

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
фахового молодшого бакалавра**

на тему: **Дослідження новітніх концепцій розгортання мобільних мереж 5G**

Виконав студент IV курсу, групи ТК-42
спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка
ОПП «Телекомунікації та комп'ютерні
технології»
Самотій Богдан Ігорович

| | | |
|----------------|----------|------------------|
| Керівник | _____ | Володимир ПЛІШ |
| | (підпис) | |
| Нормоконтролер | _____ | Володимир ПЛІШ |
| | (підпис) | |
| Рецензент | _____ | Анатолій РОМАНЮК |
| | (підпис) | |
| Голова ЕК | _____ | Андрій ВАХ |
| | (підпис) | |
| Члени ЕК | _____ | Ігор ТИБЕЛЬ |
| | (підпис) | |
| | _____ | Володимир ПЛІШ |
| | (підпис) | |

Дипломна робота захищена в ЕК «__» _____ 2025 р.

з оцінкою «_____»

Львів 2025

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

| | |
|------------------------------|--|
| Циклова комісія | <i>Телекомунікації</i> |
| Освітньо-професійний ступінь | <i>Фаховий молодший бакалавр</i> |
| Освітньо-професійна програма | <i>Телекомунікації та комп'ютерні технології</i> |
| Спеціальність | <i>172 Телекомунікації та радіотехніка</i> |

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач відділення
«Телекомунікацій та
комп'ютерних технологій»
_____ Ігор ТИБЕЛЬ
« 25 » квітня 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Самотію Богдану Ігоровичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

| | |
|----------------|--|
| 1. Тема роботи | <i>Дослідження новітніх концепцій розгортання мобільних мереж 5G</i> |
|----------------|--|

| | |
|-----------------|---|
| керівник роботи | <i>Володимир ПЛІШ викладач вищої категорії, викладач-методист</i> |
|-----------------|---|

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

затверджені наказом директора від “ 20 ” березня 2025 року № 20-СТ

2. Строк подання студентом роботи “10” червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи 3.1 *Виконати аналіз стандартів технологій
мобільних мереж;*

3.2 *Зробити оцінку покриття радіосигналом;*

3.3 *Впровадити розподілення розрахункового середовища МЕС;*

3.4 *Застосувати системи моніторингу.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

4.1 *Дослідження структури та можливостей поточних мобільних мереж 5G.*

4.2 *Розробка інфраструктури для мереж п'ятого покоління.*

4.3 *Розвиток технологій мобільного зв'язку 5G.*

4.4 *Техніко-економічне обґрунтування.*

4.5 *Охорона праці та безпека життєдіяльності*

5. Перелік графічного матеріалу

| | |
|------|--|
| 5.1. | <i>Варіанти використання технології 5G</i> |
| 5.2. | <i>Спільна і розділена архітектури 5G</i> |
| 5.3. | <i>Провідні продукти Samsung</i> |
| 5.4. | <i>Стільникова мережа 5G, методи та алгоритми планування</i> |
| 5.5. | <i>Моніторинг мереж 5G на програмно-визначеній архітектурі</i> |

6. Консультанти розділів дипломної роботи

| Розділ | Ім'я, прізвище та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | Завдання отримав |
| Техніко-економічне обґрунтування | <i>Мар'яна СМУК викладач вищої категорії</i> | 25.04.2025р. | 25.04.2025р |
| Охорона праці та безпека життєдіяльності | <i>Олена МЕЛЬНИКОВА викладач першої категорії</i> | 25.04.2025р. | 25.04.2025р. |

7. Дата видачі завдання « 25 » квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання | Примітка |
|-------|--|-----------------|----------|
| 1 | <i>Вступ.</i> | 25.04-01.05 | |
| 2 | <i>Дослідження структури та можливостей поточних мобільних мереж 5G.</i> | 02.05-08.05 | |
| 3 | <i>Розробка інфраструктури для мереж п'ятого покоління.</i> | 09.05-15.05 | |
| 4 | <i>Розвиток технологій мобільного зв'язку 5G.</i> | 16.05-22.05 | |
| 5 | <i>Техніко – економічне обґрунтування</i> | 23.05-29.05 | |
| 6 | <i>Охорона праці та безпека життєдіяльності</i> | 30.05-03.06 | |
| 7 | <i>Висновки</i> | 04.06-05.06 | |
| 8 | <i>Підготовка графічного матеріалу.</i> | 06.06-09.06 | |

Здобувач

(підпис)

Богдан САМОТІЙ

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ПЛІШ

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 69 с., 6 рис., 1 табл., 11 джерел.

Об'єкт дослідження – мережі зв'язку п'ятого покоління 5G.

Мета роботи – розробка і дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G в умовах надщільної структури і ультра малих затримок.

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

У дипломній роботі розглядається стратегії та технічні аспекти побудови мереж зв'язку з метою переходу до стандарту 5G на базі існуючих інфраструктур 4G. Дослідження акцентує увагу на ключових викликах, що виникають під час переходу до нового стандарту, таких як забезпечення сумісності, вдосконалення мережевої пропускної здатності та забезпечення якості обслуговування. Також досліджується стратегії впровадження технологій мережі 5G з використанням існуючих ресурсів 4G, враховуючи технічні обмеження та економічну ефективність.

Структура роботи передбачає аналіз теоретичних основ модернізації мережі, огляд існуючих технологій 5G та їх інтеграцію з 4G, дослідження практичних прикладів модернізації, а також оцінку переваг та викликів, пов'язаних з впровадженням нових технологій.

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

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ПОТОЧНИХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G | 8 |
| 1.1 Аналіз стандартів технологій мобільних мереж | 8 |
| 1.2 Ключові показники ефективності стільникових мереж 5G | 9 |
| 1.3 Основні технології п'ятої покоління мобільних мереж..... | 11 |
| 1.4 Оцінка проблем та можливих шляхів подолання..... | 17 |
| 2 РОЗРОБКА ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ | 23 |
| 2.1 Аналіз різноманітних сценаріїв використання | 23 |
| 2.2 Архітектурні варіанти для мережі | 28 |
| 2.3 Постачальники мережевого обладнання | 30 |
| 2.4 Оцінка покриття радіосигналом | 34 |
| 2.5 Характеристики топологій VPN мереж та їхні описи..... | 57 |
| 3 РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G | 41 |
| 3.1 Впровадження розподіленого розрахункового середовища МЕС | 41 |
| 3.2 Впровадження системи моніторингу | 44 |
| 4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ..... | 52 |
| 4.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку..... | 52 |
| 4.2 Складові структури витрат на розробку..... | 52 |
| 4.3 Витрати на відлагодження розробки..... | 54 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЕДІЯЛЬНОСТІ..... | 56 |
| 5.1 Загальні положення..... | 56 |
| 5.2 Організація охорони праці на підприємстві..... | 57 |
| 5.3 Заходи безпеки на робочому місці..... | 59 |
| 5.4 Санітарно-гігієнічні вимоги..... | 60 |
| ВИСНОВКИ | 62 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 63 |
| КОПІЇ ОBOB'ЯЗКОВИХ КРЕСЛЕНЬ..... | 64 |

| | |
|---|----|
| Лист 1 Варіанти використання технології 5G | 65 |
| Лист 2 Спільна і розділена архітектури 5G | 66 |
| Лист 3 Провідні продукти Samsung | 67 |
| Лист 4 Стільникова мережа 5G, методи та алгоритми планування..... | 68 |
| Лист 5 Моніторинг мереж 5G на програмно-визначеній архітектурі..... | 69 |

ВСТУП

Розвиток та поширення мобільних технологій визначають сучасну цифрову епоху, де безперервний доступ до високошвидкісного Інтернету стає все більшою необхідністю. У світі, який стає все більш залежним від підключення до мережі, перехід до технології 5G визнається ключовим етапом в еволюції мобільних комунікаційних систем.

Запит на швидкі та надійні комунікаційні мережі зростає разом із розширенням кількості підключених пристроїв і нових додатків Інтернету речей (IoT), автономних транспортних засобів і розумних міст. Технології стільникових мереж 5G стають важливим рішенням для вирішення цих потреб. Впровадження технологій п'ятого покоління може сприяти значному економічному прогресу та підвищенню рівня життя у суспільстві.

Враховуючи потенційні переваги та недоліки технології 5G, критично важливо проводити дослідження та аналіз, які визначають шляхи її реалізації, застосування та подальшого розвитку. Ці дослідження можуть служити основою для прийняття стратегічних рішень і вдосконалення стандартів, сприяючи

У даній дипломній роботі досліджується процес модернізації та переходу до архітектури 5G на основі існуючих мереж 4G. Вона спрямована на вивчення методів, технологій та стратегій, що використовуються при впровадженні цієї перехідної стратегії, а також на оцінку її ефективності та впливу на розвиток мобільних комунікаційних систем у майбутньому.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ПОТОЧНИХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G

1.1 Аналіз стандартів технологій мобільних мереж

Стандарти виступають ключовим керівним елементом у спрямуванні досліджень, розробок, та інновацій, а також впливають на формування політики та промисловості. Вони регулюють виробничі процеси та реалізацію продукції, сприяючи забезпеченню високої якості. Повністю стандартизовані процедури сприяють взаємодії між різними дослідницькими методами та продуктами. Різні типи стандартизаційних організацій активно працюють над розробкою стандартів у різних сферах технологій [1].

3GPP є ключовим гравцем у стандартизації мобільних комунікацій і визначає вимоги до інфраструктури та обладнання для мереж 5G. Ця організація об'єднує різноманітні робочі та дослідницькі групи, які активно працюють над вдосконаленням та розширенням майбутніх мобільних мереж.

Одна з головних робочих груп, SA1, фокусується на розробці рішень та вимог до мереж 5G для додатків, що мають високі вимоги до якості зв'язку, низької затримки та високої доступності. Друга робоча група, SA2, визначає архітектурні рішення для підтримки мережевого розшарування та вивчає аспекти, пов'язані з промисловістю, промисловим IoT та іншими вертикальними галузями. SA3 концентрується на питаннях безпеки, а SA5 відповідає за управління сегментами мережі.

Ці робочі групи виконують важливу роль у формуванні майбутніх мобільних мереж, забезпечуючи виробникам та операторам чіткі стандарти та вимоги для розробки та впровадження технологій 5G. Їх співпраця сприяє постійному розвитку і вдосконаленню мобільних мереж, що дозволяє забезпечити користувачам надійний та ефективний зв'язок у майбутньому [2].

Один із головних стандартів, який утворює основу для технології 5G, - це New Radio (NR), спільно розроблений Міжнародним союзом зв'язку (ITU) та 3rd

Generation Partnership Project (3GPP). Цей стандарт визначає нові радіотехнології, які дозволяють передавати дані на великій швидкості та забезпечують підтримку масштабування мережі, мінімальної затримки та енергоефективності. NR охоплює різні частотні діапазони, включаючи низькі, середні та високі, що дає можливість використовувати різні діапазони для різноманітних сценаріїв використання. NR використовує нові технології, такі як масивні MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), багатонасійкова передача та інші, для поліпшення ефективності та якості зв'язку.

Завдяки стандарту NR 5G використання широкого спектру радіочастот, включаючи високочастотні діапазони, такі як міліметрові хвилі (mmWave), стає можливим. Це дозволяє досягати надзвичайно високої швидкості передачі даних, перевищуючи 10 Гбіт/с. Крім того, розширене використання спектру ресурсів дозволяє забезпечити підключення більшої кількості пристроїв до однієї базової станції та скоротити затримку.

Окрім стандарту NR, стільникові мережі 5G включають інші важливі компоненти, такі як 5G Core (5GC) та Network Slicing. 5GC визначає нову мережеву архітектуру, що забезпечує гнучкість та масштабованість для підтримки різних сервісів та застосунків. Network Slicing дозволяє створювати віртуальні мережі з унікальними характеристиками та вимогами до якості обслуговування для різних сценаріїв використання, таких як автономні автомобілі, медичні системи та промислові IoT-застосунки.

1.2 Ключові показники ефективності стільникових мереж 5G

Для 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 спрямована на революційне покращення швидкості передачі даних, зменшення затримок, масове підключення, підвищення надійності мережі та покращення енергоефективності. Ці можливості розроблені з урахуванням

потреб у високошвидкісному зв'язку, Інтернету речей, доповненої віртуальної реальності, тактильного Інтернету та інших інноваційних застосунків. Очікується, що вимоги до мережі 5G будуть виконані завдяки новим радіочастотним діапазнам, використанню міліметрових хвиль з великою пропускну здатністю, впровадженню великих антенних решіток і 3D MIMO, ущільненню мереж та новим формам сигналів. Це забезпечить масштабованість і гнучкість для задоволення різноманітних вимог 5G послуг. У відміну від однорозмірних базових мереж 4G, базові мережі 5G мають бути гнучкими та адаптивними, здатними одночасно оптимізувати підтримку різних категорій використання 5G.

Однією з ключових вимог до 5G є забезпечення безумовного доступу до мережі без обмежень щодо щільності зони покриття та політики доступу. Це необхідно для підтримки високороздільних мультимедійних послуг, таких як відеомовлення високої якості. Мережа 5G інтегрується з іншими технологіями та забезпечує швидшу пропускну здатність порівняно з мережами 4G, що дозволяє надавати високошвидкісні широкосмугові послуги [7].

Мережа 5G відзначається значним покращенням якості, пропускну здатності та швидкості передачі даних порівняно з мережами 4G. Підвищена пропускна здатність є ключовою для надання розширених мобільних широкосмугових послуг та забезпечення швидкого підключення. Мережі 5G можуть підтримувати збільшення пропускну здатності до 1000 разів з піковою швидкістю передачі даних приблизно 10 Гбіт/с, що дозволяє підключити до 100 мільярдів пристроїв та майже усунути затримку.

У 2019 році мобільний трафік склав 38 ексабайт на місяць, а до 2025 року очікується, що він зросте до 160 ексабайт за 30-відсоткового середньорічного темпу зростання. На додаток, до 2022 року кількість підключених до Інтернету пристроїв потрійно перевищить чисельність населення світу, зростаючи до 3,6 пристроїв на користувача, що порівняно з 2,4 пристроєм на користувача у 2017 році.

Такий значний ріст пов'язаний із з'явою нових інтернет-додатків, таких як онлайн-відеоігри, автомобільний зв'язок, тактильний Інтернет, дистанційна

хірургія, віртуальна реальність (VR) і доповнена реальність (AR). Ці додатки потребують не лише великої пропускну здатності, але й складних вимог, таких як величезна кількість одночасних з'єднань та низька й надійна затримка.

Для відповіді на ці вимоги державні та приватні ініціативи почали розробляти мобільні мережі п'ятого покоління майже десять років тому. Основні принципи розробки цієї нової технології були спрямовані на досягнення 100-кратного зростання швидкості передачі даних, зниження наскрізної затримки до менше 1 мс, забезпечення надійності на рівні 99,999% та інших аспектів. При цьому, з урахуванням впливу на навколишнє середовище, має бути забезпечено економію енергії на рівні 90% у порівнянні з поточними показниками вуглецевого сліду ІКТ-індустрії.

1.3 Основні технології п'ятої покоління мобільних мереж

Ключові технології стільникових мереж п'ятого покоління (5G) є критичними складовими, які дозволяють реалізувати величезний потенціал цієї технології. Вони створюють основу для високошвидкісної передачі даних, мінімізації затримок, розширення мережевої ємності та покращення якості обслуговування. Ці технології не лише встановлюють нові стандарти у сфері телекомунікацій, але й відкривають шлях для інноваційних послуг і застосунків, включаючи інтернет речей (IoT), автономні транспортні засоби, віртуальну реальність та багато іншого.

Мережа 5G вирішує потреби різноманітних секторів, таких як автомобільна промисловість, охорона здоров'я, енергетика, виробництво та розважальні послуги, шляхом створення гнучкої і адаптивної інфраструктури. Для цього мережу розбивають на сегменти, відомі як "зрізи мережі 5G", кожен з яких має власні ресурси та можливості. Ці сегменти, які включають в себе мережі доступу (радіо- або дротові), опорну мережу, транспорт та інші, можуть використовуватися як окремо, так і спільно для задоволення потреб різних секторів. Важливою особливістю є ізоляція кожного фрагмента мережі, що

дозволяє забезпечувати незалежну якість обслуговування, незалежно від використання інших фрагментів.

Зі зростанням популярності Internet of Things (IoT) очікується швидке зростання підприємств, які спеціалізуються на мережах 5G та їх впровадженні в масштабах промислового рівня. Технології, такі як хмарні рішення, програмно-визначені мережі (SDN) та віртуалізація мережевих функцій (NFV), що базуються на стабільному зв'язку з низькою затримкою, відіграють ключову роль у перетворенні промислових застосунків IoT та всієї мобільної екосистеми.

NFV та SDN сприяють віртуалізації мережевих функцій і відокремлюють управлінську площину від площини даних. Це дає можливість централізованого керування та конфігурації мережевих пристроїв, забезпечуючи гнучкість та адаптивність мережі. Відтак NFV і SDN створюють нову еру для організацій, дозволяючи їм легше відповідати змінним потребам та вимогам клієнтів. Ці переваги не обмежуються лише традиційними операторами мереж, але охоплюють широкий спектр галузей, таких як постачальники хмарних послуг, телекомунікаційні компанії та підприємства будь-якого розміру.

Поєднання Network Functions Virtualization (NFV) та Software-Defined Networking (SDN) відкриває нові можливості у сфері мережевих технологій. NFV ідеально доповнює SDN, дозволяючи віртуалізувати мережеві функції та відокремлюючи їх від конкретних фізичних пристроїв. Це призводить до збільшення гнучкості та спрощення управління мережею, оскільки мережеві функції можуть бути швидко розгорнуті та налаштовані незалежно від апаратних обмежень. Такий підхід дозволяє більш ефективно використовувати ресурси мережі та швидше реагувати на зміни у вимогах до мережевих послуг.

Справді, SDN і NFV, спільно з хмарними, периферійними і туманними обчисленнями, входять у концепцію широкої трансформації, відомої як "софтверізація". Ця трансформація сприяє автоматизації процесів, оптимізації витрат, скороченню часу виходу на ринок і покращенню якості надання послуг. Такі інновації дозволяють створювати нові сервіси та послуги, що починаються від промислових послуг і додатків до виробничих і життєво важливих послуг, і

закінчуються розумним містом. Цей комплексний підхід розширює можливості інфраструктури та сприяє впровадженню інноваційних технологій у всі сфери життя.

Технологія Direct Device-to-Device (D2D), яка буде реалізована в мережах 5G, відкриває широкі можливості для покращення передачі даних, надання однорангових послуг та поліпшення покриття. Вона дозволяє пристроям безпосередньо взаємодіяти один з одним, обходячи центральну інфраструктуру мережі. Це призводить до ряду переваг:

- Розширення покриття. D2D дозволяє пристроям спілкуватися навіть у випадках, коли доступ до мережі обмежений, що розширює зону покриття.

- Управління енергоспоживанням. Використання D2D може допомогти зменшити витрати енергії, оскільки пристрої можуть комунікувати безпосередньо один з одним, не витрачаючи додаткову енергію на зв'язок через базову станцію.

- Ефективне використання спектра. D2D дозволяє використовувати радіоресурси ефективніше, оскільки пристрої можуть повторно використовувати спектр для передачі даних один одному.

- Підвищення пропускної здатності. За рахунок безпосередньої взаємодії між пристроями, D2D дозволяє підвищити пропускну здатність мережі, що забезпечує швидку передачу даних.

- Надання мережевих функцій пристроям. D2D може також надавати додаткові функції пристроям, такі як безпека, розвантаження трафіку та послуги наближення на основі визначення місцезнаходження, що робить їх більш універсальними та корисними для користувачів.

Технологія D2D може використовувати як неліцензований діапазон ISM, так і ліцензований стільниковий діапазон для забезпечення зв'язку між пристроями. Використання ліцензованого діапазону дозволяє забезпечити додаткові можливості безпеки та ефективного управління ресурсами через стільникову мережу.

Технологія 5G націлена не лише на підключення мобільних пристроїв, а й на створення мережі, яка зможе обслуговувати велику кількість різноманітних

пристроїв та машин, незалежно від їх місця розташування. Вона дозволить підключати до бездротового зв'язку різні пристрої, такі як смартфони, смарт-годинники, принтери і багато інших, і забезпечувати швидкий обмін величезними обсягами даних з мінімальними затримками. Сповідення, документи та інші матеріали, необхідні для різноманітних ситуацій, будуть миттєво доступні на пристроях користувачів.

Технологія зв'язку "мобільний транспортний засіб до всього" (C-V2X) є однією з інновацій, яка революціонізує транспортні системи у контексті мереж 5G. Вона сприяє оптимізації та підвищенню безпеки на дорогах, дозволяючи комунікацію між транспортними засобами та інфраструктурою. Ця технологія передбачає обмін інформацією про швидкість, напрямок руху та інші параметри, створюючи інтелектуальні транспортні системи. Вони допомагають зменшити затори, підвищити ефективність руху та забезпечити безпеку на дорогах. Одним із ключових елементів C-V2X є побічний зв'язок, який працює в широкомовному режимі для забезпечення надійного покриття та ефективної комунікації між транспортними засобами.

C-V2X впроваджує два режими зв'язку через одну платформу, щоб забезпечити комунікацію на короткій відстані через WiFi та на великій відстані через стільниковий зв'язок. Зв'язок через WiFi не вимагає підписки на мережу або наявності покриття, що робить його дуже доступним. Зворотний бік медалі - стільниковий зв'язок, який потребує підписки та наявності покриття мережі. LTE-V2X є поточним стандартом C-V2X, завершеним у березні 2017 року як частина 3GPP-Release 14. Цей стандарт вдосконалений для підтримки майбутнього 3GPP-Release 16, що включає в себе можливості, покращення та послуги NR-5G.

Технологія M2M використовується для передачі обмежених обсягів даних з датчиків, які мають обмежені часові ресурси. Існують два типи технологій випадкового доступу, які використовуються в залежності від спектральних ресурсів: широкосмугові мережі з низьким енергоспоживанням (LPWAN) та стільниковий IoT. Для підвищення енергоефективності та забезпечення кращого зв'язку в M2M-комунікаціях використовуються агрегація та вивантаження даних.

У M2M-комунікаціях передбачається використання інтелектуальних машин, які автоматично здійснюють операції зі збору, обробки та передачі даних. Наприклад, датчики можуть використовуватися для моніторингу доступності паркувальних місць у режимі реального часу.

У M2M-комунікаціях через 5G дослідники розробляють різні механізми для підтримки передачі невеликих пакетів даних, щоб зменшити споживання енергії та уникнути перевантаження мережі.

Машинний зв'язок потребує розробки нових архітектур, ідей та ключових компонентів стільникових мереж для підтримки мобільності на вимогу лише для певних користувачів, які цього потребують. Пропускна здатність стільникових мереж, що використовують технології M2M, повинна бути достатньою для обслуговування мільярдів вузлів для різних сервісів Інтернету речей. Успішність послуг IoT та M2M напряду залежить від розвитку пропускну здатності стільникових мереж 5G для ефективної обробки даних, включаючи передачу високоякісних зображень та автоматизоване управління обладнанням машинами. Також важливо збільшити кількість підключених пристроїв для ефективного використання машинного зв'язку.

З щоденним нарощуванням вимог до швидкості передачі даних і обсягу трафіку, мережа стикається зі зростаючим навантаженням. Щоб відповісти на ці вимоги, необхідно розширити пропускну здатність мережі і ефективно використовувати доступний спектр частот. Поточний діапазон частот бездротового зв'язку, який варіюється від 300 МГц до 3 ГГц, виявився недостатнім для забезпечення потреб мережі.

Для подальшого розвитку мережі необхідно розширити цей діапазон і дослідити можливості використання невикористаних частот від 3 до 300 ГГц. Наприклад, смуги частот 57-64 ГГц і 164-224 ГГц поки що не використовуються для зв'язку, але мають потенціал значно підвищити пропускну здатність в порівнянні з поточними смугами. Цей новий спектр може передавати значно більше даних і підвищити пропускну здатність, особливо на коротких відстанях.

Проте, використання міліметрових хвиль в цих діапазонах має свої виклики. Наприклад, ці хвилі можуть бути блоковані будівлями або поглинуті рослинами та дощовими краплями, що потребує уважного вивчення та розробки відповідних технологій для подолання цих перешкод.

Технологія міліметрових хвиль (mmWave) використовує високочастотні діапазони від 30 ГГц до 300 ГГц для передачі даних. Це забезпечує велику пропускну здатність і дозволяє досягати високих швидкостей передачі даних. Однак поширення міліметрових хвиль обмежене в порівнянні з нижчими частотами.

Для забезпечення стабільного зв'язку використовуються масиви антен та адаптивні алгоритми керування, які допомагають компенсувати втрати сигналу через вплив перешкод та відстань передачі. Проте, одним з викликів удосконалення технологій 5G є розробка ефективних алгоритмів керування та використання масивів антен для компенсації втрат сигналу і покращення якості зв'язку.

Технологія Massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) відіграє критичну роль у розвитку мереж 5G, пропонуючи низку переваг для швидкого та ефективного бездротового зв'язку. Вона базується на використанні сотень або навіть тисяч антен, які приєднуються до базової станції, що дозволяє підвищити пропускну здатність та забезпечити надійний зв'язок для користувачів. Системи Massive MIMO можуть одночасно обробляти дані від датчиків з меншою затримкою, що дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних та стабільне з'єднання.

Одним з ключових застосувань технології Massive MIMO є передача даних в реальному часі з розумних датчиків до центральних пунктів моніторингу. Це має велике значення для таких галузей, як автономні транспортні засоби, дистанційна охорона здоров'я, розумні мережі, а також моніторинг довкілля. Завдяки технології Massive MIMO можна забезпечити ефективне та швидке оброблення великих обсягів даних, що дозволяє вчасно реагувати на зміни у середовищі та суспільстві.

1.4 Оцінка проблем та можливих шляхів подолання

Розквіт технологій 5G істотно визначає сучасний цифровий ландшафт, перетворюючи наші можливості взаємодії з технологіями та відкриваючи нові можливості для інновацій у різних сферах. Швидкість передачі даних, надана 5G, революціонує спосіб, яким ми працюємо, спілкуємося та вирозвідуємо цифровий світ.

Вплив технології 5G на промисловість особливо значний, оскільки вона може відкрити нові можливості для підвищення продуктивності, ефективності та інновацій в цьому секторі. Здатність до миттєвого обміну даними забезпечує найсучасніші виробничі процеси, дозволяючи впроваджувати автоматизацію, роботизацію та розумні технології виробництва.

Крім того, технологія 5G відкриває шляхи для застосування концепцій Інтернету речей (IoT) у промисловості. Сенсори та засоби зв'язку, підключені до мережі 5G, можуть забезпечити величезний обсяг даних з виробничих процесів, що дозволить оптимізувати роботу обладнання, виявляти несправності та підвищувати якість виробництва.

Подальший розвиток технології 5G відкриває широкі перспективи в різних секторах, проте супроводжується важливими викликами, зокрема у сфері безпеки та конфіденційності. Швидкість, яку пропонує технологія 5G, створює потенційні ризики щодо зловживання та несанкціонованого доступу до особистих даних. Тому наявність відповідних стандартів безпеки стає критичною у забезпеченні захищеності використання технології 5G.

Вплив розвитку мережі 5G на суспільство та бізнес-середовище є значним і може відчутно позначитися на продуктивності, ефективності та рівні інновацій в різних галузях. Інтеграція цієї технології в сучасну інфраструктуру вимагає не лише технічних рішень, а й комплексного підходу до забезпечення безпеки та конфіденційності, щоб запобігти можливим загрозам та вразливостям.

Мережі 5G обіцяють стати надзвичайно гнучкими та надійними, забезпечуючи вражаючу швидкість передачі даних, високий рівень безпеки та

стійкості. Ця технологія буде доступна за ціною завдяки ефективному використанню ресурсів та масштабованій архітектурі, що дозволить мережам впоратися з очікуваним різким зростанням кількості підключених пристроїв та користувачів. Однак при цьому не відбудеться різкого збільшення енергоспоживання або складності управління, оскільки технологія розроблена з урахуванням ефективного використання ресурсів.

Планується, що мережі 5G стануть важливим компонентом ланцюгів поставок, що будуть повністю інтегровані через різні галузі, сектори та національні кордони. Це відкриє нові можливості для співпраці та розвитку бізнесу на міжнародному рівні.

Потребується також новий підхід до розуміння мереж та пристроїв 5G. Вони будуть створювати зв'язок на нульових відстанях, що передбачає обчислення та розповсюдження контенту набагато ближче до людей і машин. Це відкриє нові можливості для розвитку інтерактивних та персоналізованих сервісів, що сприятимуть покращенню якості життя та ефективності роботи [11].

Однією з викликів, що стоять перед стільниковими мережами 5G, є обмежений радіус охоплення базових станцій. Порівняно з попередніми поколіннями мереж, базові станції 5G мають менший зону покриття через використання високочастотних смуг. Це може призвести до необхідності встановлення більшої кількості базових станцій для забезпечення стабільного сигналу усюди.

Однак, розробники і оператори зв'язку працюють над різними стратегіями для вирішення цього завдання. Наприклад, вони розглядають можливості використання розподілених антенних систем та технологій Massive MIMO, які дозволять покращити покриття та ефективність мережі без необхідності встановлення значної кількості додаткових базових станцій. Такі підходи можуть допомогти знизити витрати на інфраструктуру та забезпечити стабільний зв'язок для користувачів у будь-яких областях.

Проблеми безпеки, пов'язані з використанням погано захищених віртуалізованих розгортань, є серйозними викликами для постачальників

мережевого обладнання. Ці проблеми можуть мати різні аспекти, включаючи втрату доступності, втрату цілісності та втрату контролю над мережею. Наприклад, можливість переповнення або збою віртуалізованих функцій мережі, а також ризик підслуховування або модифікації даних можуть становити серйозну загрозу для безпеки мережі.

Для вирішення цих проблем потрібні ефективні рішення, орієнтовані на конкретні реалізації віртуалізованих мережевих функцій. Наприклад, розробники можуть працювати над створенням механізмів автентифікації та авторизації для забезпечення безпеки взаємодії між різними функціями мережі. Крім того, важливо забезпечити захист конфіденційності та цілісності даних під час їх транспортування в мережі.

Однак безпечний зв'язок між віртуалізованими мережевими функціями в межах основної мережі може бути складним завданням і вимагати вирішення різних проблем. Наприклад, потрібно розробити механізми для спільного використання контексту безпеки та забезпечення автентифікації та авторизації під час взаємодії між різними функціями мережі. Також важливо забезпечити захист конфіденційності повідомлень, що передаються між цими функціями, а також забезпечити цілісність та безпеку даних під час їх транспортування в мережі.

Проблема енергоспоживання у базових станціях та кінцевих користувачів є серйозним викликом у контексті розвитку мереж 5G. Висока швидкість передачі даних, мобільність та використання багатьох активних повітряних інтерфейсів призводять до значного споживання енергії.

Зокрема, використання потужних підсилювачів для обслуговування великих територій і збільшення навантаження на трафік призводить до зростання енергоспоживання макроклітинками базових станцій та малими комірками. Це може мати серйозний вплив на стійкість мережі та економічну ефективність її експлуатації.

Для вирішення цих проблем необхідно розробляти та впроваджувати ефективні технології енергозбереження та оптимізації використання ресурсів. Наприклад, впровадження методів динамічного керування потужністю та зонами

покриття, використання енергоефективних антенних систем та вдосконалення алгоритмів управління трафіком можуть допомогти знизити енергоспоживання і покращити продуктивність мережі. Такі заходи сприятимуть підвищенню стійкості та ефективності мережі 5G, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище і зниженню витрат на енергію.

Для забезпечення енергоефективності мереж 5G необхідно активно впроваджувати передові технології енергозбереження та оптимізувати процеси живлення. Це може бути досягнуто шляхом розробки та застосування енергоефективних компонентів і алгоритмів у базових станціях, що сприятиме зниженню витрат енергії та збереженню ресурсів.

Особливу увагу слід звернути на режими сну базових станцій, які мають бути ефективно реалізовані для оптимізації витрат енергії. Розробка та впровадження методів розподілу потужності базових станцій, а також дослідження впливу проблем передачі даних та покриття на енергоефективність малих стільникових мереж можуть значно підвищити продуктивність та стабільність мереж 5G, зменшити споживання енергії та ефективно використовувати ресурси.

Одним із потенційних напрямків удосконалення мереж 5G є розробка та впровадження нових методів передачі сигналу, наприклад, використання хвиль міліметрового діапазону. Ці хвилі мають значно більшу пропускну здатність, що відкриває широкі можливості для підвищення продуктивності та швидкості передачі даних.

Проте впровадження таких інновацій вимагає розробки нових антен та інфраструктури, які забезпечать покриття цих сигналів. Це включає в себе розгортання нових антенних систем та базових станцій, які здатні ефективно працювати з хвилями міліметрового діапазону.

Впровадження таких інновацій може суттєво підвищити продуктивність мереж 5G та швидкість передачі даних. Це відкриє нові можливості для розвитку мобільного зв'язку, інтернету речей та автономних транспортних засобів,

забезпечуючи їм необхідну пропускну здатність та швидкість для ефективної роботи.

Так, міліметрові хвилі мають обмежений радіус поширення, тому для їх ефективного використання використовуються малі стільники як ретранслятори. Це допомагає уникнути проблем з обривом зв'язку та забезпечує швидке перемикання між базовими станціями. Проте важливо враховувати питання безпеки, оскільки ретрансляція даних може становити загрозу для їх конфіденційності та цілісності.

Розгортання тисяч міні-базових станцій з низьким енергоспоживанням, зібраних в тісній групі, формує команду для передачі сигналів в обхід перешкод. Це дозволяє користувачам отримувати сигнали без втрат на шляху проходження, що зменшує витрати та енергію, які витрачаються на процес ретрансляції.

Крім того, пристрої, закриті від базових станцій малих стільникових мереж, передаватимуть сигнал з низьким рівнем потужності, що також сприятиме збільшенню часу роботи мобільних телефонів від одного заряду батареї.

Робоча група з розробки стандартів проєкту 3GPP активно працює над оптимізацією мобільних мереж 5G з метою зменшення затримок до мінімуму. Недавно було виявлено, що в цих мережах широко використовуються великі буфери для максимального використання мережі та мінімізації втрат бездротових ресурсів. Однак, незважаючи на ці заходи, існують вузькі місця на шляху передачі даних у мережі радіодоступу (RAN), що можуть впливати на продуктивність мережі та якість обслуговування (QoS).

Під час вивчення цієї проблеми виявлено, що перевантаження TCP може бути однією з причин вузьких місць. Щоб вирішити ці проблеми та покращити продуктивність мережі, важливо дослідити та поліпшити поведінку буферів, які розгорнуті в пристроях мобільних мереж 5G. Це може сприяти зменшенню затримок у цих буферах і, відповідно, покращити продуктивність та якість обслуговування.

Ефективне усунення недоліків та подальше удосконалення стільникових мереж 5G вимагає тісної співпраці між різними зацікавленими сторонами,

включаючи операторів зв'язку, виробників обладнання, науковців, дослідників і урядові органи. Спільні зусилля дозволять виявити ключові проблеми, розробити та впровадити нові технологічні рішення для їх вирішення. Тільки шляхом постійного вдосконалення, взаємодії та інновацій можна досягти оптимальної продуктивності, надійності та забезпечити задоволення потреб користувачів у мережах 5G. Систематичний обмін знаннями, технічною експертизою та розробкою стратегій є важливим етапом у цьому процесі, що сприятиме створенню ефективних рішень і підвищить загальний рівень розвитку цих мереж.

2 РОЗРОБКА ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

2.1 Аналіз різноманітних сценаріїв використання

Розробка технології 5G визначає новий етап у розвитку бездротових зв'язків, обіцяючи низьку затримку, велику пропускну здатність і високу надійність. Однак для того, щоб впровадження 5G стало повноцінною реальністю, потрібно провести значні дослідження і тестування.

Перед впровадженням технології 5G вирішальним етапом є проектування тестової мережі, а також формування основних випадків використання для проведення досліджень. Особливу вагу має визначення трьох основних сценаріїв використання з точки зору радіотехнологій: розширений мобільний широкосмуговий зв'язок (eMBB), масовий зв'язок машинного типу (mMTC) і наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC). Кожен із цих сценаріїв має свої унікальні вимоги щодо пропускну здатності, затримки, мобільності, щільності підключень та швидкості передачі даних.

Сценарій розширеного мобільного широкосмугового зв'язку (eMBB) визначається своєрідною комбінацією покращеної швидкості передачі даних, зменшеної затримки, високою щільністю користувачів та значною пропускну спроможністю для безперервного покриття та хот-спотів. Цей сценарій спрямований на задоволення потреб у високошвидкісному інтернеті, потоковому відео, великому обсягу даних та інші сучасні додатки, які потребують великої пропускну здатності та низької затримки.

eMBB включає в себе використання передових технологій, таких як масивні множини вхідних-вихідних каналів (Massive MIMO), міліметрові хвилі (mmWave) та інші методи, що дозволяють досягти високої швидкості передачі даних та забезпечити стабільний інтернет у великих містах, на площах великої щільності населення та в інших областях з великою концентрацією користувачів. Такий сценарій є важливою складовою для розвитку мобільного зв'язку в епоху цифрових технологій.

Основна мета полягає в забезпеченні постійно зростаючої швидкості передачі даних для кінцевих користувачів шляхом збільшення пропускної здатності системи. Це досягається шляхом використання доступного спектру частот, включаючи розширення діапазону до 10 ГГц і використання частот міліметрового діапазону. Використання антенних решіток з декількома антенними елементами дозволяє використовувати масивні множинні вхід-вихід (MIMO) та формувати промені, що підвищує пропускну здатність мережі за рахунок багатопроменевого поширення.

Сценарій розширеного мобільного широкосмугового зв'язку (eMBB) є важливим етапом розвитку технології 5G. Він дозволяє розвивати сучасні широкосмугові варіанти використання, такі як потокове відео у форматі Ultra-HD та 360°, а також нові медіа-додатки доповненої реальності (AR) і віртуальної реальності (VR). Ці нові можливості відкривають шлях до створення захоплюючих віртуальних середовищ та реалістичних додатків, що вимагають великої пропускної здатності та мінімальної затримки.

Масовий зв'язок машинного типу (mMTC) є одним із ключових аспектів використання технології 5G, особливо в рамках послуг Інтернету речей (IoT). Із впровадженням технології 5G мережеві оператори очікують значного збільшення попиту на широкосмуговий бездротовий зв'язок від густонаселених користувачів. Це створює ряд можливостей для надання різноманітних послуг, які потребують великих обсягів бездротових даних, таких як завантаження та потокове передавання мультимедіа.

Сценарій mMTC зорієнтований на задоволення потреб сучасного цифрового покоління та акцентується на послугах, які відповідають високим стандартам щільності та якості зв'язку. Це означає, що мережі 5G повинні бути готові обробляти велику кількість пристроїв Інтернету речей, які можуть бути розташовані на широкій території та використовувати різноманітні типи послуг, від вимірювання до автоматизації та взаємодії між пристроями. Такий підхід дозволить створити ефективні та надійні мережі, які забезпечать зв'язок для широкого спектру IoT-пристроїв та додатків.

Зв'язок mMTC, що реалізований в мережах 5G, дійсно відкриває нові можливості для реалізації концепції Інтернету речей (IoT). Його ключові переваги полягають у збільшеній пропускній здатності до 1 Гбіт/с та дуже низькій затримці всього 1 мс. Це робить mMTC ідеальним для підтримки нових послуг та програм, що базуються на IoT.

Завдяки mMTC відкривається можливість для дослідження того, як IoT буде розвиватися в майбутньому після впровадження технології 5G. Збільшена пропускна здатність і низька затримка дозволять створювати та впроваджувати більш розширені та складні застосунки Інтернету речей. Це може включати в себе інтелектуальні системи управління будинком, медичні пристрої для віддаленого моніторингу пацієнтів, системи автоматизації виробництва та багато іншого. Розвиток mMTC в мережах 5G відкриває шлях для створення більш ефективного та зручного середовища для спілкування та взаємодії пристроїв у майбутньому.

Послуга mMTC спрямована на сценарії, які характеризуються значною кількістю малопотужних пристроїв на обмеженій території, що регулярно або спорадично передають невеликі обсяги даних без великих затримок. Цей сценарій передбачає використання техніки каналного кодування, яке дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси для забезпечення надійного зв'язку з великою кількістю недорогих пристроїв машинного типу з низьким рівнем енергоспоживання.

Основні вимоги до сценарію mMTC полягають у забезпеченні ефективного зв'язку з великою кількістю пристроїв IoT з низькими витратами енергії. Це сценарій, який активно використовується у носимих пристроях, сенсорних мережах, системах моніторингу та управління, а також у різних варіантах вимірювань та автоматизованих системах.

Основні показники ефективності для послуг mMTC включають збільшення щільності підключень, розширення зони покриття та підвищення тривалості роботи батарей пристроїв. Виробники та оператори зв'язку активно працюють над розробкою та вдосконаленням технологій, які відповідають цим вимогам, для створення надійних та ефективних мереж 5G для послуг mMTC.

Сценарій наднадійних комунікацій з низькою затримкою (URLLC) включає додатки, які вимагають критично важливої для безпеки та місійної комунікації. Це охоплює широкий спектр застосувань, включаючи автоматизацію автомобілів, автоматизацію заводів та дистанційно керовані хірургічні операції, де швидкість реагування та надійність відіграють важливу роль.

У сценарії URLLC критично важлива низька затримка і висока надійність зв'язку. Навіть найменша затримка може мати серйозні наслідки в таких додатках, як автоматизовані автомобілі або системи дистанційного керування. Ці додатки потребують миттєвого реагування на зміни у середовищі або на команди операторів.

Вирішення цих викликів включає розробку технологій, що забезпечують низьку затримку і високу надійність передачі даних, таких як реалізація масового MIMO, використання міліметрового діапазону хвиль, а також вдосконалення алгоритмів керування ресурсами та обробки сигналів. Такі технології дозволять ефективно використовувати мережеві ресурси і забезпечити надійний та миттєвий обмін даними в умовах високої навантаженості та критичних вимог до часу відповіді.

Сценарій наднадійних комунікацій з низькою затримкою (URLLC) є ще одним ключовим використанням технології 5G, яке відкриває нові можливості для критичних застосувань, що потребують надзвичайно низької затримки та високої надійності. Цей сценарій має велике значення для таких галузей, як автономні автомобілі, медичні послуги, промисловість 4.0 та віртуальна реальність.

Завдяки технології 5G можна досягти майже миттєвого зв'язку між пристроями, що забезпечує надійну передачу даних в режимі реального часу. Це має критичне значення для безпеки та ефективності в галузях, де навіть малі затримки можуть мати серйозні наслідки. Наприклад, у випадку автономних автомобілів, швидка передача даних між різними системами керування може врятувати життя в умовах швидкого реагування на небезпеку на дорозі. У

медичних послугах низька затримка є критичною для забезпечення точності та ефективності діагностики та лікування пацієнтів у реальному часі.

Послуга URLLC спрямована на підтримку передачі даних з низькою затримкою та надзвичайно високою надійністю. Вона застосовується у сферах, де кожна мить має значення, таких як дистанційне керування об'єктами критичної інфраструктури, безпека на транспорті та дистанційні медичні процедури.

Важливими показниками ефективності для URLLC є затримка і надійність з цільовими значеннями 1 мс і 99,999% відповідно. Для досягнення цих цілей URLLC використовує периферійні обчислення, гнучку нумерологію, міні-слоти та інші технології.

Можливості URLLC, такі як підвищена точність синхронізації і визначення місцезнаходження, можуть бути корисними у сценаріях використання високої мобільності для забезпечення безпеки перевезень, де важливо мати швидку та надійну передачу даних, в залежності від конкретного випадку.

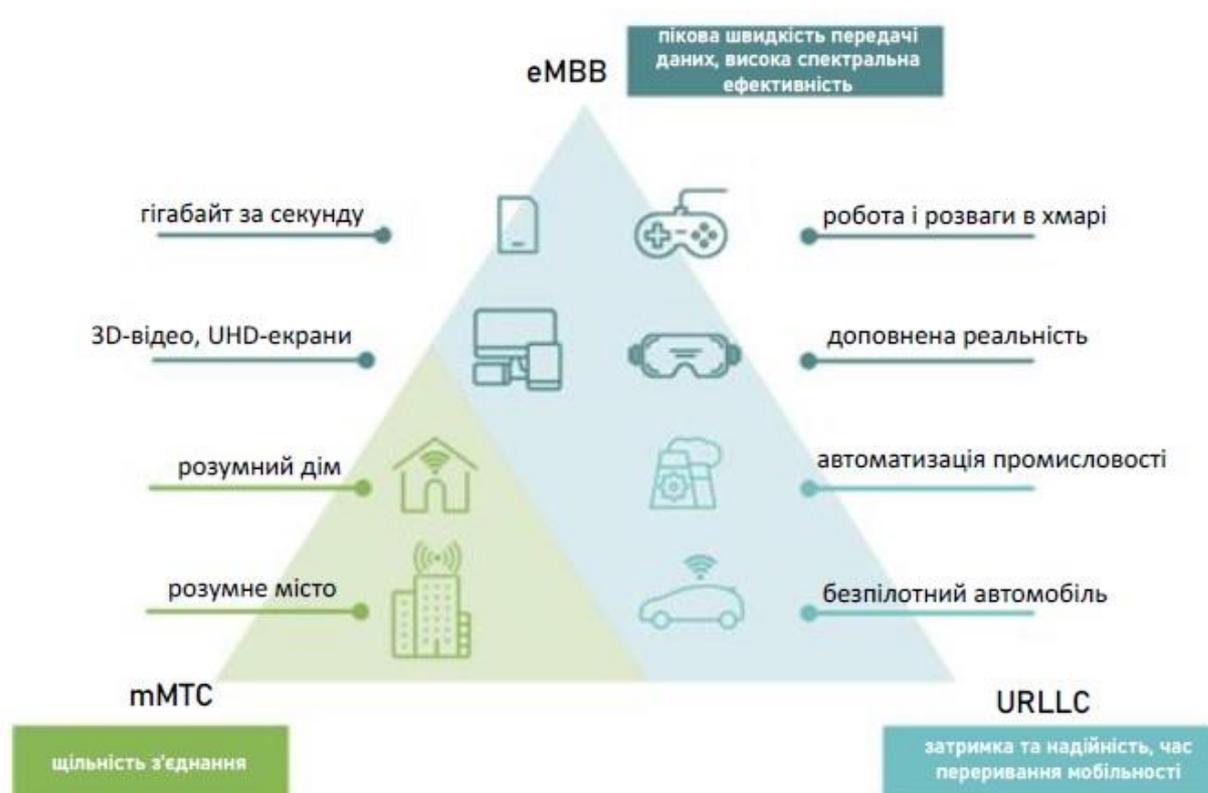


Рисунок 2.1 – Варіанти використання технології 5G

2.2 Архітектурні варіанти для мережі

Вибір варіанту побудови мережі 5G визначається як ключова задача, оскільки це визначатиме якість і ефективність майбутнього зв'язку. Побудова мережі повинна відповідати сучасним потребам користувачів 5G, але також передбачати апгрейд для підтримки якості обслуговування для користувачів 4G. Для полегшення переходу від 4G до 5G, стандартизаційний орган 3GPP визначає дві архітектури розгортання: неавтономну (NSA) і автономну (SA).

Неавтономний (NSA) – це рання і більш поширена версія 5G NR, оскільки вона базується на використанні існуючої інфраструктури мережі радіодоступу (RAN) і ядра LTE, доповненої підтримкою низьких і середніх діапазонів 5G (до 7 ГГц). Цей варіант забезпечує швидке впровадження, якому надають перевагу багато операторів у всьому світі, оскільки він дозволяє швидше почати надавати послуги 5G. З іншого боку, довгостроковий варіант SA (автономний) має переваги з точки зору простоти та підвищеної ефективності ядра 5G наступного покоління. Це дозволяє знизити витрати, постійно поліпшувати продуктивність всієї мережі та використовувати потужності таких інноваційних сценаріїв, як URLLC і mMTC.

NSA реалізує повну наскрізну мережу 5G, яка використовує процеси віртуалізації, розділення CP і UP (CUPS) і програмно-визначеної мережі (SDN). Ця архітектура дозволяє забезпечувати послуги 5G з вищою швидкістю передачі даних, ніж 4G, завдяки використанню розвинутого пакетного ядра у поєднанні з новим радіо 5G NR RAN Standalone. Відмінністю від архітектури NSA є те, що в рішенні 5G SA NR RAN підключається безпосередньо до кореневої мережі 5G. Це забезпечує більшу ефективність та спрощує структуру мережі, що дозволяє забезпечувати швидку та надійну передачу даних для користувачів.



Рисунок 2.2 – Спільна і розділена архітектури 5G

5G NR може бути реалізовано як незалежне рішення через свою комплексність і міцну технічну базу. Проте це вимагає значних інвестицій і зусиль для розгортання, зокрема, для побудови нової інфраструктури 5G.

Архітектура NSA приваблива для операторів з фінансової точки зору, оскільки вона дозволяє швидке розгортання і зменшує витрати на впровадження. Однак реалізація цієї архітектури обмежена і не може підтримувати всі функції 5G NR, такі як мережеве розгалуження, eMBB і mMTC, і не досягає рівня uRLLC. Іншими словами, 5G NSA має свої обмеження, особливо в контексті вимог до високопродуктивних мереж.

У порівнянні з цим, 5G SA забезпечує всі переваги 5G, такі як висока швидкість доступу до Інтернету і низька затримка. Однією з ключових відмінностей між NSA і SA є CUPS (Control and User Plane Separation), де в мережах NSA UP використовує стек 5G, а CP - стек 4G. У мережах 5G SA стек 5G використовується як для UP, так і для CP, що сприяє більш ефективній та зручній архітектурі.

Загальний висновок полягає в тому, що NSA 5G потребує більше поступових удосконалень порівняно з його аналогом SA. Це обумовлено зростанням складності апаратного дизайну, оскільки мережі 5G використовують більше низько- і середньочастотних діапазонів, що призводить до ускладнення обладнання як у FR1, так і у FR2. Це вимагає не лише додавання нового обладнання, але й вирішення проблем з мініатюризацією та адаптацією до нових технологічних вимог.

Перший етап розгортання і впровадження 5G створив проблеми через збільшення кількості діапазонів у FR1, та аналогічно у FR2. Це вимагає значного прогресу у всіх аспектах апаратного забезпечення системи: від розвитку мікросхем до пристроїв та від стільникових пристроїв до базових станцій. Такий поступовий розвиток і вдосконалення апаратури є необхідним для успішної інтеграції та ефективної роботи мереж 5G.

2.3 Постачальники мережевого обладнання

Розвиток технологій 5G продовжує набирати обертів у світі бездротових зв'язків. Від підвищеної швидкості Інтернету до посиленої безпеки та можливості виходу за межі нашого простору - це лише кілька аспектів, які стимулюють розвиток мереж п'ятого покоління.

Основними користувачами мережі є підприємства, що надають різноманітні сервіси, такі як кол-центри, розробники програмного забезпечення та інші. Важливо дослідити глобальні компанії, що працюють у сфері 5G, та їхні досягнення. Нинішні обмеження та виклики, з якими стикаються ці компанії, порівнюються з перевагами та рішеннями, які можемо отримати, будуючи мережу 5G.

Серед компаній-лідерів у галузі досліджень і розробок 5G варто зазначити Samsung, Huawei, Ericsson та Intel. Вони вже зробили значний внесок у розвиток та впровадження технологій 5G і продовжують активно працювати над новими інноваціями в цій сфері.

Компанія Samsung відома своєю великою системою досліджень та розробок у галузі технологій 5G. Вона активно бере участь у провідних глобальних науково-дослідних проєктах та співпрацює з виробничими партнерами та науковцями з усього світу. Спільно з цими партнерами вона розробляє передові технології, що допомагають впроваджувати нові послуги для своїх клієнтів.

У своєму арсеналі Samsung має велику кількість інноваційних продуктів, які відповідають потребам користувачів мобільних мереж. Інфраструктура Samsung Common Core розроблена для роботи в хмарному середовищі. Вона підтримує як 4G, так і 5G, що дозволяє операторам безперешкодно переходити від однієї технології до іншої. Крім того, хмарне ядро Samsung допомагає операторам оптимізувати вартість розгортання та управління мобільними мережами, що забезпечує більш ефективне використання ресурсів.

Архітектура основного ядра з поділом на площину управління і площину користувача є ключовою складовою для ефективного управління ресурсами в мережі 5G. Інтеграція площини управління між EPC GW-C і 5GC SMF, а також функцій площини користувача між EPC GW-U і 5GC, дозволяє оптимізувати використання ресурсів і підвищити ефективність мережі.

Розділення на площину управління і площину користувача дозволяє відокремити процеси управління мережею від передачі даних користувачам. Це сприяє більш гнучкому і ефективному управлінню мережею, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів і високий рівень обслуговування для користувачів.

Розробка передових технологічних антен і підсилювачів потужності для пристроїв 5G від Samsung відкриває нові перспективи в галузі мобільних комунікацій. Ці нові технології мають за мету забезпечити більшу ефективність та знизити розміри пристроїв, що є критично важливим для успішного впровадження 5G.

Інтеграція цих технологій з іншими продуктами Samsung створює нові можливості для розширених сервісів та покращеної інтероперабельності. Навіть за умови, що Samsung має менше досвіду в мережевих технологіях порівняно з

іншими гравцями на ринку, їхній акцент на розвиток та інновації свідчить про їхню готовність зростати і розширювати свою експертизу в цій галузі.



Рисунок 2.3 – Провідні продукти Samsung

Huawei не тільки відповідає потребам споживачів, а й активно веде розробку та тестування рішень в різних сценаріях для забезпечення високої комерційної якості своїх продуктів. Компанія інвестує в дослідження бездротових мереж 5G та отримує патенти на ключові технології, демонструючи свою відданість інноваціям у цій галузі. При цьому Huawei активно впроваджує штучний інтелект у свої розробки, вважаючи його невід'ємною складовою стратегії розвитку мереж 5G. Планується запуск повного спектру комерційного обладнання Huawei, включаючи мережі бездротового доступу, опорні мережі та пристрої, щоб задовольнити різноманітні потреби своїх клієнтів.

Huawei виділяється серед конкурентів завдяки широкому спектру продуктів, пов'язаних з мережами 5G. Вони пропонують різноманітні продукти, включаючи базові станції, антенні системи, маршрутизатори та комутатори, що надає їм

значний конкурентний переваги. Зокрема, компанія спеціалізується на радіопродуктах з розширеними можливостями, такими як формування променя на основі сценаріїв та розгалуження мережі, а також управління мережею та автоматизація з використанням штучного інтелекту. Однією з ключових переваг Huawei є їхня висока технологічна експертиза та інноваційний підхід до розробки обладнання, що робить їх провідним гравцем у сфері мережевих технологій.

Huawei відзначається серед інших виробників завдяки широкому асортименту продуктів, присвячених мережам 5G. Вони пропонують різноманітні рішення, включаючи базові станції, антенні системи, маршрутизатори та комутатори, що надає їм значні конкурентні переваги. Особливу увагу варто звернути на їх радіопродукти з розширеними можливостями, такими як формування променя на основі сценаріїв та розгалуження мережі, а також управління мережею та автоматизація з використанням штучного інтелекту. Висока технологічна експертиза та інноваційний підхід до розробки обладнання роблять Huawei ключовим гравцем у сфері мережевих технологій.

Ericsson, нарівні з Huawei та Samsung, входить до числа провідних постачальників обладнання для мереж 5G. Їхні технологічні рішення базуються на базових діапазонах, радіопроцесорах та платформі обробки радіодоступу, відомій як Ericsson Radio System (ERS). Компанія пропонує комплексні рішення для розгортання як архітектури NSA, так і SA 5G, зокрема, останнє може здійснюватися віддалено через ERS.

Окрім цього, Ericsson зосереджується на інтеграції штучного інтелекту (AI) у свій портфель рішень. Вони вважають, що AI може бути використаний для підтримки операторів у трьох основних сферах підвищення продуктивності: проектування мережі, оптимізація мережі та розробка алгоритмів RAN.

Незважаючи на свою лідерську позицію, у портфоліо Ericsson відсутні деякі ключові компоненти, які присутні в асортименті їхніх конкурентів. Наприклад, компанія має обмежений вибір радіостанцій і повільніше розвивається у сфері функціональності порівняно з іншими гравцями. Особливо це стосується кількості продуктів MIMO, ширини смуги 400 МГц масивного MIMO і мікростанцій 5G.

Ericsson має великий досвід у телекомунікаційній галузі, відомий своєю високою якістю продукції та ефективною підтримкою клієнтів. Однак, важливо враховувати, що їх обладнання може бути вищою ціновою категорією порівняно з іншими постачальниками, що може вплинути на вибір з боку споживачів.

Intel активно зосереджується на розгортанні бездротових мереж 5G, зокрема, використовуючи набір Intel FPGA. Цей набір складається з різноманітних компонентів, включаючи широкий спектр конфігурованих вбудованих оперативних пам'ятей, високошвидкісних трансиверів, логічних блоків і маршрутизаторів. Вбудована інтелектуальна власність, поєднана з програмним забезпеченням для проектування Intel Quartus Prime, дозволяє операторам ефективно тестувати різні сценарії реалізації архітектури CRAN та визначати найоптимальніші рішення віртуально, з меншими ризиками.

Nokia визнана світовим лідером у виробництві обладнання для бездротових мереж, включаючи передові рішення для мережі 5G. Їхні продукти охоплюють базові станції, антенні системи, оптичні мережі та програмне забезпечення, надаючи комплексні рішення для розгортання мереж CSP у всьому світі.

Широкий асортимент продуктів Nokia для радіодоступу AirScale Radio Access підтримує всі технології радіодоступу, включаючи мережі 5G NSA і SA. Спеціально розроблені рішення, такі як AirSpan Cloud RAN, віртуалізують як центральний, так і розподілений блоки 5G, забезпечуючи неймовірну гнучкість, пропускну здатність та можливість хмарної обробки даних у реальному часі.

Nokia відзначається своїм значним досвідом у сфері телекомунікацій та надійною якістю своєї продукції, що забезпечує їм визнання від клієнтів у всьому світі.

2.4 Оцінка покриття радіосигналом

Базові станції та контролери в системах GSM RAN (Radio Access Network) використовуються для трансляції та управління радіозв'язком у базових мережах, які можуть використовувати як комутацію каналів, так і пакетну комутацію.

З розгортанням нових мобільних мереж, таких як UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) і LTE (Long-Term Evolution), оператори почали впроваджувати більш складні специфікації для RAN. Ці специфікації можуть включати в себе покращені методи передачі даних, оптимізацію каналів зв'язку, підвищення пропускної здатності та підтримку нових технологій зв'язку.

Зона покриття мобільного стільника залежить від різноманітних факторів, таких як потужність передавання стільника, характеристики використаної антени, частота несучої хвилі та розташування стільника. Вона визначається як область, в якій можна отримати стійкий зв'язок з мережею мобільного зв'язку. Зона покриття може бути виміряна в термінах радіуса стільника або межі його дії, і це визначає максимальну відстань від стільника до кінцевого користувача (UE), за якою можливий прийом сигналу з необхідною якістю.

Концепція мереж 5G передбачає використання малих стільникових станцій для забезпечення кращої ефективності спектру, зниження затримок та забезпечення високої швидкості передачі даних. Ці малі станції працюють у високочастотних діапазонах, таких як міліметрові хвилі, і мають зменшений радіус покриття, що становить близько 100 метрів. Щоб забезпечити велику територію покриття, необхідно встановлювати багато таких малих станцій.

Проте, для уникнення міжстанційної інтерференції важливо дотримуватися мінімальної відстані між станціями, відомої як міжстанційна відстань. Це означає, що станції повинні бути розташовані на достатньому віддаленні одна від одної. Залежно від зони покриття та вимог до мережі, може знадобитися різна кількість малих станцій. Наприклад, для покриття певної області може знадобитися 6 станцій на одному рівні, 12 на другому рівні, 18 на третьому і так далі, залежно від конфігурації мережі та її потреб.

Проблема покриття є ключовою в розвитку мереж 5G, і для її вирішення висуваються різноманітні алгоритми та методи. Однією з пропозицій для покращення покриття в стільникових мережах є використання гетерогенних мереж (HetNets) та малих стільникових станцій. Вони допомагають підвищити ефективність та надійність мережі.

Для оптимізації покриття мережі в 5G використовуються різні методи, включаючи машинне навчання, лінійне програмування та математичний аналіз. Оптимізація здійснюється з урахуванням таких факторів, як пропускна здатність, вартість розгортання та зона покриття.

Паралельно з цими аспектами, важливо розробляти алгоритми оптимізації розподілу ресурсів, якості обслуговування (QoS), спектральної ефективності та пропускної здатності. Традиційні методи множинного доступу не завжди можуть відповісти на виклики 5G, такі як висока швидкість передачі даних, низька затримка та масове підключення.

Використання неортогонального множинного доступу та технології "пристрій-пристрій" (D2D) є одними з методів, що дозволяють зменшити складність системи, покращити коефіцієнт бітових помилок, пропускну здатність і надійність мережі.

Планування бездротової мережі 5G та подібних систем має за мету мінімізувати інфраструктуру, таку як базові станції (BS) і ретрансляційні станції (RS), а також витрати на експлуатацію. Одним з ключових завдань цього планування є підвищення пропускної здатності мережі в густонаселених міських центрах.

Розроблений план мережі передбачає використання трьох типів вузлів: користувацького обладнання, ретрансляційних станцій (RS) та базових станцій (BS). У цьому плані загальні витрати на обладнання включають вартість розгорнутих BS і RS у відповідних обраних місцях, де їх розташування визначається з урахуванням оптимального покриття та ефективного використання ресурсів.

Цей підхід дозволяє ефективно використовувати інфраструктуру мережі, забезпечуючи високу пропускну здатність та надійність зв'язку, при цьому мінімізуючи витрати на обслуговування та експлуатацію.

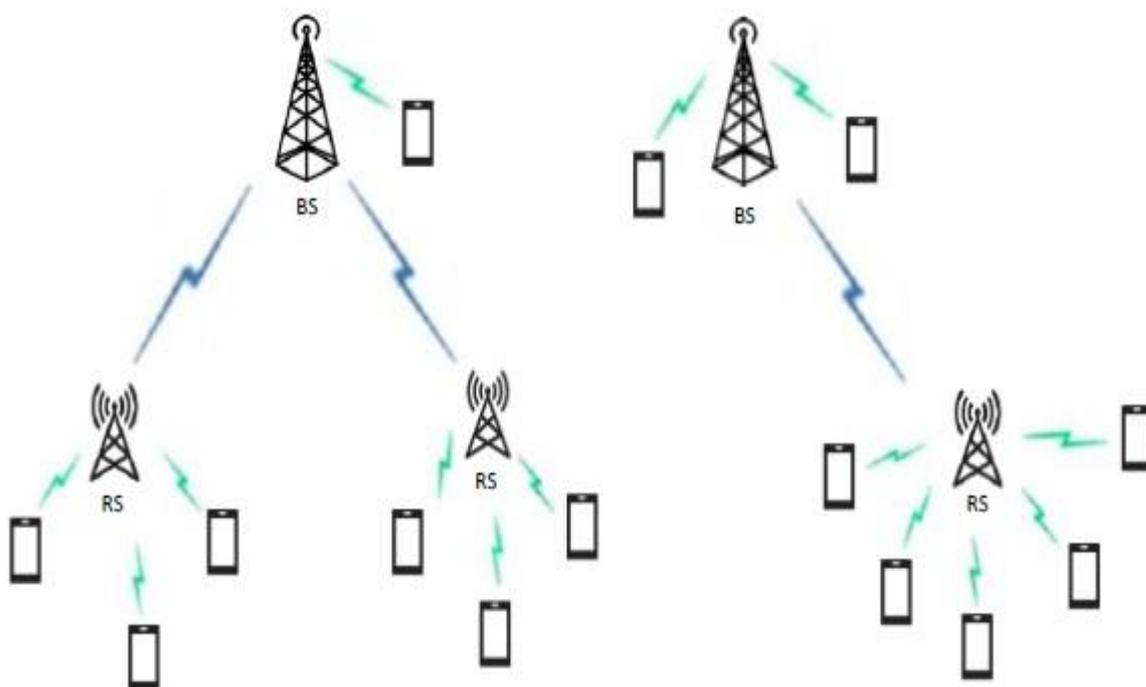


Рисунок 2.4 – Стільникова мережа 5G, методи та алгоритми планування

Функція витрат для планування бездротової мережі 5G враховує різні аспекти, такі як апаратні витрати на обладнання (як базові, так і ретрансляційні станції), експлуатаційні витрати та енергетичні витрати. Особлива увага приділяється втратам, які виникають при відсутності прямого зв'язку між вузлами, оскільки це може призвести до збільшення споживаної енергії та погіршення якості зв'язку.

Урахування таких витрат дозволяє оптимізувати мережу з точки зору ефективного використання ресурсів та забезпечення надійного та стабільного бездротового зв'язку. Додатково, врахування енергетичних витрат дозволяє спрямувати увагу на питому енергоефективність мережі, що є важливим аспектом в сучасних технологіях з огляду на їх вплив на навколишнє середовище та економічну ефективність.

$$W_1 (\sum_{b \in B} C_b^B Y_b^B + \sum_{r \in R} C_r^R Y_r^R) + W_2 (\sum_{b \in B} \sum_{r \in T} l_{b,t}^{BT} x_{b,t}^{BT} + \sum_{r \in B} \sum_{r \in T} l_{r,t}^{RT} x_{r,t}^{RT} + \sum_{b \in B} \sum_{r \in R} l_{b,r}^{BR} x_{b,r}^{BR}) \quad (2.1)$$

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 базова станція (BS) або ретрансляційна станція (RS) в місці розташування;

– l – ризик втрати шляху, пов'язаний з каналом зв'язку.

Топологічні обмеження:

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

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

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

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

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

Топологічне обмеження забезпечує, що кожна ретрансляційна станція RS, якщо вона розгорнута, буде підключена тільки до однієї базової станції BS. Це означає, що RS може функціонувати як проміжний вузол, який передає сигнал від користувача до BS, забезпечуючи таким чином покращення якості сигналу та покриття в мережі. Це обмеження допомагає оптимізувати розташування RS та забезпечити ефективну роботу мережі 5G.

Для кожного існуючого з'єднання між базовою станцією BS і ретрансляційною станцією RS в мережі 5G, значення потоку даних повинно бути

в межах максимальної пропускної здатності цього з'єднання. Це означає, що обсяг даних, які передаються між BS і RS, не може перевищувати максимальної пропускної здатності цього з'єднання. Це важливе обмеження, яке допомагає забезпечити ефективне використання ресурсів мережі і уникнути перевантаження зв'язку.

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

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

Обмеження на навантаження полягає в тому, що для кожного існуючого з'єднання між базовою станцією BS і ретрансляційною станцією RS в мережі 5G, потік даних не може перевищувати максимальної пропускної здатності цього з'єднання, яка представлена як m , верхньою границею можливої швидкості потоку інформації.

Це означає, що обсяг даних, які передаються між BS і RS, не може перевищувати максимальної пропускної здатності m каналу зв'язку між ними. Таке обмеження допомагає забезпечити ефективне використання ресурсів мережі і уникнути перевантаження каналу зв'язку між BS і RS.

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

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

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

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

де u – запит на трафік для абонентських пристроїв.

Обмеження встановлюються з метою уникнення перевантаження та задоволення потреб кожного користувача в мережі 5G. Це гарантує, що кожен користувач отримує достатню пропускну здатність через базові станції (BS) або ретрансляційні станції (RS).

В мережах 5G можна очікувати більш швидке і надійне радіопокриття порівняно з попередніми технологіями, завдяки використанню нових методів модуляції сигналу та використанню широкосмугових частот.

Проте, важливо враховувати, що дальність покриття може бути обмеженою, особливо у високочастотних діапазонах, через властивості сигналу, що менш проникають через перешкоди та мають коротшу дальність. Також, точне покриття 5G може відрізнятися в залежності від розташування базових станцій, щільності населення та фізичних характеристик оточуючого середовища. У центральних районах великих міст, де є велика концентрація користувачів, можна очікувати широкого покриття 5G завдяки багатоцільовим базовим станціям. Однак, на околицях міста або в сільських районах, де населення менше, інфраструктура 5G може бути менш розвиненою або навіть відсутньою через економічні або технічні обмеження.

Крім того, високочастотні діапазони 5G, такі як міліметрові хвилі, мають обмежену дальність покриття і вимагають більшої кількості базових станцій для забезпечення належного покриття. Це означає, що в місцях з великою густотою будівель або вуличних перешкод, таких як вузькі вулиці або високі будівлі, можуть виникати проблеми з проникненням сигналу, і для забезпечення стабільного покриття потрібно розміщувати базові станції набагато частіше

3 РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

3.1 Впровадження розподіленого розрахункового середовища MEC

З впровадженням мережі 5G виникає проблема задоволення вимог критичних до затримок сервісів. Спочатку розбиття мережі на сегменти та удосконалення RAN вважалися ефективними методами зменшення затримок у порівнянні з мережами попередніх поколінь. Однак через хмарний характер мереж і час, необхідний на фізичну передачу даних, стало очевидно, що для відповіді на вимоги до низької затримки, сервіси повинні бути перенесені на периферію мережі. У зв'язку з цим вивчається можливість інтеграції периферійних обчислень з множинним доступом ETSI (MEC) і 5G як можливого рішення цієї проблеми.

Граничні обчислення з множинним доступом (MEC) – це стандарт, розроблений Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI), який забезпечує обчислювальну інфраструктуру на периферії мережі. Цей підхід полягає в розміщенні вузлів, відомих як хости MEC, якомога ближче до кінцевих користувачів. Це дозволяє розгортати обчислювальні ресурси безпосередньо в мережі, що забезпечує швидкий доступ до обробки даних і реагує на вимоги до низької затримки в сучасних мережах, зокрема в контексті мережі 5G.

Системи MEC відіграють важливу роль у розвитку мереж 5G. Вони дозволяють розміщувати обчислювальні ресурси та сервіси ближче до кінцевих користувачів у мережеских вузлах, таких як базові станції та бездротові точки доступу. Це має кілька важливих переваг.

По-перше, розміщення обчислювальних ресурсів ближче до кінцевих користувачів дозволяє зменшити затримки в мережі. Оскільки дані обробляються та аналізуються на мережевому краї, час, необхідний для передачі даних до центральних обчислювальних центрів та повернення результатів, значно скорочується. Це особливо важливо для застосунків, де низькі затримки є

критичними, наприклад, для віртуальної реальності, онлайн-ігор та технологій автономного водіння.

По-друге, МЕС дозволяє підвищити продуктивність для кінцевих пристроїв. Оскільки обчислювальні завдання виконуються ближче до користувачів, пристрої можуть виконувати складні завдання, такі як обробка великих обсягів даних або виконання штучного інтелекту, без значного навантаження на їх власні ресурси.

Це може поліпшити ефективність та тривалість роботи батареї для мобільних пристроїв.

МЕС націлюється на зниження затримок, переміщуючи обчислювальні та зберігальні ресурси з центральних обчислювальних вузлів до периферійних зон мережі. Основними перевагами МЕС є мінімальні затримки, висока пропускна здатність та доступність реального часу інформації про радіомережу, що може бути використано додатками для покращення обслуговування кінцевих користувачів. Багато мобільних додатків можуть скористатися МЕС, розподіливши 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.

Сценарії застосування МЕС демонструють широкий спектр можливостей, які вони можуть надати:

1. Оптимізація відео – програми, розгорнуті на периферії, можуть аналізувати радіосигнали, контролювати перевантаження ТСП та адаптувати швидкість передачі даних, що допомагає оптимізувати відео для кінцевих користувачів.

2. Доповнена реальність – відправляти користувачам допоміжну інформацію в режимі реального часу, швидко оброблюючи місцезнаходження та зображення з камер.

3. Розгортання МЕС на підприємстві – зменшення трафіку користувачів на корпоративну мережу, полегшуючи роботу та забезпечуючи ефективність.

4. Інтернет транспортних засобів – аналіз даних з датчиків транспортних засобів і придорожніх датчиків для виявлення небезпек та вчасного надання відповідної інформації.

5. Інтернет речей – агрегація та аналіз повідомлень, що генеруються пристроями IoT, для прийняття рішень у реальному часі.

6. Аналіз відеопотоку – обробка відео на периферії для зменшення трафіку, що надсилається в опорну мережу, і економії ресурсів пристроїв збору відео.

7. Чутлива обробка даних – забезпечення високопродуктивних обчислень та чутливої до затримок обробки даних, надсилання результатів на пристрої найближчим шляхом.

MEC базується на технології віртуалізації мережевих функцій (NFV), яка дозволяє використовувати один периферійний пристрій для надання обчислювальної потужності декільком пристроям. Це досягається шляхом створення віртуальних екземплярів обчислювальних ресурсів, таких як віртуальні машини, які можуть виконувати різні завдання одночасно. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати ресурси периферійного пристрою та забезпечувати обчислювальні потреби багатьох користувачів або пристроїв одночасно.

Сервери в MEC функціонують як компактні центри обробки даних, що використовують хмарні обчислення. Вони розгортаються поруч з базовими станціями та точками доступу, такими як Wi-Fi роутери. У MEC зазвичай встановлюється зв'язок між точками доступу та пристроями. Крім того, підтримується D2D-зв'язок між пристроями, що дозволяє здійснювати безпосереднє спілкування між ними.

Такий D2D-зв'язок забезпечує можливість однорангового спілкування між сусідніми вузлами та може використовуватися для балансування навантаження. Роль точок доступу полягає в наданні бездротового інтерфейсу для MEC та доступу до віддаленого центру обробки даних через транзитні канали зв'язку.

Сервери MEC використовують загальне обчислювальне обладнання для надання високопродуктивних послуг, що потребують малого часу відгуку та залежать від контексту, неподалік від кінцевих користувачів. Крім цього, ці

сервери можуть виконувати функції мережі та об'єднуватися з іншими для створення складних мережевих сервісів.

Для стандартизації MEC утворено спеціальну групу ETSI ISG. Було оприлюднено кілька стандартів, головним з яких є MEC. Цей стандарт містить глосарій термінів, пов'язаних із концепціями, архітектурними та функціональними аспектами в межах розподілених обчислень з множинним доступом. Крім того, MEC встановлює вимоги до периферійних обчислень з множинним доступом з метою полегшення взаємодії та розгортання.

3.2 Впровадження системи моніторингу

Мережа 5G відкриває нові перспективи для надання послуг, які охоплюють віддалений моніторинг та управління пристроями у реальному часі. Системи моніторингу є важливими елементами, які забезпечують інформацію про ефективність, надійність та стійкість мережевих ресурсів шляхом спостереження за базовою мережевою інфраструктурою. З цією метою існують різні засоби моніторингу, деякі з яких мають відкритий вихідний код.

Моніторинг мережі включає збір інформації про її продуктивність для виявлення проблем, таких як повільна робота, пошкоджені або недостатньо завантажені системи, а також для ідентифікації кінцевих користувачів мережевих ресурсів. Це також важливо для забезпечення дотримання параметрів угод про рівень обслуговування та якості обслуговування, наприклад, правил доступу до мережі та маршрутизації. Крім технічних аспектів, моніторинг також включає оцінку продуктивності мережі, яка відображає дотримання політик доступу, обміну даними та маршрутизації. Дані, що збираються, можуть різноманітно відображати аспекти продуктивності мережі, залежно від мети моніторингу та його цілей.

Моніторинг мережі збирає і аналізує інформацію про мережу, трафік, характеристики програм та користувачів з різною періодичністю. Це дозволяє якісно оцінити стан мережі для різних управлінських завдань, таких як

діагностика, пошук несправностей та розподіл навантаження. Система моніторингу повинна контролювати мережу та трафік, отримувати вимірювальні показники, такі як рівень агрегації, часові інтервали, використання пропускну здатності та точність. Зазвичай системи моніторингу розгортаються в стратегічних місцях мобільної мережі, на кордонах мережі або на вхідних та вихідних портах.

Розгортання системи моніторингу в мережі 5G, яка об'єднує мережеві, обчислювальні та зберігаючі дані у єдину інфраструктуру. Гнучкість цих систем важлива для адаптації до підключених пристроїв та систем, а також для спостереження за їхнім станом і трафіком у реальному часі.

Система моніторингу має забезпечувати доступ до моніторингової інформації для користувачів з різними адміністративними функціями та масштабами діяльності. З мережею 5G, яка відзначається великою складністю та обсягами даних, системи моніторингу повинні забезпечувати високий рівень деталізації та персоналізації збору, обробки та звітності даних. Крім того, система моніторингу повинна надавати спільний доступ до даних моніторингу на основі встановлених політик доступу для всіх учасників.

SDN та NFV – це два прогресивних підходи до проектування мереж, які забезпечують більшу гнучкість, програмованість та швидкість. Вони значно перетворюють уявлення про мережеві послуги. Мережева послуга тепер охоплює набір мережевих функцій, що взаємодіють за допомогою мережевих з'єднань. Ці з'єднання можуть бути як фізичними, так і віртуальними ресурсами. Однак спільна робота цих функцій може ускладнювати системи моніторингу через розподіленість та динамічність мережі.

Площина управління SDN – це ключовий елемент, який забезпечує глобальну видимість і збільшений контроль над трафіком в мережі. Завдяки централізованому керуванню з центральних контролерів і програмованим інтерфейсам мережевих компонентів, моніторинг мережі стає більш ефективним, економічним і менш складним. SDN дозволяє операторам мережі динамічно

налаштовувати маршрутизацію та керування трафіком, реагуючи на зміни в потребах мережі та умовах зв'язку.

NFV, у свою чергу, перетворює мережеву архітектуру, дозволяючи відокремлювати мережеві функції від фізичного обладнання. Це означає, що мережеві функції, такі як файрволи, маршрутизатори і балансувальники навантаження, можуть бути розгорнуті як програмні застосунки на стандартних серверах. Це спрощує розгортання та управління мережевими послугами, забезпечуючи більшу гнучкість та швидкість в реагуванні на потреби користувачів та зміни в мережевих умовах.

У сучасних мережевих середовищах існують різноманітні методи моніторингу з різними рівнями ефективності та деталізації. Використання протоколів моніторингу дозволяє збирати інформацію, надану мережевими елементами, для аналізу та оптимізації мережевої інфраструктури.

1. Простий протокол моніторингу мережі (SNMP) – цей протокол використовується для управління мережевими елементами та отримання високорівневої інформації про використання ресурсів. Наприклад, за допомогою SNMP можна моніторити використання пропускну здатності маршрутизаторів та комутаторів по портам, а також отримувати інформацію про пристрої, таку як використання пам'яті та завантаження процесора.

2. Віддалений моніторинг (RMON) – цей метод дозволяє обмінюватись даними моніторингу мережі між різними пристроями. RMON забезпечує додаткові можливості аналізу трафіку та моніторингу пристроїв, що допомагає виявляти проблеми та оптимізувати роботу мережі.

2. Netflow – цей протокол використовується для збору інформації про потоки IP-мережі та використання пропускну здатності. За допомогою Netflow можна отримати детальну статистику щодо використання мережевого трафіку, що дозволяє виявляти аномалії та здійснювати оптимізацію ресурсів мережі.

Розвиток SDN та NFV відкриває нові можливості для використання протоколу OpenFlow в моніторингу передусім мереж передачі даних, які використовують ці технології. Інтеграція OpenFlow з відомими традиційними

інструментами моніторингу може сприяти оптимізації процесу збору та аналізу даних мережі.

Цей підхід включає використання обладнання, що підтримує протокол OpenFlow, для збору атрибутів мережі, таких як статистика потоків та стан комутаторів. Ці атрибути можуть бути передані до інших інструментів моніторингу, таких як NetFlow або системи аналізу мережевого трафіку, для подальшого аналізу та використання. Такий підхід дозволяє поєднати переваги протоколу OpenFlow з традиційними інструментами моніторингу, що дозволяє забезпечити більш повне та ефективне відслідковування стану та використання мережевих ресурсів.

Мережі 5G мають обслуговувати велику різноманітність пристроїв з різними характеристиками та функціональністю, від мобільних телефонів і планшетних комп'ютерів до пристроїв Інтернету речей (IoT), тактильного Інтернету і автоматизованих транспортних засобів. Це ставить перед мережами 5G завдання автоматичного керування та безпеки для забезпечення конфіденційності та цілісності даних.

У контексті 5G важливо переосмислити системи моніторингу, щоб вони відповідали вимогам віртуалізації та використовували переваги гнучкості SDN і NFV. Це дозволить досягти ідеального балансу між витратами, надійністю та якістю обслуговування. Застосування SDN і NFV дозволить забезпечити динамічне керування мережевими ресурсами, а також швидке реагування на зміни в мережевих умовах і потребах користувачів. Такий підхід дозволить мережам 5G забезпечити найвищу продуктивність та ефективність в умовах зростаючих обсягів трафіку та різноманітних вимог користувачів.

Архітектура програмно-визначеного моніторингу (SDM) для стільникових мереж 5G створена з урахуванням потреб сучасних додатків безпеки, управління та моніторингу мережі. Розширений інтерфейс управління SDM надає можливість отримувати різноманітні дані про пакети, потоки та метадані, що є критичними для ефективного функціонування таких додатків.

Завдяки протоколу OpenFlow забезпечується можливість програмного керування комутаторами і збір інформації про пакети та потоки, що проходять через мережеві пристрої. Ці дані можуть містити різноманітну інформацію, таку як джерело та призначення IP-адреси, номери портів, протоколи передачі (TCP/UDP) та інші метадані, які є важливими для аналізу та забезпечення ефективності мережі.

Однак, для забезпечення оптимального функціонування цієї архітектури, важливо продумати не лише збір інформації, але і її аналіз, обробку та застосування відповідних стратегій управління мережею. Інтеграція з сучасними алгоритмами машинного навчання та штучного інтелекту може підвищити ефективність реагування на події в мережі та забезпечити її безпеку та стійкість до викликів.

Ці дані, зібрані за допомогою протоколу OpenFlow, мають великий потенціал для застосування в додатках безпеки, спрямованих на моніторинг мережі та виявлення потенційних загроз. Модулі управління, моніторингу та безпеки можуть використовувати ці дані для різноманітних цілей, від аналізу мережевого трафіку до виявлення вразливостей та атак.

Наприклад, збір інформації про джерело та призначення IP-адрес, номери портів та протоколи передачі дозволяє аналізувати мережевий трафік і виявляти аномалії або незвичайні патерни, які можуть вказувати на потенційні загрози. Крім того, дані OpenFlow можуть бути використані для контролю доступу, де аналіз трафіку допомагає встановлювати правила доступу до мережі на основі конкретних параметрів.

Поєднання цих даних з інтелектуальним аналізом дозволяє реагувати на потенційні загрози в реальному часі, реалізовувати політики безпеки та виявляти атаки. Такий підхід дозволяє забезпечити високий рівень безпеки мережі та захист від сучасних кіберзагроз.

Додатково до збору інформації від мережевих пристроїв, OpenFlow дозволяє також збирати дані від сенсорів або агентів, розташованих у мережі. Ці сенсори можуть відстежувати пакети або аналізувати мережевий трафік і

передавати цю інформацію через OpenFlow до контролера SDN або інших додатків безпеки.

Такий підхід дозволяє розширити спектр джерел інформації, доступної для аналізу та використання в мережевих додатках безпеки. Збираючи дані від різних джерел у мережі, таких як мережеві пристрої, сенсори та агенти, контролер SDN може отримати глибше розуміння стану мережі та потенційних загроз.

Ця можливість робить розширений інтерфейс управління SDN потужним інструментом для забезпечення безпеки та оптимізації мережевих служб. Використання даних з різних джерел дозволяє покращити виявлення загроз, реагування на події та вдосконалити стратегії захисту мережі.

Програмно-визначена архітектура моніторингу для мереж 5G, або SDM (Software-Defined Monitoring Architecture), є ключовим елементом у забезпеченні ефективного управління та безпеки в стільникових мережах наступного покоління. Ця архітектура розроблена з метою вдосконалення моніторингу, аналізу та управління мережевим трафіком, враховуючи особливості та вимоги 5G-технологій рис.3.1

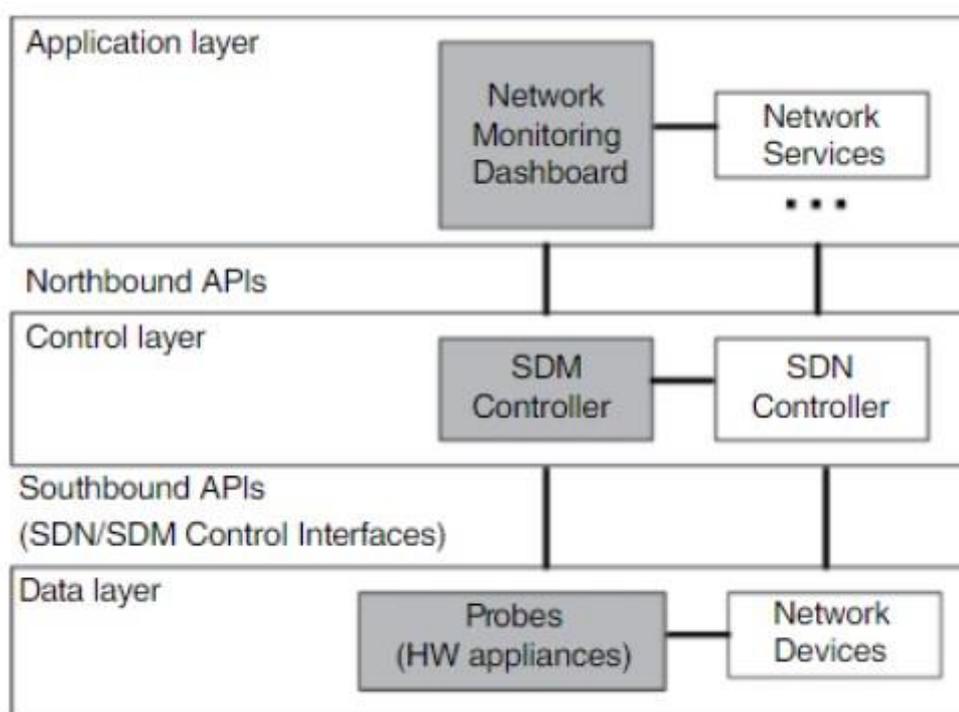


Рисунок 3.1 – Моніторинг мереж 5G на програмно-визначеній архітектурі

У програмно-визначеній архітектурі моніторингу для мереж 5G ключовим елементом є контролер SDN, який відповідає за збір і аналіз даних про мережевий трафік та стан мережі. Цей контролер співпрацює з мережевими пристроями, які підтримують протокол OpenFlow, для забезпечення програмного керування та моніторингу.

Завдяки програмно-визначеній архітектурі моніторингу можливий збір різноманітної інформації про мережевий трафік, включаючи дані про пакети, потоки, метадані та інші параметри. Ця інформація може бути використана для виявлення аномалій, атак, оптимізації мережевих ресурсів та вдосконалення стратегій безпеки.

Програмно-визначена архітектура моніторингу для мереж 5G відкриває нові можливості для ефективного управління та забезпечення безпеки в мережах нового покоління, забезпечуючи гнучкість, масштабованість та надійність в різних умовах експлуатації.

Основні характеристики програмно-визначеної архітектури моніторингу для мереж 5G включають:

- Гнучкість – SDM дозволяє адаптувати моніторингові і управлінські функції до змінних умов мережі 5G, таких як висока пропускна здатність, масштабованість та розподіленість.
- Централізований контроль – центральний контролер SDM координує процеси збору, аналізу та управління даними про мережевий трафік з різних джерел.
- Відкритий інтерфейс – SDM надає відкритий інтерфейс для взаємодії з різноманітними додатками безпеки, моніторингу та управління, що дозволяє легко інтегрувати рішення в екосистему мережі 5G.
- Збір інформації – SDM забезпечує збір різноманітної інформації про мережевий трафік, включаючи дані про пакети, потоки, метадані та статистику про шляхи проходження трафіку.

– Аналіз та виявлення загроз – зібрана інформація може бути використана для виявлення вразливостей, аномальних патернів трафіку та потенційних кіберзагроз.

– Управління мережею – SDM дозволяє використовувати отриману інформацію для оптимізації мережевих ресурсів, розподілу трафіку та реагування на зміни у мережі.

Ця архітектура створена з урахуванням вимог до безпеки, ефективності та масштабованості мереж 5G, і вона відіграє важливу роль у забезпеченні надійного та безпечного функціонування таких мереж.

4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

4.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку

Капітальні витрати на розробку становлять:

$$K=K1+K2 \quad (4.1)$$

де: K1– витрати на розробку, грн.;

K2– витрати на налагодження і дослідну експлуатацію програмного засобу на ПК, грн.;

4.2 Складові структури витрат на розробку

Складові структури витрат на розробку та реалізацію розробки розраховуються за формулою:

$$K1=Zz+Nz +Vi, \quad (4.2)$$

де: Zz – загальна зарплата розробників, грн;

Nz – нарахування на зарплату, грн;

Vi – інші витрати, грн;

Для проведення розрахунків зарплати (Zz) необхідно визначити спеціальність робітників, чисельність робітників і трудомісткість цих робіт. Для розробки проектного рішення потрібно чотири спеціалісти розробники:

- Керівник проекту(K);
- Студент-дипломник(СД);
- Консультант з економічне її частини(КЕ);
- Консультант з охорони праці(КОП);

Згідно з штатним розписом сума витрат на оплату праці робітників, з 01.01.2024р. складає:

- Керівник (викладач вищої категорії) – 107,93 грн/год;
- Консультант з економічної частини (викладач вищої категорії) – 107,93 грн/год;
- Консультант з охорони праці(викладач вищої категорії) 93,70 грн/год;
- Час витрачений керівником – $t_k = 14$ годин.
- Час витрачений консультантом з охорони праці – $t_{ko} = 1$ година.
- Час витрачений консультантом з економічної частини – $t_{ке} = 1$ година.
- Час витрачений студентом дипломником $t_c = 3 \times 50 = 150$ годин.

Витрати на оплату праці керівника проекту:

$$C_k = 14 \text{ роб.год.} \times 107,93 \text{ грн.год.} = 1511,02 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці консультанта з економічної частини:

$$C_{ке} = 1 \text{ роб.год.} \times 107,93 \text{ грн.год.} = 107,93 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці консультанта з охорони праці :

$$C_{ко} = 1 \text{ роб.год} \times 93,70 \text{ грн.год.} = 93,70 \text{ грн.}$$

Денна оплата студента дипломника :

$$1510/173 = 8,73 \text{ грн.}$$

1510 – стипендія

173 – місячний фонд робочого часу, годин.

Витрати на оплату праці студента дипломника

$$C_c = 8,73 \times 150 = 1310 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці робітників проекту становлять

$$Z_z = C_k + C_{ке} + C_{ко} + C_c = 1511,02 + 107,93 + 93,70 + 1310 = 3022,65 \text{ грн.}$$

Нарахування на зарплату визначаються в розмірі 22% від фонду оплати праці

$$N_z = Z_z \times 22\% = (3022,65 \times 22)/100 = 664,98 \text{ грн.}$$

де 22 – норматив нарахування на зарплату, %

Інші витрати V_i відображають витрати які, не враховані в попередніх статтях витрат. Ці витрати розраховуються згідно структури витрат(5%)

$$V_i = 0.05 \times (Z_3 + H_3) = 0.05 \times (3022,65 + 664,98) = 1843,93 \text{ грн.}$$

$$K_1 = Z_3 + H_3 + V_i = 3022,65 + 664,98 + 1843,93 = 5578,56 \text{ грн.}$$

4.3 Витрати на відлагодження розробки

Витрати на відлагодження та дослідну експлуатацію розробки

$$K_2 = S_{M-г.} \times t \quad (4.3)$$

де $S_{M-г.}$ – вартість однієї машино-години роботи конкретно ПК, грн./год.;
 t – машинний час, витрачений на накладку та дослідну експлуатацію програмного засобу, год.

Вартість 1 машинно-години роботи ПК розраховуємо за складовими витрат на таку роботу:

$$S_{M-г.} = (A + E_n) / \Phi_d \quad (4.4)$$

де A – амортизація використаного ПК, грн;

E_n – вартість електроенергії, яку споживає ПК, грн.;

Φ_d – дійсний час від лагодження програми, год.;

Розрахунок складових вартості 1 машино-години роботи ПК:

а) амортизація ПК становить

$$A = (K_T \times N_a) / 100 = (670,31 \times 15\%) / 100 = 100,55 \text{ грн.}$$

Де K_T – вартість використання ПК, грн..

N_a – норма амортизації ($N_a = 15\%$)

$$K_T = (K_c \times T_{\text{експ}}) / T_{\text{вик}} = (14625 \times 2,2) / 48 = 670,31 \text{ грн.}$$

де K_c – вартість компютерної системи, грн.

$T_{\text{експ}}$ – період експлуатації системи 2.2 місяців (50 робочих днів)

$T_{\text{вик}}$ – термін корисного використання 4 роки (48 місяців):

$$K_c = P_{\text{комп}} \times P\$ = 500 \times 41,00 = 14625 \text{ грн.}$$

де $P_{\text{комп}}$ – вартість комп'ютерної системи у доларах США;

$P_{\$}$ – курс долара США по курсу НБУ на момент купівлі системи.

б) вартість використання електроенергії розраховується за формулою:

$$E_n = (P \times T_f) \times \Phi_d \times K_{\text{вик}} = (0,25 \times 5,60) \times 150 \times 0,8 = 154,8 \text{ грн.}$$

де P – потужність обчислювальної системи, кВт ($P=0,25$)

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання ПК

T_f – ціна за 1кВт/год., грн. ($T_f = 5,16$ грн.)

Φ_d – дійсний час від лагодження програми

$$\Phi_d = \text{пр.д.} \times T_{\text{сер}} = 50 \text{ р.дн.} \times 3 \text{ год.} = 150 \text{ год.}$$

Де пр.д. – кількість робочих днів ПК

$T_{\text{сер}} = 3$ год – середній щоденний час роботи ПК

Отже вартість 1 машино-години роботи і від лагодження на ПК становить

$$S_{\text{м-г}} = (100,55 + 154,8) / 150 = 1,70 \text{ грн.}$$

Таким чином сумарні витрати на від лагодження і дослідну експлуатацію проектного рішення становлять:

$$K_2 = S_{\text{м-г}} \times \Phi_d = 1,70 \times 150 = 255 \text{ грн.}$$

Отже, капітальні витрати на розробку проектного рішення за формулою становлять:

$$K = K_1 + K_2 = 5578,56 + 255 = 5833,56 \text{ грн.}$$

Загальний кошторис витрат на розробку проектного рішення приведений в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Кошторис витрат на розробку проектного рішення

| Складові елементи витрат | Умовне позначення | Сума витрат, грн |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| Витрати на оплату праці | Зз | 3022,65 |
| Нарахування на зарплату | Нз | 664,98 |
| Інші витрати | Ві | 1843,93 |
| Разом | K_1 | 5578,56 |
| Витрати на відлагодження | K_2 | 255 |
| Разом $K = K_1 + K_2$ | K | 5833,56 |

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЕДІЯЛЬНОСТІ

5.1 Загальні положення

Визначення поняття охорони праці дається в ст. 1 Закону України від 14 жовтня 1992 р. «Про охорону праці». Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. В поняття охорони праці входять і всі ті заходи, що спеціально призначені для створення особливих полегшених умов праці для жінок і неповнолітніх, а також працівників зі зниженою працездатністю. Охорону праці і здоров'я громадян віднесено до пріоритетних напрямків соціальної політики України. Так, Конституція України одним з основних соціальних прав громадян визначає право кожного на належні, безпечні й здорові умови праці, встановлює, що використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється. Завдання охорони праці:

- проектування підприємств, технологічних процесів і конструювання обладнання з обов'язковим виконанням вимог охорони праці;
- знаходження оптимальних співвідношень між різними факторами виробничого середовища, що дозволяє забезпечити мінімум несприятливого впливу їх на здоров'я працівників;
- розробка конкретних заходів щодо покращення умов праці та забезпечення її безпеки на основі застосування у виробництві новітніх досягнень науки і техніки;
- застосування раціональних засобів захисту працівників від впливу несприятливих факторів виробничого середовища, а також втілення організаційних заходів, які нейтралізують або послаблюють ступінь їх впливу на організм людини;
- розробка та застосування методів і засобів оцінки ефективності заходів з охорони праці, що плануються і здійснюються.

5.2 Організація охорони праці на підприємстві

На сучасному етапі науково-технічного розвитку нашої держави питання охорони праці на підприємствах є одним із найактуальніших.

Належна організація охорони праці, яка відповідає вимогам нормативно-правових актів, є основним заходом профілактики та запобігання виробничому травматизму й професійній захворюваності. Крім того, кожним трудовим договором передбачаються зобов'язання роботодавця щодо забезпечення найманих працівників безпечними умовами праці.

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Для того щоб не поставити під загрозу існування підприємства, роботодавцю необхідно:

- створити службу охорони праці.

Згідно зі ст. 15 Закону така служба обов'язково повинна бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб відповідно до Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Держкомітету з нагляду за охороною праці від 15.11.2004 № 255. На підставі цього документа також має бути розроблено Положення про службу охорони праці цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників. На підприємствах із кількістю працівників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку.

- Розробити та затвердити на підприємстві положення, інструкції та інші акти з охорони праці.

Обов'язок роботодавця стосовно розробки та затвердження документів, які повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майдан-чиках і робочих місцях, передбачений ст. 13 Закону про охорону праці.

– Організувати проведення інструктажів з питань охорони праці.

Перед початком роботи нового працівника роботодавець згідно зі ст. 29 КЗпП зобов'язаний проінформувати його під розпис про умови праці, наявні на його робочому місці, у тому числі про всі небезпечні чи шкідливі виробничі фактори, які ще не усунуто, та про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівника, а також про можливі пільги та компенсації за роботу в таких умовах.

– Забезпечити навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Згідно зі ст. 18 Закону працівники, зайняті на роботах з підвищеною безпекою або там, де є потреба у професійному доборі, проходять спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці. Таке навчання з питань охорони праці може проводитись як безпосередньо на підприємстві, так і навчальним центром.

– Подбати про проведення медичних оглядів.

Згідно зі ст. 169 КЗпП роботодавець зобов'язаний за свої кошти організувати проведення попереднього (при прийнятті на роботу) та періодичних (протягом трудової діяльності) медоглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі. Також він зобов'язаний проводити щорічний обов'язковий медогляд осіб віком до 21 року.

– Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту.

На роботах із шкідливими й небезпечними умовами праці, а також на роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими температурними умовами, працівникам згідно зі ст. 164 КЗпП необхідно безкоштовно видавати спеціальний одяг, взуття та інші ЗІЗ.

– Провести атестацію робочих місць.

На підприємствах, де технологічний процес, використовуване обладнання, сировина, матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я працюючих, повинна проводитись атестація робочих місць за умовами праці. Така атестація повинна проводитися атестаційною комісією, склад і повноваження якої визначаються наказом по підприємству в строки, передбачені колективним договором, але не рідше одного разу на 5 років. Порядок проведення такої атестації передбачений постановою КМУ від 01.08.1992 № 442. Відомості про результати атестації заносяться в картку умов праці.

– Налагодити облік нещасних випадків.

Згідно зі ст. 22 Закону «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний організувати розслідування та вести облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій у порядку, встановленому постановою КМУ від 30.11.2011 № 1232. За результатами такого розслідування роботодавець повинен скласти акт за формою Н-5 (якщо нещасний випадок визнано таким, що не пов'язаний з виробництвом) або Н-1 (якщо він визнаний пов'язаним з виробництвом). Один із примірників повинен видатися потерпілому або іншій зацікавленій особі не пізніше трьох днів з моменту закінчення розслідування.

5.3 Заходи безпеки на робочому місці

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи.

Організація робочих місць повинна забезпечувати стійке положення та вільність рухів працівника, безпеку виконання трудових операції виключати або допускати лише в деяких випадках роботу в незручну позиціях, котрі зумовлюють підвищену втомлюваність.

Загальні принципи організації робочого місця:

- на робочому місці не повинно бути нічого зайвого; всі необхідні для роботи предмети повинні знаходитись поряд з працівником, але не заважати йому;
- ті предмети, котрими користуються частіше, розташовуються ближче, ніж ті предмети, котрими користуються рідше;
- предмети, котрі беруть лівою рукою, повинні знаходитись зліва а ті предмети, котрі беруть правою рукою, повинні знаходитись справа;
- якщо використовують обидві руки, то місце розташування інструментів вибирається з врахуванням зручності захоплення його двома руками;
- небезпечніше, з точки зору можливості травмування обладнання повинне розташовуватись вище, ніж менш небезпечне. Однак слід враховувати, що важкі предмети під час роботи зручніше опускати, ніж піднімати.

5.4 Санітарно-гігієнічні вимоги

Санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці під час виконання роботи мають відповідати визначеним нормативам:

- параметри мікроклімату у приміщенні забезпечували комфортне самопочуття організму. Параметри мікроклімату закритих приміщень унормовані за санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99.
- освітлення приміщень та робочих місць забезпечене відповідно до встановлених вимог. Відносно вікна робоче місце розміщено так, що природне світло збоку, переважно з лівого та забезпечувало коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Освітленість за штучного освітлення в площині робочої поверхні становила 300 – 500 Лк. Відношення яскравості робочих поверхонь було 3:1, а яскравість робочих поверхонь і стін (іншого обладнання) – 5:1. Використана система вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення.

– Дотримані вимоги до рівнів шуму та вібрації. Було дотримано допустимих рівнів звукового тиску в октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на робочих місцях встановлені санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99.

– Надходження свіжого повітря регульоване, виходячи із відповідних нормативних.

– Передбачений захист від шуму та вібрацій.

Дотримані заходи особистої гігієни на робочому місці (підтримання чистоти, миття рук тощо). Заходи особистої гігієни на робочому місці передбачають щоденне вологе прибирання, утримання у чистоті робочого місця, наявність на робочому місці тільки необхідних для роботи засобів. На робочому місці необхідно дотримуватись вимог правил внутрішнього трудового розпорядку.

ВИСНОВКИ

Дана дипломна робота фокусується на переході до архітектури 5G як відповідь на постійний ріст вимог до швидкості передачі даних та стабільності зв'язку. Головною метою є покращення якості обслуговування та послуг. Для досягнення цієї мети використовується комплексний підхід, що враховує різноманітні фактори, такі як ефективність, радіопокриття та технологічні рішення.

Робота вказує на потенціал мереж 5G у покращенні швидкості передачі даних та забезпеченні надійного зв'язку. Водночас вона підкреслює необхідність подальших досліджень і розробок для досягнення ще більш високого рівня ефективності та задоволення потреб користувачів. Такий підхід дозволяє забезпечити інноваційні рішення, які відповідають вимогам сучасного ринку та сприяють розвитку телекомунікаційної галузі.

Мережі MEC відіграють ключову роль у розвитку мереж 5G, забезпечуючи можливість розміщення обчислювальних ресурсів та сервісів ближче до кінцевих користувачів у мережевих вузлах, таких як базові станції та бездротові точки доступу. Це сприяє зменшенню затримок, підвищенню продуктивності, енергоефективності та надійності, а також забезпечує високу щільність зв'язку.

Розглянуті схема моніторингу мережі на основі SDN та модель планування стільникової мережі 5G з врахуванням функції витрат демонструють потенціал для ефективного використання ресурсів мережі та забезпечення високої якості обслуговування для кінцевих користувачів.

Незважаючи на переваги технологій 5G у швидкості та пропускній здатності, важливо вирішити проблеми безпеки, конфіденційності та справедливості для успішного впровадження. Мережа 5G створює революційну платформу, яка об'єднує в собі обчислювальні та комунікаційні можливості, відкриваючи нові можливості для широкого спектра додатків та послуг.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. N. Abdelkafi, R. Bolla, C. J. Lanting, A. Rodriguez-Ascaso, M. Thuns, and M. Wetterwald, «Understanding ICT standardization: Principles and practice», 2019.
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 al. 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.

КОПІЇ ОБОВ'ЯЗКОВИХ КРЕСЛЕНЬ