

Ця послуга спрямована на підтримку передачі даних з низькою затримкою та надзвичайно високою надійністю. Серед прикладів застосувань з такими вимогами - дистанційне керування об'єктами критичної інфраструктури, безпека на транспорті та дистанційні медичні процедури. Зокрема, в URLLC критично важливими KPI є затримка і надійність з цільовими значеннями 1 мс і 99,999% відповідно. Засоби URLLC, пов'язані з затримкою, включають периферійні обчислення, гнучку нумерологію і міні-слоти, серед іншого. Такі можливості, а також підвищена точність синхронізації і визначення місцезнаходження, які забезпечує URLLC, можуть бути використані в сценаріях використання високої мобільності для забезпечення безпеки перевезень, де високі швидкості передачі даних можуть бути менш або більш важливими в залежності від конкретного випадку [25].



Рис. 2.1. Сценарії використання 5G

## 2.2. Варіанти побудови мережі

Процес вибору варіанту побудови мережі 5G є важливою задачею, оскільки від цього залежить якість і ефективність майбутнього зв'язку. Мережа має відповідати сучасним вимогам, з якими зіткнуться користувачі 5G, але цей процес є поступовим і передбачає апгрейд до нової мережі з підтримкою якості роботи для користувачів 4G. Щоб полегшити перехід від 4G до 5G, 3GPP визначає дві архітектури розгортання: неавтономний (NSA) і автономний (SA) [26].

NSA - це рання версія 5G NR, оскільки вона використовує мережу радіодоступу (RAN) і ядро LTE з додатковою підтримкою низьких і середніх діапазонів 5G (до 7 ГГц). Цей варіант забезпечує швидкий запуск, якому віддають перевагу багато операторів у всьому світі. З іншого боку, довгостроковий варіант SA має переваги з точки зору простоти і підвищеної ефективності ядра 5G наступного

покоління, нижчих витрат, постійного поліпшення продуктивності всієї мережі, а також уможливлення використання URLLC і mMTC.

NSA розгортає повну наскрізну E2E мережу 5G, використовуючи переваги процесів віртуалізації, розділення CP і UP (CUPS) і програмно-визначеної мережі (SDN). Ця архітектура надає послуги 5G з більшою швидкістю передачі даних, ніж у 4G, завдяки використанню розвиненого пакетного ядра у поєднанні з новим радіо 5G NR RAN Standalone. На відміну від архітектури NSA, NR RAN у рішенні 5G SA підключається безпосередньо до кореневої мережі 5G.

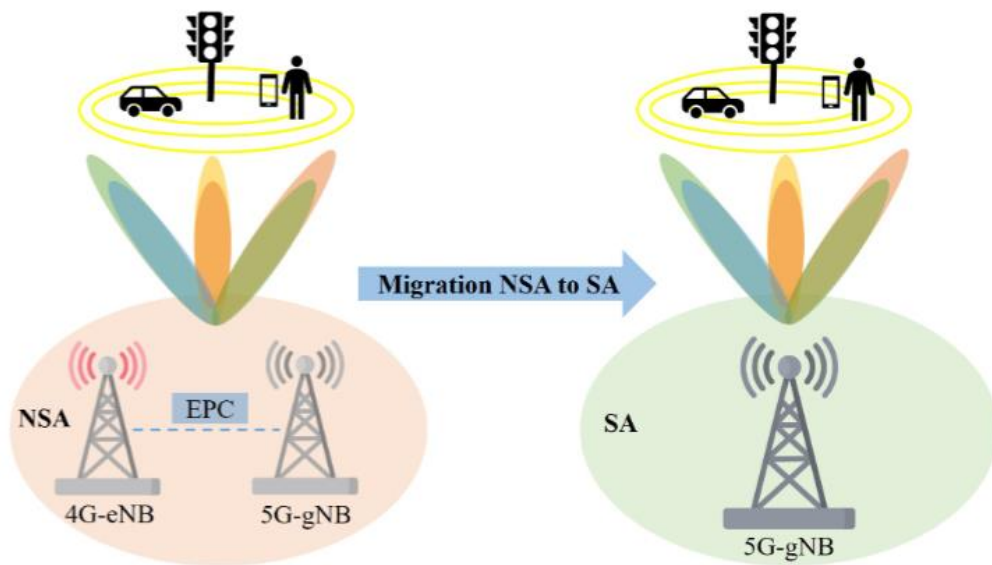


Рис. 2.2. Архітектури SA та NSA

SA надає 5G NR можливість незалежного розгортання, оскільки це комплексне рішення з міцною основою для розкриття його повного потенціалу. Однак, з ним пов'язано багато невитратних і дорогих завдань, таких як наприклад, побудова нової інфраструктури 5G [27].

Архітектура NSA фінансово привабливе рішення для будь-якого оператора, але реалізація цієї архітектури обмежена і не може підтримувати всі функції 5G NR, наприклад, мережеве розгалуження, eMBB, mMTC, і не відповідає рівню uRLLC. Хоча 5G NSA дійсно має перевагу з точки зору швидкого розгортання і меншої вартості впровадження, яке досягається за рахунок зниження продуктивності

мережі. З іншого боку, 5G SA забезпечує всі переваги 5G, такі, як надвисока швидкість доступу до Інтернету і наднизька затримка. Ще одна основна відмінність між NSA і SA - це CUPS, оскільки в мережах NSA UP використовує стек 5G, а CP - стек 4G, тоді як в мережах 5G SA стек 5G використовується як для UP, так і для CP [28].

Як висновок з двох методів підходу до 5G, можна стверджувати, що NSA 5G потребує більше поступових удосконалень порівняно з його аналогом SA. 4G LTE мав 40 діапазонів, а стільникові мережі 5G підтримують ще більше низько- і середньочастотних діапазонів, що призводить до ускладнення апаратного дизайну. Перший етап розгортання і впровадження 5G створив проблеми, додавши більше діапазонів у FR1. Аналогічно, FR2 вимагає додавання нового обладнання, що призводить до додаткової складності і проблем з мініатюризацією. Це зумовило прогрес у всіх аспектах апаратного забезпечення системи: від мікросхем до пристроїв і від стільникових пристроїв до базових станцій [21].

### **2.3. Компанії, які виготовляють обладнання для побудови мережі**

У середовищі бездротових технологій 5G все ще продовжує набирати оберти. Підвищена швидкість інтернету, посилена безпека та вихід мережі за межі нашого простору – це мета, яка стимулює розвиток мережі п'ятого покоління.

Мережа в основному використовується підприємствами, які надають сервісні послуги, такі, як кол-центри, розробники програмного забезпечення і тд. Важливо знати про нинішні глобальні компанії, які працюють у сфері 5G, та що вони виготовляють. Потрібно порівняти обмеження і виклики, з якими ці компанії зараз стикаються, з перевагами і рішеннями, які ми можемо отримати, побудувавши мережу 5G. Компаніями-лідерами в галузі досліджень і розробок 5G є Samsung, Huawei, Ericsson, Intel.

Компанія Samsung може похизуватись складною системою розробок та досліджень. Бере активну участь у провідних глобальних науково-дослідних проектах по 5G та веде широку співпрацю з виробничими партнерами та

науковцями по всьому світу. Вона створює передові технології, які допомагають пропонувати нові послуги своїм споживачам. Samsung має великий арсенал інноваційних продуктів, які відповідають потребам користувачів мобільних мереж.

Всі складові Samsung розроблені для роботи в хмарному середовищі. Samsung Common Core підтримує функції як 4G, так і 5G, а це означає, що оператори можуть легко підтримувати обидві технології радіорелейного зв'язку під час переходу від 4G до 5G. Крім того, хмарне ядро Samsung додатково допомагає операторам оптимізувати вартість розгортання та управління своїми мобільними мережами.

Архітектура основного ядра зі структурою поділу площини управління і площини користувача інтегрує площину управління між EPC GW-C і 5GC SMF та інтегрує функцію площини користувача між EPC GW-U і 5GC для ефективного управління ресурсами.

Впроваджуючи нові функції 5G, такі, як розгалуження мережі та периферійні обчислення, Samsung 5GC допомагає UE і RAN створити структуру персональних даних користувача, щоб вони могли забезпечити і контролювати ресурси, придатні для послуг з наднизькою затримкою. Автоматизація мережі є одним з ключових чинників 5G, який забезпечує універсальність і широкий спектр мережевих конструкцій, що використовують ці нові послуги. Samsung 5GC підтримує, встановлену 3GPP, функцію аналізу мережевих даних для ідентифікації та оптимізації споживання мережі. Крім того, ядро 5G від Samsung інтегрує функції міжмережевих екранів, переходу мережевих адрес, щоб допомогти операторам скоротити додаткові інвестиційні витрати [29].

Samsung оголосив про розробку передових технологічних антен і підсилювачів потужності, здатних забезпечити менші розміри та більшу енергоефективність пристроїв 5G. Нові технології будуть застосовані, як для базових станцій, так і для абонентських пристроїв, які працюють у діапазоні міліметрових хвиль 28 ГГц.

Перевагами Samsung є їх інтеграція з іншими виробами Samsung, що створює можливості для розширених сервісів та інтероперабельності. Втім, у порівнянні зі

старшими гравцями на ринку їх досвід у сфері мережевих технологій може бути меншим [30].

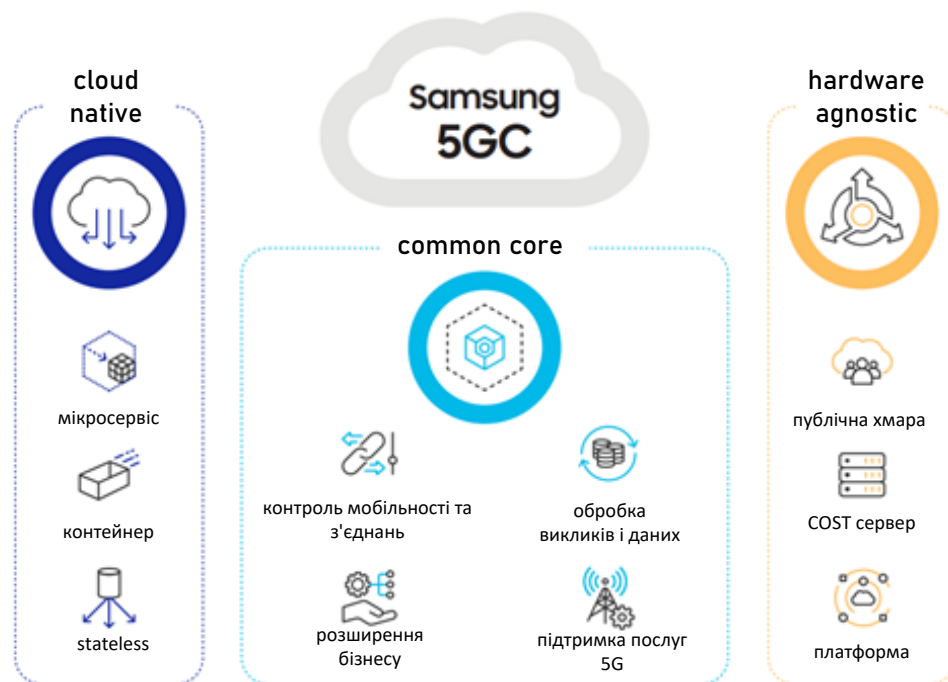


Рис. 2.3. Основне портфоліо Samsung

Компанія Huawei не відставала від попиту споживачів і постійно проводила тестування в різних сценаріях, щоб забезпечити комерційну якість. Huawei вкладає гроші в дослідження бездротових мереж 5G і патентує ключові технології. Компанія хоче залучити до 5G штучний інтелект, який, за їхніми словами, є набагато більш невід'ємним елементом 5G-стратегії Huawei. Компанія також планує запуснути повний спектр комерційного обладнання Huawei, включаючи мережі бездротового доступу, опорні мережі та пристрої.

Huawei пропонує більший масштаб і різноманітність свого асортименту, пов'язаного з 5G, ніж його конкуренти. Вони пропонують широкий спектр продуктів для мережі 5G, включаючи базові станції, антенні системи, маршрутизатори та комутатори. Компанія має ряд асортименту радіопродуктів з розширеними можливостями, сильні функції, такі, як формування променя на основі сценаріїв і розгалуження мережі, а також управління мережею та автоматизація на основі

штучного інтелекту [31]. Один з головних плюсів Huawei - це їх технологічна експертиза та інноваційний підхід до розробки обладнання.

Ericsson також є одним з провідних постачальників обладнання для мережі 5G. Ericsson складається з базових діапазонів, радіопроцесорів і платформи обробки радіодоступу - Ericsson Radio System (ERS). Організація підтримує комплексні рішення для розгортання як NSA, так і SA 5G, причому останнє може здійснюватися віддалено через ERS. Інвестуючи значні кошти в інтеграцію штучного інтелекту (AI) у свій портфель рішень, Ericsson вважає, що AI може бути використаний для підтримки операторів у трьох основних сферах підвищення продуктивності: проектування мережі, оптимізація мережі та алгоритми RAN.

Крім того, Ericsson продовжує постачати еволюційне пакетне ядро 5G EPC для підтримки 5G New Radio NSA, включаючи площину управління, площину користувача і функції мережі політики. Але компанія Ericsson має вузький асортимент радіостанцій і повільнішу функціональність, ніж деякі його конкуренти. Це стосується кількості масивних продуктів MIMO, 16T16R масивного MIMO і мікростільників 5G [32].

Перевагами Ericsson є їх досвід в галузі телекомунікацій, висока якість продукції та підтримка клієнтів. Мінусом може бути вища цінова категорія їх обладнання порівняно з іншими постачальниками.

Асортимент Intel для розгортання бездротових мереж 5G значною мірою зосереджений на наборі Intel FPGA, який складається з широкого спектру конфігурованої вбудованої оперативної пам'яті, високошвидкісних трансиверів, логічних блоків і маршрутизаторів, що налаштовуються. Обладнання містить вбудовану інтелектуальну власність, яка в поєднанні з програмним забезпеченням для проектування Intel Quartus Prime дозволяє операторам тестувати різні сценарії реалізації архітектури CRAN, визначаючи найбільш економічно ефективні рішення віртуально, з меншим ризиком.

Nokia також відома, як провідний виробник обладнання для бездротових мереж. Вони пропонують рішення для мережі 5G, включаючи базові станції, антенні системи, оптичні мережі та програмне забезпечення. Асортимент Nokia для



радіодоступу AirScale Radio Access підтримує всі технології радіодоступу, включаючи мережі 5G NSA і SA, пропонуючи операторам стільникового зв'язку (CSP) комплексні рішення для розгортання мереж. Ці рішення включають AirSpan Cloud RAN, який віртуалізує як центральний, так і розподілений блок 5G, забезпечуючи гнучку масштабованість, пропускну здатність і можливості хмарної обробки даних у реальному часі [33].

Перевагами Nokia є їх широкий досвід в галузі телекомунікацій та визнана якість продукції. Однак, деякі користувачі вказують на меншу інноваційність у порівнянні з конкурентами.

## **2.4. Оцінка радіопокриття**

Базові станції і контролери використовуються GSM RAN для трансляції та управління радіозв'язком для базових мереж з комутацією каналів і пакетною комутацією. З розгортанням нових мобільних мереж оператори впроваджували більш складні специфікації RAN.

Зона покриття залежить від багатьох параметрів, таких як потужність передавання стільника, тип використовуваної антени, несуча частота і місце розташування стільника. Зона покриття також вимірюється в термінах межі стільника або радіуса стільника і визначається як максимальна відстань від стільника до UE.

У 5G була запропонована концепція малих стільникових майданчиків, щоб уникнути затримок, поліпшити спектральну ефективність і забезпечити високу швидкість передачі даних. У більш високочастотних діапазонах використовується невелика ділянка стільника з радіусом 100 м. Тому для покриття великої території потрібно розгорнути більше однієї малої стільникової станції. Щоб уникнути інтерференції між двома стільниками, тобто міжстільникової інтерференції, необхідно підтримувати мінімальну відстань між стільниками, яка називається міжстільниковою відстанню. Для покриття великої території потрібні сотні малих стільників. Залежно від зони покриття, кількість стільників може бути збільшена, як

на рівні 1, що містить 6 стільників, рівні 2, що містить 12 стільників, рівні 3, що містить 18 стільників, і так далі [34].

У 5G покриття є основною проблемою, і для її вирішення багато авторів пропонують різні алгоритми і методи. Для покращення покриття в стільникових мережах пропонуються гетерогенні мережі (HetNets) та малі стільники. HetNet з менш складними алгоритмами об'єднання користувачів та малі стільники з алгоритмами зменшення завад все ще необхідні для підвищення ефективності та надійності стільникової системи. У літературі покриття мережі покращували за допомогою методів оптимізації, таких як машинне навчання, лінійне програмування та математичний аналіз. Досліджується оптимізація пропускної здатності, вартості розгортання та зони покриття в 5G [35]. Поряд з вартістю розгортання і пропускною здатністю мережі, вони забезпечать алгоритми оптимізації розподілу ресурсів, якості обслуговування (QoS), спектральної ефективності і пропускної здатності. Традиційні методи множинного доступу не зможуть задовольнити майбутні виклики 5G, такі, як висока швидкість передачі даних, низька затримка, масове підключення і висока спектральна ефективність. 5G збільшує кількість користувачів стільникового зв'язку, що підвищує складність приймача. Однак для зменшення складності приймача можна використовувати методи неортогонального множинного доступу. [36] Це дозволить розподілити декілька користувачів в одному блоці ресурсів на основі методів розподілу і декодувати користувачів на приймачі, щоб зменшити складність системи. Цей метод покращить коефіцієнт бітових помилок, пропускну здатність і пропускну здатність системи. Технологія "пристрій-пристрій" (D2D) також використовується для зменшення складності системи, забезпечення безпеки від зловмисних користувачів та підвищення надійності [37].

Завданням планування бездротової мережі 5G і не тільки є мінімізація інфраструктури (БС і РС) та витрат на експлуатацію. Розроблений план мережі має на меті підвищити пропускну здатність мережі в густонаселених міських центрах. Запропонована мережа складається з трьох типів вузлів: користувацького обладнання, ретрансляційних станцій (RS) та базових станцій (BS). Загальні витрати

на обладнання включають вартість розгорнутих BS і розгорнутих RS у відповідних обраних місцях.

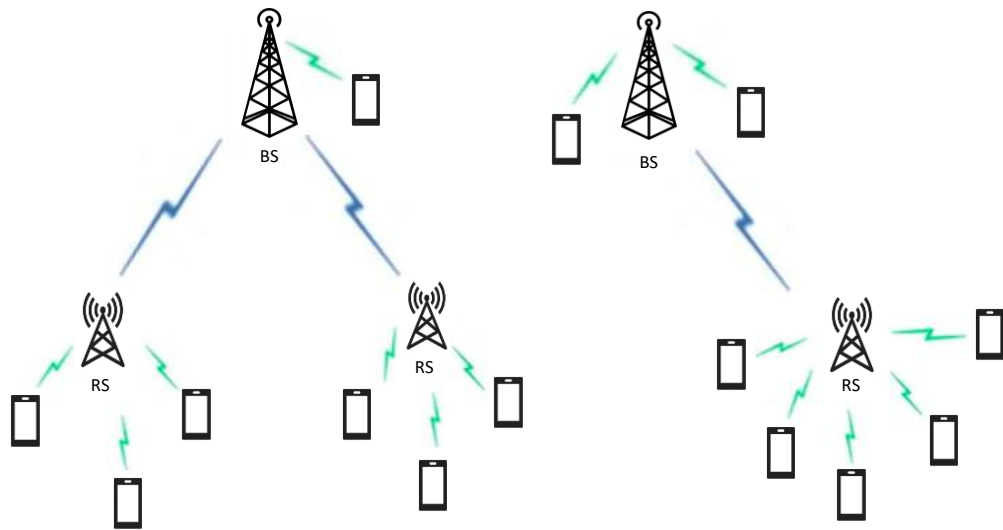


Рис. 2.4. Модель планування стільникової мережі 5G

Загальна вартість запропонованої задачі планування є зваженою сумою апаратних та експлуатаційних витрат. При відсутності зв'язку між віддаленими вузлами споживається більше енергії, якість зв'язку може погіршитися, а бездротовий зв'язок може погіршитися через втрати на шляху. Тому враховується втрати, як операційні витрати для кожної лінії зв'язку (тобто, користувачке обладнання). Функція витрат для планування бездротової мережі 5G виглядають наступним чином:

$$W_1 \left( \sum_{b \in B} c_b^B y_b^B + \sum_{r \in R} c_r^R y_r^R \right) + W_2 \left( \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} l_{b,t}^{BT} x_{b,t}^{BT} + \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} l_{r,t}^{RT} x_{r,t}^{RT} + \sum_{b \in B} \sum_{r \in R} l_{b,r}^{BR} x_{b,r}^{BR} \right), \quad (2.1)$$

де  $W_{1,2}$  - показники вагомості для двох частин цільової функції;  $B$  - розташування базових станцій;  $R$  - розташування ретрансляційних станцій;  $T$  - набір абонентських пристроїв або користувачів;  $x$  - бінарні змінні рішення, які визначають, чи встановлено з'єднання на відповідних лініях;  $y$  - бінарні змінні

рішення, які визначають, чи буде розгорнута BS/RS в місці розташування;  $l$  - ризик втрати шляху, пов'язаний з каналом зв'язку.

Топологічні обмеження:

$$\sum_{b \in B} x_{b,r}^{BR} \leq y_r^R, \forall r \in R \quad , \quad (2.2)$$

$$x_{b,t}^{BT} \leq y_b^B, \forall b \in B, \forall t \in T \quad , \quad (2.3)$$

$$x_{b,r}^{BR} \leq y_b^B, \forall b \in B, \forall r \in R \quad , \quad (2.4)$$

$$x_{r,t}^{RT} \leq y_r^R, \forall r \in R, \forall t \in T \quad , \quad (2.5)$$

$$\sum_{b \in B} x_{b,t}^{BT} + \sum_{r \in R} x_{r,t}^{RT} = 1, \forall t \in T \quad , \quad (2.6)$$

Топологічне обмеження гарантує, що кожна RS, якщо вона розгорнута, підключена тільки до однієї BS.

Для кожного існуючого з'єднання BS-RS, значення потоку повинно бути в межах максимальної пропускної здатності:

$$f_{b,r}^{BR} (x_{b,r}^{BR}) \leq m_{b,r}^{BR}, \forall b \in B, \forall r \in R \quad , \quad (2.7)$$

де  $m$  - верхня границя (наприклад, пропускна здатність каналу) можливої швидкості потоку інформації.

Обмеження на навантаження:

$$\sum_{r \in R} f_{r,t}^{RT} (x_{b,t}^{BT}, x_{r,t}^{RT}) + \sum_{t \in T} f_{b,t}^{BT} (x_{b,t}^{BT}) \leq C_1, \forall b \in B \quad , \quad (2.8)$$

$$\sum_{t \in T} f_{r,t}^{RT} (x_{r,t}^{RT}) \leq C_2, \forall r \in R \quad , \quad (2.9)$$

де  $C_{1,2}$  - позначає максимальну пропускну здатність (в бітах в секунду).

$$\sum_{b \in B} f_{b,t}^{BT} (x_{b,t}^{BT}) + \sum_{r \in T} f_{r,t}^{RT} (x_{r,t}^{RT}) = u_t^T, \forall t \in T, \quad (2.10)$$

де  $u$  - запит на трафік для абонентських пристроїв.

Обмеження ставляться з метою запобігання перевантаження та забезпечення задоволення потреб кожного користувача та гарантує, що кожен користувач має достатній потік через BS чи RS.

Максимальне навантаження для кожної BS та RS встановлюється враховуючи їхню пропускну здатність і ресурси. Це може бути обмеження на кількість одночасних користувачів, пропускну здатність кожного каналу чи сектора, оброблювальну потужність, розміщення антен та інші фактори. Забезпечення відповідного максимального навантаження дозволяє уникнути перенавантаження BS та RS, яке може призвести до зниження якості обслуговування і зниження швидкості передачі даних для користувачів [38].

Загалом, радіопокриття може бути більш швидким і надійним, але його дальність покриття може бути обмеженою, особливо в високочастотних діапазонах. Точна покриття 5G може варіювати в залежності від розташування базових станцій, щільності населення та фізичних характеристик оточуючого середовища. Оператори зв'язку активно розгортають мережі 5G, проте покриття може бути неоднаковим і залежить від регіону або країни.

У великих містах можна очікувати широке покриття 5G в центральних районах, де розташовані багато базових станцій. Однак, в околицях міста або в сільських районах покриття може бути меншим або відсутнім. Також, високочастотні діапазони 5G (наприклад, міліметрові хвилі) мають обмежену дальність покриття і вимагають більшої кількості базових станцій для забезпечення належного покриття.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У цьому розділі було проведено формування основних випадків використання мережі 5G. З'ясовано, що мережа 5G має три головні сценарії використання, завдяки яким може забезпечити широкосмуговий мобільний доступ, розумні міста, підтримку великої кількості одночасних підключень та інші можливості.

Проаналізовано ряд компаній, які спеціалізуються на виготовленні обладнання для побудови мережі 5G. Виявлено, що на ринку існує значна кількість виробників, які пропонують різноманітні рішення та продукти для побудови 5G-мереж. Цей аналіз дозволяє вибрати оптимального постачальника обладнання, враховуючи потреби та вимоги конкретного проекту.

Також було розглянуто модель планування мережі 5G та функцію витрат, обмеження та навантаження базових станцій. За допомогою моделювання та аналізу було визначено, що 5G забезпечує значно краще радіопокриття порівняно з попередніми поколіннями мобільних мереж. Це означає, що 5G дозволяє забезпечити стабільний та високоякісний зв'язок навіть в областях з високою густотою користувачів або в умовах з великою кількістю перешкод.

## РОЗДІЛ 3

### УДОСКОНАЛЕННЯ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ 5G

#### 3.1. Розгортання MEC

Однією з головних проблем з моменту впровадження мережі 5G залишається задоволення вимог критичних до затримок сервісів. Спочатку розбиття мережі на сегменти разом з удосконаленням RAN сприймалися як задовільні засоби для досягнення значно меншої затримки, ніж у мережах попереднього покоління. Однак через хмарний характер мереж і пов'язаний з цим час, який витрачається на фізичну передачу даних, стало зрозуміло, що для того, щоб задовольнити непомірні вимоги до низької затримки, сервіси повинні бути перенесені на периферію мережі. В даний час інтеграція периферійних обчислень з множинним доступом ETSI (MEC) і 5G розглядається, як можливе вирішення проблеми [39].

Граничні обчислення з множинним доступом (MEC) - це міжнародний стандарт, розроблений Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI), який забезпечує обчислювальну інфраструктуру на периферії мережі, розміщуючи вузли, які називаються хостами MEC, якомога ближче до кінцевих користувачів [40].

Системи MEC відіграють важливу роль у розвитку мереж 5G, надаючи можливість розміщувати обчислювальні ресурси та сервіси ближче до кінцевих користувачів у мережевих вузлах, таких як базові станції та бездротові точки доступу. Це дозволяє кінцевим пристроям, таким як смартфони, планшети та інші IoT-пристрої, виконувати обчислювальні завдання на самому мережевому краю, замість того, щоб надсилати їх до віддаленого хмарного центру.

MEC має на меті зменшити затримку шляхом перенесення обчислювальних потужностей та потужностей зберігання даних з опорної мережі до периферійної мережі. Основними перевагами MEC є низька затримка, висока пропускну здатність і доступність інформації про радіомережу в режимі реального часу, що може бути

використано додатками і призведе до підвищення якості обслуговування для кінцевих користувачів. Багато мобільних додатків можуть отримати вигоду від МЕС, перевантаживши свої обчислювальні завдання на периферійні сервери. Наприклад, надання мережевої інформації в реальному часі (навантаження на мережу, інформація про місцезнаходження користувача) дозволяє розробляти контекстно-орієнтовані додатки [41].

Сценарій застосування МЕС:

1. Оптимізація відео. Розгортає програми для аналізу радіосигналу на периферії, допомагає контролювати перевантаження ТСП та адаптувати швидкість передачі даних.

2. Доповнена реальність. Граничні додатки швидко обробляють місцезнаходження користувачів і зображення з камер та надають користувачам допоміжну інформацію в режимі реального часу.

3. Розгортання МЕС на підприємстві. Розвантажує трафік користувачів на корпоративну мережу.

4. Інтернет транспортних засобів. МЕС аналізує дані з датчиків транспортних засобів і придорожніх датчиків і надсилає чутливу до затримок інформацію, наприклад, про небезпеку для оточуючих транспортних засобів.

5. Інтернет речей. Додатки МЕС агрегують та аналізують повідомлення, що генеруються пристроями, і своєчасно приймають рішення.

6. Аналіз відеопотоку. Аналізує та обробляє відео на периферії, знижуючи витрати на пристрої збору відео та зменшуючи трафік, що надсилається в опорну мережу.

7. Допоміжна чутлива обробка. МЕС забезпечує високопродуктивні обчислення, виконує чутливу до затримок обробку даних і надсилає результат на пристрій [42].

МЕС реалізується на основі NFV, яка полягає в тому, що один периферійний пристрій може забезпечити обчислювальну потужність для декількох пристроїв шляхом створення декількох віртуальних машин для одночасного виконання різних завдань [43].



Сервери в МЕС є невеликими центрами обробки даних, які розгортаються за допомогою хмарних обчислень. Ці сервери можуть бути розташовані з базовими станціями, точками доступу, такими як маршрутизатори Wi-Fi. У МЕС, як правило, зв'язок здійснюється між точками доступу та пристроями. Крім того, може підтримуватися D2D-зв'язок між пристроями. Це забезпечить одноранговий зв'язок між сусідніми вузлами, а також може використовуватися для балансування навантаження. Роль точки доступу полягає в забезпеченні бездротового інтерфейсу для МЕС і доступу до віддаленого центру обробки даних за допомогою транзитних каналів зв'язку [44].

Сервери МЕС розгортаються на загальному обчислювальному обладнанні і дозволяють виконувати чутливі до затримок, високомасштабовані і контекстно-залежні додатки в безпосередній близькості від кінцевих користувачів. Додаток також може бути мережевою функцією, яку можна об'єднати з іншими для реалізації більш складної наскрізної послуги.

Заходи зі стандартизації МЕС проводяться у спеціальній групі ETSI ISG. Було випущено декілька стандартів, основний з яких: МЕС, який містить глосарій термінів, що стосуються концептуальних, архітектурних і функціональних елементів у межах мережних обчислень із множинним доступом. З іншого боку, МЕС визначає вимоги до периферійних обчислень із множинним доступом з метою сприяння взаємодії та розгортанню [10].

### **3.2. Розгортання системи моніторингу**

Мережа 5G забезпечить нові можливості для надання послуг, які охоплюють віддалений моніторинг та керування пристроями онлайн в реальному часі. Системи моніторингу вважаються одним з важливих елементів, які надають інформацію про ефективність, надійність та стійкість мережних ресурсів шляхом моніторингу базової мережевої інфраструктури. З цієї причини вже існує декілька засобів моніторингу, деякі з них вже мають відкритий вихідний код.

Робота моніторингу полягає у зборі інформації про продуктивність мережі для підтримки таких видів діяльності, як виявлення повільних, пошкоджених або недостатньо завантажених систем, ідентифікація кінцевих користувачів мережевих ресурсів, дотримання параметрів угоди про рівень обслуговування та якості обслуговування (наприклад, дотримання правил доступу до мережі), а також контроль за дотриманням правил маршрутизації. На додаток до технічних елементів, згаданих вище, моніторинг також включає моніторинг продуктивності мережі, тобто моніторинг дотримання політик доступу, обміну даними та маршрутизації. Зібрані дані можуть відображати різні аспекти продуктивності мережі в залежності від наміру та мети моніторингу.

Моніторинг мережі фіксує мережну інформацію, трафік, характеристику програм і користувачів, регулярно та детально аналізує данні з різною періодичністю, щоб якісно оцінити стан мережі для різних завдань управління, таких як діагностика мережі, пошук несправностей та розподіл навантаження. Система моніторингу повинна контролювати мережу, трафік, отримувати вимірювані показники, такі, як рівень агрегації, часові інтервали, використання пропускну здатності і точність. Зазвичай системи моніторингу розгортаються в певних місцях мобільної мережі на кордонах мережі або на вхідних і вихідних портах.

Мережа 5G поєднує мережеві, обчислювальні ресурси та ресурси зберігання даних в єдину інфраструктуру, яка буде організована і контрольована для підтримки декількох орендарів і декількох мереж одночасно. Системи моніторингу повинні бути достатньо адаптивними, щоб впоратися з підключеними пристроями і систем та забезпечити можливість спостерігати за їхнім станом і трафіком у реальному часі.

Система моніторингу повинна забезпечувати доступ до моніторингової інформації для користувачів з різними адміністративними функціями та масштабами діяльності. Хоча існуючі системи моніторингу можуть забезпечити якісний огляд всієї системи, мережа 5G вимагатиме більш високого рівня деталізації та персоналізації збору, обробки та звітності даних. Також, моніторинг повинен

надавати спільний доступ до даних моніторингу на основі певних політик доступу для всіх залучених учасників.

SDN та NFV - приклади ймовірних нових методів проєктування, які надають мережам більшої гнучкості, можливості програмування і швидкості. Однак вони також значно змінюють уявлення про мережеві послуги. Мережева послуга включає в себе набір мережевих функцій, які пов'язані між собою за рахунок мережевих з'єднань. З'єднання можуть бути, як фізичними ресурсами, так і віртуальними. Але їх сумісна робота може ускладнювати моніторингову систему [45].

Площина управління SDN має глобальну видимість і більш тонкий контроль над пакетами, що проходять через мережу. Оскільки мережа управляється з централізованих контролерів, а мережеві компоненти мають програмовані інтерфейси, моніторинг мережі піднімається на більш високий рівень з точки зору ефективності, вартості та складності. NFV - відокремлює мережеву функціональність від апаратного забезпечення, мережеві функції будуть працювати, як послуга в комерційному готовому обладнанні.

У сучасному мережевому середовищі управління існують декілька методів моніторингу з різними рівнями. Використовують протоколи моніторингу, які дозволяють збирати інформацію, що надається від мережевих елементів.

1. Простий протокол моніторингу мережі (SNMP): для управління мережевими елементами та отримання високорівневої інформації про використання ресурсів (наприклад, моніторинг використання пропускну здатності маршрутизаторів та комутаторів по портам, інформація про пристрої, така як використання пам'яті, завантаження процесора тощо);
2. Віддалений моніторинг (RMON): для обміну даними моніторингу мережі;
3. Netflow: для збору інформації про потоки IP-мережі та використання пропускну здатності.

Розвиток SDN та NFV дозволяє застосовувати протокол OpenFlow для моніторингу в першу чергу мереж передачі даних, що використовують SDN та NFV. Основним методом використання є інтеграція з відомими традиційними інструментами моніторингу, які передають атрибути, зібрані OpenFlow до NetFlow.

Необхідно визначити підхід до використання переваг протоколу OpenFlow та обладнання, що його підтримує, для моніторингу традиційних мереж.

Майбутні мережі 5G будуть обслуговувати значну кількість пристроїв з різними властивостями і можливостями (наприклад, мобільні телефони, планшетні комп'ютери, пристрої Інтернету речей, тактильний Інтернет і автоматизовані транспортні засоби). Це потребує автоматичного керування і безпеки для забезпечення конфіденційності та цілісності. У рамках 5G необхідно ретельно переосмислити системи моніторингу, щоб вони задовольняли вимоги віртуалізації і використовували переваги гнучкості SDN і NFV для забезпечення ідеального балансу між витратами, надійністю і якістю.

Для стільникових мереж 5G була розроблена архітектура програмно-визначеного моніторингу (SDM). Розширений інтерфейс управління SDM дозволяє отримувати різноманітні дані про пакети, потоки та метадані, необхідні для додатків безпеки, управління, моніторингу і мережевих служб. За допомогою протоколу OpenFlow можна здійснювати програмне керування комутаторами і збирати інформацію про пакети та потоки, які проходять через мережеві пристрої. Ця інформація може містити такі дані, як джерело та призначення IP-адреси, номери портів, протоколи передачі (TCP/UDP), а також інші метадані, пов'язані з мережевими пакетами.

Ці дані можуть бути корисними для додатків безпеки, які монітують мережу на виявлення відхилень або потенційних загроз. Наприклад, модулі управління/моніторингу/безпеки можуть використовувати дані OpenFlow для аналізу мережевого трафіку, виявлення вразливостей, контролю доступу, виявлення атак або реалізації політик безпеки.

Крім того, OpenFlow також дозволяє збирати дані від сенсорів або агентів, які можуть бути розміщені в мережі. Ці сенсори можуть перехоплювати пакети або аналізувати мережевий трафік і передавати цю інформацію за допомогою OpenFlow до контролера SDN або інших додатків безпеки. Таким чином, можна використовувати розширений інтерфейс управління SDN для отримання даних від

різних джерел у мережі і використовувати цю інформацію для забезпечення безпеки та оптимізації мережевих служб [46].

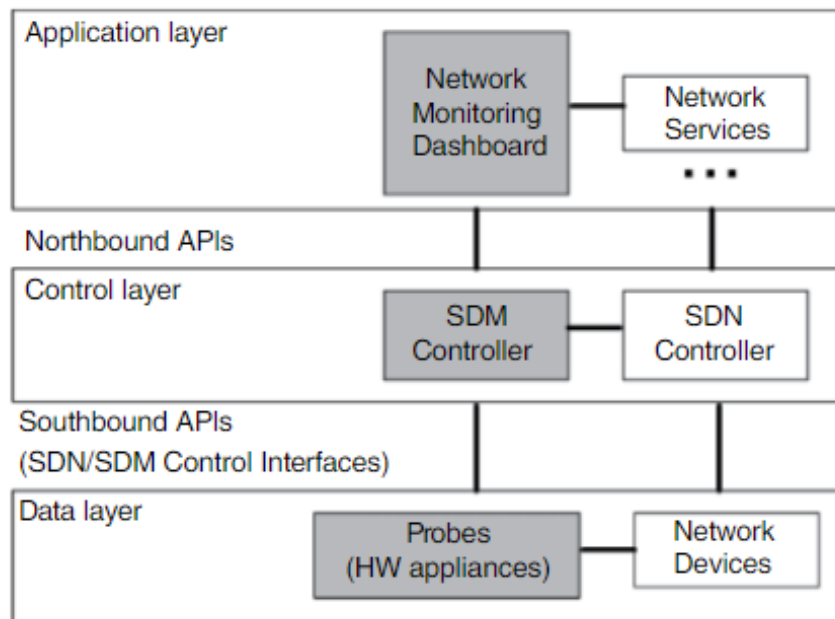


Рис. 3.1. Програмно-визначена архітектура моніторингу для мереж 5G

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню стільникової мережі 5G, яка є актуальною проблемою в сучасному світі з постійним ростом вимог до швидкості передачі даних та забезпечення стабільного зв'язку. Основною метою є досягнення більш високого рівня якості обслуговування та послуг.

Стільникові мережі 5G мають великий потенціал для поліпшення швидкості передачі даних та забезпечення надійного зв'язку. Проектування та удосконалення мережі 5G вимагають комплексного підходу та врахування різних факторів, таких як вимоги до показників ефективності, радіопокриття та технологічні рішення.

Системи MEC відіграють важливу роль у розвитку мереж 5G, надаючи можливість розміщувати обчислювальні ресурси та сервіси ближче до кінцевих користувачів у мережевих вузлах, таких як базові станції та бездротові точки доступу. Це дозволяє кінцевим пристроям, таким як смартфони, планшети та інші IoT-пристрої, виконувати обчислювальні завдання на самому мережевому краю, замість того, щоб надсилати їх до віддаленого хмарного центру.

Впровадження сервера MEC допоможе покращити продуктивність та забезпечити значно меншу затримку, надвисоку енергоефективність, надвисоку надійність і значно вищу щільність зв'язку в п'ятому поколінні мобільних технологій.

Аналізуючи перспективи та виклики для MEC на шляху до мережі 5G, можна стверджувати, що сервер MEC, безперечно, має широкі можливості зробити свій внесок у розвиток загального рівня інтеграції для стільникових мереж.

У рамках 5G необхідно ретельно переосмислити системи моніторингу мережі, щоб вони задовольняли вимоги віртуалізації і використовували переваги гнучкості SDN і NFV для забезпечення оптимального співвідношення між надійністю, якістю та витратами.

Була розглянута схема моніторингу мережі, яка спирається на стандарти SDN. Переваги цього напрямку полягають у гнучкості, зручній та простішій системі

моніторингу, високій масштабованості та доступності, мінімізації наслідків та зменшення витрат.

Також було розглянуто модель планування стільникової мережі 5G, яка включала в себе функцію витрат, обмеження та навантаження базових станцій. Дослідження показало, що використання такої моделі дозволяє ефективно планувати розташування та налаштування базових станцій у мережі 5G з мінімальними витратами та врахуванням обмежень і навантажень.

Функція витрат, яка була використана у моделі, враховувала пропускну здатність та затримка. Це дозволило забезпечити оптимальне використання ресурсів мережі та забезпечити задану якість обслуговування для кінцевих користувачів.

Хоча технології 5-го покоління пропонують значні переваги з точки зору швидкості, пропускну здатності та зв'язку, існують також значні проблеми, пов'язані з безпекою, конфіденційністю та справедливістю, які потребують вирішення. Тематичні дослідження демонструють потенціал технологій 5G для трансформації різних галузей, але також підкреслюють необхідність ретельного планування та управління для забезпечення їх успішного впровадження.

Мережа 5G - це дійсно революційна технологія, яка може забезпечити широкий доступ до високошвидкісного мобільного зв'язку з низькою затримкою для великої кількості користувачів та пристроїв. Вона створить надзвичайно універсальну та програмовану платформу, спроможну поєднувати обчислювальні можливості з великою різноманітністю способів комунікації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. N. Abdelkafi, R. Bolla, C. J. Lanting, A. Rodriguez-Ascaso, M. Thuns, and M. Wetterwald, «Understanding ICT standardization: Principles and practice», 2019.
- 2.
3. 5G-NR (New Radio) CSI Computation Algorithm and Performance / B. Mondal et al. 52nd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 28–31 October 2018.
4. N. Abdelkafi, R. Bolla, C. J. Lanting, A. Rodriguez-Ascaso, M. Thuns and M. Wetterwald, «Understanding ICT standardization: Principles and practice» 2019
5. 6G Enabling Technologies: New Dimensions to Wireless Communication / A. R. Prasad et al. River Publishers, 2022.
6. Mourtzis D., Angelopoulos J., Panopoulos N. Smart Manufacturing and Tactile Internet Based on 5G in Industry 4.0: Challenges, Applications and New Trends. Electronics. 2021. Vol. 10, no. 24. P. 3175.
7. Key Enabling Technologies of 5G Wireless Mobile Communication/ S. Sharma et al. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol.1817, no.1. P.012003.
8. Analysis of message flow transmissions for an inter-vehicle communication scenario / A. V. Militaru et al. 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Ploiesti, Romania, 30 June – 1 July 2022.
9. Multilayer Network Optimization for 5G & 6G / A. Ramirez-Arroyo et al. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 204295–204308.
10. 5G features and standards for vehicle data exploitation / Gorka Velez et. all. Paper ID 256: 14th ITS European Congress, Toulouse, 30 May - 1 June 2022.
11. Et.al V. Y. K. L. Capacity Estimation for 5G Cellular Networks. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT). 2021. Vol. 12, no. 3. P. 4530–4537.



12. NFV and SDN: A New Era of Network Agility and Flexibility / T. Aditya et al. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. 2023. P. 482–493.
13. Effect of Retransmissions on the Performance of C-V2X Communication for 5G / D. Wang et al. 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), Victoria, BC, Canada, 18 November – 16 December 2020.
14. Abdel Hakeem S. A., Hady A. A., Kim H. Optimizing 5G in V2X Communications. Research Anthology on Developing and Optimizing 5G Networks and the Impact on Society. 2021. P. 972–1011.
15. Yachika, Kaur P., Garg R. A survey on key enabling technologies towards 5G. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1033. P. 012011.
16. Chataut R., Akl R. Massive MIMO Systems for 5G and beyond Networks—Overview, Recent Trends, Challenges, and Future Research Direction. Sensors. 2020. Vol. 20, no. 10. P. 2753.
17. Elan Maulani I., Amalia Johansyah C. The Development of 5G Technology and Its Implications For The Industry. Devotion Journal of Community Service. 2023. Vol. 4, no. 2. P. 631–635.
18. Implanting Intelligence in 5G Mobile Networks—A Practical Approach / S. Malik et al. Electronics. 2022. Vol. 11, no. 23. P. 3933.
19. Höyhty M., Apilo O., Lasanen M. Review of Latest Advances in 3GPP Standardization: D2D Communication in 5G Systems and Its Energy Consumption Models. Future Internet. 2018. Vol. 10, no. 1. P. 3.
20. Renewable energy powered sustainable 5G network infrastructure: Opportunities, challenges and perspectives / A. Israr et al. Journal of Network and Computer Applications. 2021. Vol. 175. P. 102910.
21. A Review of 5G Front-End Systems Package Integration / A. O. Watanabe et al. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. 2020. P. 1.

22. Shreya Mane. 5G Communications & Networks. International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJAREMS). 2022. Vol. 10, no. 9. P. 261–268.
23. Belhadj S., Lakhdar A. M., Bendjillali R. I. Performance comparison of channel coding schemes for 5G massive machine type communications. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2021. Vol. 22, no. 2. P. 902.
24. M. Bennis, M. Debbah, and H. V. Poor, “Ultrareliable and low-latency wireless communication: Tail, risk, and scale,” Proceedings of the IEEE, vol. 106, no. 10, pp. 1834–1853, 2018.
25. 5G Vision and Requirements for Next Generation Mobile Systems. URL: [https://awtg.co.uk/wp-content/uploads/2021/10/WP\\_5G-Vision-and-Requirements-for-Next-Generation-Mobile-Systems.pdf](https://awtg.co.uk/wp-content/uploads/2021/10/WP_5G-Vision-and-Requirements-for-Next-Generation-Mobile-Systems.pdf)
26. 3GPP, “System architecture for the 5G System (5GS),” TS 23.501, R17, v17.5.0, Jun. 2022.
27. «Making 5G NR a Commercial Reality», Qualcomm, Tech. Rep., February 2020. URL: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/making-5g-nr-a-commercial-reality.pdf>
28. Real-time data measurement methodology to evaluate the 5G network performance indicators / R.-G. Lazar et al. IEEE Access. 2023. P. 1.
29. Unlock 5G’s true potential with proven 5G Core. Introducing Samsung 5G Core. 2020. URL: [https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/brochures/1208\\_unlocking-5gs-true-potential-with-proven-5g-core/201207\\_Core-Product-Brochure\\_Final.pdf](https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/brochures/1208_unlocking-5gs-true-potential-with-proven-5g-core/201207_Core-Product-Brochure_Final.pdf)
30. Samsung Electronics Develops Key RF Technology for Smaller 5G Equipment and Devices. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-develops-key-rf-technology-for-smaller-5g-equipment-and-devices>
31. Gartner’s Top 10 Global 5G Network Infrastructure Companies | CRN. URL: <https://www.crn.com/slide-shows/networking/gartner-s-top-10-global-5g-network-infrastructure-companies>

- 32.S.Partners, “10 RAN vendors: challengers, newcomers and heavy-weights,” STL Advisory Limited, 2017. URL: [https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fstlpartners.com%2Ftelco\\_cloud%2F10-ran-vendors%2F](https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fstlpartners.com%2Ftelco_cloud%2F10-ran-vendors%2F)
- 33.Iqbal S., Hamamreh J. M. A Comprehensive Tutorial on How to Practically Build and Deploy 5G Networks Using Open-Source Software and General-Purpose, Off-the-Shelf Hardware. RS Open Journal on Innovative Communication Technologies. 2021. Vol. 2, no. 6.
- 34.A Survey on 5G Coverage Improvement Techniques: Issues and Future Challenges / C. Sudhamani et al. Sensors. 2023. Vol. 23, no. 4. P. 2356.
- 35.Algorithm for 5G Resource Management Optimization in Edge Computing / D. D. Lieira et al. IEEE Latin America Transactions. 2021. Vol. 19, no. 10. P. 1772–1780.
- 36.Hussain M., Rasheed H. Nonorthogonal Multiple Access for Next-Generation Mobile Networks: A Technical Aspect for Research Direction. Wireless Communications and Mobile Computing. 2020. Vol. 2020. P. 1–17.
- 37.5G D2D Networks: Techniques, Challenges, and Future Prospects / R. I. Ansari et al. IEEE Systems Journal. 2018. Vol. 12, no. 4. P. 3970–3984.
- 38.Ali H. M., Liu J., Ejaz W. Planning capacity for 5G and beyond wireless networks by discrete fireworks algorithm with ensemble of local search methods. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2020. Vol. 2020, no. 1.
- 39.Tomaszewski L., Kukliński S., Kołakowski R. A New Approach to 5G and MEC Integration. Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2020 IFIP WG 12.5 International Workshops. Cham, 2020. P. 15–24.
- 40.Using Simu5G as a Realtime Network Emulator to Test MEC Apps in an End-To-End 5G Testbed / G. Nardini et al. 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, London, United Kingdom, 31 August – 3 September 2020. 2020.

41. Dario Sabella, Alessandro Vaillant, Pekka Kuure, Uwe Rauschenbach, and Fabio Giust. Mobile-edge computing architecture: The role of mec in the internet of things. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(4):84–91, 2016
42. Multi-Access Edge Computing. Huawei Enterprise Support Community. URL: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/introduction-to-5g-multi-access-edge-computing/thread/803701-100305?page=1>.
43. Yun Chao Hu, Milan Patel, Dario Sabella, Nurit Sprecher, and Valerie Young. Mobile edge computing—a key technology towards 5g. *ETSI White Paper*, 11(11):1–16, 2015.
44. Teja Sree B., Varma G. P. S., Indukurib H. Mobile Edge Computing Architecture Challenges, Applications, and Future Directions. *International Journal of Grid and High Performance Computing*. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 1–23.
45. A Performance Comparison of Virtualization Techniques to Deploy a 5G Monitoring Platform / R. Perez et al. 2021 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit), Porto, Portugal, 8–11 June 2021. 2021.
46. Software Defined Security Monitoring in 5G Networks / M. Liyanage et al. *A Comprehensive Guide to 5G Security*. Chichester, UK, 2018. P. 231–243.