Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»
на тему:
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСІ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 5G ДЛЯ ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ
08-34.МКР.004.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка _____.

_____ Кирилюк С.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Васильківський М.В.

«____» _____ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМІ

_____Коваль Л.Г.

«____» _____ 2019 р.

ВНТУ ФІРЕТ ТКСТБ МКР 2019

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“___” _____2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кирилюку Сергію Олександровичу .
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету
керівник роботи Васильківський Микола Володимирович, канд. техн. наук, доцент,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Затримка обробки OpenFlow Switch – 5 мкс; 2. Затримка обробки контролера SDN – 0,5 мкс; 3. Швидкість прибуття мікро хмарного блоку λ_i – 15; 4. Затримка зв'язку всередині стільникової комірки – 100 мкс; 5. Пропускна здатність мережі зв’язку – змінна від 1Гбіт/с до 10Гбіт/с; 6. Пам’ять RAM мікро хмари – 1024 Мбайт; 7. Пам’ять RAM міні хмари – 2048 Мбайт; 8. Кругова затримка в мережі – 1 мс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз науково-дослідних робіт в сфері тактильного інтернету; 2. Граничні обчислення і тактильний інтернет; 3. Програмно-конфігуровані мережі SDN для мереж 5G і тактильного інтернету; 4. Результати моделювання мультирівневої хмарної системи мобільних граничних обчислень.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
1. Загальна структура системи тактильного Інтернету; 2. Багаторівнева система граничних обчислень для Тактильного Інтернету і мереж 5G; 3. Модель системи тактильного Інтернету на основі багаторівневої хмарної структури; 4. Хмарна структура мережі IoT/5G; 5. Базова структура мережі SDN з мультиконтролерами; 6. Трирівнева структура системи зв'язку п'ятого покоління 5G; 7. Структура системи мобільного зв'язку з кінця в кінець.

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МГР 2019

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Васильківський М.В., доцент кафедри ТКСТБ		
Економічна частина	Кавецький В.В., старший викладач		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	06.09.2019р.	
2.	Аналіз науково-дослідних робіт в сфері тактильного інтернету	13.09.2019р.	
3.	Граничні обчислення і тактильний інтернет	04.10.2019р.	
4.	Програмно-конфігуровані мережі SDN для мереж 5G і тактильного інтернету	25.10.2019р.	
5.	Результати моделювання мультирівневої хмарної системи мобільних граничних обчислень	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11.2019р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	29.11.2019р.	
9.	Нормоконтроль МКР	02.12.2019р.	
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12. 2019р.	
11.	Захист МКР ЕК	09.12. 2019р.	

Студент _____ Кирилюк С.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Васильківський М.В.
(підпис)

ВІДУСКРЕН ТКСТБ МКР 2019

РЕФЕРАТ

УДК 621.391

Кирилюк С. О. Підвищення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 144 с. На українській мові.

Рисунків 36, таблиць 16, бібліографія 78.

Розглянуто метод побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G з використанням мобільних граничних обчислень MEC і багаторівневої хмарної системи на основі міні хмар, які розташовуються на базових станціях мережі 5G, що забезпечує виконання вимог тактильного Інтернету по круговій затримці величиною в 1 мс.

Досліджено метод вивантаження трафіку з базової мережі на основі спільного використання технологій багаторівневої хмарної системи MEC, що включає рівень міні хмар, і взаємодію пристрій пристрій D2D.

Розглянуто метод побудови ядра мережі зв'язку п'ятого покоління для виконання вимог тактильного Інтернету за величиною затримки на основі технології програмно-конфігурованих мереж.

Досліджено методику оптимізації розміщення контролерів на мережі і розподілу комутаторів SDN по контролерам на основі алгоритму хаотичного рою сальп, який забезпечує найменшу тривалість обчислень.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

ABSTRACT

UDC 621.391

Kirilluk S. O. Improving the efficiency of 5G networks for tactile internet. Master's qualification work in the specialty "Telecommunications and Radio Engineering" - Vinnytsia: VNTU, 2019. - 144 p. In Ukrainian language.

Figures 36, tables 16, bibliography 78.

The method of construction of the fifth generation 5G communication network using mobile border computing MEC and multilevel cloud system based on mini clouds located at the base stations of the 5G network, which ensures the fulfillment of the requirements of tactile Internet with a circular delay of 1 ms, is considered.

The method of unloading traffic from the core network based on sharing technologies of multi-level cloud system MEC, including the level of mini clouds, and the interaction of the device device D2D.

The method of construction of the kernel of the fifth generation communication network for meeting the requirements of tactile Internet by the magnitude of the delay based on the technology of software-configured networks is considered.

The technique of optimization of placement of controllers on the network and distribution of switches of SDNs on controllers is investigated on the basis of the algorithm of chaotic swarm of salps, which provides the least duration of calculations.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 АНАЛІЗ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ В СФЕРІ ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ 12
1.1 Структура системи тактильного Інтернету 12
1.2 Завдання розробки 16
1.3 Додатки системи тактильного Інтернету 21
2 ГРАНИЧНІ ОБЧИСЛЕННЯ І ТАКТИЛЬНИЙ ІНТЕРНЕТ 26
2.1 Аналіз стану досліджень і робіт в предметній області 26
2.2 Багаторівнева система мобільних граничних обчислень для 5G і тактильного Інтернету 28
2.3 Математична модель системи для багаторівневих граничних хмар 33
2.4 Алгоритм вивантаження для багаторівневої системи граничних хмар . 36
2.5 Багаторівнева система мобільних граничних обчислень MEC з D2D взаємодіями IoT/5G мереж 42
2.8 Висновки до розділу 2 47
3 ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНІ МЕРЕЖІ SDN ДЛЯ МЕРЕЖ 5G І ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ 49
3.1 Основні положення і аналіз існуючих робіт 49
3.2 Інтелектуальне ядро мережі для 5G і тактильного Інтернету 61
3.3 Модифіковане ядро мережі на базі технології SDN з використанням мультиконтролера 69
3.3.1 Хаотичні карти 76
3.3.2 Алгоритм CSSA для оптимального числа контролерів і їх розміщення на мережі 77
3.4 Висновки до розділу 3 78
4 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ 80
4.1 Оцінка продуктивності мультирівневої хмарної системи мобільних граничних обчислень 80
4.2 Оцінка продуктивності мережі на базі технології SDN для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету 94
4.3 Оцінка продуктивності при використанні технології D2D в мережах IoT/5G 97
4.4 Висновки до розділу 4 99
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 100

ВПУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

5.1 Розрахунок витрат на проведення НДР 100
5.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів науково-дослідної роботи 107
5.3 Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР 108
5.4 Висновки до розділу 5 109
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ... 110
6.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії 110
6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони 110
6.1.2 Виробниче освітлення 111
6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання 115
6.1.4 Виробничі випромінювання 116
6.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки при проведенні удосконалення ефективності мереж зв'язку 5G для тактильного інтернету 116
6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць 116
6.2.2 Електробезпека 117
6.2.3 Пожежна безпека 117
6.3 Дослідження безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах надзвичайних ситуаціях 118
6.3.1 Дослідження безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії іонізуючого випромінювання 119
6.3.2 Дослідження безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу 121
6.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії загрозливих чинників НС 123
6.4 Висновки до розділу 6 124
ВИСНОВОК 125
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 127
ДОДАТКИ 134
Додаток А Технічне завдання 135
Додаток Б Загальна структура системи тактильного Інтернету 136
Додаток В Багаторівнева система граничних обчислень для Тактильного Інтернету і мереж 5G 137
Додаток Г Модель системи тактильного Інтернету на основі багаторівневої хмарної структури 138
Додаток Д Хмарна структура мережі IoT/5G 139

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Додаток Є Базова структура мережі SDN з мультиконтролерами…… …140
Додаток Е Трирівнева структура системи зв'язку п'ятого покоління 5G.. …141
Додаток Ж Структура системи мобільного зв'язку з кінця в кінець……. ...142
Додаток З Основні параметри для моделювання……. …….. 143
Додаток І Допустимі значення виробничих факторів……..144

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

ВСТУП

*Актуальність теми.*В другому десятилітті XXI століття відбуваються принципові зміни в телекомунікаційних технологіях, які потребували перегляду принципів побудови мереж зв'язку для забезпечення реалізації вимог цих нових технологій. Основу для нових вимог до мереж зв'язку склали вимоги концепції Інтернету Речей. Надзвичайно велике число Інтернет Речей, щільність яких відповідно до рекомендацій 3GPP може становити до 1 млн пристроїв на 1 кв. км, привела до необхідності створення нового покоління мереж зв'язку, яке змогло б забезпечити обслуговування трафіку від такого великого числа пристроїв із заданими характеристиками за якістю обслуговування та якості сприйняття. Такі мережі стали називати мережами зв'язку п'ятого покоління 5G і робота по їх стандартизації і створенню почалася ближче до середини другого десятиліття XXI століття. Важливо відзначити, що для реалізації завдань з побудови мереж зв'язку п'ятого покоління необхідно було навіть на теоретичному рівні використовувати всі доступні на той час і намічені до реалізації в доступному для огляду майбутньому технології. Тому, спочатку мережі зв'язку п'ятого покоління стали гетерогенними [1].

Аналіз останніх досліджень. Існує досить багато науково-дослідних робіт по концепції Інтернету Речей як такої, мереж зв'язку п'ятого покоління як мереж з понад високою щільністю, технології взаємодії пристрій-пристрій D2D (Device-to-Device), що є однією з ключових для реалізації понад щільних мереж, алгоритмам вивантаження трафіку для гетерогенних мереж, що дозволяє раціонально розподіляти ресурси в таких мережах і досить надійно захищати ядро мережі від перевантажень і т.д.

Однак до моменту початку досліджень в області представленої магістерської кваліфікаційної роботи з'явилася ще одна технологія, яка можливо ще більше вплинула на мережі зв'язку п'ятого покоління і наступні мережі, ніж Інтернет Речей. Йдеться про Тактильний Інтернет, при реалізації якого в мережі передбачається не тільки передача мови, відео та даних, але і тактильних відчуттів. Основною вимогою до мереж з боку концепції Тактильного Інтернету є забезпечення кругової затримки величиною в 1 мс. Згадуючи, що сучасні мережі розраховані на значення затримки в 100 мс, можна стверджувати, і це дійсно так, що реалізація програм Тактильного Інтернету вимагатиме перегляду основних принципів побудови мереж

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

зв'язку, звичайно ж, вже в умовах мереж зв'язку п'ятого покоління. У цій області науково-дослідних робіт поки що явно недостатньо і магістерська робота, метою якої є дослідження та розробка методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G, що забезпечують виконання вимог концепції Тактильного Інтернету, представляється актуальною [2].

Як вже зазначалося вище, в області Інтернету Речей і мереж зв'язку п'ятого покоління існує досить багато робіт вітчизняних і зарубіжних вчених: В.М. Вишневського, Б.С. Гольдштейна, В.Г. Карташевського, А.Е. Кучерявого, А.І. Парамонова, К.Є. Самуйлова, М.А. Сіверса, С.Н.Степанова, А.В. Рослякова, А.Е. Рижкова, В.О. Тихвинского, С.Д. Андрєєва, Р.В.Кірічка, Е.А. Кучерявого, А.С.А. Мутханни, J. Andrews, J. Araniti, M. Dohler, N. Himayat, F. Baccelli, S. Rangan, T. Rappoport, S. Singh і інших [1-5, 10].

У той же час в області Тактильного Інтернету дослідження тільки починаються, ще не вирішені питання навіть вибору структури мережі для реалізації додатків тактильного Інтернету. Проте, можна відзначити досить відомі роботи А.Є. Кучерявого, Е.А. Кучерявого, Р.В. Киричка, М.А. Маколкін, С.С. Владімітрова, А.І. Виборнова, І.А. Гудкова, А.С.А. Мутханни, M. Dohler, G. Fettweis, M. Maier, A. Aijaz, M. Simsek, J. Sachs, N. Nakamura, E. Steinbach [5-9, 11].

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

Предмет дослідження - реалізація вимог тактильного Інтернету в мережах 5G.

Мета та постановка завдання. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження і розробка методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G, що забезпечують виконання вимог концепції тактильного Інтернету.

Для досягнення поставленої мети в роботі послідовно вирішуються наступні завдання:

– аналіз концепції тактильного Інтернету і вимог, що пред'являються цією концепцією до мереж зв'язку,

– аналіз додатків і перспектив впровадження послуг тактильного Інтернету,

– розробка моделі і методи побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, що реалізує вимоги тактильного Інтернету, на основі використання технології мобільних граничних обчислень MEC,

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

– розробка методу вивантаження трафіку для мережі зв'язку п'ятого покоління з використанням спільно як технології MEC, так і технології D2D,

– розробка методів побудови інтелектуального ядра мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, що реалізує вимоги тактильного Інтернету, на основі технології програмно-конфігуруються мереж SDN при використанні централізованого контролера і мультиконтролерної системи,

– оптимізація розміщення контролера по мережі і розподілу комутаторів SDN по контролерам з використанням алгоритму хаотичного рою сальп.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Розроблено метод побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G з використанням мобільних граничних обчислень MEC і багаторівневої хмарної системи, що відрізняються тим, що вводиться новий рівень міні хмар, що розташовуються на базових станціях мережі 5G, що забезпечує виконання вимог тактильного Інтернету по круговій затримці величиною в 1 мс.

2. Розроблено метод вивантаження трафіку з базової мережі, що відрізняється від відомих спільним використанням технологій багаторівневої хмарної системи MEC, що включає рівень міні хмар, і взаємодій пристрій-пристрій D2D.

3. Розроблено метод побудови ядра мережі зв'язку п'ятого покоління, що відрізняється від відомих тим, що з метою виконання вимог тактильного Інтернету за величиною затримки ядро мережі побудовано на основі технології програмно-конфігурованих мереж, при цьому запропоновано використовувати як централізований контролер (для мереж щодо невеликої ємності), так і мультиконтролерну мережу.

4. Розроблено методику оптимізації розміщення контролерів на мережі і розподілу комутаторів SDN по контролерам, що відрізняється тим, що для оптимізації використовується алгоритм хаотичного рою сальп, і доведено, що запропонований алгоритм забезпечує найменшу тривалість обчислень в порівнянні з відомими алгоритмами: ігровою ненульовою сумою і ройовою зграєю сірих вовків і рою частинок.

Теоретична значимість роботи полягає, перш за все, в розробці нових методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління на основі технологій мобільних граничних обчислень MEC і програмно-конфігурованих мереж

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТБ МКР 2019

SDN, що дозволяють виконати вимоги тактильного Інтернету по ультрамалій затримці величиною в 1 мс. Введення рівня міні хмари на базових станціях і забезпечення взаємозв'язку міні хмар за допомогою високошвидкісних оптичних систем передачі дозволяє також використовувати нові методи вивантаження трафіку, що при спільному застосуванні з технологією взаємодії пристрій-пристрій D2D значно покращує характеристики якості обслуговування. Запропонована в роботі заміна традиційного еволюційного пакетного ядра мережі на мережу контролерів і комутатор SDN, в тому числі з мультиконтролерною архітектурою, істотно змінює традиційні теоретичні уявлення про ядро мережі в мережах зв'язку п'ятого покоління і ставить нові науково-дослідні завдання з аналізу та синтезу мереж 5G. Використання мета евристичного алгоритму хаотичного роду сальп для задач оптимізації розміщення контролерів SDN та розподілу комутаторів SDN по контролерам розширює науковий інструментарій, який використовується для вирішення завдань в області побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G.

Практичне значення. Практична значимість магістерської кваліфікаційної роботи полягає в створенні науково-обгрунтованих рекомендацій з планування мереж зв'язку п'ятого покоління 5G при реалізації вимог тактильного Інтернету по забезпеченню кругової затримки величиною в 1 мс. Крім того, методика розміщення контролерів на мережі і розподілу комутаторів SDN на основі алгоритму хаотичного рою сальп дозволяє отримати оптимальні рішення при проектуванні мереж зв'язку п'ятого покоління 5G. Самостійне практичне значення має розроблена в рамках магістерської роботи модифікація системи моделювання CloudSim для мереж SDN - CloudSimSDN.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі завдань використовувалися методи теорії телетрафіку, математичної статистики, теорії ймовірностей, оптимізації, імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання виконувалося за допомогою пакетів CloudSim і Matlab.

Основні положення, що виносяться на захист:

1. Метод побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G з використанням мобільних граничних обчислень MEC і багаторівневої хмарної системи, що включає рівень міні хмар, що розташовуються на базових станціях мережі 5G, що забезпечує виконання вимог тактильного Інтернету по круговій затримки величиною в 1 мс.

ВНТУ ФІРЕН ПКСТВ МКР 2019

2. Метод вивантаження трафіку з базової мережі на основі спільного використання технологій багаторівневої хмарної системи MEC, що включає рівень міні хмар, і взаємодій пристрій-пристрій D2D, що дозволяє на 15-35% зменшити ймовірність блокування в порівнянні з використанням технології D2D без технології MEC.

3. Метод побудови ядра мережі зв'язку п'ятого покоління 5G на основі технології програмно-конфігурованих мереж, що дозволяє зменшити кругову затримку більш, ніж на 80% в порівнянні з традиційним рішенням щодо пакетного еволюціонуванні ядра.

4. Методика оптимізації розміщення контролерів на мережі і розподілу комутаторів SDN по контролерам на основі алгоритму хаотичного рою сальп, що забезпечує найменшу тривалість обчислень в порівнянні з відомими алгоритмами: ігровою ненульовою сумою, зграєю сірих вовків і рою частинок.

Ступінь достовірності та апробація результатів. Достовірність основних результатів роботи підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, результатами імітаційного моделювання з використанням пакетів CloudSim і Matlab, широким обговоренням результатів магістерської роботи на конференціях, публікацією основних результатів МКР в рецензованих журналах. Основні результати МКР роботи доповідалися і обговорювалися на I Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем» СПІРН-2019.

Структура і обсяг МКР. Робота складається зі вступу, шести розділів з висновками по кожній з них, загального висновку, списку використаних джерел та 10 додатків. Загальний обсяг роботи – 144 сторінок, з них основного тексту 123 сторінок. Робота містить 36 рисунків і 16 таблиць. Список використаної літератури включає 78 джерел.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

1 АНАЛІЗ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ В СФЕРІ ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ

1.1 Структура системи тактильного Інтернету

Структура системи тактильного Інтернету включає в себе наступні основні домени: базовий, мережевий і виконавчий [12]. На рис.1.1 показана загальна структура системи тактильного Інтернету.

Базовий домен включає в себе оператора, тактильний пристрій (майстер-робот) і інтерфейс програми. У базовому домені може бути розгорнуто понад один тактильний пристрій. За допомогою методів кодування головний робот може перетворювати введені людиною дані в тактильний, а інтерфейс програми забезпечує взаємодію з віддаленою стороною.

Це дозволяє кінцевому користувачеві торкатися, відчувати, маніпулювати і контролювати об'єкти в віддалених середовищах. За допомогою головного робота оператор може керувати виконавчим доменом і, отже, віддаленими об'єктами.

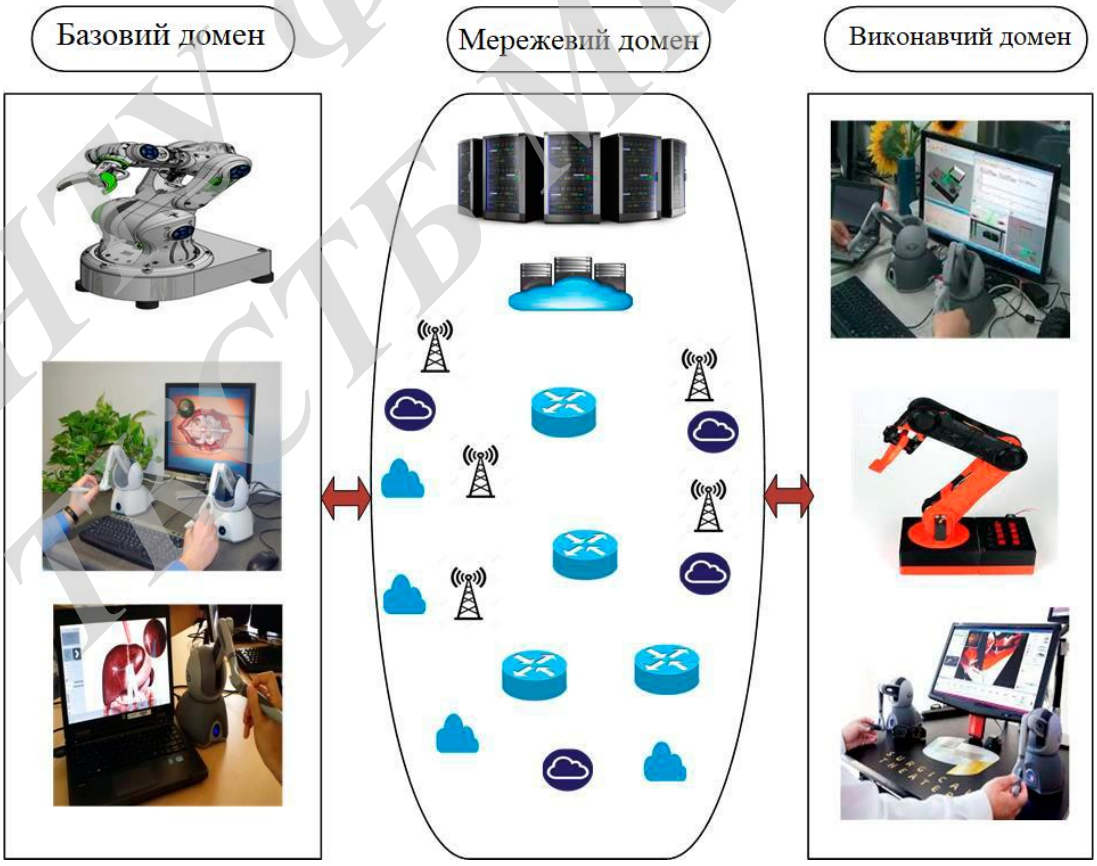


Рисунок 1.1 - Загальна структура системи тактильного Інтернету

ВНТУ ФІРЕН КСТБМКР 2019

Найпростішим прикладом тактильного пристрою є сенсорна панель в ноутбуках або сенсорні екрани в смартфонах. У цих пристроях користувач використовує дотик пальцем в якості команди для виконання певної операції. Однак такі пристрої являють собою односпрямовані тактильні пристрої, які відрізняються від двонапрямлених тактильних пристроїв, що використовуються в системі тактильного Інтернету.

Провідний пристрій в базовому домені підтримує тактильне сприйняття, яке пов'язане з активним дослідженням віддаленого середовища. Тому, тактильний пристрій, що використовується в базовому домені, здатний отримувати зворотний тактильний зв'язок, що діє як підказка для подальшого дослідження, наприклад, поверхні або геометричні властивостей контактуємого об'єкта [54]. Для моніторингу та взаємодії з віддаленим середовищем базовий домен може отримувати не тільки тактильний зворотний зв'язок, але і візуальний зворотний зв'язок через інтерфейс програми. Інтерфейс програми - це, в основному, програмний додаток, що використовується також для моделювання віддаленого середовища.

Існує два основних типи тактильних пристроїв, заснованих на тактильному сприйнятті: кінестетичні і тактильні пристрої. Кінестетичні пристрої можуть визначати додаток сили і місце розташування цього додатка, що потім передається людині-оператору [11]. Різноманітні існуючі кінестетичні пристрої можуть визначати рух для різних діапазонів, починаючи, наприклад, з руху суглоба пальця до повного руху руки. Тактильні пристрої забезпечують відчуття статичного малюнка поверхні, шорсткості, температури, які неможливо виявити при відсутності рецепторів на шкірі [11].

Головний тактильний пристрій базового домену - це тактильний пристрій з певним ступенем свободи DoF (Degree of Freedom). Набір тактильних відчуттів і можливості взаємодії тактильного пристрої залежать, в основному, від ступеня свободи пристрої DoF. Тактильний пристрій визначає і відстежує фізичні маніпуляції кінцевого користувача, які надходять на входи пристрою, і забезпечують кінцевого користувача реальними відчуттями дотику в якості вихідних даних. В якості вхідних параметрів тактильних пристроїв можуть використовуватися розташування і орієнтація, а для формування вихідних параметрів можуть бути застосовані компоненти сили і крутного моменту. Всі ці тактильні пристрої можуть відрізнятися з точки зору ступенів свободи DOF, механічних характеристик,

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

робочого простору, можливих входів і виходів, інтерфейсів і максимального діапазону сили [59].

Виконавчий домен є віддалено розташованим доменом, який включає виконавчий пристрій або телеоператора, що функціонують в цьому віддаленому середовищі. У віддаленому середовищі можна використовувати безліч виконавчих пристроїв, які працюють разом або незалежно один від одного для вирішення спільних або різних завдань [55]. Ведені пристрої використовують тактильний пристрій з певним ступенем свободи, а взаємодіють з провідними пристроями базового домену. У додатку А представлений список поширених на сьогоднішній день на ринку доступних тактильних пристроїв з основними функціями і додатками для кожного пристрою.

Мережевий домен займає центральне положення в структурі системи тактильного Інтернету. Він являє собою середовище для передачі даних в обох напрямках. Мережевий домен забезпечує інфраструктуру для передачі кінестетичних і тактильних даних [13]. Кінестетичні дані містять інформацію про силу і місцезнаходження, в той час як тактильні дані містять інформацію від сенсорів і інших датчиків [17].

Для досягнення дуже високої доступності і надійності системи, а також ультра малої затримки, необхідної для додатків тактильного Інтернету, вимоги до складових системи дуже високі з точки зору контексту, контенту і мобільності [30]. Тому, повинна бути виконана відповідна системна розробка для мережі тактильного Інтернету, забезпечує встановлення з'єднань між базовим і виконавчим доменами з необхідними параметрами. Основною проблемою при цьому, як уже зазначалося вище, є кругова затримка величиною в 1мс.

У магістерській роботі це розглядається як основне завдання, яке повинна бути вирішена з використанням сучасних і перспективних технологій телекомунікацій. Це завдання має бути вирішена також в умовах необхідності забезпечення передачі мови і даних, включаючи відео, відповідно до заданих вимог для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і в умовах впровадження концепції Інтернету Речей, яке вимагає підключення дуже великого числа пристроїв.

В роботі для вирішення цих складних завдань пропонується, щоб при побудові мережевого домену були використані нові технології, такі як програмно-конфігуровані мережі (SDN), віртуалізація мережевих функцій

ВНТУ ФІРЕН ГКСТВ МКР 2019

(NFV), мобільні граничні обчислення (MEC), взаємодії пристрій-пристрій (D2D) і програмно-конфігуроване радіо (SDR). Впровадження мережі зв'язку п'ятого покоління 5G може допомогти в реалізації мережевого домену системи Tactile Internet, якщо спочатку врахувати вимогу по круговій затримки величиною в 1мс [35].

Систему тактильного Інтернету можна розглядати як тришарову систему, засновану на структурі мережі 5G, запропонованої NGMN [13]. Як показано на рис. 1.2, в цій структурі розділені апаратне і програмне забезпечення, а для сумісності послуг на рівні додатків використовуються інтерфейси прикладного програмування (API).

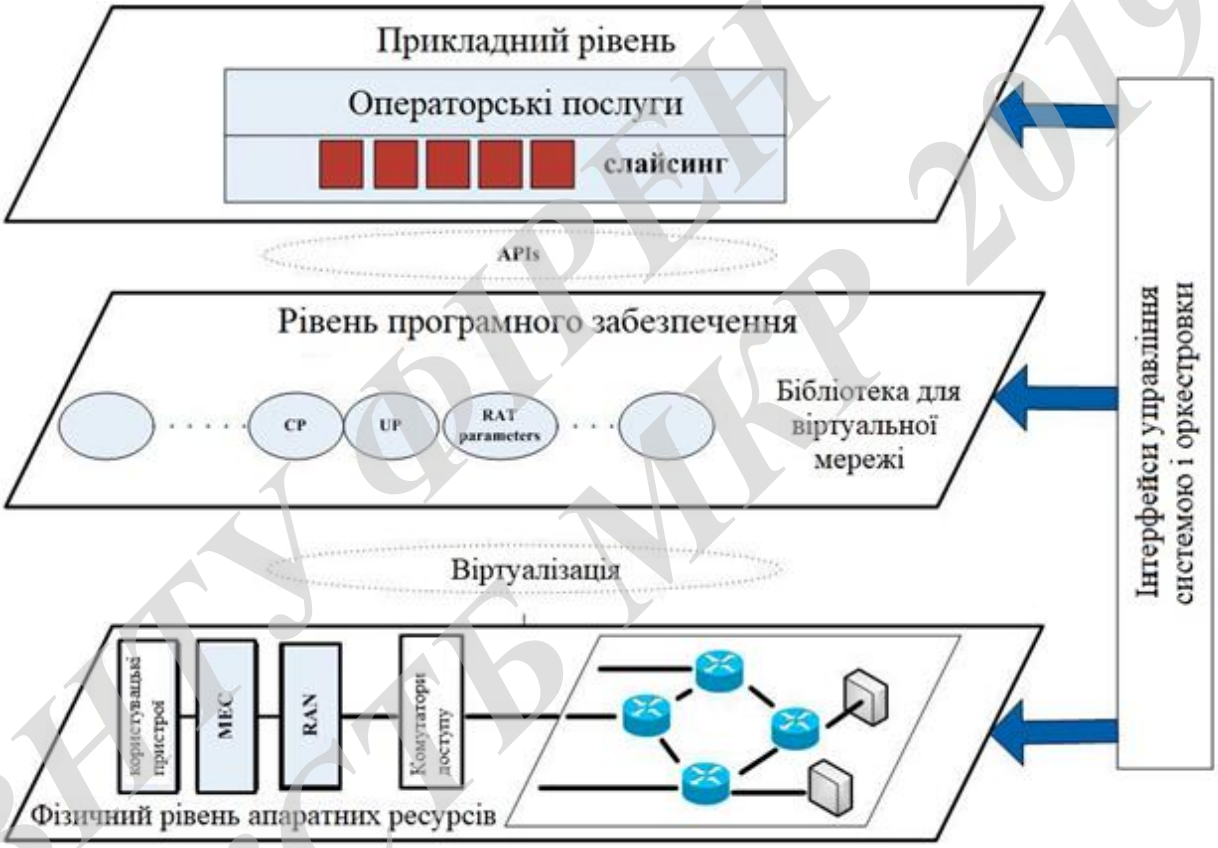


Рисунок 1.2 - Основні рівні системи тактильного Інтернету

Перший рівень - це рівень апаратних ресурсів, який включає інфраструктуру мережі з необхідними граничними хмарами. На другому рівні встановлюється програмне забезпечення, тут же розміщуються бібліотеки для всіх функцій, необхідних в мережі. Ці бібліотеки є програмними функціями і модулями, які можна використовувати в необхідному місці на мережі. Крім того, на цьому ж рівні розміщуються параметри радіодоступу та інші параметри, необхідні для конфігурації

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

мережі. І, нарешті, прикладний рівень, на якому визначені сервіси і додатки, необхідні системним операторам мережі.

Три рівня системи пов'язані через інтерфейс управління системою і оркестровки. Цей інтерфейс відповідає за управління роботою перших двох рівнів. Інтерфейс управління та оркестровки підключений до першого рівня через API для виконання завдань, налаштування системи і моніторингу стану і продуктивності. Програмне забезпечення та параметри другого рівня також можуть бути обрані в будь-який час керуючим інтерфейсом через API. Взаємодія між прикладним рівнем і інтерфейсом управління і оркестровки дозволяє інтерфейсу вибирати відповідний мережевий слайс для кожної програми або зіставляти його з існуючими слайсами [13].

1.2 Завдання розробки

У системі тактильного Інтернету є багато проблем з розробкою, пов'язаних з системними вимогами. Ці проблеми включають в себе наступні системні питання:

1. Наскрізна затримка: Тактильний Інтернет розглядається як наднадійний варіант надання послуг з ультра малою затримкою (uRLL) в мережах зв'язку п'ятого покоління 5G / IMT2020 [15]. Тактильний інтернет вимагає кругову затримку в 1мс, що в 100 разів менше, ніж в існуючих пакетних мережах зв'язку загального користування. Останні версії систем стільникового системи четвертого покоління 4G дозволяють досягти значення в 15мс. У той же час в першій версії 5G, як очікується, може бути досягнуто значення кругової затримки в 5 мс [37]. Тактильний Інтернет же вимагає зменшити цю затримку до 1мс, для чого повинні бути розроблені нові методи побудови мереж зв'язку.

При максимальній кругової затримці в 1мс взаємодія H2M швидше за все, уникне великих проблем з кібер безпекою, що є одним з основних вимог для надійної системи тактильного Інтернету [18]. Кругова затримка включає в себе: затримку поширення, затримку передачі, затримка в черзі, процес кодування і декодування, процес маршрутизації, оптимізацію стека протоколів.

2. Надійність: Ця проблема пов'язана з необхідністю реалізації програм тактильного Інтернету в реальному часі. Система тактильного Інтернету повинна мати надвисоку надійність, що виражається у вимозі по

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

втраті пакетів на рівні 10-7 [29]. Це пов'язано з тим, що відносно висока ймовірність втрати пакетів може призводити до спотворених даних на стороні виконавчого домену. Останнє, в свою чергу, призведе до некоректної взаємодії з віддаленою стороною [18]. Існуючі протоколи передачі (наприклад, UDP і TCP) не можуть використовуватися для додатків тактильного Інтернету, особливо для додатків на основі тактильних даних, через необхідну надійність і затримку. Таким чином, для реалізації послуг тактильного Інтернету повинні бути розроблені нові протоколи.

3. Безпека: гетерогенний зв'язок через Тактильний Інтернет вимагає різних рівнів безпеки. Безпечний протокол Інтернет IPSec являє собою достатню основу для вирішення проблем безпеки, пов'язаних з більшістю традиційних різних програмах з'єднання, в той час як для додатків тактильного Інтернету та інших додатків (наприклад, доповненої реальності AR (Augmented Reality) і віртуальної реальності VR (Virtual Reality) повинні бути реалізовані нові підходи до безпеки, оскільки існуючі рішення не можуть бути ефективно використані [16]. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що реалізації сучасних методів безпеки, як правило, істотно впливає на величину затримки. Таким чином, питання безпеки та необхідні рівні безпеки для додатків тактильного Інтернету слід розглядати для кожного виду або комплекту програм з урахуванням обмежень по круговій затримці, необхідних для системи тактильного Інтернету для досягнення прийнятного рівня якості взаємодії з користувачем [17].

4. Прозорість сприйняття: тактильний Інтернет вимагає певного рівня взаємодії між базовим і виконавчим доменами. При цьому оператор повинен мати певний рівень досвіду для відповідного взаємодії з системою. Цей рівень досвіду відображає прозорість сприйняття функціонування системи тактильного інтернету, яка повинна бути адекватною вирішеним завданням [18].

5. Системна інтеграція з існуючими технологіями: тактильний Інтернет повинен бути інтегрований з мережами зв'язку п'ятого покоління 5G і реалізованої в цих мережах концепцією Інтернету Речей. Крім того, тактильний Інтернет повинен підтримувати поточні існуючі тактильні додатки при впровадженні нових.

6. Проблеми безпосередньо з тактильними пристроями: Haptic пристрої дозволяють користувачам відчувати, торкатися, маніпулювати об'єктами і управляти ними в віддалених реальних або віртуальних

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

середовищах. Головна особливість, пов'язана з ефективністю тактильних пристроїв, - це значення DoF, яке має бути якомога більше, щоб відповідати вимогам додатків тактильного Інтернету.

7. Кодування і декодування: на відміну, наприклад, від візуальних додатків, тактильні додатки є двонаправленими. Таким чином, обсяг даних, переданих в разі тактильного Інтернету, може бути значно вище, ніж в існуючих системах. Це відбувається через тактильний зворотній зв'язок, необхідний для створення замкнутої системи, і природи самого тактильного сигналу, який включає сукупність даних вимірювань (силу, положення, швидкість і крутний момент і т.д.). Тому, для ефективного стиснення тактильних даних на передавачі і правильного відновлення тактильних сигналів на приймачах потрібно гнучка і надійна схема кодування без необхідності частої повторної передачі пакетів.

Одним з найбільш ефективних методів кодування, використаних останнім часом в дослідженнях по тактильному Інтернету, є мережеве кодування NC (Network Coding). Найбільш поширеною формою NC, використовуваної для тактильних даних, є випадкове лінійне мережеве кодування (RLNC), яке функціонує на основі підходу ковзного вікна, а не на основі пакетів. Крім ковзного вікна, RLNC дозволяє виконувати перекодування в вузлах ретрансляції. Таким чином, цей метод забезпечує більш високу гнучкість і ефективність, ніж наскрізне або поетапне кодування. Більш того, об'єднання програмно-конфігурованих мереж SDN з мережевим кодуванням знижує швидкість повторної передачі пакета і наскрізну затримку, що доведено в [18].

Інший спосіб тактильного кодування - алгоритми стиснення в реальному часі. Ці алгоритми використовують механізми стиснення з втратами для тактильних даних, заснованих на дискретному косинусном перетворенні (DCT) або вейвлет-перетворенні (WT) [13].

8. Процес маршрутизації: тактильного інтернет пакети відрізняються від інших існуючих системних пакетів, оскільки тривалість пакета повинна становити максимум 33мкс, в той час як, наприклад, тривалість символу OFDM, використовуваного для LTE в два рази перевищує це значення [16]. Через обмеження для тактильних інтернет пакетів для тактильного трафіку необхідний надійний і спеціальний механізм маршрутизації. Використання інтелектуальної базової мережі на основі SDN/NFV дозволяє досягти необхідної продуктивності і впоратися з цими обмеженнями. Іншою

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

проблемою є число вузлів мережі, залучених до процесу взаємодії базового і виконавчого доменів системи тактильного Інтернету. У міру того як це число зменшується, природно, зменшується і наскрізна затримка. Таким чином, одним з основних аспектів при розробці алгоритмів маршрутизації для систем тактильного Інтернету є зменшення числа вузлів при організації взаємодії. Використання мобільних граничних обчислень, в основному, досягає цієї мети.

Основною проблемою серед цих обмежень є ультра мала кругова затримка, яка представляє собою головну перешкоду на шляху розвитку і реалізації системи тактильного Інтернету. Тактильний Інтернет вимагає кругову затримку в 1мс, що означає, що сума всіх затримок від передачі даних до прийому зворотного зв'язку на передавачі повинні складати максимально 1мс [16]. Тому, для реалізації програм тактильного Інтернету повинні бути знайдені такі системно-мережеві рішення, щоб вже на рівні побудови можна було б домогтися кругової затримки в 1мс і менш. Існуючі підходи до побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G все ж ще досить далекі від отримання кругової затримки в 1мс [17].

Взаємодія людських тактильних відчуттів може відбуватися в режимі реального часу, тільки якщо мережа забезпечить затримку менше, ніж відповідна фізіологічна константа часу [15]. У табл. 1.1 вказані різні фізіологічні константи часу для різних відчуттів людини [53]. Для кращого розуміння проблеми затримки в 1мс розглянемо приклад, наведений G.P. Fettweis в [53].

Таблиця 1.1 - Фізіологічні константи часу для різних відчуттів людини

Відчуття	Константа часу t
м'язове	1с
слухове	1000мс
візуальне	100мс
тактильне	1мс

Коли ми переміщаємо об'єкт на сенсорному екрані, максимальна затримка, при якій досягається непомітне зміщення між об'єктом, що рухається і людським пальцем, становить 1мс. Це можна інтерпретувати в такий спосіб: 1мс - час, протягом якого людський палець може переміщатися

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

на відстань 1 мм на сенсорному екрані, оскільки середня швидкість руху людського пальця на сенсорному екрані становить 1м/с. 1мм - це максимальна непомітна відстань між будь-якими двома зсувами, а більший зсув вже буде помітно.

У гетерогенних мережах зв'язку повинні бути розглянуті три основні затримки: затримка з кінця в кінець, затримка на рівні користувача і затримка при управлінні [24]. Затримка з кінця в кінець - це затримка від початку передачі пакету даних на прикладному рівні передавача до прийому даних на прикладному рівні приймача [35]. У неї входять всі затримки, а саме: затримка в черзі, затримка обробки, затримка обчислень, затримка передачі, затримка поширення, затримка повторних передач і затримка прийому. Кругова затримка включає в себе всі попередні затримки, а також затримку зворотного зв'язку. Кругова затримка, в основному, залежить від відстані і кількості вузлів мережі, що беруть участь в процесі взаємодії.

Завдання виконання вимог по величині затримки в 1мс накладає великі обмеження на системно-мережеві рішення з побудови мереж зв'язку. Наприклад, існуюча структура мережі не може бути використана, оскільки навіть остання версія мережі 4G може забезпечувати взаємодію з затримкою від краю до краю не менше, ніж 20мс [14]. Очікується, що в мережах зв'язку п'ятого покоління 5G за рахунок впровадження нових технологій телекомунікацій, таких як програмно-конфігуровані мережі (SDN), віртуалізація мережевих функцій (NFV) і мобільні граничні обчислення (MEC) можливо буде зменшити кругову затримку, але все-таки не до 1мс [36]. Великі надії покладаються на MEC, оскільки кінцевому користувачеві надається можливість обмінюватися даними з хмарою, розташованим на кордоні мережі (на мережі радіодоступу (RAN)) [3]. Це дозволяє використовувати всі можливості хмарних обчислень на відстані одного переходу від кінцевого користувача і, таким чином, зменшує кругову затримку. Переваги та інші сценарії розгортання систем тактильного Інтернету і 5G на основі MEC можна знайти в [39].

Затримка поширення - це затримка між передачею сигналу від ведучого пристрою базового домену до прийому його веденим пристроєм виконавчого домену. Тривалість цього часу, в основному, залежить від середньої відстані. При цьому, наприклад, світло може проходити за 1мс тільки 300 км в вакуумі і приблизно 200 км по оптоволоконним кабелях.

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТБ МКР 2019

Оскільки крім затримки поширення є і інші затримки, затримка в 1мс може бути досягнута тільки для взаємодій на відносно короткі відстані.

Як бачимо, через фундаментальні обмеження, максимальна відстань, яку світло може пройти за 1мс, становить 300км. Це означає, що відстань між передавачем і приймачем повинен складати не більше 150 км. При цьому потрібно, щоб не було ніяких інших затримок, що насправді, звичайно ж, далеко не так. При цьому така відстань може підійти для невеликих додатків, але для безлічі додатків і, в першу чергу, для тактильного Інтернету фундаментальні обмеження зажадають перегляду принципів побудови мережі.

1.3 Додатки системи тактильного Інтернету

Існує три парадигми взаємодії, які визначають різні покоління Інтернету. Перша парадигма визначає спілкування між людьми (H2H) - це Інтернет фіксованої мережі і наступний його розвиток, представлений мобільним Інтернетом. Друга парадигма визначає взаємодію між машинами (M2M) - це Інтернет речей (IoT). І, нарешті, нова парадигма - це та, яка визначає взаємодію людини з машиною (H2M) і представлена вона тактильним Інтернетом. Кожне покоління Інтернету визначає нові сектора в світовій економіці, надаючи нові послуги і виробляючи нові програмні та апаратні засоби.

Очікується, що Тактильний Інтернет зробить революцію в індустрії зв'язку через його величезний вплив на життя людини. Він буде широко застосовуватися в таких областях, як охорона здоров'я, включаючи дистанційну хірургію, промислову автоматизацію, віртуальну і доповнену реальність, ігри та освіту.

Хаптик (тактильні) взаємодії являють собою основні програми тактильного Інтернету. На рис. 1.3 представлені основні потенційні додатки концепції тактильного Інтернету, які включають в себе [38]:

а) Додатки в області охорони здоров’я:

Передбачається, що тактильний Інтернет допоможе медичному персоналу більш ефективно виконувати свою роботу за рахунок впровадження нових додатків і засобів, які не підтримуються традиційними мережами. Ці програми включають дистанційну реабілітацію, дистанційну діагностику і віддалену хірургію. Ці додатки зроблять висококваліфікованих

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

медичних фахівців та лікарів доступними в будь-якому місці, що істотно підвищить якість надання медичних послуг. Крім того, роботи зможуть виконувати складні операції (наприклад, неврологічні операції і операції на серці) з дистанційним управлінням досвідченого хірурга через тактильний Інтернет [12].

Рисунок 1.3 - Послуги тактильного інтернету

b) Додаток віртуальної і доповненої реальності (VR/AR):

Тактильний Інтернет допоможе динамічному вирішенню проблем віртуальної і доповненої реальності замість існуючих статичних рішень. VR можна розглядати як форму тактильного взаємозв'язку, яка буде надаватися через Тактильний Інтернет. Вимоги до затримки і надійності додатків VR/AR будуть підтримуватися тактильним Інтернетом, який, як очікується, досягне кругової затримки в 1мс, істотно більше, ніж потрібно додаткам VR (5 мс) [18].

c) Додатки індустріальної автоматизації:

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Управління замкнутим контуром більшості промислових автоматизованих систем вимагає затримки з кінця в кінець на датчик величиною в 1мс [13]. Це може бути досягнуто за допомогою системи тактильного Інтернету, а існуюча дротова система буде перетворена в бездротову або в систему доповненої реальності. Це дозволить більшою мірою автоматизувати процес виробництва.

d) Додатки роботів:

Останнім часом роботи починають приймати всі більшу участь в повсякденній життєдіяльності суспільства, і число впроваджених роботів і прибуток від них збільшуються з кожним днем. Тактильний Інтернет дозволить істотно поліпшити управління роботів з боку людини, особливо для програми дистанційного керування. Ультра мала затримка і надійність, необхідні роботам з дистанційним управлінням, із самого початку закладені в концепцію тактильного Інтернету.

e) Додатки безпілотних засобів:

Очікується, що Тактильний Інтернет допоможе в управлінні дорожнім рухом за допомогою датчиків транспортних засобів і систем допомоги водієві. Тактильний Інтернет може поліпшити як взаємодії між транспортними засобами (V2V), так і взаємодії між транспортними засобами та дорожньою інфраструктурою (V2I). Крім того, ультра мала затримка, необхідна для автомобільних додатків і безпілотних автомобілів буде, природно, підтримуватися тактильного Інтернетом [45].

f) Додатки для розумної енергетики:

Основною метою розумної мережі для енергетики є ефективний розподіл енергії при необхідної стабільності енергопостачання. Розумні енергосистеми контролюють стан генераторів і ліній електропередачі і керують роботою і тих, і інших. Крім того, контролюється споживання і тарифи користувачів. Тому, такі системи вимагають високої надійності і ультра малих затримок (наприклад, необхідна затримка з кінця в кінець синхронного спільного використання постачальників електроенергії становить 1мс) для передачі інформації між мережами. Тактильний Інтернет може підтримувати ці системи, досягаючи кругової затримки в 1мс з дуже низькими втратами (ймовірність втрати пакетів 0,001%) [56].

g) Інші програми:

Тактильний Інтернет матиме безліч додатків в різних областях, які не обмежуються раніше згаданими. Очікується, що Тактильний Інтернет буде

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

використовуватися в таких важливих галузях життєдіяльності людини як освіта, культура, професійні гри і безпілотні літальні апарати. Додатки тактильного Інтернету можуть допомогти дітям і дорослим з труднощами в розвитку їх освітніх навичок, відновлення навичок після травм або інвалідності [12].

Професійні ігри - це ігри, в яких розвага поєднується з іншими мотиваціями і завданнями [18]. При цьому саме ці мотиви представляють основну мету гри. Професійні ігри мають додатки в усіх важливих галузях життєдіяльності людини і суспільства, таких як: освіта, тренування, навчання і здоров'я. Оскільки кругова затримка являє собою важливий фактор, що визначає динаміку гри і її результати, Тактильний Інтернет може забезпечити найкращу підтримку для такого роду додатків. Крім того, Тактильний Інтернет може забезпечити побудову мережу зв'язку для керованих людиною безпілотних літальних апаратів з необхідною затримкою, надійністю і доступністю системи [27].

Тактильний Інтернет, як бачимо, буде підтримувати безліч додатків в різних областях, проте власне тактильна взаємодія буде основним додатком мережі з реалізацією вимог тактильного Інтернету [10]. У цьому підрозділі проведемо аналіз науково-дослідних робіт по хаптик (тактильним) взаємодій.

У людини є п'ять основних відчуттів. При цьому відчуття дотику поширюється по всьому тілу людини [11]. Людська шкіра може розрізняти чотири основних відчуття: тепло, холод, дотик і біль. Інші відчуття (наприклад, вібрація, шорсткість, м'якість і вологість) можна охарактеризувати як комбінацію двох або більше модальностей з чотирьох визначених модальностей основного відчуття [17].

Людина може фізично взаємодіяти з віддаленого середовища і керувати віддаленим об'єктом за допомогою хаптику взаємодії. Тактильні дані - це інформація, що представляє людські відчуття або сенсорну інформацію людини [54]. Тактильні дані складаються з двох основних типів: тактильних і кінестетичних. Шкіра людини використовує механічні рецептори, які виробляють тактильний вплив, що забезпечує тактильне сприйняття поверхонь. М'язи, суглоби і сухожилля людини використовують механічні рецептори, які генерують кінестетичну інформацію, що представляє рух і положення кінцівок [19]. Ці два основних механічних рецептора передають сенсорну інформацію в центральну нервову систему людини у вигляді нервових сигналів. Тому, у людини є загальне сприйняття,

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

засноване на зібраної інформації від аудіовізуальних модальностей з нейронними сигналами. Взаємодія людини з іншими або з навколишніми об'єктами в навколишньому середовищі відбувається на основі використання тактильних і кінестетичних відчуттів.

Хаптик взаємодії можна розділити на дві основні категорії в залежності від типу взаємодії людини з віддаленої середовищем. Перша категорія - це пасивний хаптик взаємодії, який відноситься до мереж тактильного Інтернету, призначеним тільки для дослідження віддалених середовищ і розподілених об'єктів в цих середовищах [10]. Ця категорія, в основному, розглядає сприйняття, а не маніпулювання об'єктами або поверхнями в віддалених середовищах.

Друга категорія - це активний хаптик взаємодії, для якого в мережах підтримуються додатки тактильного Інтернету, що забезпечують сприйняття і маніпулювання об'єктами і поверхнями в віддалених середовищах. При цьому в залежності від програми віддалена середовище може бути реальною або віртуальної [10].

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

2 ГРАНИЧНІ ОБЧИСЛЕННЯ І ТАКТИЛЬНИЙ ІНТЕРНЕТ

2.1 Аналіз стану досліджень і робіт в предметній області

Як вже зазначалося вище, мобільні граничні обчислення MEC є однією з ключових можливостей щодо забезпечення вимог для реалізації 5G і тактильного Інтернету. Технологія MEC об'єднує в собі переваги трьох технологій: мобільного інтернету, мобільних обчислень і хмарних обчислень [56]. Перша технологія мобільного інтернету з'явилася з розвитком бездротових і стільникових мереж. Друга технологія мобільних обчислень прийшла також з бездротових комунікацій. Мобільні обчислення включають в себе і апаратну реалізацію, і програмне забезпечення на основі протоколів, призначеного для користувача устаткування і мережевої інфраструктури [53]. Хмарні обчислення забезпечують ресурсами користувачів в будь-якому місці і в будь-який час там, де це потрібно користувачеві [11].

Мобільні граничні обчислення MEC є новою технологією, яка використовується стільниковими операторами для підвищення ефективності побудови мережі шляхом застосування вивантаження трафіку з операторської мережі в довколишні до користувача хмарні структури. Європейський Інститут стандартів в області телекомунікацій ETSI (European Telecommunications Standards Institute) є однією з основних організацій, стандартизує технологію MEC [13]. ETSI створив спеціальну групу з промисловою специфікацією ISG (Industry Specification Group) для досліджень і стандартизації технології MEC. При цьому MEC визначається як напрямок використання мобільних хмарних обчислень на кордонах мобільних мереж. Вважається, що використання мобільних хмарних обчислень на кордонах мережі радіодоступу RAN (Radio Access Network) забезпечить безліч нових можливостей для мережі, в першу чергу наступних [15]: зменшення затримки з кінця в кінець для передачі даних; ефективне вивантаження трафіку з ядра мережі; збільшення смуги пропускання; введення нових послуг і додатків, використовуючи можливості мережі доступу.

Просуваючись вперед від великих і понад великих, об'ємних і дуже дорогих дата центрів в напрямку розподілених хмарних структур, що називається тепер туманними обчисленнями (fog computing), на основі малих апаратних платформ, ми нарешті отримуємо можливість реалізувати умови

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

за вимогами до затримок, придатні для тактильного Інтернету. Пропоновані сьогодні архітектури зменшують затримку шляхом переміщення хмарних структур на кордон мереж радіодоступу RAN [5]. Тільки один або два мережевих переходу в такій структурі між мережею і користувачем дозволяють досягати затримки в 1мс. У пошуках найкращого місця на мережі для розміщення хмар, дослідники йдуть різними шляхами. Грунтуючись на звіті інституту ETSI по мобільним граничним обчислень MEC, можна виділити кілька сценаріїв для множинного розміщення на мережі хмарних структур. При цьому розглядаються такі місця на мережі для множинного розміщення серверів MEC servers [13]:

1. Хмарні сервери з'єднуються з макро базовою станцією (eNB) системи тривалої еволюції LTE (Long Term Evolution);

2. Хмарні сервери можуть бути розміщені в мережах 3G / 4G на рівні контролера мережі network RNC (Radio Network Controller);

3. Хмарні сервери можуть приєднуватись до безлічі базових станцій (множинна eNB);

4. Хмарний сервер може бути розміщений на кордоні ядра мережі. Багато дослідників пропонують розміщувати невеликі хмарні структури на кордоні мобільної мережі. Деякі при цьому використовують термін хмаринки для будь-яких вторинних і невеликих хмарних одиниць. Інші автори, наприклад, Nebula [16] і Wang з співавторами пропонують термін мікро хмари [19]. Крім того, термін туманні обчислення, запропонований фахівцями Cisco знайшов широке застосування не тільки для кордонів бездротових мереж, але і для стільникових мереж [10]. Системи, в яких хмаринки використовуються в кожної базової станції стільникової мережі, стали називати "зеленою" хмарною мережею [17]. "Зелена" хмарна мережа є гетерогенною і дозволяє в деяких зонах мережі підключати кожну базову станцію eNB до хмаринці, забезпечуючи в сільській місцевості обслуговування за допомогою однієї хмарки групи базових станцій eNBs. Таке рішення базується на показнику щільності розміщення стільників на місцевості.

Більш точно можна сказати, що хмарні обчислення, віртуалізація мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization) і програмно-конфігуровані мережі SDN (Software Defined Networks) є основою для побудови мереж і систем п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету. Грунтуючись на найостанніших концепціях побудови мереж, Nokia

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

оголосила про інтеграцію деяких хмарних рішень безпосередньо в мобільні системи з метою забезпечення вимог тактильного Інтернету. Двома найбільш відомими подібними рішеннями є NetAct Cloud і Telco-Cloud [14]. Беручи за основу рішення Nokia, оператори мобільних мереж починають використовувати базові станції, що містять хмарні рішення, просуваючи тим самим технологію мобільних граничних обчислень. У цьому розділі буде запропонована структура системи мобільних граничних обчислень для мереж і систем 5G, тактильного Інтернету та Інтернету Речей IoT (Internet of Things). Крім того, методи вивантаження трафіку для запропонованої структури також будуть представлені.

2.2 Багаторівнева система мобільних граничних обчислень для 5G і тактильного Інтернету

Багаторівнева система граничних хмар є продовженням концепції переходу від централізованих хмарних обчислень до гетерогенних розподілених хмарних структур. Ідея нового підходу до побудови багаторівневої хмарної системи для стільникових мереж полягає в тому, що малі стільники з'єднуються з мікро хмарами з досить невеликими обчислювальними можливостями для виконання граничних обчислень. Ці мікро хмари в свою чергу з'єднаються з міні-хмарами, які мають великі обчислювальні можливості. Ядро мережі забезпечує взаємодію міні-хмар в системі в цілому. Запропонована система зменшує затримку з кінця в кінець і ймовірність перевантаження мережі, одночасно збільшуючи гнучкість її побудову та доступність [5]. На рис. 2.1 показана структура запропонованої багаторівневої хмарної системи для забезпечення вимог тактильного Інтернету в мережах 5G. Запропонована система містить чотири рівні хмар, з'єднаних за допомогою високошвидкісних оптичних кабелів. Така побудова передбачає і використання бездротових оптичних систем зв'язку (FIWI), які є однією з найважливіших особливостей майбутніх мереж 5G [12]. Перший рівень хмарної ієрархії включає в себе мікро хмари.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

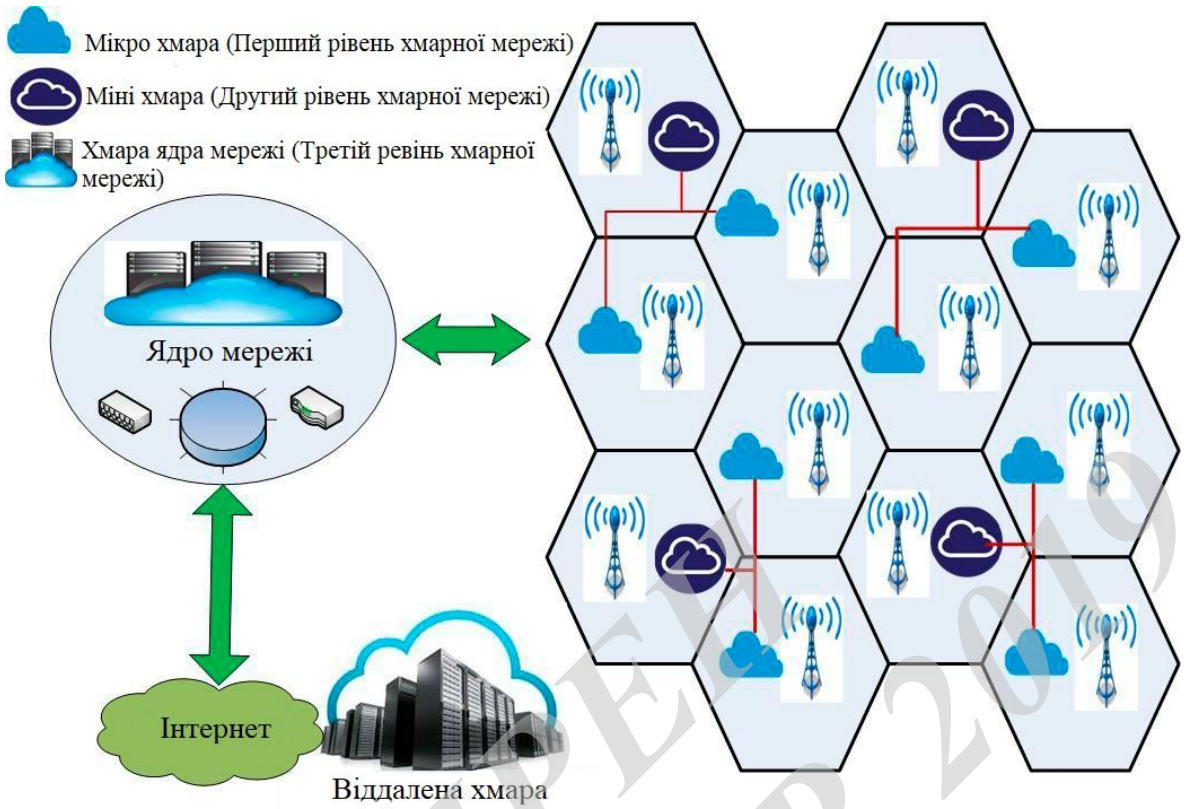


Рисунок 2.1 - Багаторівнева система граничних обчислень для Тактильного Інтернету і мереж 5G

Кожнен стільник в мобільній мережі має власну мікро хмару, поєднану з її базовою станцією. Крім того, кожна базова станція eNB з'єднується за допомогою оптики з мікро хмарою з обмеженими можливостями. При цьому відстань між призначеним для користувача обладнанням UE і найближчою хмарою в мережі становить всього один бездротовий перехід. Це досягнення має такі переваги [18]: зменшується затримка передачі даних; забезпечується шлях для вивантаження навантаження користувацького обладнання UE; зменшується ймовірність перевантаження в мережі; збільшується доступність мережі; параметри мережі доступу забезпечують впровадження нових послуг; поліпшується безпека, оскільки додатки надаються користувачам всередині мережі.

Перший рівень хмарної мережі є гомогенним, тому що кожна базова станція eNB з'єднується зі своїм мікро хмарою. Однак, гетерогенність самих стільників в сукупності з високою щільністю розміщення користувацького обладнання, безумовно, присутнє, і користувацьке устаткування може

ВНТУ ФІРЕТ ТКСТБ МКР 2019

обслуговуватися, наприклад, як пікостільниками, так і фемтостільниками. Мікро хмара може безпосередньо вирішувати завдання з обслуговування мобільних користувачів, проте, якщо у нього недостатньо ресурсів внаслідок апаратних чи інших обмежень, запит на обслуговування може бути переданий на другий рівень системи.

Другий рівень ієрархії хмар містить більший центр обробки даних, названий міні хмарою. Кожна міні хмара з'єднана з декількома мікро хмарами високошвидкісною оптикою. Міні хмара керує і взаємодіє з приєднаними до неї мікро хмарами. Міні хмари мають великі можливості по обробці і зберіганню даних в порівнянні з мікро хмарами. Другий рівень багаторівневої хмарної системи є гетерогенним за своєю суттю, оскільки навіть число приєднаних мікро хмар до різних міні хмар відрізняється. Кількість підключених мікро хмар до міні хмари відрізняється в залежності від щільності користувачів і надаються користувачам послуг. Вона визначається при плануванні мережі та може бути оптимізовано з метою зменшення витрат на побудову мережі.

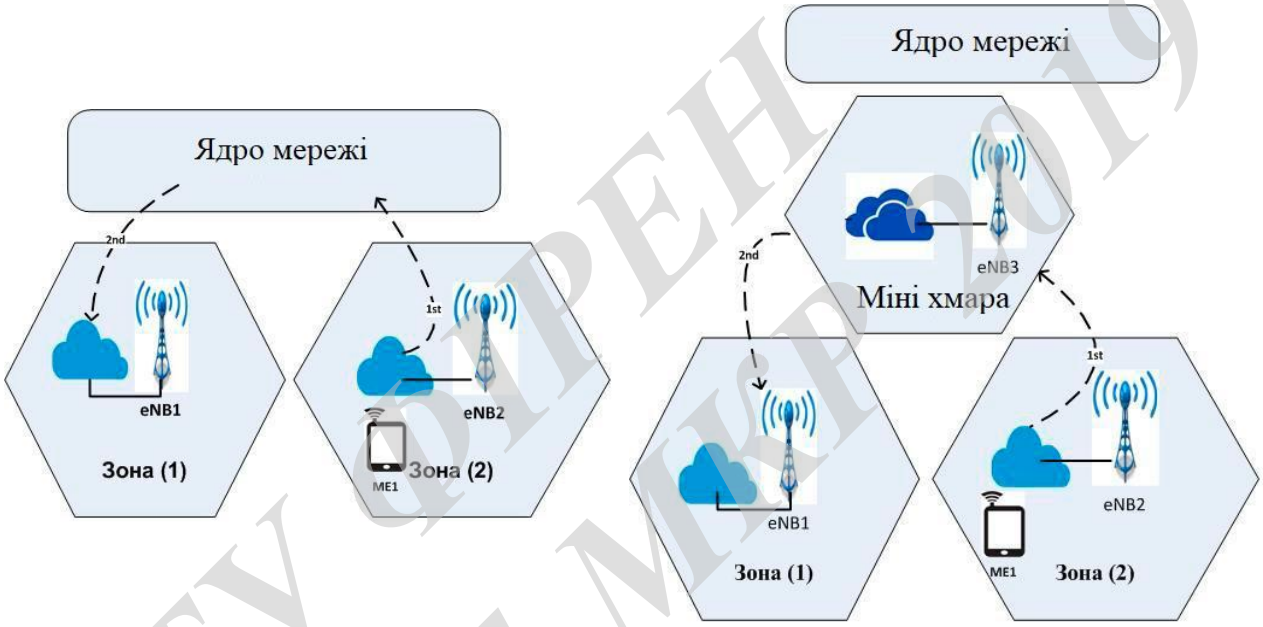
Третій рівень ієрархії передбачає використання хмарної структури ядра мережі. Хмара ядра мережі з'єднує всі міні хмари мережі за допомогою високошвидкісної оптичної системи. Вона, звичайно, має суттєво вищі обчислювальні можливості і можливості по зберіганню даних, ніж міні хмари, і управляє останніми. Вона також надає шлюзи до мережі інтернет і віддаленим хмарам загального користування (наприклад, Microsoft Azure, Amazon Elastic Compute Cloud (EC2), Google AppEngine, Ростелеком) [2]. Ці віддалені великі центри обробки даних мають вищий рівень ієрархії запропонованої багаторівневої системи хмар.

Для того, щоб продемонструвати переваги запропонованої багаторівневої системи хмар, що передбачає введення нового рівня в хмарну систему (міні хмар), розглянемо два наступних сценарії. У першому сценарії використовуються тільки три рівня хмар. При цьому мікро хмара з'єднуються з кожною мобільною базовою станцією eNB. Ці мікро хмари також з'єднуються з хмарою, розташованою в ядрі мережі. У цьому сценарії відсутній рівень міні хмар. Така система запропонована в ряді робіт і її основною проблемою є зростання навантаження на ядро мережі. На рис. 2.2.а розглянуто випадок, коли для користувача устаткування UE1 переміщається із зони покриття базової станції eNB2 в зону покриття базової станції eNB1. При цьому ядро мережі повинно бути залучено до цього процесу, що

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

збільшує трафік на ядро мережі і може призводити до перевантаження мережі.

Розглянемо зменшення негативного впливу на мережу таких проблем при другому сценарії, який представляє запропоновану в роботі багаторівневу хмарну систему. На рис. 2.2. (Б) для користувача устаткування UE1 переміщається із зони покриття базової станції eNB2 в зону покриття базової станції eNB1 так само, як і в першому розглянутому випадку. При цьому процес взаємодії замикається всередині міні хмари, не зачіпаючи ядро мережі.



А Б

Рисунок 2.2 - Порівняння систем (А) Переміщення з eNB2 в eNB1 з використанням ядра мережі (Б) Переміщення з eNB2 в eNB1 з використанням міні хмари

Переваги введення нового рівня хмарної мережі в проміжку між мікро хмарами і хмарою ядра мережі можна сформулювати наступним чином:

1. Зменшення затримки з кінця в кінець за рахунок зменшення довжини шляху і числа переходів на мережі. Немає необхідності використовувати ресурси ядра мережі, якщо мікро хмара не генерує відповідний запит, міні хмара може обробити запити мікро хмари без необхідності запиту ядра мережі.

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

2. Зменшення ймовірності перевантаження мережі Reducing the network congestion.

3. Зменшення навантаження на ядро мережі.

4. Управління мікро хмарами і надання додаткових ресурсів у разі їх відмови.

5. Управління процесом хендовера через мікро хмари, що є суттєвою проблемою при використанні хмаринок [81].

Вивантаження даних від користувача на рівень хмари включає в себе три складових затримки: затримку по висхідним і спадним лініях, затримку поширення і затримку обробки інформації. Загальна затримка на передачу по висхідним і спадним лініях (T_{up}, T_{dow}) може бути обчислена на основі наступних рівнянь [20]:

$$T_{up} = (1+U_F)(D_U / B_U), \quad (2.1)$$

$$T_{dow} = (1+D_F)(D_d / B_d), \quad (2.2)$$

де U_F і D_F - швидкості передачі для висхідної і спадної ліній відповідно, при яких настає відмова в обслуговуванні;

D_U і D_d - загальне число переданих біт по висхідній і спадній лініях відповідно;

B_U і B_d - швидкості передачі даних для висхідній і спаднійліній відповідно.

Затримка поширення T_{prop} є функцією відстані і може бути обчислена в такий спосіб:

$$T_{prop} = (D_{cloud} / C_p), \quad (2.3)$$

де D_{cloud} - відстань між мобільним користувачем і хмарою, а C_p швидкість поширення.

Затримка через обробку даних ґрунтується на числі необхідних операцій і швидкості обробки інформації процесором в хмарі. Затримка через обробку даних T_{pross} обчислюється таким чином:

$$T_{pross} = (N_1 / C_{cloud}), \quad (2.4)$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

де N_1 - загальне число необхідних операцій, C_{cloud} - швидкість процесора хмари.

Резюмуючи все вищесказане, загальна затримка може бути обчислена як сума зазначених трьох затримок. Тоді загальна затримка вивантаження даних в хмару T_{total} обчислюється таким чином:

$$T_{total} = (T_{up} + T_{dow}) + T_{prop} + T_{pross}, \quad (2.5)$$

$$T_{total} = [(1+U_F)(D_U / B_U) + (1+D_F)(D_d / B_d)] + (D_{cloud} / C_p) + (N_1 / C_{cloud}), \quad (2.6)$$

Ґрунтуючись на останньому виразі, можна сказати, що загальна затримка, в основному, залежить від відстані. Таким чином, в разі мікро хмар затримка менше, ніж затримка при використанні ресурсів ядра мережі.

2.3 Математична модель системи для багаторівневих граничних хмар

У цій частині буде розроблена математична модель для багаторівневої хмарної системи для тактильного Інтернету, загальні положення для якої були розглянуті в попередніх розділах. Модель буде використана для знаходження затримки системи і оцінки її продуктивності. У зв'язку з тим, що потрібно досягти малої затримки в системі тактильного Інтернету з бажаною продуктивністю, в математичній моделі для такого випадку повинні бути визначені всі значення параметрів. На рис. 2.3 показана модель системи для тактильного Інтернету, заснована на багаторівневій хмарної структурі.

У запропонованій системі кожна стільникова базова станція each eNB з'єднана з мікро хмарою C_{micro} (i) з прийнятною продуктивністю, де i ε {1, 2 ... M} і M - загальне число мікро хмар. Кожна група мікро хмар пов'язана з великими за можливостями обробки і зберігання даних міні хмарою C_{mini} (j), де j ε {1, 2 ... N} і N - загальне число міні хмар в мережі. Міні хмара використовується для тих операцій, які не можуть бути виконані мікро хмарами. Кожна міні хмара містить також контролер для підключення мікро хмар. Міні хмари надають також шлюзи для взаємодії мікро хмар з ядром мережі при необхідності. У запропонованій моделі передбачається, що кожна міні хмара має з'єднання з фіксованим число мікро хмар.

ВПТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

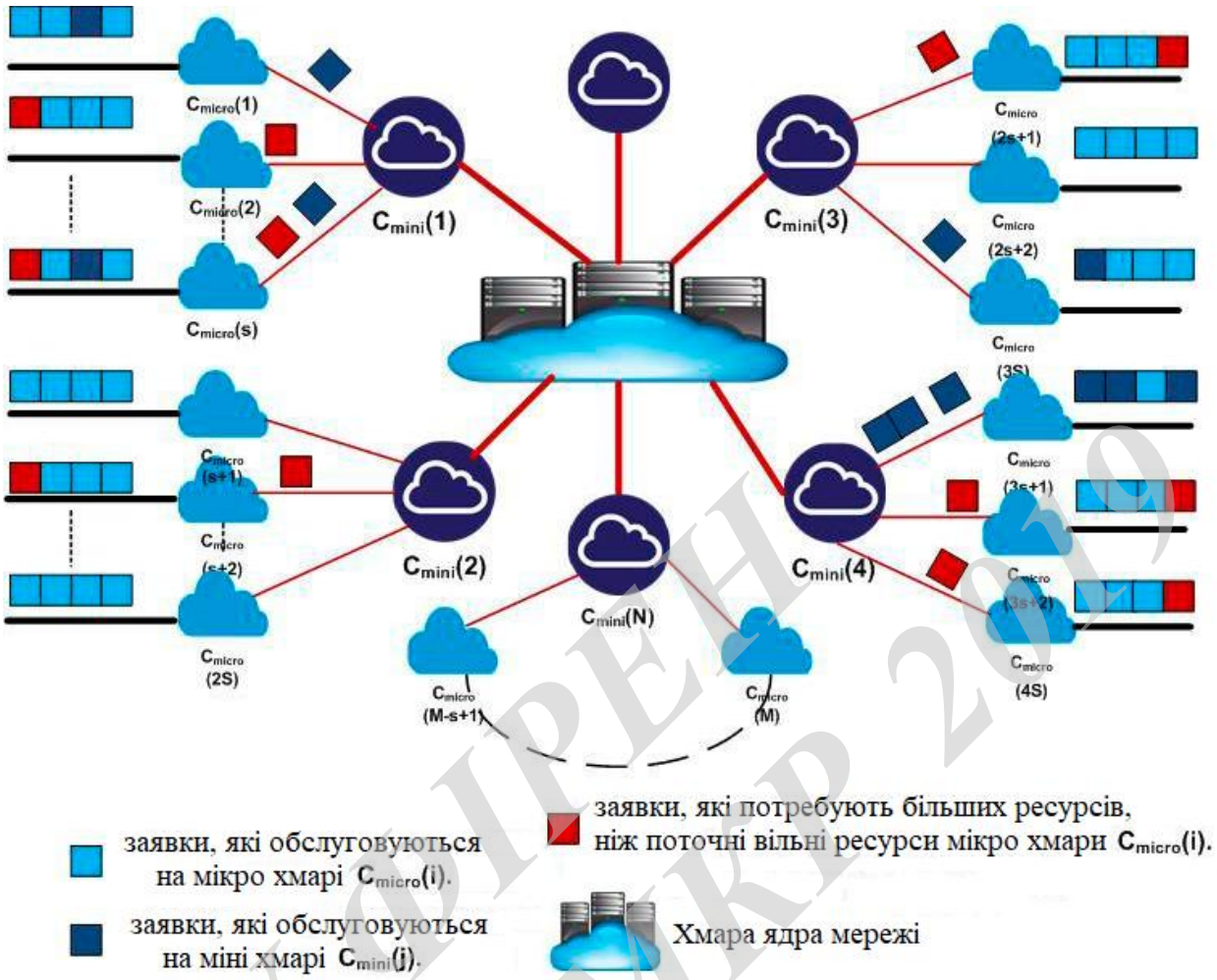


Рисунок 2.3 - Модель системи тактильного Інтернету на основі багаторівневої хмарної структури

Швидкість виконання вивантажених в мікро хмар заявок ґрунтується на запитах користувачів конкретних стільників. Будемо припускати, що надходження заявок розподілено по пуассонівському закону з інтенсивністю λ_i. Кожен стільник виробляє на граничну мікро хмара C_{micro} (i) навантаження W_i з інтенсивністю пуассонівського процесу λ_i. Кожна мікро хмара може обробити заявки від відповідних базових станцій eNB, але в разі, якщо необхідні ресурси дорівнюють або перевищують максимальне значення W_{cmax}(i), нові заявки відправляються в міні хмару до тих пір, поки ресурси мікро хмари зайняті. Таким чином, кожна мікро хмара підтримує робоче навантаження W_{micro}(i), а інші невиконані заявки відправляються в міні хмару. Комп'ютерний час мікро хмари залежить від робочого навантаження яке надходить W_{dmicro} (i).

ВНТУ ОРЕН ТКСТЬ МКР 2019

Кожна міні хмара обробляє навантаження W_{mmax} (j), де W_{mmax} (j) - максимальне робоче навантаження міні хмари C_{mini} (j). Заявки, які вимагають великих ресурсів, ніж поточні вільні ресурси міні хмари, відправляються на хмару ядра мережі.

Мульти серверна модель з чергами M/M/s використовується як модель для мікро і міні хмар [21]. Для мікро хмар ця модель записується $M/M/S_{mic}$, а для міні хмар - як $M/M/S_{min}$, де S_{mic} і S_{min} - число серверів в мікро і міні хмарах відповідно.

Загальна затримка при цьому складається з тривалості відгуку на заявку та тривалості взаємодії. Середня тривалість відгуку на заявку для мікро і міні хмар є сумою тривалості очікування в черзі і тривалості обробки заявок. Середня тривалість обробки заявок в мікро і міні хмарах може бути обчислена як функція інтенсивності надходження заявок λ, грунтуючись на моделі з очікуванням M/M/S і С формулою Ерланга відповідно [26].

$$T_{micro-i}(\lambda) = \frac{C(s_i, \frac{\lambda_i}{\mu_i})}{s_i\mu_i - \lambda_i} + \frac{1}{\mu_i}, \tag{2.7}$$

$$T_{\min i-j}(\lambda) = \frac{C(s_j, \frac{\lambda_j}{\mu_j})}{s_j\mu_j - \lambda_j} + \frac{1}{\mu_j}, \tag{2.8}$$

$$C(n,p) = \frac{\left(\frac{(s\rho)^c}{n!}\right)\left(\frac{1}{1-\rho}\right)}{\sum_{k=0}^{n-1}\frac{(n\rho)^k}{k!} + \left(\frac{(n\rho)^c}{n!}\right)\left(\frac{1}{1-\rho}\right)}, \tag{2.9}$$

де $T_{micro-i}$ - середня тривалість обробки заявки в мікро хмарі; T_{mini-j} - середня тривалість обробки заявки в міні хмарі j; S_i - загальне число серверів в мікро хмарі; S_j - загальна кількість серверів в міні хмарі j; λ_i і λ_j - інтенсивності надходження заявок на обслуговування на мікро хмару і і на міні хмару j відповідно, а μ_i і μ_j - відповідні інтенсивності обслуговування заявок.

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТЬ МКР 2019

Для спрощення обчислення загальної затримки припускаємо, що функція затримки носить лінійний характер. В [47] це припущення розглядається як допустимий і перевірений. Тоді загальна затримка може бути визначена як:

a - якщо заявка обслуговується на мікро хмарі:

$$T_{T-micro-i}(w_i) = f_c(\mathrm{w}) + \mathrm{d}_{cell} = \left[\alpha(w_{dmicro-i}) + \beta\right] + \mathrm{d}_{cell}, \qquad (2.10)$$

де $T_{T\text{-}micro\text{-}i}$ - загальна затримка при вивантаженні заявки в мікро хмару; f_c - лінійна функція, яка використовується для визначення затримки обслуговування заявки для поточного навантаження; d_{cell} - затримка при з'єднанні всередині стільники.

b - якщо заявка обслуговується на мікро хмарі:

$$T_{T-\min i-j}(wj) = f_c(\mathrm{w}) + \mathrm{d}_{cell} = \left[\alpha(w_{d\min i-j}) + \beta\right] + \mathrm{d}_{cell} + \mathrm{d}_{C_{mirco-i}, C_{\min i-j}}, \quad (2.11)$$

де $T_{T\text{-}micro\text{-}j}$ - загальна затримка при вивантаженні заявки в міні хмару j; $d_{Cmicro\text{-}i,\ Cmini\text{-}j}$ - затримка при з'єднанні між мікро хмарою і і міні хмарою j.

2.4 Алгоритм вивантаження для багаторівневої системи граничних хмар

У цьому розділі розглянуто алгоритм вивантаження трафіку і визначено затримку і енергетичну ефективність для запропонованої багаторівневої системи граничних обчислень для мереж 5G і тактильного Інтернету. Алгоритм дозволяє мобільному пристрою запитувати вивантаження трафіку або використовувати локальне виконання завдань, грунтуючись на доступних ресурсах мобільного пристрою і граничного сервера. При виконанні алгоритму береться до уваги споживання енергії при обслуговуванні і вивантаженні трафіку, що дозволяє визначити енергетичну ефективність прийнятих рішень. Граничні хмари утворюють багаторівневу систему, як це представлено в попередніх розділах. Структура системи і основні її складові є першочерговим при розгляді, крім того, визначаються різні змінні і параметри, які використовуються в алгоритмі вивантаження. І, нарешті, представляється алгоритм вивантаження в цілому.

ВНТУ ФІРЕН ГКСТБ МКР 2019

Запропонована система передбачає два рівні вивантаження трафіку для мобільних додатків крім локальної обробки завдань на мобільному пристрої, коли вона є ефективною. На рис. 2.4 показані різні рівні вивантаження трафіку і відповідні завдання, які вирішуються на кожному рівні. Мобільність може підтримуватися на нульовому рівні без необхідності вивантаження будь-яких завдань на інші рівні. Цей рівень використовується, коли мобільний пристрій має достатні ресурси для вирішення необхідних завдань з необхідним рівнем якості обслуговування QoS і з меншими енергетичними затратами, ніж ці ж завдання можуть бути виконані на граничному сервері і при цьому поріг заряду батареї також допускає їх рішення. Перший рівень вивантаження трафіку передбачає вивантаження на мікро хмару, а другий - на міні хмару. Запропонований алгоритм може бути реалізований на будь-якому мобільному пристрої і використовуватися для вибору рішення про обслуговування трафіку (локальному або із застосуванням вивантаження на інші рівні).

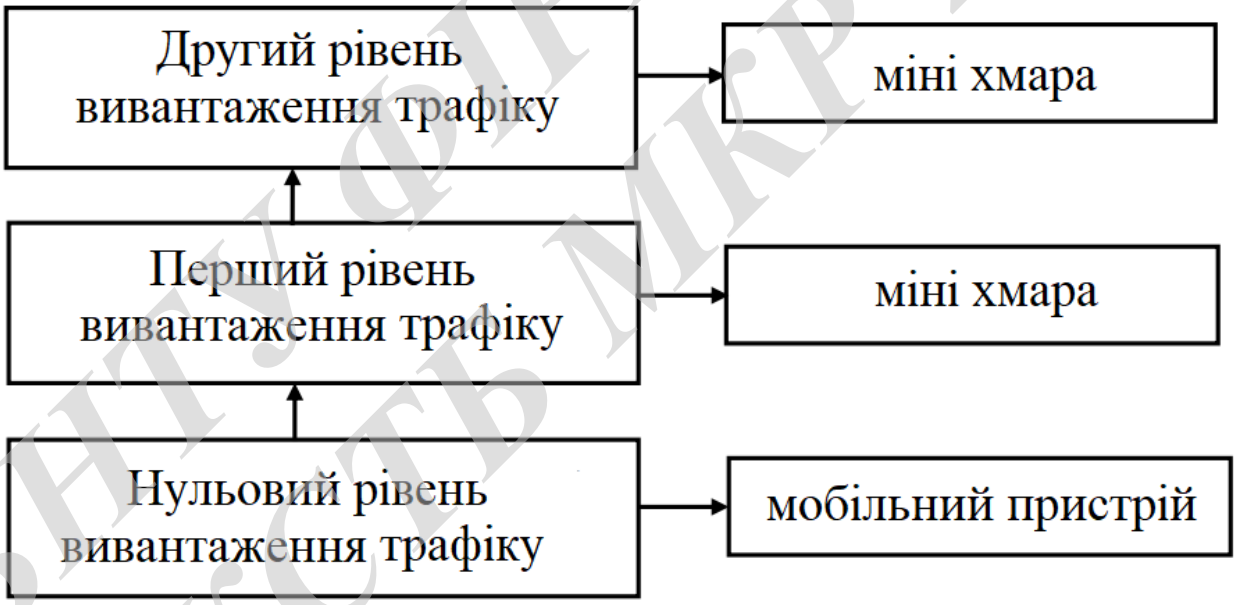


Рисунок 2.4 - Основні рівні вивантаження трафіку

Базова структура всіх трьох рівнів системи представлена на рис. 2.5. Мобільний пристрій так само, як і граничні сервери (мікро хмари і міні хмари) використовують механізм прийняття рішення, який визначає чи обслуговувати трафік на локальному рівні, чи здійснити його вивантаження на відповідний сервер. Механізм прийняття рішення обчислює всі необхідні параметри для прийняття того чи іншого рішення.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

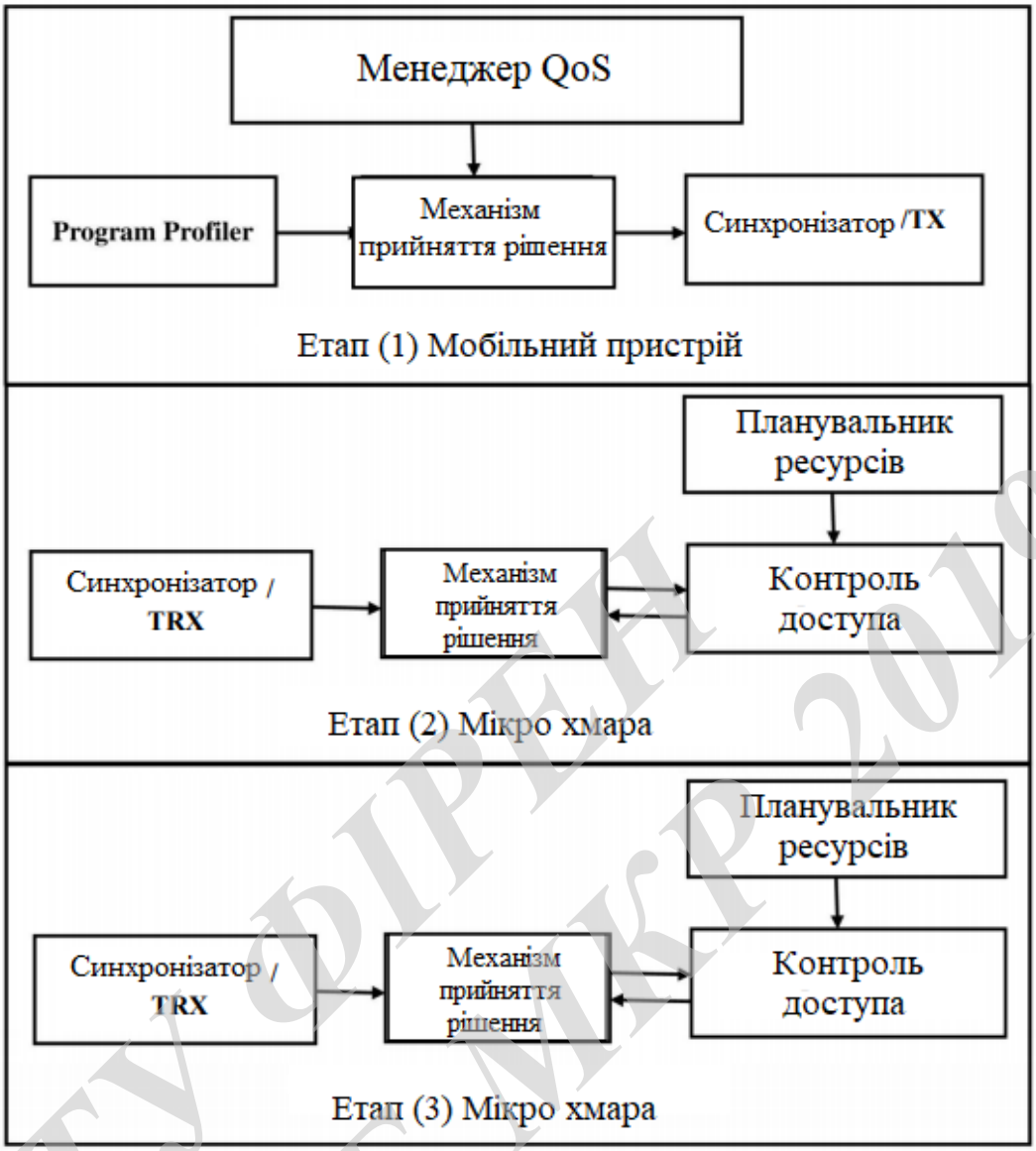


Рисунок 2.5 - Три рівні структури системи

Перш, ніж прийняти рішення про вивантаження, необхідно визначити параметри, які повинні бути враховані при цьому. Змінні і параметри представлені в табл. 2.1. Типи повідомлень, які повинні бути передані між мобільним пристроєм і гетерогенними граничними серверами визначені в табл. 2.2.

Рішення про вивантаження спочатку приймається мобільним пристроєм з використанням механізму прийняття рішення. Обчислюється загальна довжина блоку даних L і загальне число циклів NCYC CPU, необхідне для обслуговування заявки. Мобільні пристрої використовують цю інформацію для обслуговування заявки або для прийняття рішення про її вивантаження. Це залежить від доступних ресурсів мобільного пристрою, які

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

використані для вирішення завдання і максимально допустимої затримки обслуговування, Ċ необхідної для забезпечення необхідного рівня QoS.

$$T_M = \frac{N_{CYC}}{R_M}, R_M \in f_M; \tag{2.12}$$

$$N_{CYC} = L.S; \tag{2.13}$$

$$D_{T-M} = I(T_M, \tau) = \begin{cases} 1 \;\; IF \;\; (T_M \le \tau) \\ 0 \;\; IF \;\; (T_M > \tau) \end{cases}. \tag{2.14}$$

Мобільний пристрій обчислює ймовірну тривалість обслуговування T_M, грунтуючись на доступних ресурсах відповідно (2.12). Далі мобільний пристрій обчислює бінарну значення часу прийняття рішення $D_{T\text{-}M}$, порівнюючи T_M і Ċ, як це представлено в (2.14). Кожне бінарне значення часу прийняття рішення розглядається як конкретний варіант: при цьому варіант (I) відповідає першому бінарним рішенням, а варіант (II) - нульового бінарним рішенням.

Варіант (I):

Коли тривалість обслуговування заявки менше максимально допустимої тривалості затримки, обслуговування заявки може бути вироблено локально самим мобільним пристроєм і бінарний час прийняття рішення в цьому варіанті дорівнює 1. При цьому мобільний пристрій обчислює необхідне споживання енергії для локального обслуговування заявки EM, використовуючи (2.14), і відправляє запит типу I в відповідний граничний сервер (мікро хмара або міні хмара). Ґрунтуючись на відповідному повідомленні граничного сервера, мобільний пристрій приймає рішення про вивантаження або локальне обслуговування. Граничний сервер перевіряє можливість вирішення завдання мобільним пристроєм на базі процедур, які повинні бути виконані згодом. Граничний сервер направляє повідомлення відповіді типу I відповідного мобільного пристрою, яке вирішує чи обслуговувати заявку шляхом вивантаження, чи локально на базі отриманої інформації.

$$E_M = N_{CYC} \; \delta_M. \tag{2.15}$$

ВНТУ ФІРЕН ІКСЕЛЬ МКР 2019

Варіант (II):

Однак, якщо необхідна тривалість обслуговування в мобільному пристрої перевищує максимально допустиму тривалість затримки C, обслуговування не може бути здійснено локально і приймається рішення про вивантаження. В цьому випадку бінарне значення змінної D_{off} стає рівним 1 і, таким чином, мобільний пристрій направляє повідомлення запиту типу II в відповідний граничний сервер (мікро хмару або міні хмару).

Мікро хмара отримує запит мобільного пристрою і відповідає відповідним повідомленням. Якщо мікро хмара в змозі обслужити запропоновану заявку, то ця хмара направляє повідомлення типу II, погоджуючись на вивантаження і надання ресурсів для обслуговування заявки; в іншому випадку, вона направляє повідомлення типу III в відповідну міні хмару і чекає на відповідь.

Спочатку мікро хмара перевіряє параметри затримки, отримані в запиті від мобільного пристрою в повідомленні типу I або повідомленні типу II. Мікро хмара обчислює тривалість обслуговування заявки TeMicro, грунтуючись на доступних ресурсах граничного сервера відповідно до (2.15). Загальна затримка в мікро хмарі обчислюється шляхом підсумовування обох розглянутих затримок: затримки обробки (тривалість обслуговування) і затримки взаємодії (тривалість передачі даних по висхідній лінії і тривалість відповіді за результатами обчислень).

$$T_{Micro} = T_{eMicro} + T_{tx} + T_{rx}; \tag{2.16}$$

$$T_{eMicro} = \frac{N_{CYC}}{R_{Micro}}, R_{Micro} \in f_{Micro}; \tag{2.17}$$

$$T_{tx} = \frac{L}{R_b}. \tag{2.18}$$

Швидкість по бітам обчислюється як функція від потужності передачі, а потужність підсилення в каналі визначається з використанням формули Шеннона-Хартлі [26]:

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

$$R_b = \omega \log_2 \left(1 + \frac{hp}{\sigma} \right). \quad (2.19)$$

Механізм прийняття рішення в мікро хмарі обчислює бінарне значення часу прийняття рішення $D_{T\text{-}Micro}$, порівнюючи затримку в обслуговуванні T_{Micro} з максимально допустимою затримкою Ƈ відповідно до виразу:

$$D_{T-Micro} = I(T_{Micro}, \tau) = \begin{cases} 1 \;\; IF \;\; (T_{Micro} \le \tau) \\ 0 \;\; IF \;\; (T_{Micro} > \tau) \end{cases}. \quad (2.20)$$

Якщо рішення нульове, мікро хмара направляє запит до відповідної міні хмари. При позитивному рішенні ($D_{T\text{-}Micro}$ = 1) обслуговування заявки може бути виконано в мікро хмарі. Якщо отриманий запит типу II, обслуговування може бути виконано в мікро хмарі, в іншому випадку енергетичні характеристики повинні бути перевірені. Мікро хмара обчислює споживання енергії для обслуговування заявки на мікро хмарі E_{Micro} наступним чином:

$$E_{Micro} = N_{CYC} \delta_{Micro} + T_{tx} P \eta_c. \quad (2.21)$$

Якщо ж отриманий запит типу I, мікро хмара направляє відповідне повідомлення, що містить інформацію про споживання енергії E_{Micro} і механізм вирішення мобільного пристрою обчислює бінарну величину $D_{E\text{-}M}$, порівнюючи значення споживання енергії E_M і E_{Micro}. Далі приймається рішення про локальне обслуговування заявки або про вивантаження трафіку в мікро хмару:

$$D_{E-M} = I(E_M, E_{Micro}) = \begin{cases} 1 \;\; IF \;\; (E_M \le E_{Micro}) \\ 0 \;\; IF \;\; (E_M > E_{Micro}) \end{cases}. \quad (2.22)$$

При негативних рішеннях на рівні мобільного пристрою і на рівні мікро хмари останнім направляє запит типу III в відповідне міні хмара. Міні хмара обчислює загальну затримку обслуговування заявки T_{mini}, ґрунтуючись на доступних ресурсах відповідно до формули:

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

$$T_{Mini} = T_{eMini} + T_{tx}' + T_{rx}'; \tag{2.23}$$

$$T_{eMini} = \frac{N_{CYC}}{R_{Mini}}, R_{Mini} \in f_{Mini}. \tag{2.24}$$

Далі міні хмара обчислює значення бінарного часу прийняття рішення $D_{T\text{-}Mini}$ шляхом порівняння загальної тривалості обслуговування заявки на рівні міні хмари шляхом порівняння T_{Mini} і максимально допустимої тривалості затримки Ƈ.

$$D_{T-Mini} = I(T_{mini}, \tau) = \begin{cases} 1 & IF\ (T_{mini} \le \tau) \\ 0 & IF\ (T_{mini} > \tau) \end{cases}. \tag{2.25}$$

Міні хмара відповідає повідомленням типу III і заявка вивантажується в міні хмару при виконанні двох умов $D_{T\text{-}Mini} = 1$ та $D_{T\text{-}Micro}$ & $D_{T\text{-}M} = 0$.

2.5 Багаторівнева система мобільних граничних обчислень MEC з D2D взаємодіями IoT/5G мереж

У цьому розділі розглядається використання взаємодії пристрій-пристрій D2D (Device - to - Device) для багаторівневої системи мобільних граничних обчислень в IoT/5G стільникових мережах. Система містить чотири рівні хмар з різними апаратними можливостями. D2D технологія використовується при організації першого рівня хмар. Використання D2D спільно з багаторівневою хмарною системою розширює можливості всієї системи в цілому [34].

Використання D2D взаємодій спільно з мобільними граничними обчисленнями також забезпечує додаткові переваги для стільникових мереж. Далі розглянемо структуру мережі 5G, що базується на D2D взаємодіях і багаторівневої хмарної системі граничних обчислень. Запропонована система складається з чотирьох основних частин з точки зору її обчислювальних можливостей для обслуговування трафіку, що надходить. Запропонована структура зображена на рис. 2.6. У табл. 2.3 наведені розшифрування використовуваних абревіатур.

ВГТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Таблиця 2.3 – Пристрої системи

Абревіатура	Визначення
OD	Кінцевий пристрій
SD	Сенсорний пристрій
MD	Головний пристрій
GD	Шлюз

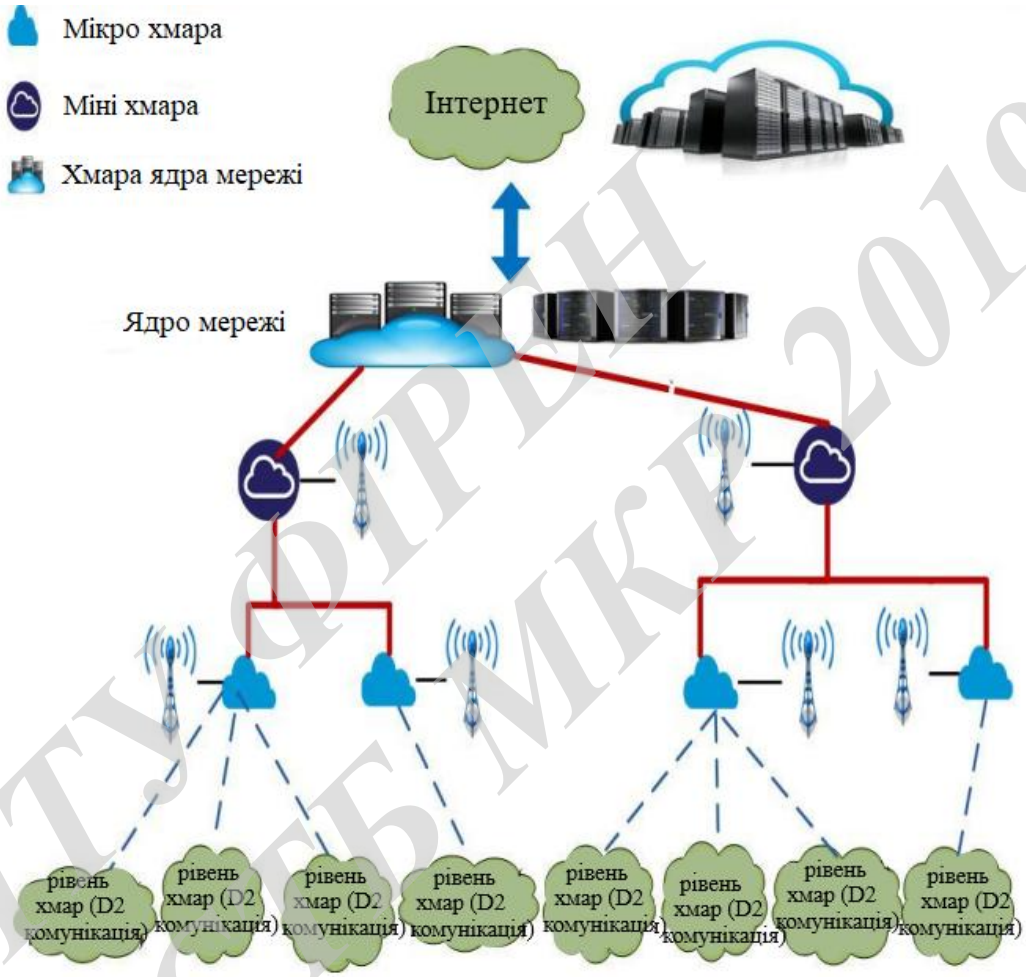


Рисунок 2.6 - Хмарна структура мережі IoT/5G

ВНТУ ФІРЕН ТКСБ МКІ 2019

А. Частина 1: Рівень хмаринок

Шлюзи GDs спільно з головними пристроями MDs представляють рівень хмаринок. На рис. 2.7 як приклад показана структура стільники для даного рівня. Шлюз є бездротовим пристроєм з досить розвиненими апаратними можливостями для забезпечення обчислювальних процесів, підтримки мережевих вимог і передачі даних до інших бездротових пристроїв. Як приклад шлюзу можемо уявити мобільний пристрій з досить потужними апаратними можливостями, який використовує свої сенсори для

збору даних з навколишнього середовища (соціальної чи природної). Цей пристрій може обробляти і аналізувати дані, розподіляти їх від безлічі кінцевих пристроїв. Крім того, шлюз GD може використовувати ресурси пам'яті для даних від пристроїв ODs і SDs. Якщо шлюз отримує заявку, що вимагає великих ресурсів, ніж його можливості (і не може виконати завдання), він перенаправляє цю заявку в головний пристрій MD, що володіє великими можливостями.

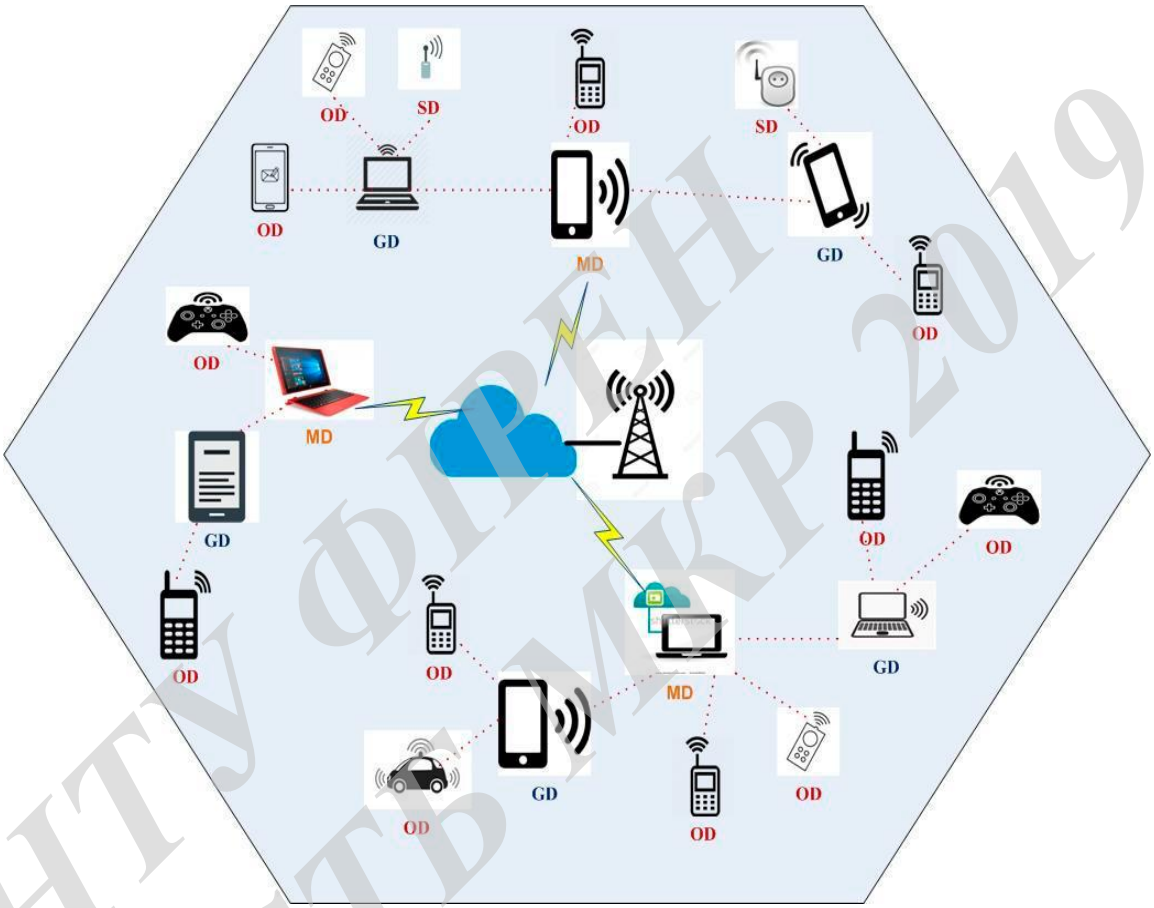


Рисунок 2.7 - Приклад стільника на рівні хмаринок

Головним пристроєм MD є бездротовий пристрій з дуже потужними апаратними можливостями по обслуговуванню заявок, які не можуть бути обслужені на шлюзі GD. Це бездротовий пристрій підтримує всі доступні в мережі повітряні інтерфейси, має потужний багатоядерний процесор, більшу пам'ять і надійне програмне забезпечення.

MD може обслуговувати різні заявки від інших пристроїв GDs, ODs і SDs. Якщо отримана заявка перевершує можливості головного пристрою MD і потрібні більш потужні обчислювальні ресурси або більший обсяг пам'яті,

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВМКР 2019

головний пристрій MD перенаправляє ці заявки на рівень мікро хмари, розташованого на базовій станції BS (Base Station).

На рис. 2.8 показаний приклад структури гетерогенних пристроїв і послуг. Пристрій A є кінцевим пристроєм, що вимагає надання мультимедійних послуг, пристрої B і C також є кінцевими, запитувачами послуги з боку шлюзу D. Шлюз D може обслужити заявки від кінцевих пристроїв B і C, але не в змозі обслужити заявки на мультимедійні послуги з боку кінцевого пристрою внаслідок обмежень за своїм апаратним забезпеченням. Тому, шлюз D перенаправляє заявку на головний пристрій G, який її і обслуговує.

Рисунок 2.8 - Підтримка послуг на рівні хмаринок

B. Частина 2: Рівень мікро хмари

У розділах 2 і 3 була запропонована багаторівнева хмарна система на основі граничних обчислень для мікро хмар і міні хмар. Тут використовуємо отримані результати для рівня хмаринок. Кожна базова станція eNB з'єднується з хмарним сервером в стільнику і хмари можуть бути мікро і міні.

Системи 5G використовують гетерогенні типи стільників таким чином, що стільники з прогнозованою великою щільністю користувачів використовували міні хмари, а стільники з меншою щільністю користувачів

ВІТУФІВЕН ТКСТБ МКР 2019

використовували мікро хмари. При цьому кожна група мікро хмар може бути безпосередньо пов'язана з міні хмарою.

Мікро хмара являє собою невеликий центр обробки даних з обмеженими обчислювальними ресурсами і пам'яттю, з'єднаний з базовою станцією eNB за допомогою надшвидкісного оптичного кабелю. Мікро хмара отримує заявки на обслуговування від головних пристроїв MDs. Заявки, що надійшли на головні пристрої, і вимагають великих ресурсів, ніж ресурси MDs, перенаправляються на мікро хмару, яка пов'язана з базовою станцією, яка обслуговує стільник, в якій перебувають ці пристрої. Крім того, головні пристрої можуть передати мікро хмарі базової станції ряд своїх власних завдань з обслуговування. Мікро хмара забезпечує вивантаження навантаження користувачів і таким чином зменшує навантаження і ймовірність перевантаження для ядра мережі.

На рис. 2.8 пристрій G є головним MD і не може обслужити заявки на мультимедіа послуги для пристрою F. Таким чином, пристрій G перенаправляє заявку на обслуговування в мікро хмару, безпосередньо пов'язану з відповідною базовою станцією eNB. Крім того, пристрій G передає на мікро хмару і частину своїх власних завдань.

С. Частина 3. Рівень міні хмари

Міні хмара має ще більші обчислювальні можливості і пам'ять, ніж мікро хмара. Міні хмара також може обслуговувати стільники, як і мікро хмара. Міні хмара є більш потужним центром обробки даних, яка може обслуговувати, управляти і здійснювати моніторинг мікро хмар.

Заявки на обслуговування, які не можуть бути реалізовані на рівні мікро хмари, направляються на міні хмару, яка безпосередньо пов'язана з цими мікро хмарами. Це відбувається внаслідок того, що міні хмари мають більші ресурси порівняно з мікро хмарами. При відсутності в структурі міні хмар мікро хмари змушені передавати такі заявки на головні хмари, використовуючи ресурси ядра мережі. Це не тільки збільшує загальну затримку в обслуговуванні заявки, але і створює додатковий трафік на ядро мережі, збільшуючи при цьому ймовірність його перевантаження. Таким чином, введення в структуру міні хмари між рівнями мікро хмари і головною хмарою дозволяє покращити характеристики затримки і вивантаження трафіку.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

D. Частина 4: Рівень головної хмари

Всі міні хмари з'єднуються з головною хмарою, розташованою в ядрі мережі, за допомогою високошвидкісних оптичних з'єднань. Головна хмара виступає також в якості шлюзу до інтернет хмар загального користування (наприклад, Microsoft Azure, Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) і Google AppEngine). Основною функцією даного рівня є не тільки забезпечення шлюзу до вказаних хмар, але і обслуговування заявок, для яких недостатньо ресурсів на рівні міні хмари (або їх перенаправлення до хмар загального користування).

Нарешті, відзначимо переваги запропонованої структури системи. Використання технології D2D взаємодії спільно з багаторівневою системою граничних хмар забезпечує більшу гнучкість мережі 5G. Більш конкретними перевагами запропонованої структури є:

1. Запропонована структура забезпечує вивантаження трафіку з ядра мережі. Це досягається використанням технології D2D, яка може забезпечити обслуговування трафіку без залучення ресурсів мережі. Використання багаторівневих хмар також сприяє вивантаженню трафіку з ядра мережі і його обслуговування якнайдалі від нього. Таким чином, спільне використання технологій D2D і багаторівневих хмар дозволяє зменшити трафік на ядро мережі.

2. Зменшення затримки з кінця в кінець і відстані зв'язку за рахунок використання технологій D2D багаторівневих хмар.

3. Зменшення ймовірності перевантаження мережі.

4. Досягнення більшої пропускної спроможності.

5. Збільшення енергетичної ефективності.

6. Поліпшення покриття в стільнику.

7. Поліпшення спектральної ефективності.

2.8 Висновки до розділу 2

У розділі була запропонована багаторівнева система граничних обчислень для забезпечення вимог мереж і систем п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету. Запропонована багаторівнева система являє собою розвиток систем хмарних обчислень для мереж зв'язку від централізованої системи до гетерогенної розподіленої системи. Система використовує чотири рівні обчислень з гетерогенними можливостями. При цьому перший рівень

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

системи являє собою мікро хмари з невеликими обчислювальними можливостями і пам'яттю, безпосередньо з'єднані з кожною базовою станцією eNB мережі.

Другий рівень використовує більш ефективну хмару по обчислювальних можливостях і пам'яті, названа в магістерській роботі міні хмарою. Кожна міні хмара пов'язана з групою мікро хмар і керує ними за допомогою високошвидкісного оптичного з'єднання. Рівень головної хмари розташовується в ядрі мережі, володіє потужними обчислювальними можливостями і пам'яттю. Головна хмара з'єднується з усіма міні хмарами, управляє і здійснює їх моніторинг. Крім того, головна хмара використовується як шлюз до хмар загального користування.

Крім того, в розділі розроблений алгоритм вивантаження трафіку для запропонованої багаторівневої системи граничних обчислень. Алгоритм вивантаження трафіку забезпечує необхідні значення затримки і енергетичну ефективність, що дозволяє не тільки зменшити навантаження на ядро мережі і ймовірність перевантаження, а й реалізувати послуги тактильного Інтернету.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

3 ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНІ МЕРЕЖІ SDN ДЛЯ МЕРЕЖ 5G І ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ

3.1 Основні положення і аналіз існуючих робіт

Як вже було зазначено, SDN являє собою нову парадигму телекомунікацій, що забезпечує побудову економічно ефективної динамічної мережі. Основна ідея SDN полягає в фізичному розмежування рівня управління та рівня передачі інформації за рахунок створення програмованих контролерів, за допомогою яких здійснюється динамічна реконфігурація мережі та управління мережею в цілому [46]. Це істотно відрізняється від традиційних мереж, де рівень даних відповідальний за процес передачі в цілому і обидва рівня фактично інтегровані в одному і тому ж пристрої [22]. Рівень даних при цьому включає всі пристрої передачі, які відповідають за передачу трафіку по мережі, в той же час рівень управління містить всі пристрої, в яких здійснюються рішення з обслуговування трафіку. SDN підхід, в свою чергу, цілком покриває взаємодія між рівнями управління і передачі даних, при цьому рівень управління здійснює управління і адміністрування усіма пристроями, розташованими на рівні передачі даних [21]. Рівень управління відповідає за параметри конфігурації мережі і вирішує, яка роль відводиться кожному з пристроїв при передачі трафіку, відправляючи цим пристроям відповідні інструкції. Набір інтелектуальних контролерів розміщується на рівні управління, реалізуючи своєрідний мозок мережі SDN [44]. Команди управління між рівнем управління і рівнем передачі даних здійснюються за допомогою стандартизованих протоколів (наприклад, ForCES і OpenFlow) [22].

З урахуванням можливостей і розвитку сучасних підприємств в області електроніки і сенсорних пристроїв число бездротових пристроїв зростає рекордними темпами. Це ставить великі проблеми по розробці систем майбутнього (наприклад, 5G, IoT і Тактильного Інтернет), які повинні забезпечити зв'язність між усіма цими пристроями [6]. У проблему розробки зазначених вище систем входять і обсяг трафіку, і зв'язність, і надійність [24]. До 2020 року очікується, що трафік даних перевищить обсяг трафіку 2010 року в 200 раз, а до 2030 року - в 20000 раз [25]. Іншою важливою проблемою є високі вимоги до майбутніх систем зв'язку [26]. Для п'ятого покоління стільникових мереж (5G), як очікується, необхідне збільшення швидкості

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

передачі даних і числа заявок користувачів виросте в 1000 разів (наприклад, швидкість повинна зрости до 10 Гбіт/с), що супроводжується вимогами по ультра малій затримці, високої надійності, високої мобільності, високої пропускної здатності і високої зв'язності [27].

Такий понад великий обсяг трафіку не може бути оброблений існуючими бездротовими рішеннями і, таким чином, потрібні нові технології і парадигми, які їх підтримують. Для досягнення нових вимог і запитів користувачів, а також забезпечення обробки понад великого обсягу трафіку мережі і системи п'ятого покоління 5G і інші майбутні системи повинні реалізовувати нові технології, такі як SDN, MEC і NFV [26].

Мережі SDN, як вже було зазначено, дають можливість розділити рівень управління і рівень передачі даних, що надає наступні нові можливості для мереж і систем зв'язку [27]: спрощення адміністрування мережі; спрощення апаратної частини; висока гнучкість мережі; зменшення кругової затримки; висока надійність; широкі можливості по впровадженню інновацій; висока ефективність мережі в термінах використання ресурсів.

Природно, фізичний SDN контролер практично може обслужити обмежене число потоків запитів за заданий час. Таким чином, контролер може обслужити лише обмежене число пристроїв, а коли трафік стає більшим верхньої межі, який може обслужити контролер, потрібна підтримка ще одного контролера. Це показує, що простий контролер може бути використаний тільки для мереж малого розміру [28].

Найбільш загальновживаним інтерфейсом для існуючих SDN є інтерфейс OpenFlow, який був практично розроблений для простого централізованого контролера [29]. OpenFlow протокол має низьку ефективність в термінах масштабованості мережі для великих мереж [29]. Однак ця проблема може бути вирішена використанням окремих OpenFlow мереж в декількох різних областях мережі. Таке сепаратне рішення по використанню безлічі контролерів вимагає балансування навантаження і тоді проблема в цілому вирішується для мережі SDN [49].

Отже, для великомасштабної мережі використання одного контролера для управління всіма мережевими комутаторами неефективно, і тому ефективним рішенням є використання мультиконтролерів. На рис. 3.1 зображена базова архітектура мультиконтролерної мережі SDN [30]. SDN мережі, як прості, так і мультиконтролерні містять три основних рівня: рівень передачі даних, рівень управління та рівень додатків.

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

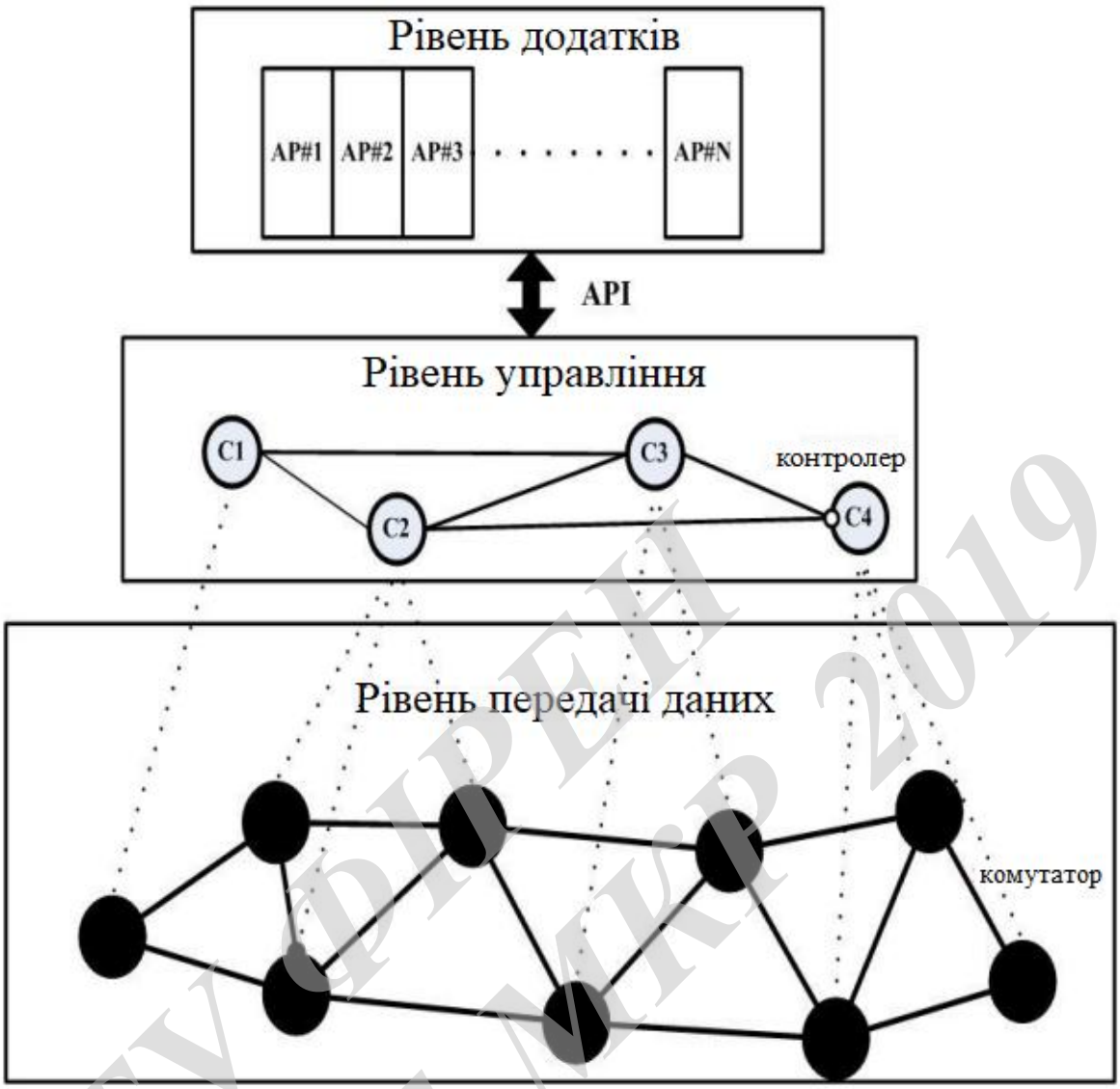


Рисунок 3.1 - Базова структура мережі SDN з мультиконтролерами

Рівень додатків дає можливість операторам мережі адмініструвати, управляти і конфігурувати мережу в цілому. Взаємодія між рівнем додатків і рівнем управління здійснюється на основі добре відомих інтерфейсів APIs [31].

У цьому розділі були проаналізовані основні роботи в області SDN мереж. Існує два основних види SDN мереж: SDN з простим централізованим контролером і SDN з мультиконтролерами. Для початку розглянемо мережу SDN з простим централізованим контролером, а потім мережу SDN з мультиконтролером.

Розвиток від традиційного еволюційного пакетного ядра EPC (Evolved Packet Core) для стільникових мереж вимагає розміщення на мережах інтелектуальних контролерів. Контролер адмініструє всі операції, що

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

відбуваються на мережі. В цьому розділі проаналізуємо основні роботи в області централізованого контролера для чутливих до затримок мереж, а також проведемо їх порівняння як поміж собою, так і з запропонованої в роботі структурою.

В [32] автори представляють стільниковий систему SoftCell, яка дозволяє оператору системи досягати обслуговування на високому рівні. Пропонована система зменшує розмір таблиці пересилання і об'єднує трафік в декількох вимірах на різних комутаторах в мережі. Система використовує комутатори доступу на базових станціях, які є програмними комутаторами. Комутатори доступу можуть класифікувати пакети, що надходять на базову станцію, які є програмними комутаторами. Комутатори доступу можуть класифікувати пакети, що надходять на базову станцію, і обробляти необхідну стан і пропускну здатність. Застосування технології SoftCell з використанням компонентів традиційної мережі Evolved Packet Core передбачає наявність контролера в ядрі мережі з заданими функціями. Такий контролер встановлює правила комутації і реалізує правила сигналізації, що використовуються між хостами. Технологія пропонується для розгортання в ядрі існуючих мереж LTE. Це рішення покращує гнучкість і масштабованість стільникових мереж LTE. Основною проблемою пропонованого рішення є продуктивність контролера ядра мережі, а також досить сильна залежність від шлюзів SGW, PGW в ядрі мережі.

Останнім часом було запропоновано кілька підходів до використання SDN в ядрі мережі стільникової системи. Розглянемо найбільш відомі з них. В [38] запропоновано вирішення для реалізації системи 5G, в тому числі і з побудови транспортної мережі. Автори запропонували структуру ядра мережі, засновану на SDN і використанні граничних обчислень. В [33] запропоновано використовувати мережеве кодування спільно з SDN для зменшення затримки в стільниковій системі 5G. Мережеве кодування реалізується за допомогою програмного маршрутизатора, який діє як функція віртуальної мережі. Основна проблема запропонованого рішення полягає в тому, що не розглядаються мобільні граничні обчислення MEC, оскільки, в основному, пропозиція стосувалася кодування і SDN. Запропоноване рішення призначається для мереж і систем 5G і Інтернету речей [26].

В [60] оптимізується структура віртуальної мережі з метою зменшення затримки з кінця в кінець для стільникових мереж LTE-A. Централізований контролер розміщується в ядрі мережі і використовується

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

для слайсинга фізичних ресурсів. Автори використовують алгоритм вкладеної віртуальної мережі VNE (Virtual Network Embedding) для розподілу ресурсів віртуальної мережі по підмережам з використанням карти. Системна модель включає прикордонні маршрутизатори і простий шлюз. Прикордонний маршрутизатор є відповідальним за управління мобільністю, ґрунтуючись на схемі розподіленого управління DMM (Distributed Mobility Management). Запропоноване рішення дозволяє оптимізувати маршрут і використовувати віртуалізацію мережі. Система забезпечує найкращі значення по затримці, при цьому поліпшуються також характеристики по мобільності користувача. На жаль, можливості мобільних граничних обчислень MEC не використовуються, і запропонована система може розглядатися тільки як модифікація для стільникових систем LTE-A.

В [34] запропонована архітектура мережі 5G з використанням технології програмно-конфігурованих мереж SDN для мереж з щільним розміщенням малих стільників. Використання концепції малих стільників призводить до частих хендоверів і, відповідно, затримки, пов'язаної з цим процесом. Автори пропонують рішення для подолання цих проблем за допомогою контролера SDN в ядрі мережі. Іншою важливою функцією контролера є розподіл ресурсів мережі радіодоступу і, відповідно, подолання проблем, пов'язаних з гетерогенністю мережі - використанням безлічі технологій радіодоступу. Запропонована система, в основному, забезпечує зменшення затримки при хендоверів. Контролер SDN при цьому забезпечує три типи програмованих інтерфейсів, які дають можливість запропонованій системі прогнозувати переміщення користувача і, таким чином, обробляти процедуру хендоверу за менший час.

Кожна з розглянутих вище робіт передбачає використання централізованого контролера в ядрі мережі. Всі ці запропоновані системи забезпечують високу ефективність мережі за швидкістю і затримки. У той же час основна вимога тактильного Інтернету полягає в досягненні ультра малої затримки і інтелектуальний контролер повинен бути розгорнутий в ядрі мережі для досягнення бажаної затримки.

У мультиконтролерній мережі SDN число контролерів залежить як від масштабу мережі, так і від обсягу трафіку надходження. Основними проблемами, пов'язаними з мультиконтролерними мережами SDN, є їх необхідну кількість і розподіл контролерів по мережі. Остання проблема відома як проблема розміщення контролерів [35]. Завдання розміщення

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

контролерів полягає в тому, щоб розташувати контролери на мережі таким чином, щоб досягти різних необхідних цілей, включаючи, в першу чергу, зниження затримки, енергоефективність, балансування навантаження і підвищення надійності [36]. Відзначимо, що капітальні та експлуатаційні витрати (CAPEX і OPEX) для мережі, в основному, залежать від числа необхідних контролерів [37]. Тому, визначення оптимального числа контролерів і оцінка їх найкращого розподілу є найважливішими завданнями для мультиконтролерних мереж SDN. Важливо відзначити, що і число контролерів, і їх розподіл повинні динамічно змінюватися відповідно до змін розміру мережі та об'єму трафіку надходження.

Динамічні зміни в обсязі трафіку надходження, в свою чергу, призводять до зміни числа задіяних на мережі контролерів. Коли трафік на мережі зростає, нові контролери повинні бути активовані, в той час як при зниженні трафіку надходження певне число контролерів може бути відключені. Частота зміни трафіку призводить до відповідного процесу активації і деактивації контролерів в мультиконтролерній мережі SDN. Сплячий режим може бути розглянутий як альтернативний варіант деактивації контролера [36]. Рішення про використання того чи іншого режиму для кожного з контролерів сприяє кращій продуктивності системи в цілому і може бути оптимізовано експериментальним шляхом.

Проблеми розміщення і розподілу контролерів по мережі має великий вплив на продуктивність мереж SDN. Це привернуло до вирішення проблем безліч дослідників в даній області, і було багато пропозицій для того, щоб вирішити ці проблеми і знайти оптимальне рішення. У цьому підрозділі аналізуються розроблені методи для розміщення контролерів і оцінки їх оптимального числа, а також використовувані математичні методи і отримані результати.

Для мультиконтролерної мережі SDN завдання визначення числа контролерів і їх розміщення по мережі можуть бути розглянута як NP - складна проблема [55]. Для мереж великої ємності з ростом навантаження на мережу проблема все більше і більше ускладнюється і стає важко вирішуваною. Розроблені методи та існуючі рішення для проблеми розподілу контролерів по мережі і пошуку оптимального числа контролерів можуть бути класифіковані в такий спосіб (рис. 3.2) [37]. Існуючі методи передбачають мінімізацію або максимізацію одного або декількох об'єктів.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

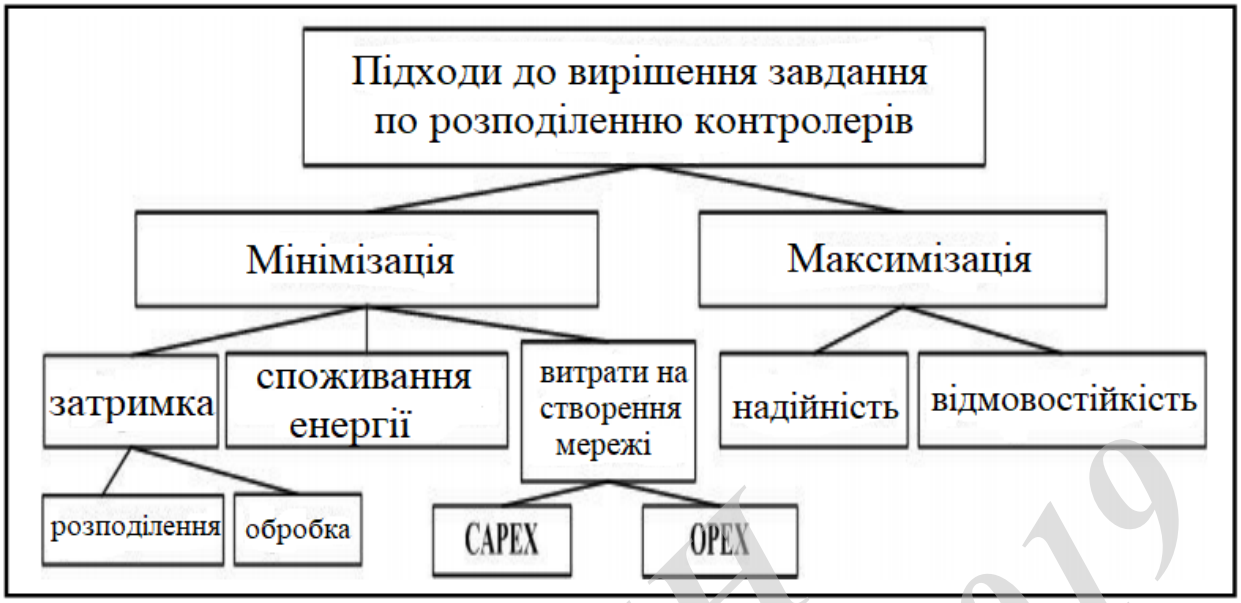


Рисунок 3.2 - Класифікація підходів до вирішення завдання з розподілу контролерів

Максимальна надійність: Надійність є найважливішим аспектом мереж SDN, оскільки відмова на мережі може призвести до серії відмов у з'єднаннях між рівнем управління і рівнем передачі даних. Розміщення контролерів і комутаторів для різних контролерів в мультиконтролерної мережі SDN вирішальним чином впливає на надійність мережі [38]. При цьому, природно, проблема розміщення контролерів на мережі розглядається з точки зору надійності. Дослідники і розробники розглядають знаходження оптимального рішення по максимізації надійності розміщення контролерів спільно з мінімізацією очікуваних втрат на мережі. Ще один підхід до підвищення надійності полягає в збільшенні доступності мережі [39].

В [42] визначена проблема надійності розміщення контролерів RCP (Reliable Controller Placement) і запропоновано кілька жадібних алгоритмів для вирішення цієї проблеми. Завдання визначається як узагальнена задача мінімізації k-медіани, а метрика для вимірювання надійності є очікуваний відсоток допустимих шляхів для рівня управління. Три реальні топології розглядаються для моделювання, а результати моделювання показують, що жадібний алгоритм забезпечує продуктивність з точки зору надійності, близьку до оптимальної.

В [53] автори вводять метрику характеристики надійності мережі SDN. Ця метрика визначається як очікуваний відсоток втрат для шляхів на рівні управління. У роботі ця задача ідентифікується для мультиконтролерної

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

SDN мережі NP-складна. Пропонується евристичний алгоритм для вирішення задачі розміщення контролерів і максимізації при цьому надійності мережі для заданої топології мережі і визначеною ймовірності відмови кожного з елементів мережі. Вплив розміщення контролерів і відповідних їм комутаторів перевіряється для реальних топологій мереж. Розглядається також компроміс між надійністю і затримками як вирішення проблеми розміщення контролерів.

Максимальна відмовостійкість: Механізм забезпечення відмовостійкості є найважливішою складовою побудови мережі, особливо при настанні відмови. Ці механізми повинні забезпечувати ремаршрутизацію і локалізацію відмов. В [40] відмовостійкість мережі класифікована на перемикання і реконфігурацію.

Перемикання передбачає використання резервних шляхів в разі відмов, в той час як реконфігурація вимагає пошуку нових шляхів. Тому, перемикання надає більш швидкі рішення, в той час як реконфігурація дає великі можливості при відмовах. Бажано, щоб мережа SDN була повністю відмовостійкою, а розміщення контролерів має забезпечити максимальну відмовостійкість для мультиконтролерної SDN мережі.

В [41] запропоновано Парето - заснований оптимальний відмовостійкий алгоритм розміщення контролерів POCO (Pareto-based Optimal Controller Placement) для мереж SDN. Автори доводять, що розгляд різних відмовостійких метрик і метрик продуктивності призводить до того, що не існує простого оптимального рішення, є набір рішень. Це вимагає компромісу між розглянутими метриками і для цього якраз і може бути використаний розроблений алгоритм POCO. Алгоритм POCO використовується для різних конструкцій, в тому числі толерантних до відмов, максимальної затримки і максимального числа комутаторів, які можуть бути підключені до контролерів. Алгоритм реалізований для великої кількості топологій для верифікації результатів роботи.

В [19] завдання розподілу продуктивності контролерів CCPP (Capacitated Controller Placement Problem) визначається на основі аналізу завантаження контролерів. Завдання ставиться до класу NP-складних. В роботі запропонований алгоритм, заснований на моделі цілочисельного програмування, для того, щоб вирішити задачу CCPP і знайти оптимальне число контролерів в межах певної області з заданим радіусом r. Крім того, в роботі досліджується вплив розміщення контролера на відмовостійкість

ВНТУ ФІРЕН ПКСТВ МКР 2019

мережі в умовах наявності відмов. Алгоритм оцінюється для різних топологій мережі SDN. При цьому результати моделювання показали, що алгоритм зменшує необхідну кількість контролерів SDN, а також навантаження на мережу в цілому. Крім того, результати роботи доводять, що забезпечується краща продуктивність для відмовостійкої мережі, ніж при використанні алгоритму k-середніх.

Мінімізація споживання енергії:У цьому підрозділі розглянемо проблеми знаходження оптимального числа контролерів і найкращих рішень, що забезпечують зменшення енергоспоживання пристроями мережі. У більшості робіт, присвячених даній проблемі, розглядаються методи перекладу ряду контролерів в сплячий режим при зниженні навантаження на мережу. Вимірювання доводять, що пристрої мережі споживають енергію в періоди малої навантаження навіть вище, ніж у періоди високого навантаження приблизно на 90 відсотків [58]. Мережі SDN дозволяють в реальному часі відстежувати динамічні зміни трафіку, що обслуговується контролерами, що надає можливості щодо зниження енергоспоживання за рахунок переведення в сплячий режим контролерів з малим навантаженням, а також відключення частини задіяних каналів [18].

В [42] автори пропонують алгоритм розміщення контролера з метою зменшення енергоспоживання для SDN мереж, який назвали GreCo. GreCo - це евристичний алгоритм, який зменшує енергоспоживання, по можливості відключаючи канали. Алгоритм гарантує, що процес відключення каналів не впливає на роботу комутаторів, і всі комутатори мають доступ до відповідного контролера. Оскільки пристрої мережі функціонують постійно, не враховуючи зміни надходження трафіку, впровадження алгоритму, який може це робити в реальному масштабі часу, є дуже важливим рішенням для економії енергоспоживання.

Алгоритм GreCo забезпечує ефективне перемикання ліній для контролера з точки зору енергоспоживання на основі визначеного балансу навантаження і максимально допустимої затримки. Крім того, цей алгоритм забезпечує максимальне використання кожної лінії (MLU) між комутаторами і контролерами. Оптимальне рішення задачі здійснюється на основі двійкового цілочисельного програмування. Алгоритм GreCo реалізований і протестований для чотирьох різних топологій мережі SDN. Результати показали, що алгоритм здатний відключати до 55 відсотків від загального числа ліній в кожній з протестованих топологій. У той же час для деяких з

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

протестованих топологій алгоритм GreCo використовував до двадцяти відсотків додаткових ліній в порівнянні з оптимальним числом ліній, певним оптимізацією з використанням двійкового цілочисельного програмування.

В [54] двійкове цілочисельне програмування BIP (Binary Integer Program) використовується для побудови моделі енергетично ефективного розміщення контролерів в мультиконтролерній SDN мережі. Внаслідок складності використання BIP для мереж великої ємності, покращений евристичний генетичний алгоритм для розміщення контролерів IGCPA (Improved Genetic Controller Placement Algorithm) використовується в цьому випадку для пошуку субоптимального рішення. Цільова функція при цьому така ж, як у алгоритму GreCo. Оптимальне рішення дає таке місце розташування контролерів, яке зменшує енергоспоживання мережі в цілому. Це енергоспоживання є результатом управління трафіком управління, затримкою поширення і навантаженням контролера. Алгоритм IGCPA змодельований для різних топологій, що визначають мережі різних масштабів. Результати моделювання показують, що запропонований метод забезпечує зменшення енергоспоживання, а алгоритм IGCPA знаходить рішення, близьке до оптимального.

Мінімізація витрат на створення мережі: Вартість створення і функціонування мережі включає як капітальні витрати CAPEX, так і операційні витрати OPEX. Розміщення контролерів і кількість і їх число, в основному, впливають на вартість створення мережі. Виходячи з цього, були розроблені методи для розміщення контролерів і визначення найкращого числа цих контролерів, які мінімізують вартість створення мереж з технологією SDN [40]. Основні методи при цьому можна розділити на статичні і динамічні методи. В обох випадках оптимальне число контролерів, їх типи, структура з'єднання комутаторів і контролерів досліджуються з точки зору забезпечення мінімальних витрат на створення мережі. Це може відбуватися як статично (статичні підходи), так і динамічно в реальному часі (динамічні підходи).

В [46] запропонований алгоритм гри з ненульовою сумою з метою визначення оптимального числа контролерів і оптимальної організації зв'язків між комутаторами і контролерами, що дозволяє мінімізувати витрати на створення мультиконтролерної мережі SDN. Алгоритм є розподіленим і може бути реалізований на кожному контролері в якості механізму оптимізації, відстежуючи при цьому зміни трафіку мережі в режимі

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

реального часу. Алгоритм є досить простим з точки зору витрат на реалізацію і не залежить від топології мережі, що визначає основні переваги аналізованої роботи. Алгоритм промодельований і відтестували для випадково вибраної мережі, і результати показали, що алгоритм зменшує вартість створення мережі.

В [47] розроблено алгоритм розміщення контролерів з урахуванням витрат з метою знаходження оптимального числа контролерів і їх оптимального розміщення на мережі. Крім того, вибір оптимального типу використовуваних контролерів також визначається алгоритмом, що дозволяє мінімізувати вартість створення мережі. У аналізованої роботі розроблена математична модель з двома основними обмеженнями: по затримці і пропускної здатності контролера. Алгоритм враховує такі вихідні дані, як можливості контролера, затримки для потоків і особливості середовища передачі. Результати моделювання підтверджують ефективність алгоритму для мереж SDN невеликого розміру. Однак, для мереж великого масштабу оптимізація займає надто багато часу через велику кількість мережевих елементів і з'єднань. В подальшій роботі [48] автори розширюють використання своїх результатів на завдання планування мереж.

Мінімізація затримки: Загальна затримка між термінальними пристроями та контролерами SDN є критично важливою проблемою для мереж SDN. Ця затримка повинна бути мінімальною, щоб забезпечити якомога більш швидку взаємодію між контролерами і комутаторами, а також відповідати нормам за якістю обслуговування (QoS). Існує дві основних складових затримки, створюваної контролерами SDN для виконання своїх завдань. Це затримка для обслуговування потоку трафіку і затримка, пов'язана з тривалістю управління завданнями комутатора [51]. Тривалість часу, необхідного для аналізу отриманого пакета і визначення правила його обслуговування в контексті мережевих політик, є затримкою для обслуговування потоку. На цей час, в основному, впливають швидкість підключення до контролера і число підключених до контролера комутаторів [21]. Друга складова затримки є тривалість часу, необхідного для установки на комутаторі дисципліни обслуговування для вступника трафіку з боку контролера. Обидві складових відносяться до функціонування контролера, затримка обробки в якому, в основному, залежить від величини навантаження на контролер. Крім того, природно, існують затримки в чергах. Інша важлива затримка, яка може мати місце, - це затримка в черзі, яка, в

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

основному, залежить від числа підключених до контролера комутаторів і їх можливості по швидкості передачі [49]. Часто сумарний час очікування в черзі і час обробки називають часом відгуку системи. Останнім часом найважливішу роль в зв'язку з майбутньою реалізацією послуг тактильного Інтернету починає грати затримка поширення, яка залежить від відстані між контролером і комутатором [12].

В [57] автори запропонували структуру для вирішення завдання глобальної затримки при розміщенні контролерів в мережі SDN GLCPP (Global Latency Controller Placement Problem). Запропонований алгоритм заснований на оптимізації рою частинок PSO (Particle Swarm Optimization), що має допомогти вирішити поставлене завдання, маючи на увазі затримку між контролерами і продуктивність кожного з контролерів. В алгоритмі PSO кожен рій розглядається як набір можливих розміщень для різних контролерів, і мета оптимізації - отримати найкращий рій на основі функції придатності. Основна увага приділяється мінімізації відстаней між комутаторами і контролерами, а також між сусідніми контролерами. Алгоритм реалізований для випадково вибраних бездротових мереж і порівнюється з трьома алгоритмами лінійного програмування. Результати моделювання показують, що алгоритм GLCPP забезпечує найкращі результати як з точки зору затримки, так і з точки зору часу виконання алгоритму. Основним недоліком аналізованої роботи є те, що в ній передбачається, що загальне число розгорнутих контролерів задано. Це число може бути не оптимальним, особливо при динамічній зміні трафіку мережі.

В [51] для вирішення проблеми розміщення контролерів з урахуванням затримки, запропоновано використовувати хаотичний алгоритм оптимізації «сірий вовк». Оптимізація використовується для отримання оптимального числа розгорнутих в мережі контролерів і забезпечення оптимальної структури з'єднань комутаторів і контролерів, що має звести до мінімуму затримку в мережі. Алгоритм реалізований для випадково вибраної невеликої мережі з десятьма комутаторами, а результати порівнюються з результатами іншого мета евристичного алгоритму. Результати моделювання та порівняння показують, що алгоритм досягає кращих характеристик з точки зору величини затримки. Крім того, алгоритм порівнюється також з методом статичного розміщення. Основною проблемою аналізованої роботи є те, що робота призначена для мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, що використовує

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТБ МКР 2019

технологію SDN, проте алгоритм реалізований для невеликих мереж і не тестувався для великомасштабних мереж і реальних топологій.

Пропоноване в роботі рішення представлено в розділі 3.4 і засноване на мінімізації як затримки мережі, так і вартості створення. Обидві цілі зважуються для оцінки оптимального числа контролерів, а також оптимального розподілу комутаторів по контролерам. Новизна запропонованого в роботі підходу полягає в тому, що обидві цілі досягаються одночасно при використанні алгоритму SSA, який вважається одним з найбільш ефективних алгоритмів на основі ройового алгоритму PSO. Більш того, введення хаотичних карт забезпечує більш високу ефективність оптимізації.

3.2 Інтелектуальне ядро мережі для 5G і тактильного Інтернету

Надання послуг тактильного Інтернету вимагає від мережі дуже високої надійності і доступності, а також ультра малої затримки. Це накладає великі обмеження на компоненти системи з точки зору контексту, контенту і мобільності. При цьому Тактильний Інтернет вимагає наскрізної затримки в одиниці мілісекунд. Ця затримка включає в себе як кругову затримку при передачі інформації, так і затримку в обробці заявок на обслуговування. В даний час найбільш сувора вимога визначає затримку величиною в 1мс. Іншими словами, наскрізна затримка повинна бути менше часу реакції людини [83]. У роботі наводяться розроблені автором рішення, які можуть вирішити проблему затримки в мілісекундах, а також досягти виконання інших вимог тактильного Інтернету, використовуючи один централізований контролер.

Запропонована в МКР система для реалізації тактильного Інтернету розглядається як тришарова система, заснована на запропонованій структурі мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, запропонованої організацією по мобільних мереж наступного покоління NGMN (Next Generation Mobile Networks) [50]. Як показано на рис. 3.3, тришарова система заснована на наступних основних технологіях: мобільні граничні обчислення MEC, програмно-конфігуровані мережі SDN і віртуалізація функцій мережі NFV. В основі запропонованої структури лежить мережа зв'язку п'ятого покоління 5G, яка, крім усього іншого, розділяє апаратне і програмне забезпечення та

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

надає API-інтерфейси для поліпшення управління і адміністрування мережею.

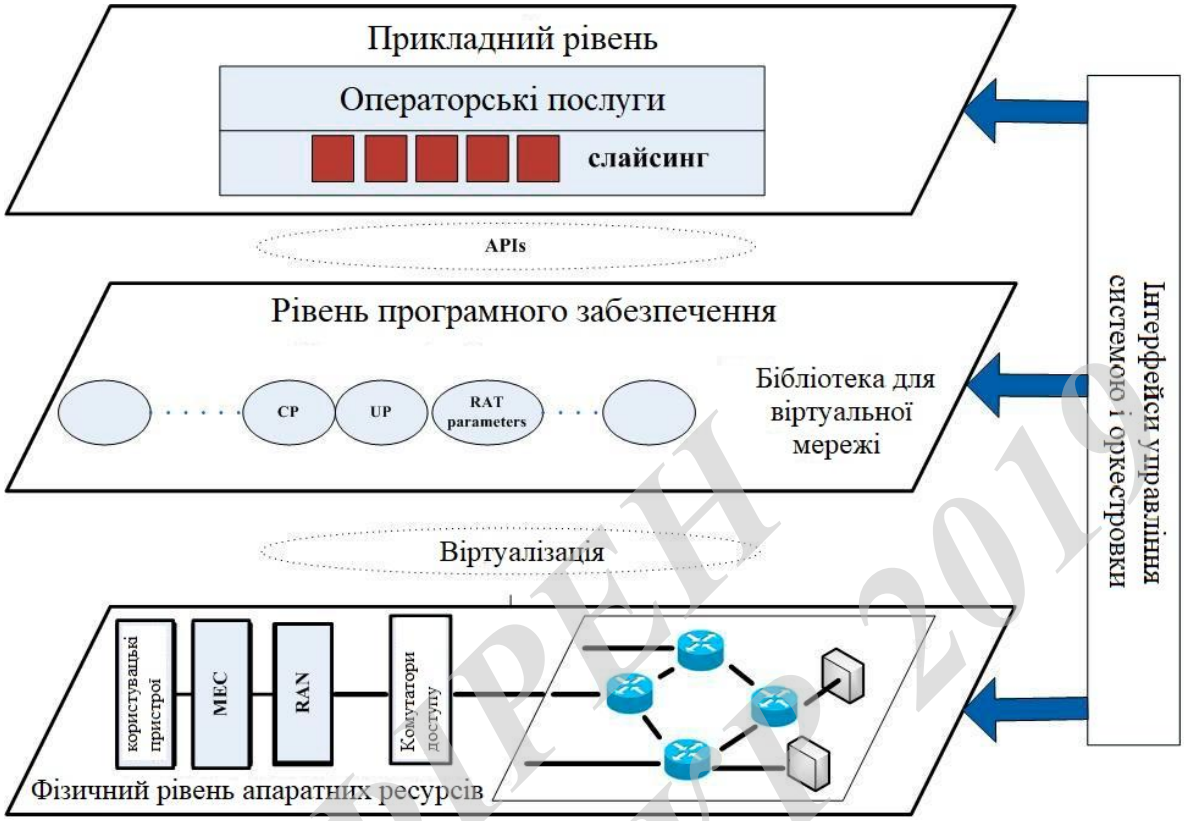


Рисунок 3.3 – Трирівнева структура системи

Перший рівень - це фізичний рівень апаратних ресурсів, який включає інфраструктуру мережі (призначена для користувача пристрою 5G/тактильні, оптоволоконні кабелі, хмарні пристрої та мережеві вузли). Призначені для користувача пристрої можуть бути або майстер-роботом, або смартфоном 5G і т.д, які мають достатньо можливостей для конфігурації в мережі [40]. Майстер-робот - це робот з просунутими можливостями штучного інтелекту, який може розглядатися як тактильний пристрій, адекватно представляє інтерфейс людини. Хаптік (тактильну) пристрій має здатність транслювати людський інтерфейс в тактильний інтерфейс за допомогою методів кодування [51]. Використовуючи хаптік пристрої, користувачі, у тому числі і роботи, можуть відчувати і чіпати об'єкти в віддалених середовищах, а також можуть управляти цими об'єктами. Хмари використовуються на кордоні мережі на базі концепції MEC з використанням багаторівневої структури, представленої в розділі 2. Зменшення наскрізної затримки досягається за рахунок скорочення довжини лінії зв'язку, оскільки хмара знаходиться на

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

відстані одного кроку від обладнання користувача. При цьому складова часу для ядра мережі відсутня, оскільки дані не передаються в ядро мережі.

Другий рівень - це рівень програмного забезпечення для віртуальної мережі, який підтримує бібліотеки для всіх функцій, необхідних для конкретної мережі. Ці бібліотеки є програмними функціями і модулями, які можна використовувати в певній частині мережі або для мережі в цілому. Крім того, на даному рівні знаходяться також параметри мереж радіодоступу та інші параметри для конфігурації мережі. Останній рівень - це прикладний рівень, який визначає послуги та програми, необхідні для операторської мережі.

Всі три рівні системи інтегруються через інтерфейси управління системою і оркестровки. Ці інтерфейси відповідають за управління функціонуванням перших двох рівнів на основі бізнес-додатків більш високого рівня. Завдання адміністрування та управління інтерфейсами виконуються за допомогою API. Інтерфейси адміністрування і оркестровки з'єднуються з першим рівнем через API для забезпечення функціонування, конфігурації мережі та моніторингу стану мережі та продуктивності. Програмний продукт і параметри другого рівня можуть бути обрані в будь-який час з використанням інтерфейсу адміністрування через API. Лінії зв'язку між прикладним рівнем і інтерфейсом адміністрування і оркестровки дозволяють йому створювати необхідний слайсінг для кожної програми або зіставляти його з існуючим слайсінгом [52].

Для реалізації таких складних і критично важливих завдань в інтерфейсі адміністрування і оркестровки використовуються технології SDN/NFV. Технологія SDN - це один із способів виконання вимоги по затримці передачі даних в 1мс, що пов'язано з тактильним Інтернетом та іншими майбутніми послугами мереж зв'язку п'ятого покоління 5G. Крім того, SDN надає ефективні рішення по гнучкості і ефективності мережі. Тому, ядро мережі зв'язку п'ятого покоління буде засновано на технології SDN [9]. У мережах SDN, як це вже було зазначено вище, розділені рівні передачі даних і управління, причому між собою вони пов'язані з використанням протоколу OpenFlow.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

На рис. 3.4 показана запропонована в МКР архітектура мережі для виконання вимог тактильного Інтернету по круговій затримці з кінця в кінець. Мережа надання послуг тактильного Інтернету від краю до краю включає в себе користувальницькі пристрої, мережі радіодоступу RAN (базові станції eNBs), хмари, комутатори доступу, комутатори OpenFlow, проміжні пристрої (Middlebox) і, нарешті, SDN контролер. Кожна базова станція eNB приєднана до мережі через комутатор доступу, який забезпечує класифікацію пакетів від призначених для користувача пристроїв. Ці комутатори реалізуються програмно і відомі як Open vSwitch [53].

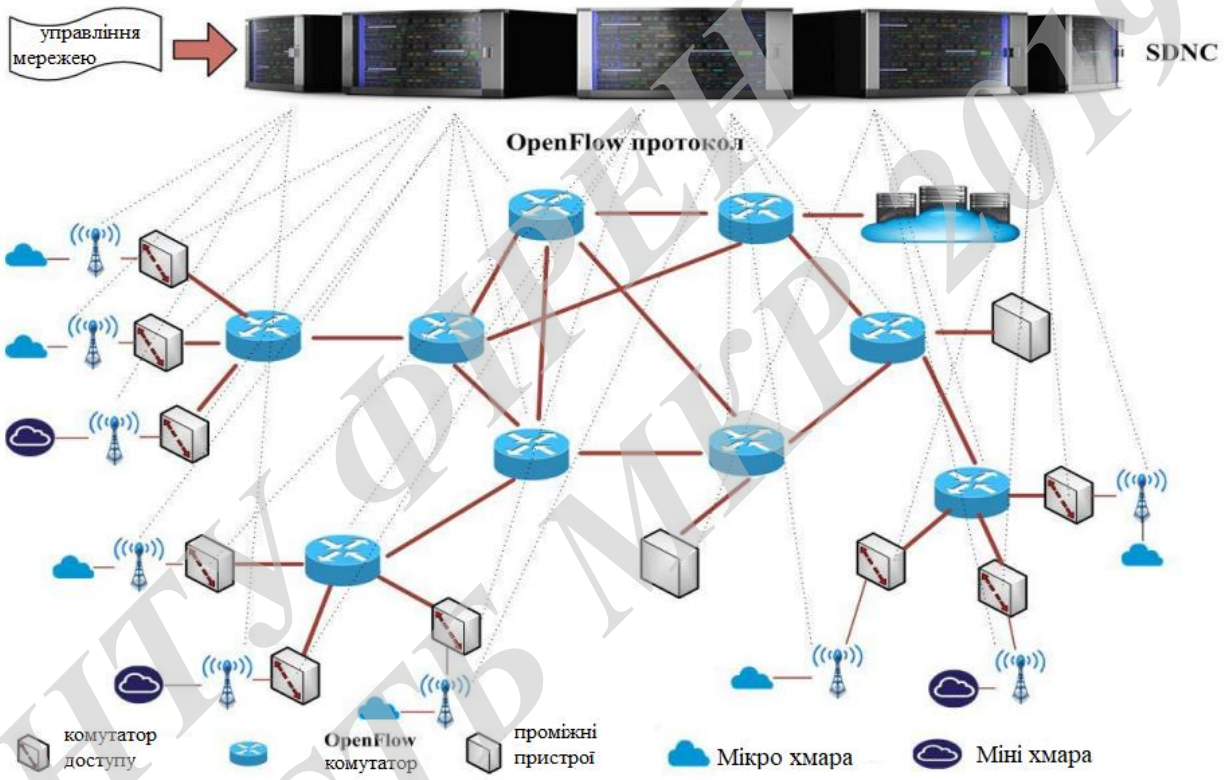


Рисунок 3.4 - Структура системи з кінця в кінець

Мережа в цілому пов'язана за допомогою комутаторів OpenFlow, які керують пакетами даних і перенаправляють трафік відповідно до маршрутних таблиць. Проміжні пристрої є стандартним обладнанням, яке надає мережевим операторам можливість використовувати додаткові функції, такі як міжмережевий екран і трансляція мережевих адрес. Основними вимогами до функцій і послуг, що надаються цими проміжними пристроями, є ефективне використання ресурсів і захист системи від атак. Всі ці елементи відносяться до рівня передачі даних мережі.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Найважливішою частиною запропонованої в МКР архітектури є центральний контролер (SDNC), який представляє собою рівень управління мережею. На основі логіки програмування і управління SDNC може виконувати функції і операції на рівні управління. SDNC має і підтримує в актуальному вигляді глобальну інформацію про прикордонні пристрої і пристрої ядра мережі: комутаторах OpenFlow, комутаторах доступу, проміжних пристроях, мережах доступу RAN і хмарних пристроях і платформах. SDNC управляє всіма периферійними пристроями та пристроями ядра мережі, які прописані в протоколі OpenFlow.

Функціонально комутатори в системі тактильного Інтернету розглядаються як пристрої перенаправлення пакетів з простими або складними таблицями маршрутизації [20]. Два типи комутаторів використовується при побудові ядра мережі OpenFlow: прості комутатори та гібридні комутатори pure. Прості комутатори підтримують тільки протоколи OpenFlow і повністю залежать від централізованого контролера. Гібридний же комутатор є комутатором більш широкого застосування. Він підтримує як протоколи OpenFlow, так і традиційні протоколи, а також взаємодіє з існуючими мережами.

Протокол OpenFlow є стандартом по сигналізації для використання між контролером SDNC і комутаторами OpenFlow. Крім того, інструкції від контролера SDNC до інших пристроїв мережі також передаються з використанням протоколу OpenFlow [45]. Кожен вузол OpenFlow зв'язується з контролером SDNC через захищений канал OpenFlow. Комутатори OpenFlow створюють свої таблиці маршрутизації і правила обробки пакетів на основі інструкцій, отриманих від контролера SDNC через протокол OpenFlow. Ці інструкції вносяться в таблиці маршрутизації, одержувані від контролера SDNC. Таблицю маршрутизації можна розглядати як набір характеристик для потоків. Для кожного потоку міститься набір інструкцій для вузлів [55].

Існує тільки три типи повідомлень між контролером SDNC і комутаторами OpenFlow на основі легального протоколу OpenFlow. Перший тип повідомлень - це сполучення між контролером і комутатором. Цей тип відноситься до всіх повідомлень, ініційованим і переданим з контролера на будь-який комутатор, пов'язаним зі встановленням з'єднань, конфігурації комутатора, перевіркою поточного стану комутатора і, при необхідності,

ВНТУ ФІРЕНТ ІКСТВ МКР 2019

його модифікацією. Перелік всіх можливих повідомлень від контролера до комутатора, підтримуваних OpenFlow 1.4, наведено в [56].

Другий тип являє всі повідомлення, що передаються з комутаторів на контролер SDNC; ці повідомлення відносяться до асинхронних. У табл.3 наведені всі асинхронні повідомлення, що використовуються в OpenFlow 1.4; Також вказані функції і структура цих повідомлень [53]. Третій тип - це повідомлення, якими обмінюються контролер SDNC і комутатори в обох напрямках. Ці повідомлення називаються симетричними повідомленнями і мають різні форми і функції. Одним з основних симетричних повідомлень є повідомлення запиту/відповіді, які використовуються комутаторами або контролером SDNC для верифікації затримки і вимірювання смуги пропускання. Ще одне важливе симетричне повідомлення - це повідомлення про помилки, які використовуються для інформування контролера про проблему з цим з'єднанням. Повідомлення про помилки, в основному, використовуються комутатором для повідомлення про збій при запиті.

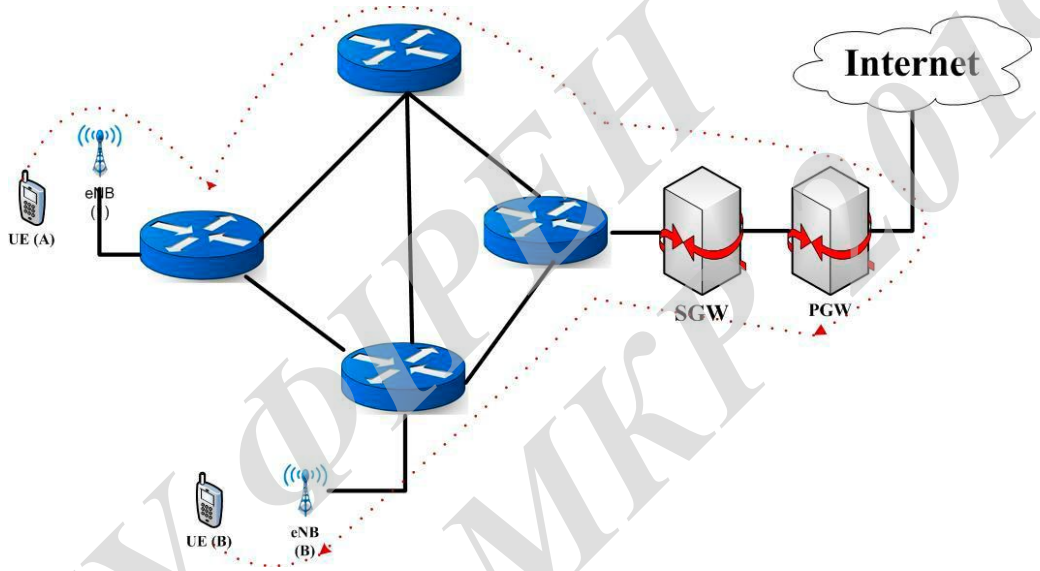
Використання контролера SDNC покращує продуктивність системи в цілому в багатьох відносинах, таких як величина затримки і мобільність користувача. Одним з найважливіших аспектів зниження затримки в обох напрямках є зменшення числа проміжних вузлів, залучених до процесу з'єднання, і саме це забезпечується використанням контролера SDNC. Крім того, контролер SDNC може прогнозувати характеристики мобільності користувача, так як контролер може отримати доступ до всіх даних користувача пристрою (включаючи: тип пристрою, місце розташування, платіжну інформацію тощо), що сприяє поліпшенню таких критичних процесів радіодоступу, як хендовер. Таким чином, використання контролера SDNC зменшує затримку з кінця в кінець, полегшує процес забезпечення хендоверу, а також зменшує і для нього час затримки.

Щоб проілюструвати переваги цієї системи, потрібно порівняти її з новою традиційної мережею Evolved Packet Core [46]. У традиційних мережах Evolved Packet Core весь трафік даних проходить через мережу Evolved Packet Core, включаючи шлюз пакетних даних (PGW) і обслуговуючий шлюз (SGW). Це представляє навантаження на ці шлюзи і призводить до збільшення затримки в обох напрямках. На відміну від традиційних систем, пропонована система використовує SDN, який усуває цей бар'єр і зменшує затримку проходження сигналу в обох напрямках за

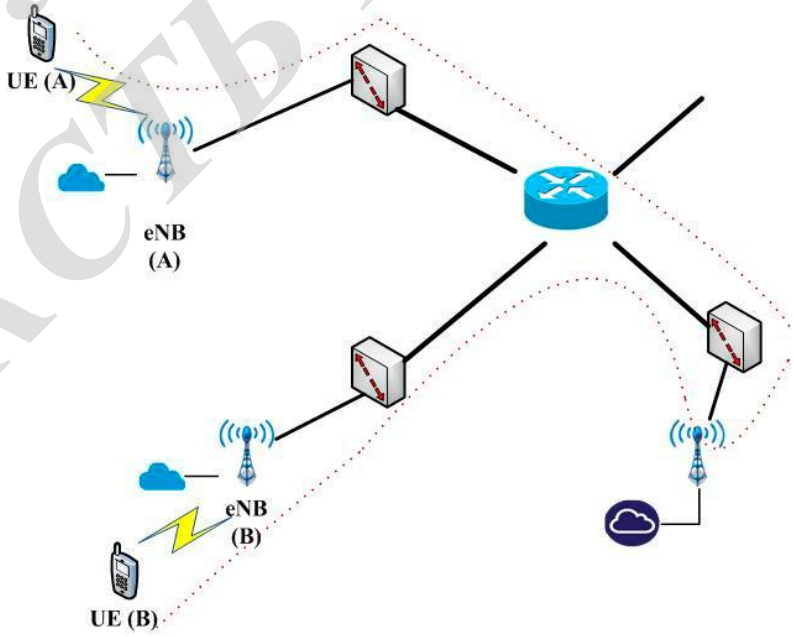
ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

рахунок зменшення кількості проміжних вузлів, що беруть участь в процесі зв'язку.

На рис. 3.5 можна побачити порівняння між двома системами. При цьому, на рис. 3.5 (Б) дві базові станції eNB належать одній і тій ж міні хмарі, а на рис. 3.5 (В) дві базових станції eNB належать вже різним міні хмарам. Найважливішим є те, що архітектура програмно-конфігуруються мереж SDN дозволяє ефективно додавати або змінювати мережеві функцій, що неможливо в традиційних системах (рис. 3.5). Крім того, розподіл ресурсів мережі може бути виконано за допомогою контролера SDNC, який є основною особливістю для мереж 5G і додатків тактильного Інтернету.

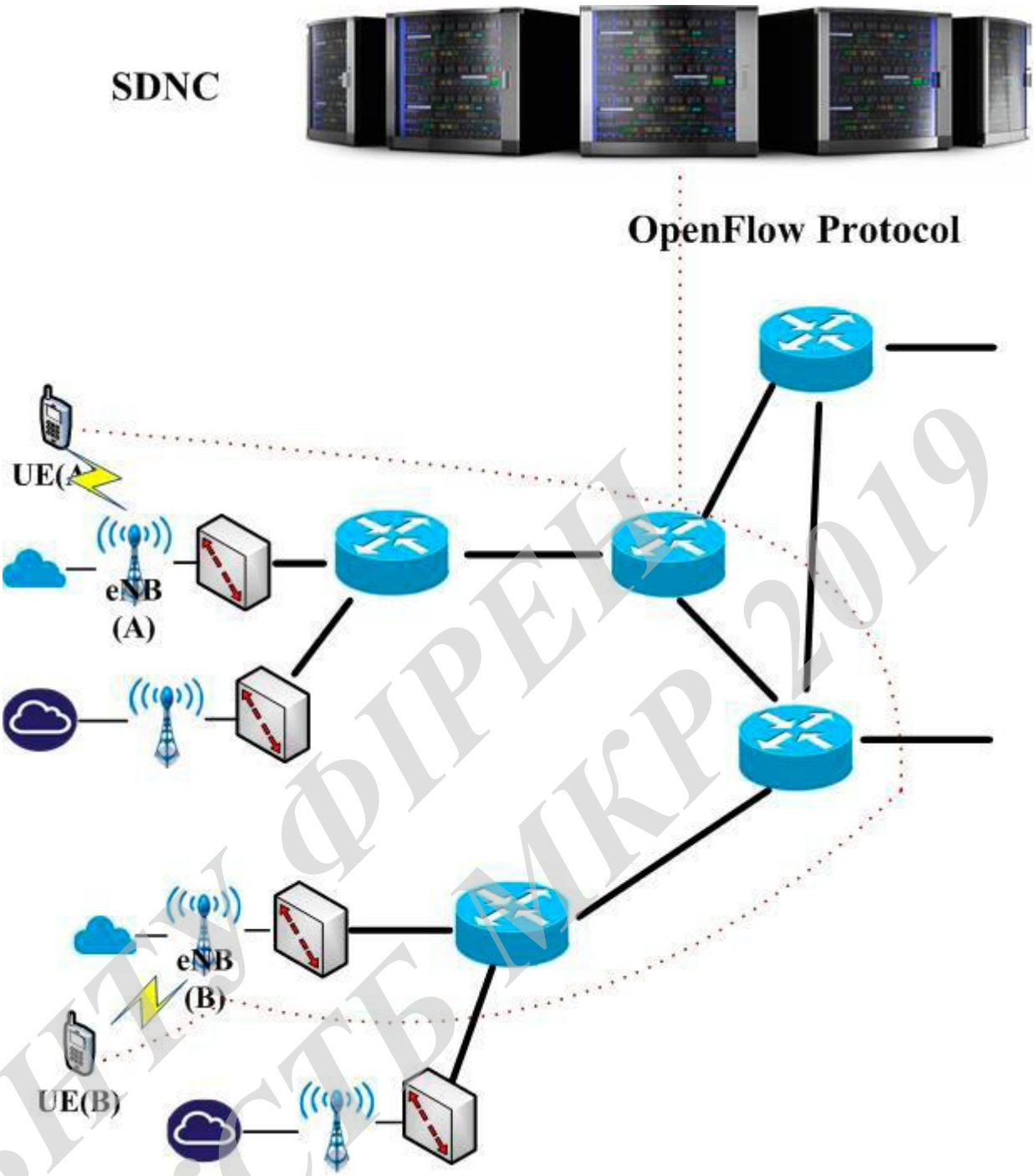


А



Б

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019



В

Рисунок. 3.5 - Порівняння систем: (А) еволюційне пакетне ядро мережі, (Б) запропонована структура, випадок 1, (В) запропонована структура, випадок 2

Резюмуючи вищевикладене, можна стверджувати, що запропонована нова архітектура мережі має наступні переваги в порівнянні з традиційною архітектурою:

1. Мережа стає більш гнучкою, оскільки для маршрутизації може бути використаний контролер SDNC.

ВНТУ ФІРЕТ ТКСТБ МКР 2019

2. Мережа стає більш надійною, використовуючи протоколи відкритих систем і інші стандартизовані технології.

3. Функції віртуалізації мережі можуть бути легко додані внаслідок використання контролера SDNC.

4. Вимоги щодо досягнення певного рівня якості обслуговування (QoS) можуть бути забезпечені при використанні технології програмно-конфігурованих мереж SDN.

5. Забезпечується велика масштабованість мережі в порівнянні з традиційним груповим ядром. Дійсно, контролер займається виключно процесами управління і не приймає участі в безпосередній передачі даних.

3.3 Модифіковане ядро мережі на базі технології SDN з використанням мультиконтролера

Для того, щоб сформулювати завдання оптимізації і визначити функцію корисності, перш за все, розглянемо модель мережі. Мультиконтролер SDN керує M комутаторами, які використовують відповідний інтерфейс SDN, наприклад, OpenFlow. Комутатори OpenFlow з'єднані з N контролерами, розподіленими по мережі, і складовими мультиконтролера мережі SDN. Позначимо набір контролерів як C_i (i = 1,2, ..., N), а набір комутаторів як S_j (j = 1,2, ..., M).

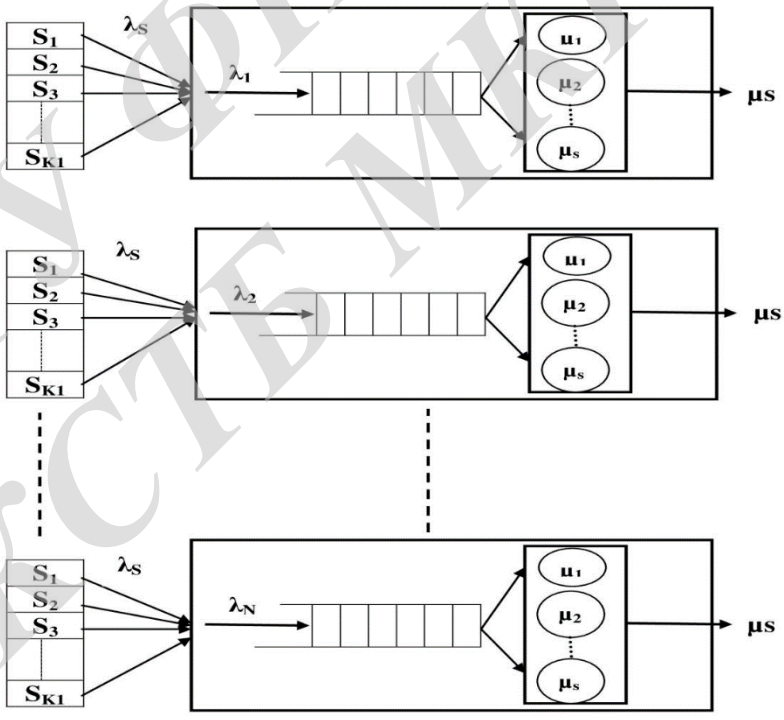
Для виконання будь-якої мережевої операції, кожен комутатор OpenFlow запитує обслуговування у відповідного контролера. Контролер передає на комутатор вимоги по комутації та таблицю переадресації.

Оскільки ресурси контролера, включаючи пам'ять, пропускну здатність і обробку інформації, природно, обмежені, контролер C_i може керувати тільки обмеженим числом комутаторів OpenFlow K_i. K_i – це число комутаторів, пов'язаних з певним контролером C_i в конкретний момент часу, яке може бути визначено з матриці комутаторів мультиконтролера шляхом підсумовування числа комутаторів в ряду контролера. Приклад матриці комутаторів мультиконтролера з N = 5 і M = 7 представлений наступною формулою, де матриця K включає в себе число підключених комутаторів до кожного з контролерів. Рядки матриці представляють різні контролери, а стовпці - карти комутаторів. Контролери не повинні бути перевантажені. Це пов'язано з тим, що ймовірність збою значно збільшується зі збільшенням навантаження на контролер, особливо в умовах перевантаження.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

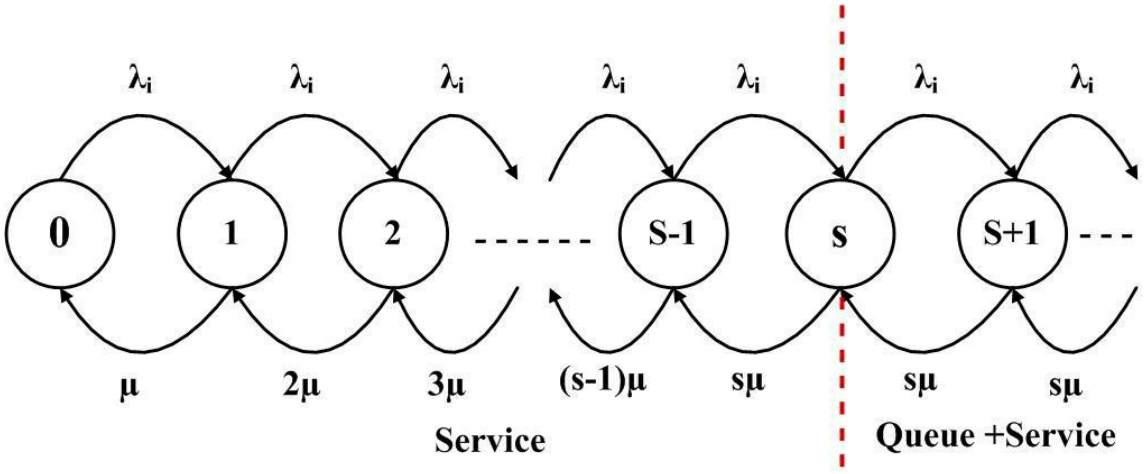
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \gg\gg [K] = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3.1)$$

Одним із способів оцінки продуктивності контролера може служити тривалість часу відповіді контролера на запит комутатора, що робить вирішальний вплив на затримку [57]. Мультиконтролер може бути представлений моделлю з чергами виду M/M/s [13]. На рис. 3.6 (А) показана структура системи з чергою, в якій передбачається, що кожен контролер має s станів. Передані пакети надходять на контролер з інтенсивністю, яка визначається пуассонівським процесом, і формують просту чергу на обслуговування конкретним контролером. На рис. 3.6 (Б) представлена діаграма станів для моделі черг M/M/s, яка визначається марківським процесом загибелі-розмноження з безперервним часом [58].



А

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МІР 2019



Б

Рисунок 3.6 - Модель черг: (А) Структура системи (Б) Діаграма переходів для моделі M/M/s.

Середній час відповіді T_i контролера C_i визначається як сума тривалості очікування в черзі і часу обробки, і може бути обчислено з використанням формули С Ерланга як функція інтенсивності надходження λ_i і інтенсивності обслуговування μ.

$$T_i(\lambda) = \frac{C\left(s, \frac{\lambda_i}{\mu}\right)}{s\mu_i - \lambda_i} + \frac{1}{\mu}; \tag{3.2}$$

$$C\left(s, \frac{\lambda}{\mu}\right) = \frac{\left(\frac{(s\rho)^C}{s!}\right)\left(\frac{1}{1-\rho}\right)}{\sum_{k=0}^{s-1}\frac{(s\rho)^k}{k!} + \left(\frac{(s\rho)^C}{s!}\right)\left(\frac{1}{1-\rho}\right)} = \frac{1}{1+\left(\frac{1}{1-\rho}\right)\left(\frac{s!}{(s\rho)^C}\right)\sum_{k=0}^{s-1}\frac{(s\rho)^k}{k!}}; \tag{3.3}$$

$$\rho = \frac{\lambda_i}{s.\mu}. \tag{3.4}$$

Тут ρ є завантаження сервера, що вказує на стійкість системи. Система має стійкий розподіл тільки тоді, коли ρ менше 1. Це можна побачити на діаграмі станів на рис. 3.6 (Б), коли кількість отриманих заявок виявляється більше, ніж можливостей обробки у контролерів, інтенсивність

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

обслуговування як і раніше sμ, але максимальні можливості контролера вже будуть завантажені повністю.

Інтенсивність надходження заявок λ_i на контролер C_i може бути обчислена як сума середніх інтенсивностей заявок на комутатор, сполучений з контролером.

$$\lambda_i = \sum_{k_i} \lambda_s. \tag{3.5}$$

Відповідно, середнє навантаження на контролер C_i визначається як середнє число заявок, що знаходяться в черзі і в процесі обробки. Використовуючи формулу С Ерланга, нескладно отримати формулу для визначення навантаження на контролер L_i (3.6).

$$L_i(\lambda) = s\rho + \frac{\rho}{1-\rho} C(s, \frac{\lambda_i}{\mu}). \tag{3.6}$$

При статичності навантаження на мережу потоки заявок на комутатори виникають випадковим чином. Нехай на комутатор S_j надходить середній потік FS_j, при цьому мінімально необхідне число контролерів на мережу може бути обчислено на основі середньої інтенсивності потоків заявок на комутатори та середнього навантаження на контролер наступним чином:

$$N_{min} = \frac{\sum_M FS_j}{L(\lambda)}. \tag{3.7}$$

Однак з практичної точки зору цей випадок не становить великого інтересу, оскільки навантаження на мережу може динамічно змінюватися. Динамічна зміна навантаження на мережу ставить завдання визначення оптимального числа, розміщення контролерів в мережі і можливості динамічного використання їх ресурсів. Отже, необхідно сформулювати і вирішити завдання оптимізації з оцінкою в динаміці оптимальної кількості контролерів і, крім того, завдання оптимізації оптимального розміщення контролерів на мережі з урахуванням можливої динаміки в їх місцезнаходженні.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Навантаження на мережу являє собою основу для знаходження як числа розгорнутих контролерів, так і їх розташування. Як тільки навантаження на мережу збільшується, слід ввести в мережу новий контролер або кілька контролерів для необхідної обробки додаткового навантаження і компенсації проблем з перевантаженням контролерів. З іншого боку, якщо навантаження на мережу зменшується, деякі з використовуваних контролерів можуть перейти в сплячий режим в режим очікування або відключитися від мережі в залежності від рівня зниження навантаження.

Додавання нових контролерів або переклад в інший режим задіяних в мережі існуючих може бути здійснено за допомогою представленої далі процедури оптимізації. При цьому вирішується також задача оптимального розподілу контролерів по мережі. Основною метою запропонованих в роботі МКР є знаходження мінімального числа контролерів SDN з їх оптимальним розташуванням і оптимальним використанням для розподілених по мережі комутаторів. Ці оптимальні рішення, природно, повинні задовольняти основним обмеженням, пов'язаним з тривалістю очікування відповіді контролера з боку комутаторів і завантаженням кожного з контролерів. Завдання оптимізації може бути сформульоване таким чином:

$$Min\ f\ (N,C,D). \tag{3.8}$$

При обмеженнях

$$T_i \le \tau,\ \forall i \in A. \tag{3.9}$$

$$U_{lb} \le U_i \le U_{ub},\ \forall i \in A. \tag{3.10}$$

Тут f - нелінійна функція числа розміщених контролерів N, D - середня затримка між контролером і приєднаними комутаторами (внаслідок поширення, черг і обробки) і C - витрати на розміщення контролерів, включаючи капітальні CAPEX і операційні OPEX. Це завдання належить до класу багатоцільових завдань оптимізації з декількома обмеженнями.

Перше обмеження вимагає, щоб середній час відповіді T_i контролера C_i було менше деякої граничної величини Ƈ, яка є визначеною. Це

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

відноситься до всіх контролерів з доступного набору контролерів [A]. Величина Ƈ задається відповідною до існуючих вимог щодо якості обслуговування (QoS). Друге обмеження пов'язане з індексом використання кожного з контролерів, який може приймати значення між нижньою межею індексу використання контролера U_{lb} і вірніше кордоном цього індексу U_{ub}. Обидві величини U_{ub} і U_{lb} також задаються виходячи з вимог щодо забезпечення рівня якості обслуговування QoS системи в цілому. Індекс використання контролера застосовується для відображення показників використання потужності, пам'яті та ресурсів обробки інформації.

Визначимо функцію використання системи, яка являє собою функцію корисності використання різних рішень і забезпечує вибір найкращого рішення. Функція використання системи зазвичай використовується для представлення значень змінних або подій в реальних числах. Вона може бути визначена наступним чином:

$$u: X \to \mathbb{R}. \tag{3.11}$$

Першою функцією корисності, яка повинна бути розглянута, є функція використання часу, яка відображає тривалість відповіді для кожного контролера. При цьому, в принципі, можна використовувати будь-яку функцію загальних втрат. Будемо далі використовувати квадратичну функцію втрат, оскільки вона з математичної точки зору хороша внаслідок симетрії [55]. Функція корисності часу контролера C_i є U_T^{Ci} і визначається відповідно до такої формули:

$$U_T^{C_i} = \begin{cases} \alpha + \beta(\tau - T_i(\lambda))^2, & \mathrm{T}_i(\lambda) \le \tau \\ 0, & \mathrm{T}_i(\lambda) > \tau \end{cases} \quad \forall i \in A. \tag{3.12}$$

Тут α і β є постійними, при цьому їх значення не впливають на рішення. Першою константі α може бути призначено певне значення, яке представляє мінімальну не нульову величину часу використання $U_{T\text{-}thr}$, коли час відповіді одно граничного значення. Наступні рівняння визначають обидві константи:

$$\alpha = U_{T-thr} \quad \forall U_T \in [0,1]. \tag{3.13}$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

$$\beta = \frac{(1 - U_{T-thr})}{\tau^2} \quad \forall U_T \in [0,1]. \tag{3.14}$$

Для порогового значення часу використання для кожного контролера в 70%, час використання може бути перевизначити як:

$$U_T^{C_i} = \begin{cases} 0,7 + \frac{0,3}{\tau^2}(\tau - T_i(\lambda))^2, \mathrm{T}_i(\lambda) \le \tau \\ 0, \quad \mathrm{T}_i(\lambda) > \tau \end{cases} \quad \forall i \in A. \tag{3.15}$$

Іншою важливою функцією корисності, яка повинна бути розглянута, є функція корисності витрат, яка відображає витрати на використовувані контролери. Витрати, в основному, відносяться і до CAPEX, і до OPEX, які потрібні для створення мережі контролерів. Квадратична функція втрат також є відповідною функцію для відображення використання витрат. Вартість використання кожного контролера з набору доступних контролерів можна визначити наступним чином:

$$U_C^{C_i} = \begin{cases} \varphi(\mathrm{U}_{ub} - \mathrm{U}_{ci})^2 \forall U_{ci} \in [U_{lb}, U_{ub}] \\ 0 \qquad\qquad \forall U_{ci} \notin [U_{lb}, U_{ub}] \end{cases} \quad \forall i \in A. \tag{3.16}$$

Тут φ - постійна, яка не впливає на рішення; незалежно від того, яке значення їй присвоєно. Відповідне значення для φ, при значеннях $\mathrm{U_C}$ між 0 і 1, може бути визначено:

$$\varphi = \frac{1}{(U_{ub} - U_{lb})^2} \quad \forall U_C \in [0,1]. \tag{3.17}$$

Обидві функції корисності представляють загальну корисність кожного контролера в мережі. Природно, при додаванні обох функцій корисності можуть використовуватися відповідні ваги.

$$U_{ci} = \delta_C U_C^{C_i} + \delta_T U_T^{C_i} \quad \forall i \in A. \tag{3.18}$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Тут δ_C - ваговий коефіцієнт для витрат і δ_T - ваговий коефіцієнт для часу. Рівняння (3.18) показує загальну корисність для кожного з контролерів U_{Ci}. Загальна функція використання для системи являє собою середню величину використання для кожного з контролерів і може бути обчислена як:

$$U = \frac{\sum_A U_{ci}}{|A|}. \tag{3.19}$$

Виходячи зі сказаного, загальні функції корисності для витрат UCT і для часу UTT для всіх доступних контролерів можуть бути обчислені в такий спосіб:

$$U_{CT} = \frac{\sum_A U_C^{Ci}}{|A|}. \tag{3.20}$$

$$U_{TT} = \frac{\sum_A U_T^{Ci}}{|A|}. \tag{3.21}$$

3.3.1 Хаотичні карти

Теорія хаосу - це сучасний математичний підхід, який використовується для аналізу поведінки динамічних систем з критичними початковими умовами [42]. Одним із способів відображення цієї поведінки є використання хаотичних карт, які є або дискретними, або безперервними. Зауважимо, що хаотичні карти можуть бути ефективно використані тільки для детермінованих систем з передбачуваним поведінкою. Останнім часом теорія хаосу стає все більш привабливою для вирішення багатьох завдань в різних областях, таких як комп'ютерні науки, робототехніка, фізика та мікробіологія [45].

Хаотичні карти є найбільш потужним рішенням для підвищення продуктивності метаевристичних алгоритмів за рахунок можливості розширення їх випадкових параметрів. Ці випадкові параметри можуть бути взяті з рівномірного або гаусівського розподілів. Вказаними параметрами найкраще керувати контролювати за допомогою хаотичної карти, що має за інших рівних умов кращу продуктивність [37]. Управління цими

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

параметрами з використанням хаотичних карт зменшує проблеми локальних оптимумів і збільшує збіжність.

У табл. 3.3 наведені десять протестованих хаотичних карт, які можуть бути використані для уточнення коефіцієнтів алгоритму SSA. Грунтуючись на результатах, отриманих [58], можна стверджувати, що оптимальною хаотичної картою для завдання в МКР є логістична карта. Логістична карта була введена Робертом Меєм в 1976 [55]. Основні рівняння для логістичних хаотичних карт представлені в табл. 3.3. При цьому ω (t) - значення хаотичної карти в t-тій ітерації. У вихідних умовах для хаотичної карти передбачається, що в початковий момент часу значення хаотичної карти має дорівнювати 0.7 (ω (0) = 0.7) [58].

3.3.2 Алгоритм CSSA для оптимального числа контролерів і їх розміщення на мережі

В алгоритмі SSA визначення місцезнаходження джерела, яке є кращою позицією для сальпи, є рішенням оптимізаційної задачі. У моделі, використовуваної в МКР, необхідно знайти оптимальне число контролерів і оптимальний взаємозв'язок контролера з кожним з комутаторів з набору комутаторів S. Це завдання розглядається як NP-складна. Для вирішення такого завдання можуть бути використані метаевристичні алгоритми, оскільки детерміновані використовувати ефективно не вдається. Застосуємо алгоритм SSA, як один з ройових алгоритмів, для вирішення задачі розміщення контролерів і знаходження їх оптимальних взаємозв'язків. Алгоритм SSA демонструє високу продуктивність у порівнянні з іншими PSO алгоритмами [59].

Основна ідея алгоритму SSA полягає в ітеративному паралельному пошуку декількох сальп для отримання оптимального рішення. У необхідному завданні в МКР оптимальним рішенням є оптимальна кількість контролерів і оптимальний розподіл контролерів по комутаторів. Отже, два алгоритму у вкладеному циклі повинні бути використані для отримання найкращих рішень. Будемо використовувати два алгоритму, заснованих на хаотичному алгоритмі CSSA. Система починає роботу з набором вихідних параметрів для алгоритму CSSA, включаючи нижню межу, верхню межу і максимальне число ітерацій, після чого випадковим чином не започатковано n сальп, причому кожна Сальпа представляє доступне число контролерів в

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТВ МКР 2019

мережі. Корисність кожної сальпи обчислюється у відповідність з (3.19) і Сальпа з максимальною користю розглядається як поточне найкраще рішення. Місцезнаходження сальпи з максимальною користю представляється як місце розташування джерела. Параметри алгоритму SSA перезавантажуються відповідно до розташування сальп. Процес перезавантаження розташування сальп і оцінки корисності кожної сальпи повторюється до тих пір, поки оптимальне рішення не буде знайдено або до максимального числа ітерацій.

3.4 Висновки до розділу 3

У розділі запропоновано інтелектуальне ядро мережі для реалізації мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і додатків тактильного Інтернету на основі використання технології програмно-конфігурованих мереж SDN. При цьому розглянуті дві основні архітектури мережі: з централізованим контролером і мультиконтролерну мережу. Використання технології SDN в ядрі мережі дозволяє зменшити затримку і збільшити продуктивність мережі в цілому. Це досягається внаслідок ефективного управління з боку централізованого контролера SDNC і забезпечення з його допомогою гнучкої маршрутизації між двома кінцевими точками мережі. При цьому також зменшується число проміжних вузлів при забезпеченні взаємодії. Запропонована архітектура мережі для тактильного Інтернету з використанням технології SDN в ядрі мережі спільно з раніше запропонованою архітектурою багаторівневої хмарної системи дозволяє зменшити кругову затримку до одиниць мілісекунд. Таким чином, запропоновані рішення з побудови мережі є корисними і ефективними для реалізації додатків тактильного Інтернету.

Ядро мережі SDN з централізованим контролером має недоліки при реалізації мереж великої ємності і для мереж 5G при наявності трафіку від дуже великої кількості пристроїв. Для цих випадків запропоновано мультиконтролерну архітектуру мережі на базі технології SDN. У розділі вирішені завдання по забезпеченню затримки спільно з завданнями щодо забезпечення економічно ефективного розміщення контролерів. Сформульовано задачу оптимізації і розроблений мета евристичний алгоритм для вирішення задачі оптимізації. У розділі проаналізовано хаотичний алгоритм рою сальп CSSA, який використаний для розробки алгоритму

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

оптимізації мультиконтролерної мережі SDN для знаходження оптимального числа контролерів і оптимального розподілу комутаторів по контролерам, що дозволяє мінімізувати затримку і витрати на створення і експлуатацію мережі. Використання хаотичних карт дозволяє як збільшити продуктивність процесу оптимізації, так і запобігає сприйняття локальних оптимумів за глобальний.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

4 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Оцінка продуктивності мультирівневої хмарної системи мобільних граничних обчислень

В цьому розділі проаналізуємо поведінку запропонованої в розділі 2 мультирівневої хмарної системи, призначеної для мереж 5G і тактильного Інтернету, в умовах моделювання. Будемо аналізувати продуктивність системи, запропонованої в підрозділі 2.3, і порівняємо її з іншими існуючими структурами та сценаріями. До теперішнього часу розроблено безліч рішень для використання мікро хмар з різними можливостями. Ці рішення включають віртуальні машини (VM), віддалені процедури управління і вебпослуги [60]. Виберемо одне з найбільш ефективних і адекватних рішень для використання в експериментах, проведених в роботі [58]. Для моделювання будемо використовувати CloudAnalyst, який є версією структури CloudSim. CloudAnalyst має більше можливостей і розширений інструментарій [33].

Як показано на рис. 4.1, побудуємо систему, яка включає п'ять дата центрів різних розмірів і ємності. Два з них є мікро хмарами з двох різних областей покриття з обмеженими можливостями. Дві міні хмари також з двох різних областей представляють собою другий рівень хмарної структури з великими можливостями, ніж на першому рівні (мікро хмар). І, нарешті, на третьому рівні розташовується хмара ядра мережі, що володіє вже дуже великими можливостями по продуктивності.

Для оцінки продуктивності запропонованої системи проведемо три експерименти, кожен з яких представляється наступними умовами:

Випадок 1: В цьому випадку мікро хмара здатна обробляти запити від призначеного для користувача устаткування UE без необхідності адресувати їх до хмар вищих рівнів. Функціонування системи в цьому випадку представлено на рис. 4.2.

Випадок 2: В цьому випадку мікро хмара не здатна обробити запит від призначеного для користувача устаткуванні UE і передає його на обслуговування в міні хмару. Функціонування системи в цьому випадку представлено на рис. 4.3.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

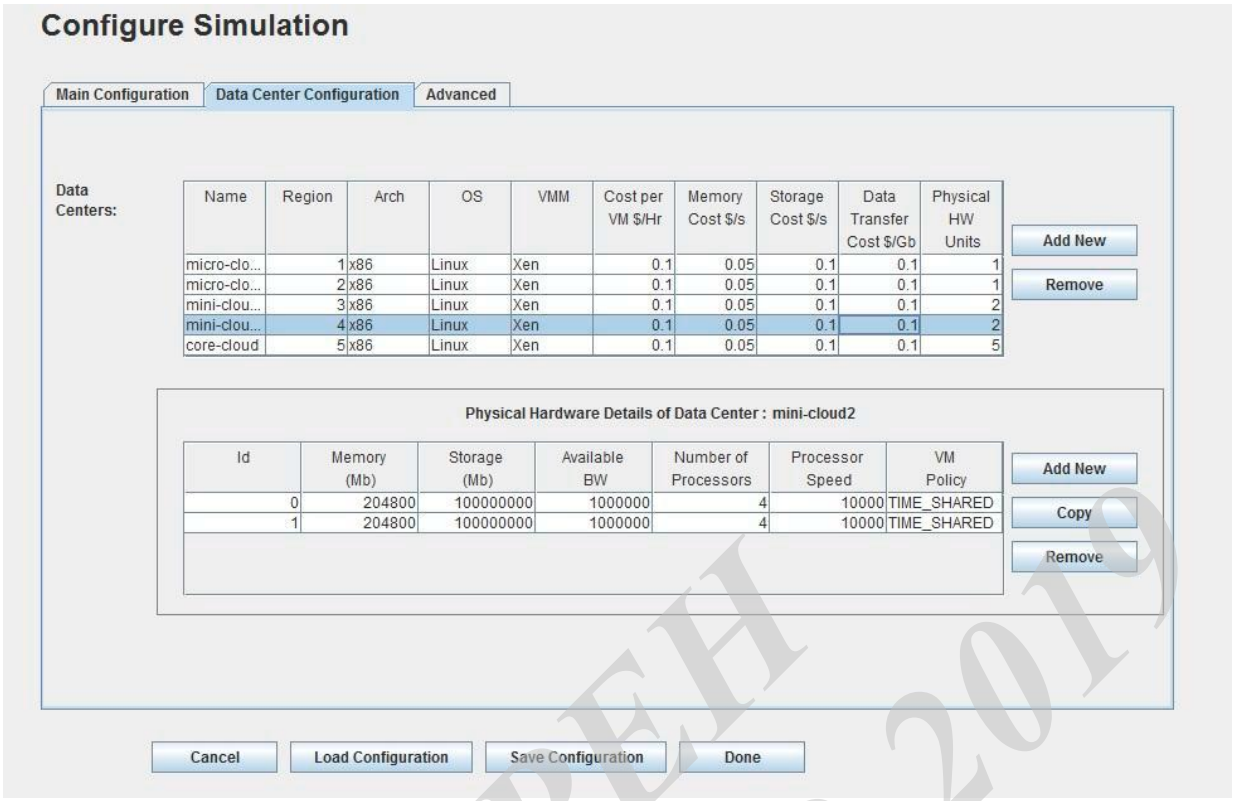


Рисунок 4.1 - Конфігурація системи дата центрів

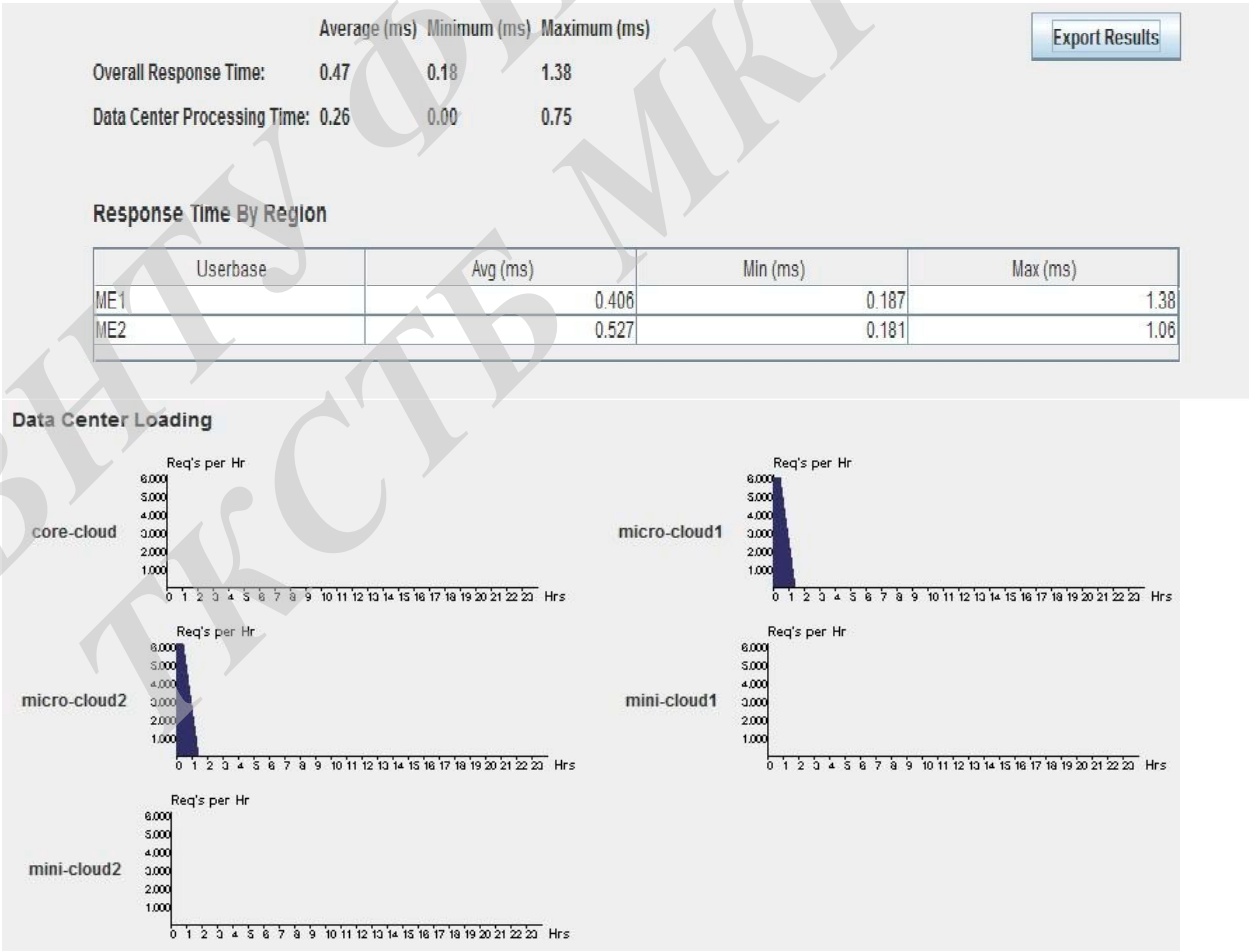


Рисунок 4.2 - Результати моделювання для випадку 1

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Overall Response Time Summary

	Avg (ms)	Min (ms)	Max (ms)
Overall response time:	1.33	1.04	2.06
Data Center processing time:	0.72	0.19	1.03

Response Time by Region

Userbase	Avg (ms)	Min (ms)	Max (ms)
UB2	1.33	1.04	2.06
UE1	1.33	1.06	1.92

Рисунок 4.3 - Результати моделювання для випадку 2

Випадок 3: У цьому випадку ні перший, ні другий рівень хмарної системи не в змозі обробити запит від призначеного для користувача устаткуванні UE і запит перенаправляється на рівень хмари ядра мережі.

Функціонування системи в цьому випадку представлено на рис. 4.4.

Як видно за результатами моделювання на рис. 4.2 - 4.4, затримка в першому випадку є мінімальною. У другому випадку затримка менше, ніж в третьому, що є наслідком введення міні хмар на шляху між мікро хмарами і хмарою ядра мережі. Єдиним недоліком введення ще одного рівня в систему хмар є додаткова вартість.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

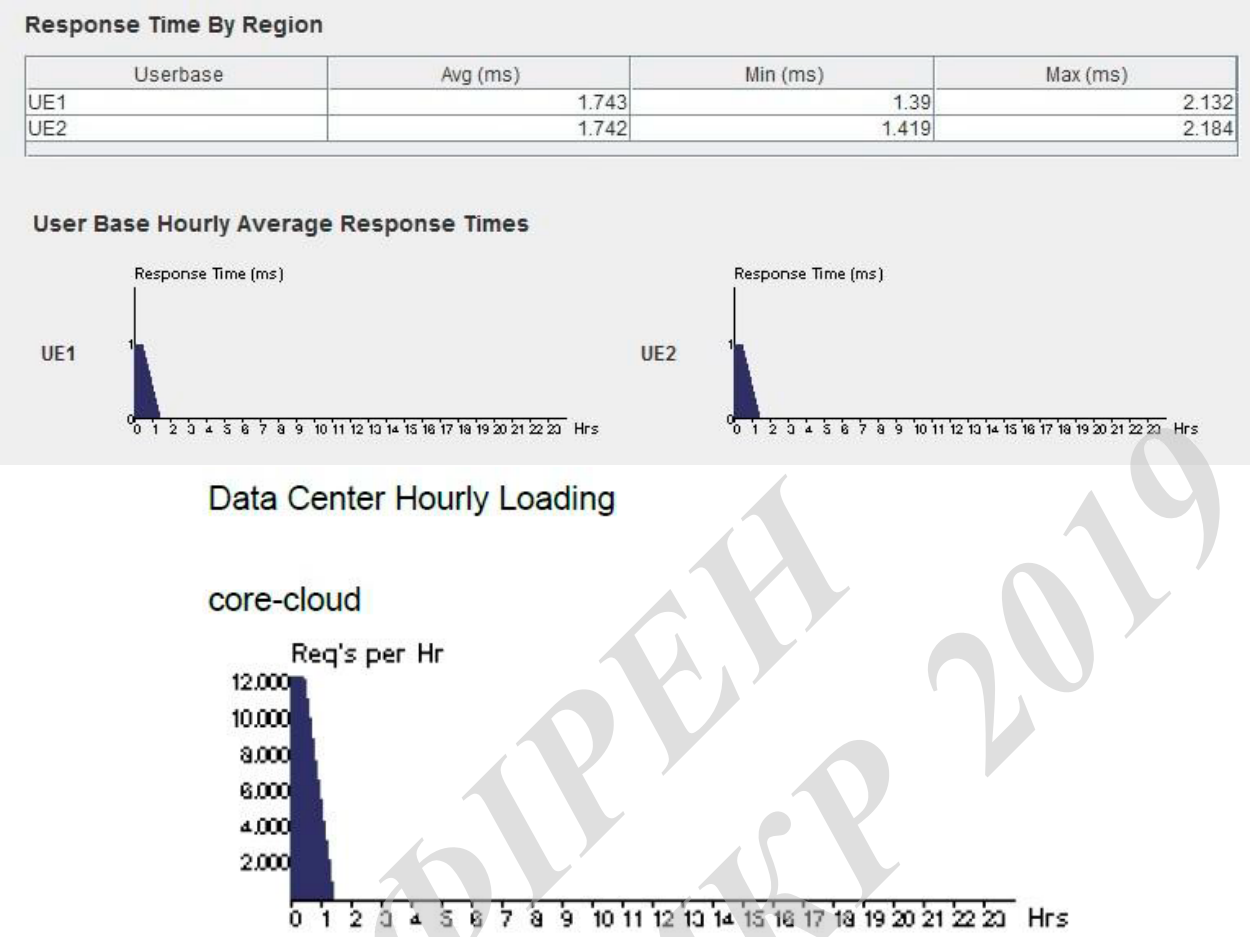


Рисунок 4.4 - Результати моделювання для випадку 3

Оцінимо запропоновану в МКР модель багаторівневої системи хмар для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету. Модель була запропонована в підрозділі 2.4 розділу 2. Математична модель була запропонована там же, а в цьому підрозділі. Розглянемо результати моделювання.

А- Середовище моделювання та параметри

Існує досить багато систем моделювання для побудови мікро хмар і інших рівнів хмарної системи з різними можливостями для систем різної ємності, що вже було зазначено вище. У роботі розроблено інструментарій моделювання для аналізу хмарних систем на базі структури системи моделювання CloudSim [38]. Симулятор побудований на базі мови Java в середовищі розробки додатків IDE NetBeans. Для моделювання потрібно базова операційна система Windows 7 (64-bit) і процесор i7 з частотою 3.07 ГГц і пам'яттю 8 Гбайт.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Побудуємо систему з 300 мікро хмар, розподілених випадково і пов'язаних з 20 міні хмарами. Кожна мікро хмара надає можливість вивантаження трафіку в стільник. Кожна міні хмара пов'язана з 15 мікро хмарами і керує ними. Це число є проектованим параметром і може бути оптимізоване для досягнення кращих значень затримки і продуктивності системи. Будемо припускати, що всі мікро хмари та міні хмари мають однакові можливості. Завдання додатків для мікро хмар розподіляються по мікро хмарам випадковим чином. Всі основні параметри для моделювання наведені в додатку З.

В- Аналіз результатів моделювання

Для моделювання були розглянуті три випадки з трьома різними значеннями W_{cmax}. У кожному разі затримка для кожної мікро і міні хмари визначається як теоретично, так і за результатами моделювання. Теоретична затримка для мікро і міні хмар розраховується з використанням рівнянь (2.10) і (2.11) на основі навантаження, що надходить на хмару.

У першому випадку передбачається навантаження в 20 заявок в секунду на мікро хмару, а заявки, що перевищують це навантаження, направляються в міні хмару. На рис. 4.5 показана загальна затримка для кожної мікро хмари як для теоретичної, так і для імітаційної моделей. Середні затримки, отримані при теоретичних розрахунках і при моделюванні, складають 0,698мс і 0,700мс відповідно. Це показує, що теоретичне та експериментальне середні значення затримок для рівня мікро хмар дуже близькі. Теоретична затримка варіюється від однієї хмари до іншої в залежності від навантаження яке надходить, оскільки заявки розподіляються випадковим чином.

На рис. 4.6 показана загальна затримка для кожної міні хмари, при середній сумарній затримці, отриманої теоретично і шляхом імітаційного моделювання, складають 1,127 мс і 1,130 мс відповідно. Зрозуміло, що затримка для рівня міні хмар більша, так як між міні і мікро хмарами існує додаткова ланка взаємодії. З іншого боку, без міні хмар затримка повинна бути набагато вища, оскільки заявки будуть доставлятися в базову стільникову мережу, яка буде мати ще більше навантаження.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

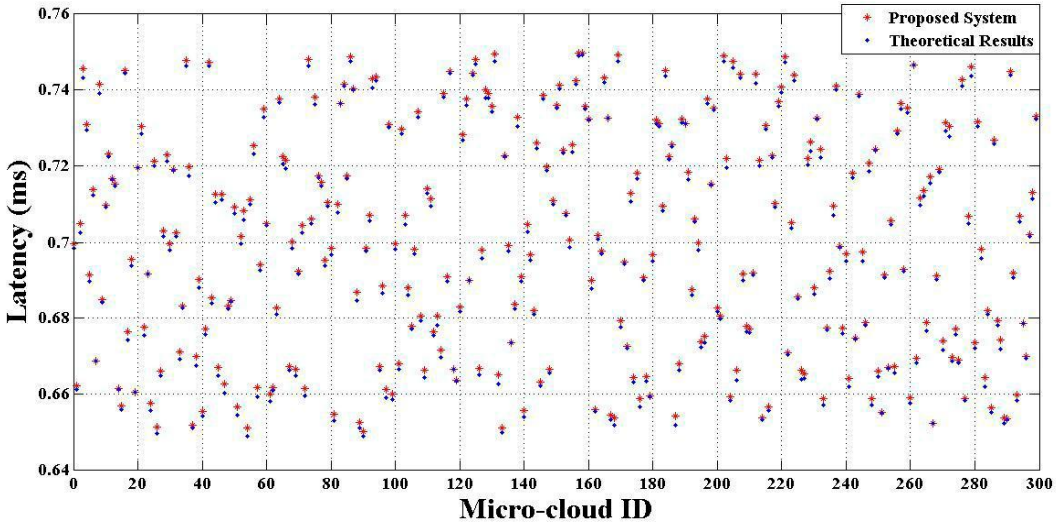


Рисунок 4.5 - Затримка на рівні мікро хмар для випадку 1

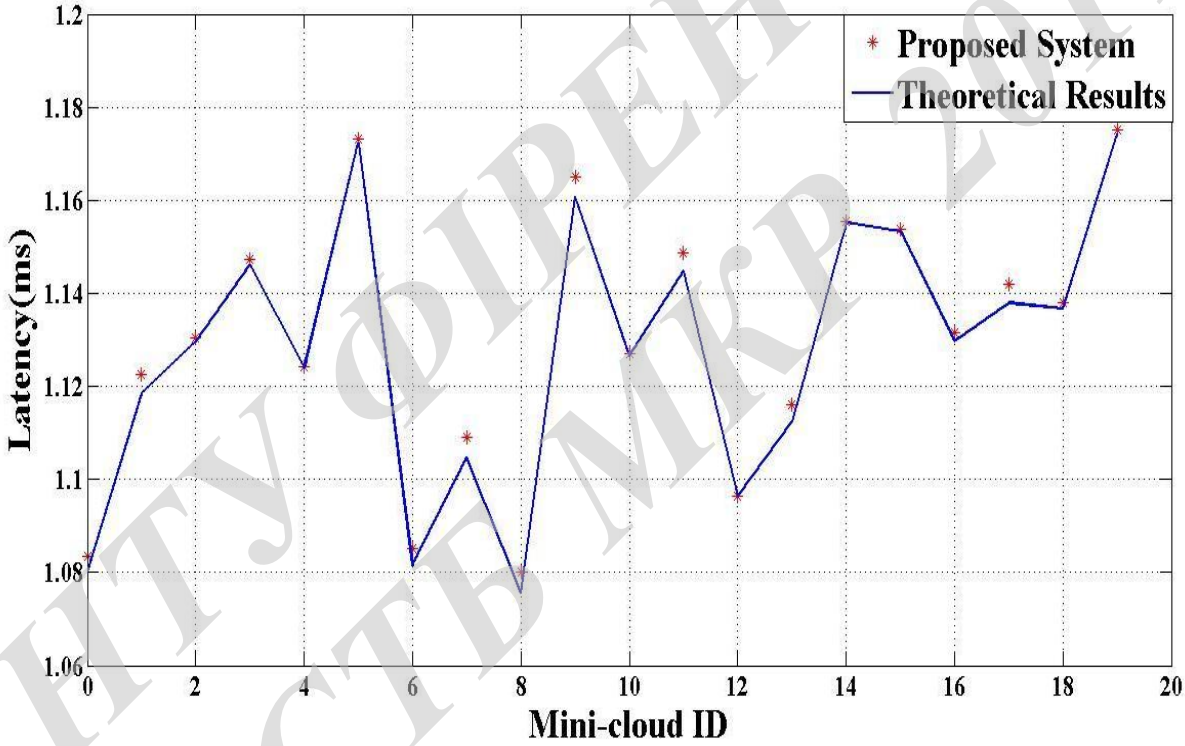


Рисунок 4.6 - Затримка на рівні міні хмар для випадку 1

У другому випадку максимальне робоче навантаження на мікро хмару збільшується до 30 заявок в секунду, і це зменшує загальне навантаження на міні хмару. Це пов'язано з тим, що в даному випадку мікро хмари будуть обробляти більшу кількість заявок і, отже, зменшиться число заявок, переданих на міні хмари. На рис. 4.7 показана загальна затримка для кожної мікро хмари в порівнянні з затримкою, що розраховується теоретично. Середня затримка, визначена теоретично і за результатами імітаційного моделювання, становить 0,838 мс і 0,840 мс відповідно, що більше в

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

порівнянні з випадком 1 внаслідок збільшеного навантаження. На рис. 4.8 показана загальна затримка для кожного з міні хмар. Середня затримка, визначена теоретично і за результатами імітаційного моделювання, становить 0,978мс і 0,980мс відповідно, і це менше, ніж в першому випадку, так як число заявок, перенаправлених з мікро хмар, менше, ніж в першому випадку.

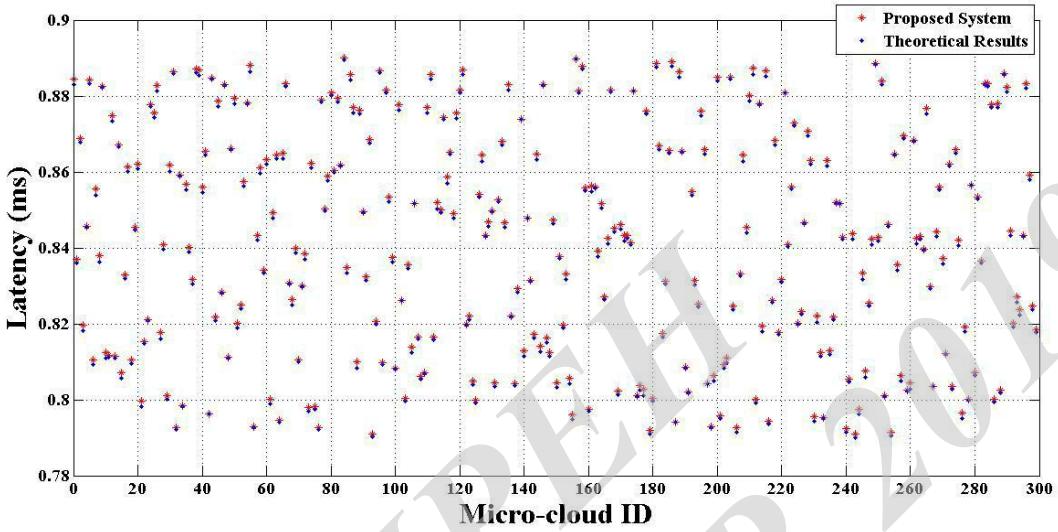


Рисунок 4.7 - Затримка на рівні мікро хмар в випадку 2

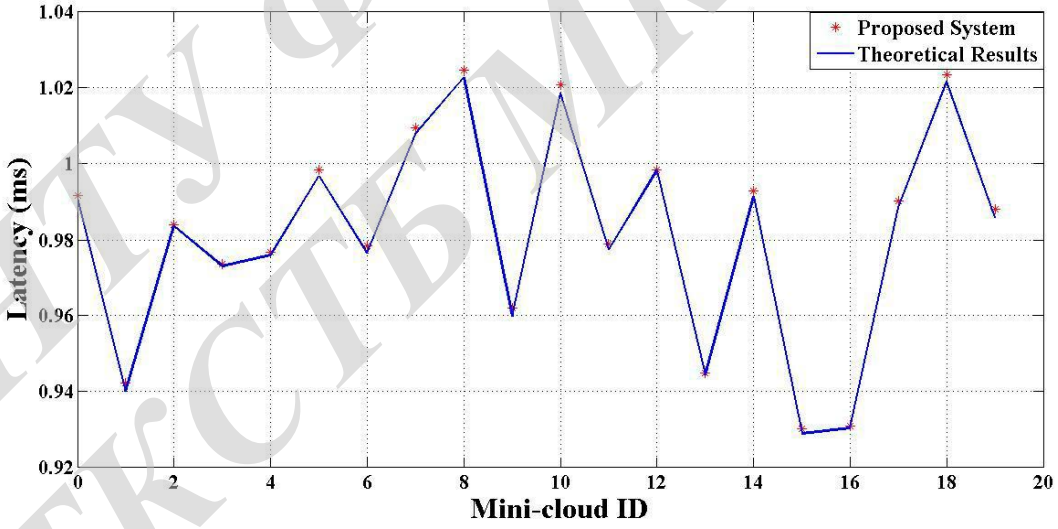


Рисунок 4.8 - Затримка на рівні міні-хмар в випадку 2

У третьому випадку максимальне навантаження для всіх мікро хмар сягає 40 заявок в секунду. Відповідні затримки показані на рис. 4.9 і 4.10.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБМКР 2019

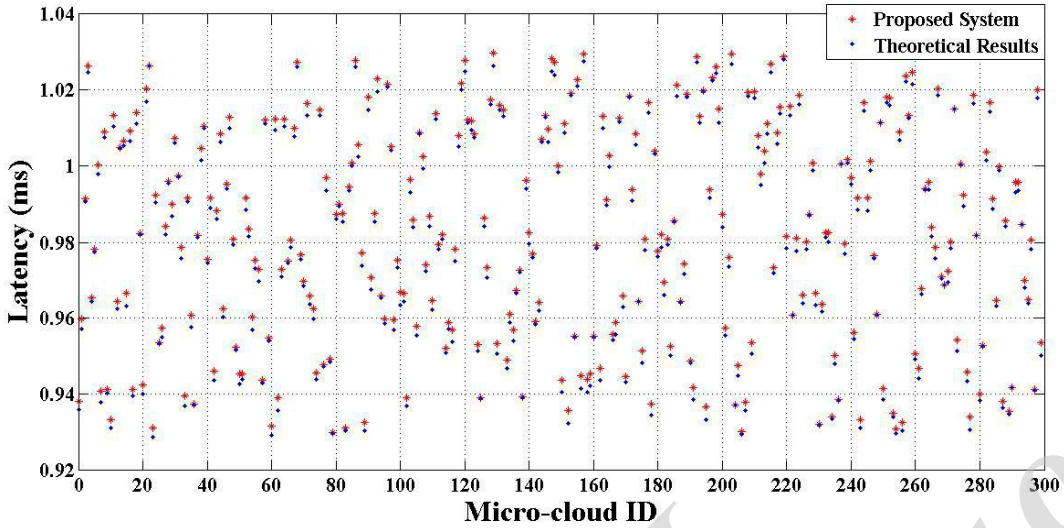


Рисунок 4.9 - Затримка на рівні мікро хмар в випадку 3

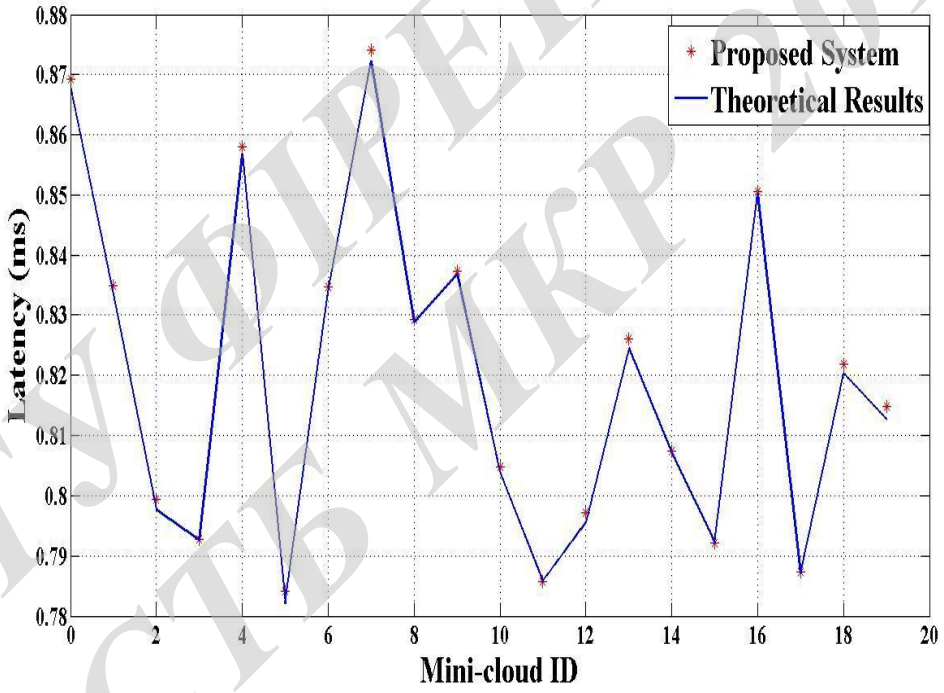


Рисунок 4.10 - Затримка на рівні міні хмар в випадку 3

Затримка для кожної з мікро і міні хмар і в цьому випадку близька до теоретичних результатів. Середні затримки для мікро і міні хмар для трьох випадків порівнюються з теоретичними розрахунками в табл. 4.1. Нарешті, середнє навантаження для мікро і міні хмар для всіх випадків показано на рис. 4.11.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Таблиця 4.1 – Середня затримка для мікро і міні хмар

		Випадок 1	Випадок 2	Випадок 3
Рівень мікро хмар	теоретична	0.698мс	0.838мс	0.978мс
	моделювання	0.700мс	0.840мс	0.990мс
Рівень міні хмар	теоретична	1.127мс	0.978мс	0.828мс
	моделювання	1.130мс	0.980мс	0.830мс

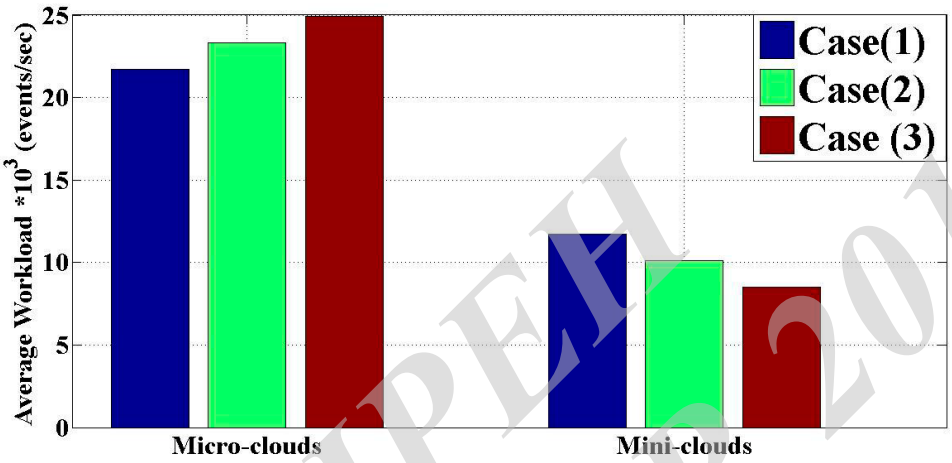


Рисунок 4.11 - Середнє навантаження на кожному з хмарних рівнів

Моделювання проводиться для алгоритму вивантаження трафіку багаторівневої граничної хмарної системи, запропонованої в МКР в підрозділі 2.5. Чисельні результати для запропонованого алгоритму оцінюють продуктивність системи. Система змодельована на Matlab, при цьому запропонований алгоритм реалізований для мережі з двох стільників радіусом 1 км з базовою станцією, розташованою в центрі стільники. Припустимо що базова станція стільника А оснащена граничним сервером мікро хмари, щоб надавати можливості МЕС користувачам стільникового зв'язку. Крім того, припустимо також, що сусідній стільник В має граничний сервер міні-хмари, який з'єднаний з мікро хмарою стільника А.

Десять гетерогенних додатків використовуються при моделюванні, при цьому додатки випадковим чином розподілені по десяти мобільних пристроїв стільника А. Розглянуті додатки відповідають реальним навантаженням для обробки веб сторінок [60], [62]. У табл. 4.2 наведені атрибути для кожного з додатків, відповідні програмним профілям кожного мобільного пристрою [7]. Пристрої випадковим чином розподілені по стільнику А. У табл. 4.3 наведені параметри моделювання. Далі

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

розглядаються два сценарії, по 3 випадкам в кожному сценарії. У кожному сценарії обчислювальні можливості мобільних пристроїв передбачаються відомими і певними значеннями затримки передбачається також відомим для кожного випадку для кожного з додатків. У табл. 4.4 представлені значення максимальної затримки для кожного випадку в кожному додатку та інші параметри моделювання [23].

Таблиця 4.2 – Параметри додатків

Атрибут	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L(kB)	1	1.2	1.35	1.65	1.75	1.8	1.97	2.2	2.25	2.48
S(Cyc/B)	6000	7200	8100	9900	10500	10800	11820	13200	13500	14880

Таблиця 4.3 – Вимоги по затримці для додатків

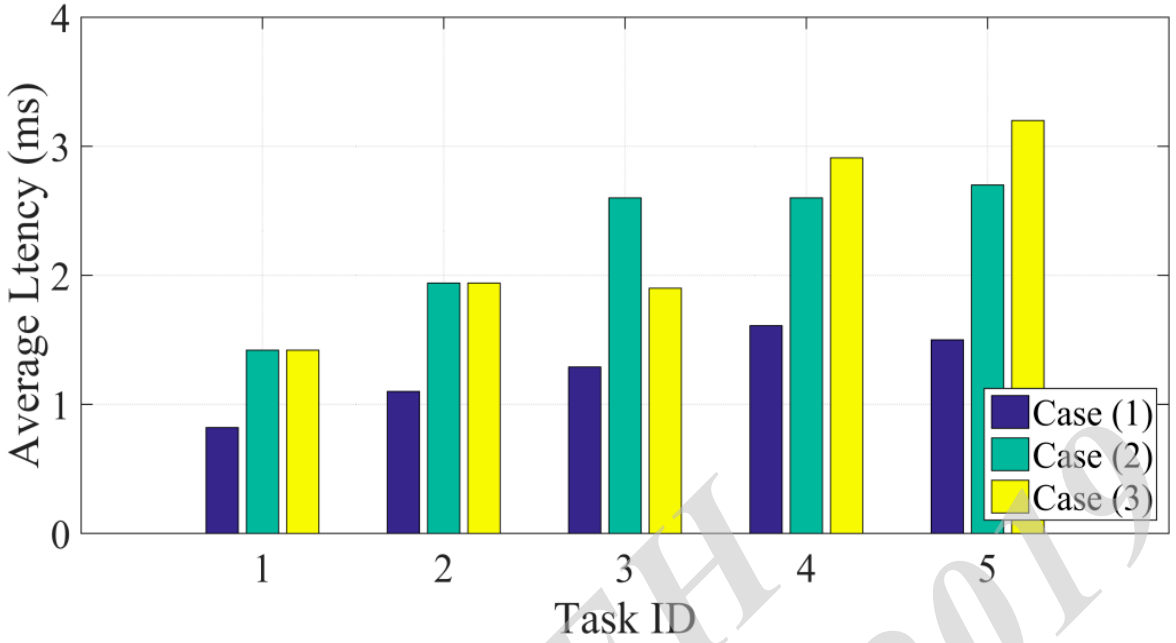
Ć	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ć1(мс)	1	1.2	1.35	1.65	1.75	1.8	1.97	2.2	2.25	2.48
Ć2(мс)	2	2.4	2.7	3.3	3.5	3.6	3.94	4.4	4.5	4.96
Ć3(мс)	3	3.6	4.05	4.95	5.25	5.4	5.91	6.6	6.75	7.44

Таблиця 4.4 – Параметри моделювання для оцінки продуктивності алгоритму вивантаження трафіку

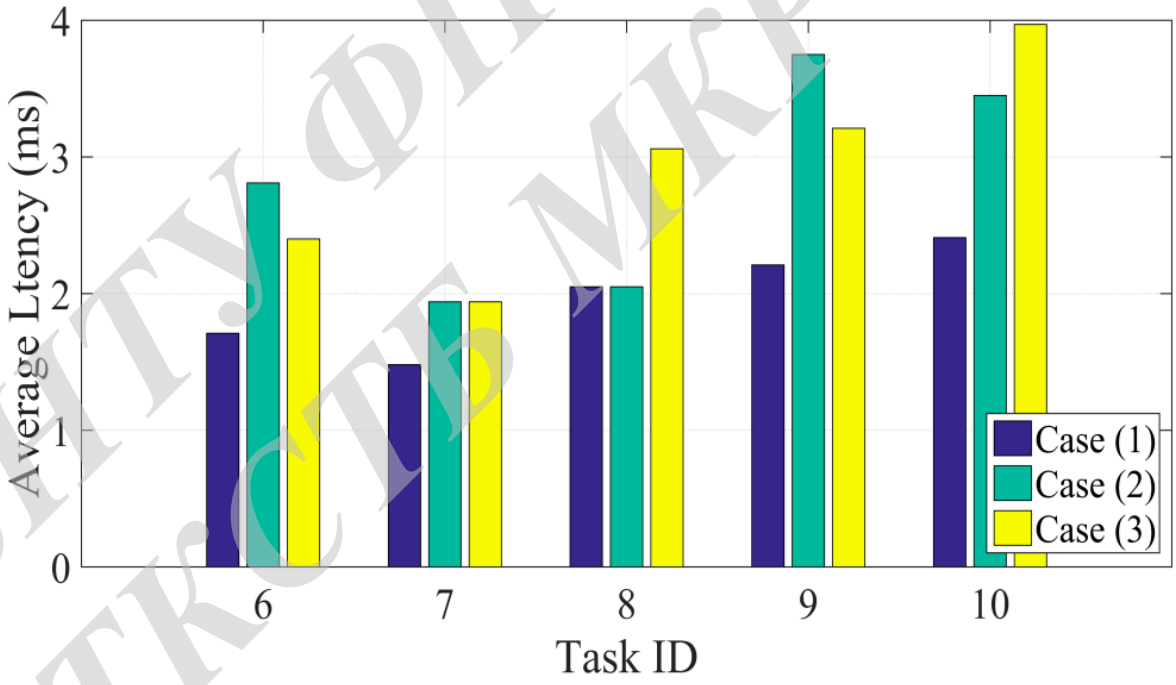
Параметр	Значення
ω	1 МГц
σ	10-3 Вт
P	1 Вт
f_M (першийсценарій)	є [0.5,1.5] ГГц
f_M (другий сценарій)	є [1.5,3.0] ГГц
$f_{Micro\text{-}cloud}$	є [5.0,3.0] ГГц
$f_{Mini\text{-}cloud}$	є [1.5,3.0] ГГц
δ_M	1Дж/ГГц
δ_{Micro}	1Дж/ГГц

На рис. 4.12 показана середня затримка обробки десяти додатків для першого сценарію. Деякі додатки обробляються локально, інші вивантажуються в мікро хмару або в міні хмару. Рівень вивантаження показаний на рис. 4.13 для кожного з додатків.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019



А



Б

Рисунок 4.12 - Середня затримка для додатків в сценарії 1

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

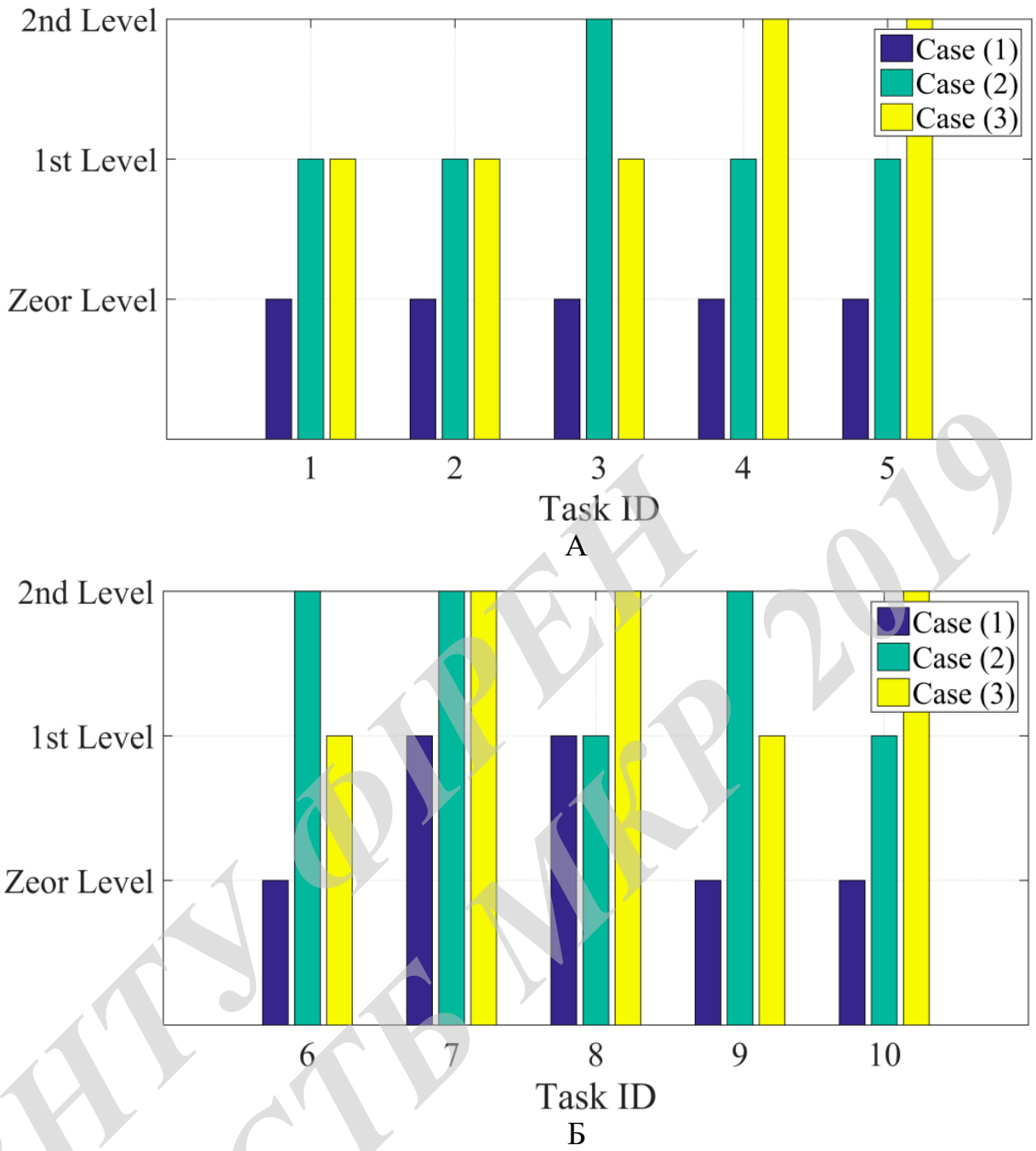
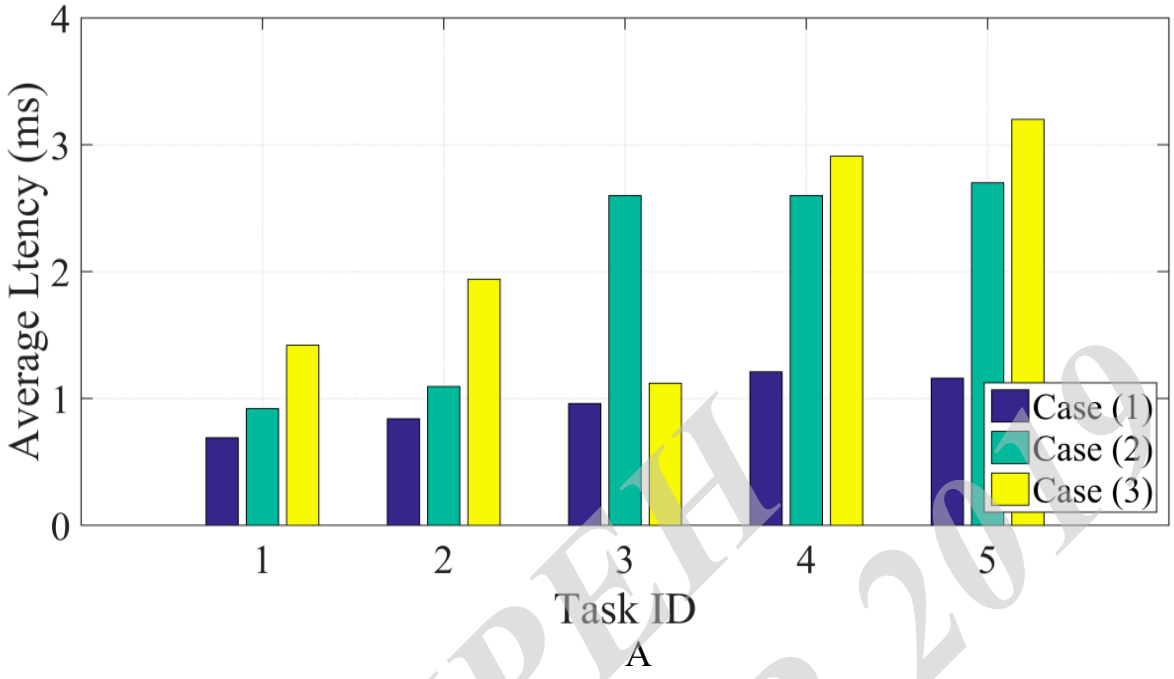


Рисунок 4.13 - Рівень вивантаження додатків в сценарії 1

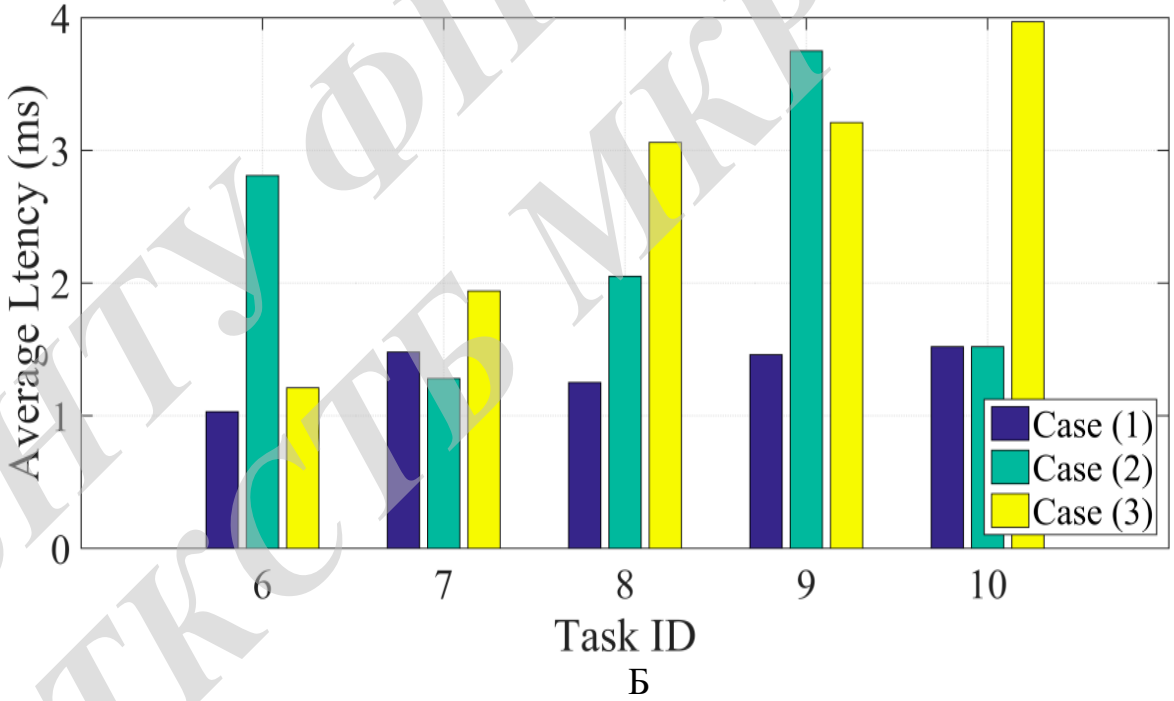
У другому сценарії розглядаються мобільні пристрої з більш високими обчислювальними можливостями. Тому, мобільні пристрої можуть вирішувати більш складні завдання і виділяти більше ресурсів для додатків. На рис. 4.14 показано середню затримку для десяти додатків в другому сценарії. В основному, всі локальні додатки з першого сценарію вимагають у другому сценарії меншого часу для виконання внаслідок великих ресурсів, що виділяються мобільними пристроями в другому сценарії. Крім того, деякі програми, вивантажується в першому сценарії, можуть бути оброблені

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

безпосередньо в мобільному пристрої в другому сценарії. На рис. 4.15 показані рівні вивантаження трафіку для кожного додатка.



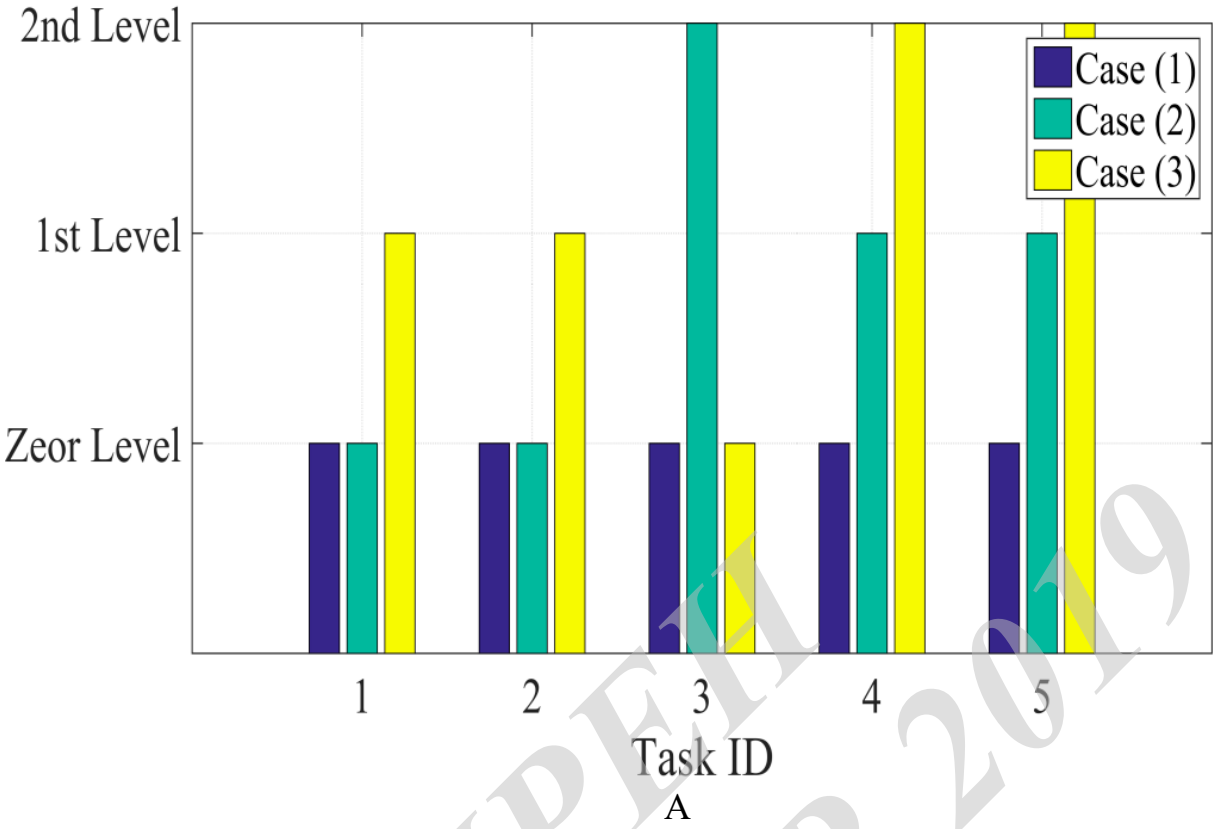
А



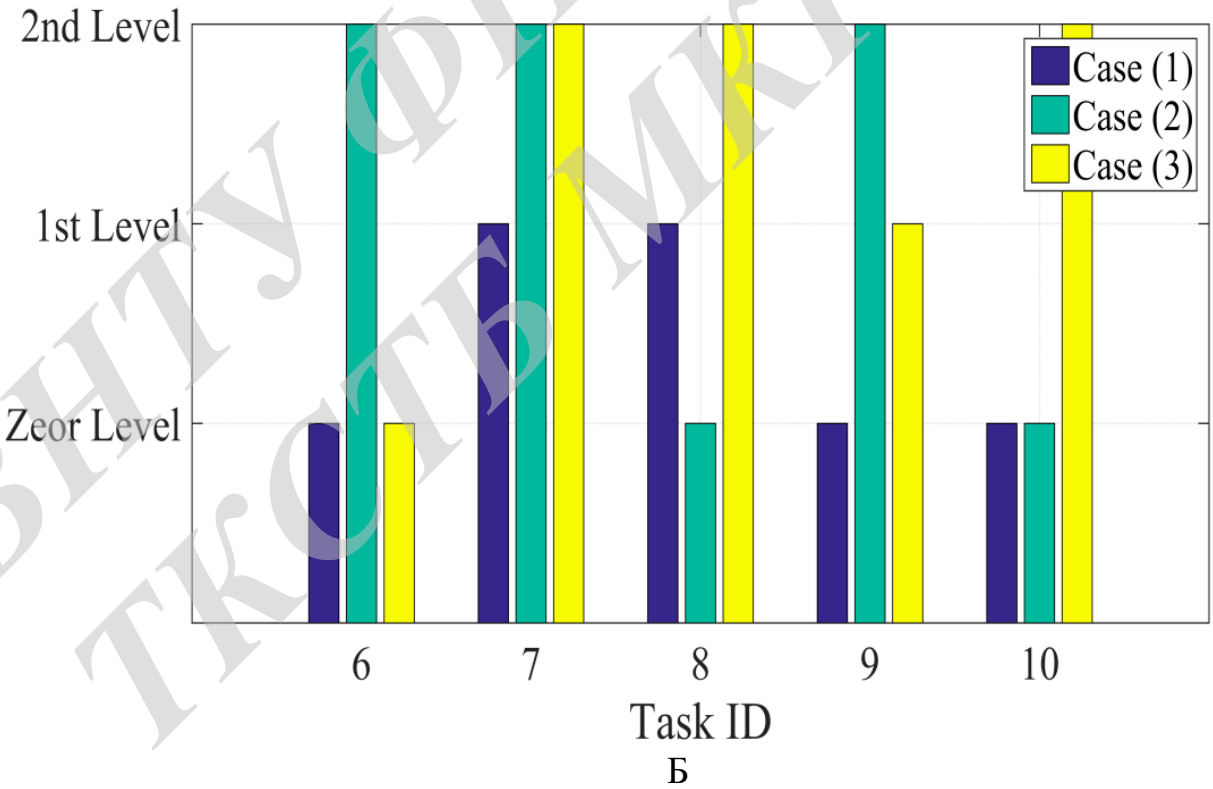
Б

Рисунок 4.14 - Середня затримка для кожного додатку в сценарії 2

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТБ МКР 2019



А



Б

Рисунок 4.15 - Рівні вивантаження трафіку для сценарію 2

ВНТУ ФІРЕТ ТКСТБ МКР 2019

4.2 Оцінка продуктивності мережі на базі технології SDN для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету

Проаналізуємо результати моделювання запропонованої в МКР структури ядра мережі для реалізації послуг тактильного Інтернету в мережах зв'язку п'ятого покоління 5G. Система з централізованим контролером докладно розглянута в підрозділі 3.3.

А- Умови моделювання

Існує цілий ряд ефективних систем моделювання і оцінки продуктивності і параметрів мереж, побудованих на основі SDN та MEC. Однією з найбільш ефективних, надійних і потужних систем моделювання є система CloudSim і її розширення. Як уже згадувалося раніше, CloudSim являє собою систему моделювання на основі Java, яка дозволяє моделювати і оцінювати хмарні структури [11]. CloudSimSDN - це заснована на Java система моделювання [61]. Ця структура розроблена, в основному, для цілей моделювання спільного використання технологій SDN і хмарних структур.

У CloudSimSDN централізований контролер SDNC є програмованим і дозволяє тестувати політики управління віртуальними машинами і алгоритми функціонування планувальника навантаження [62]. Крім того, цей централізований контролер відповідає і за динамічне управління ресурсами в центрах обробки даних. На підставі [52] можна показати, що симулятор CloudSimSDN надає безліч функцій і можливостей з кращого або, принаймні, такою ж продуктивністю, що і середовище моделювання Mininet. Крім того, використання CloudSimSDN дає великі можливості для модифікацій і розширень.

Далі будемо аналізувати результати моделювання для двох випадків, які показані на рис. 3.5 (Б) і рис. 3.5 (В). У першому випадку маємо дві мікро хмари і дві базові станції eNBs, причому обидві ці базові станції з'єднані з одною і тією ж міні хмарою. У другому випадку мікро хмари розподілені по різних стільниках, і базові стації з'єднані з різними міні хмарами. Кругова затримка розглядається як характеристика продуктивності в аналізованих мережах. Процес моделювання багаторазово повторюється з різною пропускною здатністю кожен раз, але обсяг даних залишається незмінним в кожному випадку. Всі основні параметри моделювання наведені в табл. 4.5.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Таблиця 4.5 – Параметри моделювання для інтелектуального ядра мережі з централізованим контролером SDN

Параметр моделювання	Значення
Затримка обробки OpenFlow Switch	5мкс
Затримка обробки контролера SDN	0.5мкс
Швидкість прибуття мікрохмарного блоку λ_i	15
Затримка зв'язку всередині стільникової клітини	100мкс
Пропускна здатність	Змінна
Пам’ять RAM мікро хмари Пам’ять RAM міні хмари	1024Mb,1Gb 2048Mb,5Gb

В- Аналіз результатів моделювання

На рис. 4.16 і рис. 4.17 показані результати для першого і другого випадків моделювання. Як бачимо, кругова затримка зменшується зі збільшенням пропускної спроможності системи. Для другого випадку кругова затримка більше, ніж в першому випадку. Це пов'язано з тим, що контролер базової мережі не бере участі в процесі з'єднання, оскільки міні хмара керує цим процесом самостійно.

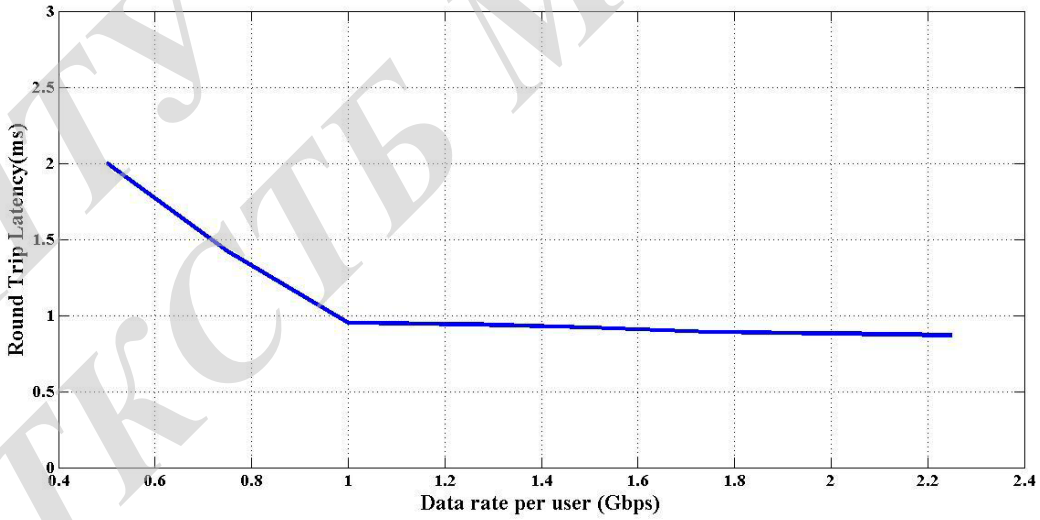


Рисунок 4.16 - Результати моделювання для першого випадку

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

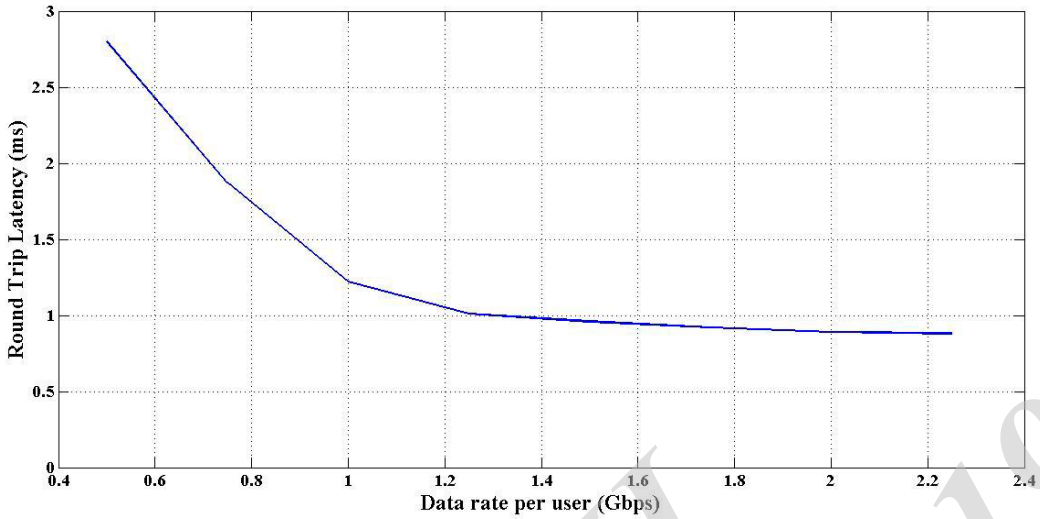


Рисунок 4.17 - Результати моделювання для другого випадку

Ґрунтуючись на [62], можна вважати, що призначена для користувача швидкість для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G буде перебувати в межах від 1 Гбіт/с до 10 Гбіт/с. Для найменшого очікування швидкості передачі бітів (1Гбіт/с) запропонована в МКР архітектура мережі для реалізації послуг тактильного Інтернету забезпечує затримку величиною 0,95мс для першого випадку моделювання і 1,22 мс для другого випадку. Крім того, оскільки швидкість передачі даних буде і вище 1 Гбіт/с, кругова затримка буде менше отриманих значень, що дозволяє запропонованої архітектурі мережі впоратися з проблемою забезпечення кругової затримки величиною в 1мс.

Далі, ґрунтуючись на версії 13 3GPP, можна бачити, що система LTE досягає двосторонньої затримки 16 мс для швидкості передачі 100 Мбіт/с і 8мс для швидкості 1Гбіт/с для версії 15 [33]. Таким чином, запропоноване в МКР рішення система може підвищити ефективність мережі в плані забезпечення затримки і забезпечити реалізацію послуг тактильного Інтернету в мережах зв'язку п'ятого покоління. У порівнянні з традиційним рішенням з побудови ядра мережі Evolved Packet Core, заснованим на версії 15 3GPP, запропоноване в МКР рішення забезпечує зменшення кругової затримки на 88% для першого випадку і на 84% для другого випадку.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

4.3 Оцінка продуктивності при використанні технології D2D в мережах IoT/5G

В цьому розділі система IoT/5G з підтримкою D2D, яка була представлена в розділі 2.6 МКР, змодельована для оцінки продуктивності. Програми написані мовою Java і моделювання виконано з використанням Matlab. Параметри моделювання наведені в табл. 4.15. Користувачі розподілені рівномірно, передбачається, що вихідні вузли генерують гетерогенні типи заявок з різними характеристиками навантаження. Моделювання виконується для різних значень затримки в обслуговуванні. Максимально допустима затримка для заявки - це тривалість часу, після якого заявка втрачається, якщо вона не була обслужена. Почнемо моделювання з невеликого значення затримки, потім будемо збільшувати це значення і вимірювати частоту блокувань в кожному випадку.

Для оцінки продуктивності системи розглянемо чотири сценарії моделювання. Сценарій 1: мережа моделюється без можливостей D2D і багаторівневої хмарної системи. Це означає, що все SD, OD, GD і MD мають зв'язок тільки з базовою станцією eNB, а ядро мережі повинно забезпечити необхідний рівень якості обслуговування. Це найгірший сценарій, і блокування заявок повинно бути великим, особливо для послуг, чутливих до затримки.

Сценарій 2: моделювання здійснюється з використанням технології D2D і з використанням рівня хмаринок. У цьому сценарії SD і OD можуть безпосередньо зв'язуватися з GD, а GD можуть бути пов'язані з MD. Використання D2D технології повинно знизити ймовірність блокування заявок, особливо для додатків, чутливих до затримки, що відбувається внаслідок скорочення довжини маршруту.

Сценарій 3: в рамках цього сценарію використовуємо рівень мікро хмар. Заявки, які не можуть бути оброблені D2D (хмаркою), перенаправляються на мікро хмара, а не в ядро мережі.

Останній 4 сценарій, який використовує ще більш високий рівень багаторівневої хмарної системи - рівень міні хмар. У цьому сценарії використовується система з міні хмарою, до якого підключені мікро хмари. Це корисно для заявок, які не можуть бути оброблені мікро хмарою, і вони передаються на рівень міні хмари.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

Метрикою продуктивності, яка використовуватиметься для всіх сценаріях, є ймовірність блокування (P_b), яка являє собою відношення загального заблокованого навантаження до загального навантаження.

На рис. 4.18 показані залежності продуктивності системи для всіх сценаріїв з точки зору ймовірності блокування для різних значень максимально допустимої затримки. Порівнюючи чотири залежності можна стверджувати, що використання технології D2D забезпечує краще значення ймовірності блокування. Крім того, використання мікро і міні хмар підвищує ефективність з точки зору ймовірності блокування.

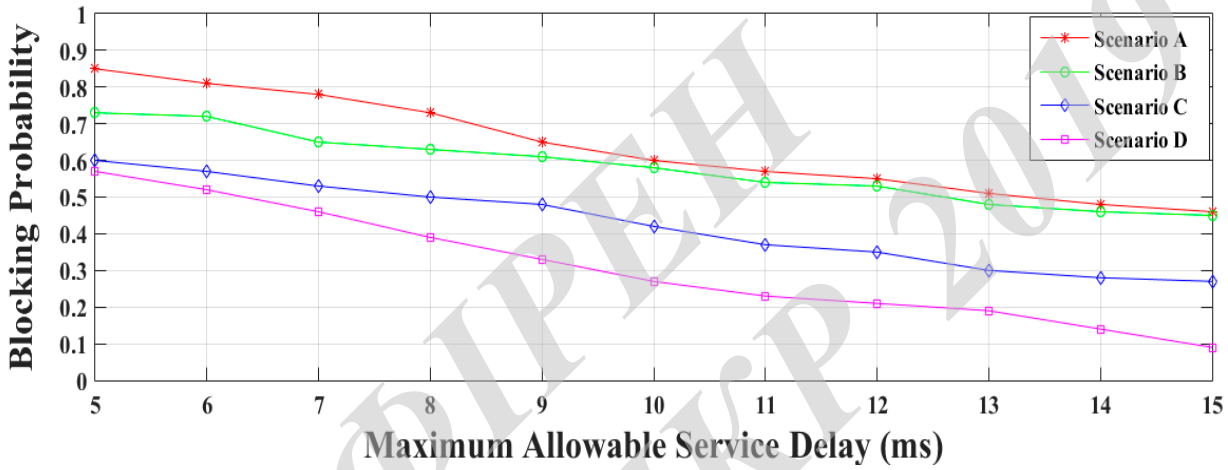


Рисунок 4.18 - Можливість блокування в залежності від максимально допустимої в затримки (мс)

На рис. 4.19 представлений відсоток підвищення ефективності з точки зору блокування, досягнутої в кожному сценарії моделювання в порівнянні з першим сценарієм для двох типів послуг. Перший тип - додатки, чутливі до великої затримки. Другий тип - додатки з традиційною затримкою, що показано з права на рис. 4.18.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

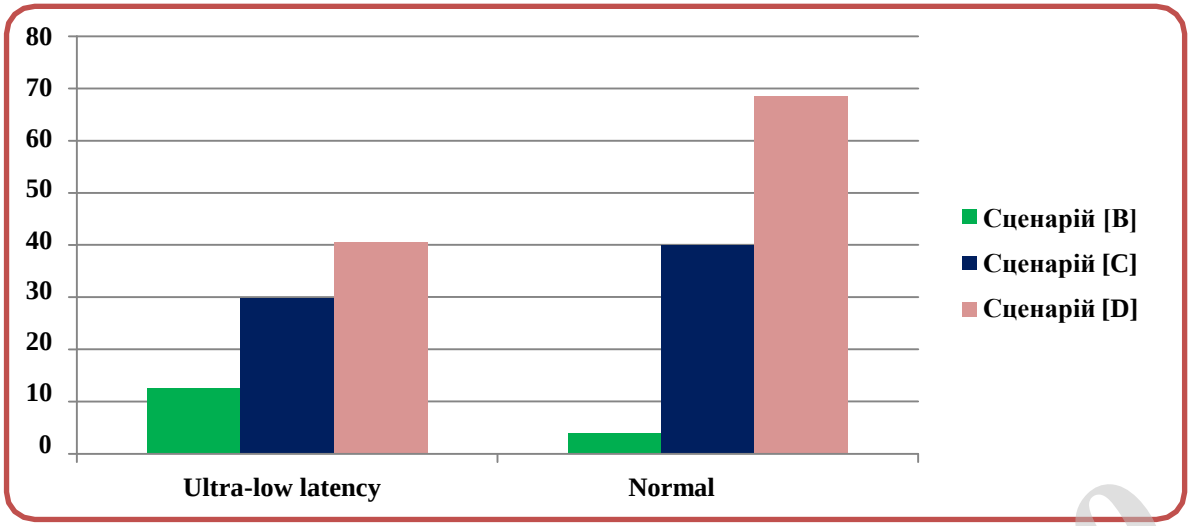


Рисунок 4.19 - Чотири сценарії порівняння по значенням ймовірності блокування

4.4 Висновки до розділу 4

У цьому розділі було проведено моделювання всіх мереж, систем і алгоритмів на основі технологій MEC і SDN, запропонованих раніше в цій роботі для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету. Спочатку було проведено моделювання багаторівневої хмарної архітектури при використанні мобільних граничних обчислень. При цьому продуктивність оцінювалася з використанням різних метрик. Потім був змодельований алгоритм вивантаження трафіку, розроблений для багаторівневої хмарної архітектури, розроблений для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G, і також була оцінена його продуктивність.

У другій частині розділу представлені результати моделювання інтелектуального ядра мережі на основі технології SDN, розробленого для мереж 5G і тактильного Інтернету. Спочатку була проаналізована архітектура SDN з одним централізованим контролером, а потім і мультиконтролерні мережі SDN. Крім того, було проведено моделювання алгоритму оптимізації хаотичного рою сальп, розробленого в даній роботі для мереж SDN з декількома контролерами, і оцінена його продуктивність. Всі запропоновані мережеві і системні рішення і алгоритми оцінені в порівнянні з традиційними системами, що показало переваги запропонованих в МКР нових моделей і методів в області побудови мереж і систем зв'язку, а також алгоритмів оптимізації.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок витрат на проведення НДР

В даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення МКР стосовно проведення досліджень з підвищення ефективності мереж зв'язку 5G для тактильного Інтернету.

Для економічного розрахунку проведення НДДКР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [63]:

$$З_о = \frac{M}{T_p} \cdot t \quad , \tag{5.1}$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці, 21 дн;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	10720,00	487,27	40	19490,91
2. Ст. науковий співробітник	10055,00	457,05	22	10055,00
3. Науковий співробітник	9700,00	440,91	22	9700,00
4. Інженер-конструктор радіоелектронних систем	9570,00	435,00	22	9570,00
5. Інженер-програміст програмно-конфігурованої мережі	9800,00	445,45	15	6681,82
6. Технік	6400,00	290,91	40	11636,36
Разом				67134,09

ВНТУ ФІРЕН ПКСТВ МКР 2019

Витрати на основну заробітну плату працівників ($З_р$), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для проведення досліджень стосовно підвищення ефективності мереж зв'язку 5G для тактильного Інтернету, підготовку та формування інформаційних пакетів, підготовку та монтаж обладнання тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [63]:

$$З_р = \sum_{1}^{n} t_i \cdot С_i \cdot К_с \quad , \tag{5.2}$$

де t_i - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n - число робіт по видах та розрядах;

$К_с$ - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками, $К_с$ = 1;

$С_i$ - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

$С_i$ визначається за формулою [63]:

$$С_i = \frac{М_м \cdot К_i}{Т_р \cdot Т_{зм}} \quad , \tag{5.3}$$

де, $М_н$ - мінімальна місячна оплата праці, грн., $М_н$ = 4173,00 грн.;

$К_i$ - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

$Т_р$ - число робочих днів в місяці, $Т_р$ = 21 дн;

$Т_{зм}$ - тривалість зміни, $Т_{зм}$ = 8 годин.

Проведені розрахунки внесемо до табл. 5.2.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Таблиця 5.2 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Встановлення допоміжного обладнання	12,00	2	1,1	26,08	312,98
2. Інсталяція програмного забезпечення	16,00	4	1,35	32,01	512,14
3. Встановлення модулів	24,00	5	1,7	40,31	967,38
4. Монтаж імітаторів мереж	24,00	4	1,35	32,01	768,21
5. Формування бази даних результатів вимірювань	100,00	3	1,2	28,45	2845,23
6. Підготовка приміщення	8,00	2	1,1	26,08	208,65
Разом					5614,58

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДДКР з дослідження мереж розраховується як 11% від основної заробітної плати розробників та працівників:

$$З_д = З_о \cdot 11 / 100\% . \quad (5.4)$$

$$З_д = (67134,09 + 5614,58) \cdot 11 / 100\ \% = 8002,35 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату дослідників та працівників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22% від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$Н_з = (З_о + З_д) \cdot 22\% / 100\%. \quad (5.5)$$

$$Н_з = (67134,09 + 5614,58 + 8002,35) \cdot 22\% / 100\% = 17765,23 \text{ (грн.)}$$

ВНТУ ФІРЕН ІКСТБ МКР 2019

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДДКР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальної системи, тому дані витрати формуються на основі офісних витратних матеріалів.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [63]:

$$M = \sum_{1}^{n} H_i \cdot Ц_i \cdot K_i \quad , \tag{5.6}$$

де, - H_i - витрати матеріалу *i*-го найменування, кг;

$Ц_i$ - вартість матеріалу *i*-го найменування, грн./кг.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1{,}1$;

n - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір офісний А4	уп.	110,00	6,0	660,00
Папір для записів А5	уп.	25,00	5,0	125,00
Диск оптичний (CD-R)	шт.	12,25	6,0	73,50
Органайзер офісний EGO-100BIC	уп.	95,00	6,0	570,00
Канцелярське приладдя	компл.	190,00	5,0	950,00
Картридж змінний Canon 216AF	шт	980,00	2,0	1960,00
FLASH-пам'ять Bsll 64G	шт.	400,00	2,0	800,00
Всього				5138,50

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 5138{,}50 \cdot 1{,}1 = 5652{,}35 \text{ грн.}$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Витрати на комплектуючі (основне обладнання, емулятори), що були використані при дослідженні мереж, розраховуються за формулою:

$$Н = \sum_{1}^{n} Н_i \cdot Ц_i \cdot К_i \quad , \tag{5.7}$$

де: H_i - кількість комплектуючих *i*-го виду, шт.;

$Ц_i$ - покупна ціна комплектуючих *i*-го виду, грн.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $К_i = 1,1$;

n - кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Тактильні датчики Tactile sensor segment	4,0	615,00	2460,00
Генератор завад BASF53-12ZI	1,0	8120,00	8120,00
Програмно-конфігуруєма мережа SDN segment	1,0	15365,00	15365,00
Контроллер Controller HD16qj	1,0	12820,00	12820,00
Програмований комутатор Programmable switch DC90HrRT3	1,0	16750,00	16750,00
Маршрутизатор XA16	1,0	8254,00	8254,00
Імітатор магістральної мережі на основі оптоволокна FIREN2	1,0	5980,00	5980,00
Термінал (імітатор навантаження)	1,0	18000,00	18000,00
Термінал (імітатор приймача)	1,0	18000,00	18000,00
Тактильні драйвери Robotic arm	1,0	16550,00	16550,00
Всього			122299,00

Витрати на комплектуючі з урахуванням транспортних витрат складають:

$$H = 122299,00 \cdot 1,1 = 134528,90 \text{ (грн.)}$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Амортизація обладнання для проведення досліджень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \quad , \tag{5.7}$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до табл. 5.5.

Таблиця 5.5 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортиза-ційних відрахувань, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	22800,00	5	2	760,00
Метрологічний комплекс МСХ13-А54	11000,00	5	2	366,67
Програмне забезпечення підтримки мереж	16500,00	3	2	916,67
Місце оператора спеціалізоване	9700,00	5	2	323,33
Офісна оргтехніка	12505,00	4	2	521,04
Дослідницька лабораторія	185000,00	25	2	1233,33
Всього				4121,04

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [63]:

$$В_е = В \cdot П \cdot Ф \cdot К_п \quad , \tag{5.8}$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

де, B – вартість 1 кВт-години електроенергії, B = 2,21 грн./кВт – година;

$П$ – встановлена потужність обладнання, кВт.;

$Ф$ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

$К_п$ – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	330,00	0,72	1	525,10
Метрологічний комплекс МСХ13-А54	250,00	0,52	1	287,30
Місце оператора спеціалізоване	150,00	0,32	1	106,08
Офісна оргтехніка	150,00	0,72	0,8	190,94
Генератор завад BASF53-12ZI	250,00	0,32	1	176,80
Програмно-конфігуруєма мережа SDN segment	250,00	0,32	1	176,80
Контроллер Controller HD16qj	250,00	0,16	1	88,40
Програмований комутатор Programmable switch DC90HrRT3	250,00	0,12	1	66,30
Маршрутизатор ХА16	250,00	0,16	1	88,40
Імітатор магістральної мережі на основі оптоволокна FIREN2	250,00	0,25	1	138,13
Термінал (імітатор навантаження)	250,00	0,56	1	309,40
Термінал (імітатор приймача)	250,00	0,56	1	309,40
Тактильні драйвери Robotic arm	250,00	0,32	1	176,80
Всього				2639,85

ВНТУ ФІРЕН ГКСТЬ МКР 2019

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет-послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників. Величина інших витрат складе:

$$I = (67134,09 + 5614,58) \cdot 200\% / 100\% = 145497,35 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 67134,09 + 5614,58 + 8002,35 + 17765,23 + 5652,35 + \\ + 134528,90 + 4121,04 + 2639,85 + 145497,35 = 390955,73 \text{ (грн.)}$$

5.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів науково-дослідної роботи

Коефіцієнт наукової значимості результатів проведеної НДР $K_{ЗН}$ можна підрахувати за формулою:

$$K_{ЗН} = \frac{\sum_{1}^{3} b_i \cdot d_i}{\sum_{1}^{3} b_{\max} \cdot d_i}, \qquad (5.9)$$

де b_i - значимість отриманих результатів: b_1 - ступінь наукової новизни, b_2 - рівень теоретичної обґрунтованості, b_3 - ступінь експериментальної перевірки результатів.

Бальна оцінка отриманих результатів наведена в табл. 5.7.

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7…10 балів;

d_i - питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в табл. 5.7;

З – кількість характеристик, за якими була зроблена оцінка результатів науково-дослідної роботи.

ВНТУ ФІРЕН ПКСТБ МКР 2019

Таблиця 5.7 – Показники для оцінювання наукової значимості результатів виконання НДР

Характеристики	Питома вага характеристик	Бальна оцінка характеристик		
		Ступінь новизни b_1	Рівень теоретичної обґрунтованості b_2	Ступінь експериментальної перевірки результатів b_3
		1	3…5	7…10
b_1	0,500	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо. Створення принципово нової техніки
b_2	0,333	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
b_3	0,167	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій кількості даних	Результати перевірені на великій кількості даних

Підставляючи числові дані d_1=0,5, d_2=0,333, d_3=0,167, b_{max} = 9 у вираз (5.9) оцінимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{ЗН} = \frac{7 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,333 + 8 \cdot 0,167}{9 \cdot 0,5 + 9 \cdot 0,333 + 9 \cdot 0,167} = 0,87$$

5.3 Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР можна розрахувати за формулою:

$$V = \frac{k_{TBI} \cdot З_i}{\sum_{1}^{n} k_{TBI} \cdot З_i} \quad , \qquad (5.10)$$

ВНТУ ФІРЕН ГКСТБ МКР 2019

де k_{TBI} - коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР, який оцінюється наступним чином: проведення досліджень – 3 бали, робоче проектування – 1,5 бали, освоєння – 1,0 балів.

Якщо виконавець приймав участь в декількох видах робіт, то береться сума відповідних балів;

$З_i$ - заробітна плата кожного виконавця НДР;

n - кількість всіх виконавців НДР,

Розраховуємо внесок дослідника:

$$V = \frac{3 \cdot 9700,00}{3 \cdot 10720,00 + 3 \cdot 9570,00 + 1,5 \cdot 9800,00} = 0,50 .$$

5.4 Висновки до розділу 5

Загалом запланована науково-дослідна робота з проведення досліджень підвищення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного Інтернету вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 390955,00 грн.

Отримані результати досліджень мають високий рівень наукової значимості (в межах 0,87), що свідчить про доцільність проведення розробок та значимість науково-дослідної роботи.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі наводиться розгляд небезпечних, шкідливих та уражаючих для людини і навколишнього середовища чинників, що утворюються при проведенні удосконалення ефективності мереж зв'язку 5G для тактильного інтернету. В ньому розглядаються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення попереднє КПО для однобічного природного освітлення, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні удосконалення, безпека в надзвичайних ситуаціях.

В процесі удосконалення даного пристрою на працівників діють ті чи інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп відповідно до [65].

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, відсутність або недостатність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, підвищена яскравість світла, пряма або відбита блискучість.

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці.

6.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Вибираємо для приміщення, в якому проводяться роботи з удосконалення ефективності мереж зв'язку 5G для тактильного інтернету, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Відповідно до [66] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені в табл. І.1 додатку І.

Перепад температури повітря за висотою робочої зони для всіх категорій робіт допускається до 3°С. Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м^2.

ВНТУ ФІРЕН ГКСТБ МКР 2019

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, які використовуються в даному виробничому приміщені наведено в табл. І.2 додатку І.

Для встановлення необхідних за нормативами показників мікроклімату та чистоти повітря робочої зони запропоновано: в приміщенні має бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року; щоденне вологе прибирання; застосування витяжної вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

6.1.2 Виробниче освітлення

Для створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги пред’являються до якісних та кількісних показників освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з удосконалення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету, згідно [67] визначаємо, що вони відповідають ІІІ розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об’єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *в*.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в табл. І.3 додатку І.

Оскільки приміщення знаходиться в м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми орієнтовані за азимутом 135°, то для таких умов КЕО визначатиметься за формулою [67]:

$$e_{\text{N}} = e_{\text{н}}\, m_{\text{N}}\ [\%], \tag{6.1}$$

де $e_{\text{н}}$ – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

За відомими значеннями отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.б} = 2 \cdot 0{,}85 = 1{,}7\ (\%);$$

$$e_{N.с} = 1{,}2 \cdot 0{,}85 = 1{,}02\ (\%).$$

Для встановлення нормативних значень параметрів освітлення передбачено: при недостатньому природному освітлені в світлу пору доби доповнення штучним за допомогою газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання загального штучного освітлення в темну пору доби.

Вихідні дані: Розміри приміщення (м): 9 × 4 × 3,4. Освітлення комбіноване симетрично розташованими вікнами, розміри яких (м): 2,1 × 1,9. Висота від підлоги до підвіконня – 0,8 м. Остіклення подвійне, плетіння металеві. Конфронтуючі будинки відсутні.

Природне освітлення забезпечується необхідними архітектурно-будівельними рішеннями – положенням світлових пройм в стінах.

Розрахункове значення коефіцієнта природної освітленості визначається за формулою [3]:

$$e_{П} = \frac{nS_{В}\tau_{З}r_{1}100}{K_{З}\eta_{В}S_{П}K_{БУД}} \quad [\%], \qquad (6.2)$$

де n – кількість вікон;

$S_{В}$, $S_{П}$ – площа вікна та підлоги відповідно, м^2;

$\tau_{З}$ – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при комбінованому освітлені завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщень;

$K_{З}$ – коефіцієнт запасу (для виробничих приміщень $K_{З}$ = 1,3...1,5);

$\eta_{В}$ – світлова характеристика вікон;

$K_{БУД}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, які розташовані напроти.

Кількість вікон n = 2.

Площу кожного вікна знайдемо за формулою:

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

$$S_B = H_B B_B \text{ [м}^2\text{]}, \quad (6.3)$$

де H_B, B_B – висота та ширина вікна відповідно, м.

Площа стелі рівна площі підлоги і визначається за формулою:

$$S_{стелі} = S_П = L_П B_П \text{[м}^2\text{]}, \quad (6.4)$$

де $L_П$, $B_П$ – довжина та ширина підлоги відповідно, м.

Знайдемо загальний коефіцієнт світлопропускання за формулою:

$$\tau_З = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (6.5)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні $\tau_3 = 1$; при верхньому – $\tau_3 = 0{,}8\text{-}0{,}9$);

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях;

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями (при суміщеному освітленні приймається рівним 0,9; при природному 1).

Для одинарного остікления вибираємо $\tau_1 = 0{,}9$. Для дерев'яного виду віконних рам $\tau_2 = 0{,}75$. Для бокового освітлення приймаємо $\tau_3 = 1$. Оскільки сонцезахисні пристрої не використовуються, то приймаємо $\tau_4 = 1$. Для природного освітлення приймаємо $\tau_5 = 1$.

Підставляючи відомі значення у формули (6.3-6.5) отримаємо

$$S_B = 2{,}1 \cdot 1{,}9 = 4 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{стелі} = S_П = 9 \cdot 4 = 36 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\tau_З = 0{,}9 \cdot 0{,}75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}68.$$

Приймаємо коефіцієнт запасу $K_З = 1{,}3...1{,}5 = 1{,}4$.

Для визначення коефіцієнту r_1 необхідно знайти середній коефіцієнт відбиття приміщення за формулою:

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

$$\rho_{СР} = \frac{\rho_{стелі} S_{стелі} + \rho_{стін} S_{стін} + \rho_{П} S_{П}}{S_{стелі} + S_{стін} + S_{П}} \quad , \qquad (6.6)$$

де $\rho_{стелі}$, $\rho_{стін}$, $\rho_{п}$ – коефіцієнти відбиття стелі, стін та підлоги відповідно;

$S_{стелі}$, $S_{стін}$, $S_{п}$ – площа стелі, стін, та підлоги відповідно, м^2.

Приймаємо $\rho_{стелі}$ = 0,725; $\rho_{стін}$ = 0,7; $\rho_{п}$ = 0,25.

Площу стін знайдемо за формулою

$$S_{стін} = H_{стіни}(2L_{П} + 2B_{П}) \text{ [м}^2\text{]}, \qquad (6.7)$$

де $H_{стіни}$ – висота стіни, м.

Підставляючи відомі значення у формули (6.7, 6.6) отримаємо

$$S_{стін} = 3{,}4 \cdot (2 \cdot 9 + 2 \cdot 4) = 88{,}4 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\rho_{ср} = \frac{0{,}725 \cdot 36 + 0{,}7 \cdot 88{,}4 + 0{,}25 \cdot 36}{36 + 88{,}4 + 36} = 0{,}6046.$$

Для визначення коефіцієнту r_1 необхідно також визначити співвідношення

$$B_п / h;\ l / B_п;\ L_п / B_п, \qquad (6.8)$$

де h – висота від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю вікна, м;

l – відстань розрахункової точки до зовнішньої стіни, м.

Знайдемо висоту від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю вікна за формулою:

$$h = H_{стіни} - h_р - (H_{стіни} - H_В - h_П) = H_В + h_П - h_р \text{ [м]}, \qquad (6.9)$$

де $h_р$ = 0,8 м – висота робочої поверхні.

Розрахункову точку приймаємо на відстані 1 м від стіни, протилежної від вікна

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

$$l = B_n - 1 \text{ [м]}. \quad (6.10)$$

Підставляючи відомі значення у формули (6.10, 6.9) отримаємо

$$l = 4 - 1 = 3 \text{ (м)};$$

$$h = 2{,}1 + 0{,}8 - 0{,}8 = 2{,}1 \text{ (м)}.$$

Таким чином, співвідношення, необхідні для визначення коефіцієнту r_1 дорівнюють $B_n / h = 4 / 2{,}1 = 1{,}9$; $l / B_n = 3 / 4 = 0{,}75$; $L_n / B_n = 9 / 4 = 2{,}25$.

За отриманими значеннями і величиною $\rho_{ср}$ вибираємо коефіцієнт $r_1 = 3{,}84$. Світлову характеристику вікон вибираємо за значеннями співвідношень L_n / B_n; B_n / h, для яких $\eta_B = 9{,}3$.

Оскільки конфронтуючі будинки відсутні, то $K_{БУД} = 1$.

Отже, розрахункове значення коефіцієнта природної освітленості становить

$$e_n = \frac{2 \cdot 4 \cdot 0{,}68 \cdot 3{,}84 \cdot 100}{1{,}4 \cdot 9{,}3 \cdot 36 \cdot 1} = 4{,}457 \text{ (\%)}.$$

Оскільки $e_П = 4{,}457$ % > $e_N = 1{,}7$ %, то природна освітленість в даному приміщенні є достатньою.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Встановлено, що приміщення, в якому проводиться робота з удосконалення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету може містити робочі місця із шумом та вібрацією, який виходить від сусідніх виробничих приміщень.

З метою запобігання травмуванню працюючих під дією шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Основним документом з питань виробничого шуму, діючим в нашій країні, є [70], у відповідності з яким

ВНТУ ФІРЕН ГКСТЬ МКР 2019

допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не повинні перевищувати значень, що приведені в табл. І.4 додатку І. Норми виробничих вібрацій наведені в табл. І.5 додатку І для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Для встановлення допустимих параметрів віброакустичних коливань в приміщенні передбачено: постійне змащування підшипників вентиляторів системи вентиляції; проведення перевірки рівнів шуму та вібрації.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому проводиться робота з удосконалення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені в табл. І.6 додатку І.

Для забезпечення захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань необхідно застосовувати екранні фільтри та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат.

6.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки при проведенні удосконалення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи [72].

Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, повинна становити не менше 6,0 м^2, об'єм приміщення – не менше як 20 м^3, висота – не менше 3,2 м [73].

Інтер’єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі 0,7-0,8; стін 0,4-0,5; підлоги 0,2-0,3. Поверхня підлоги має бути рівною, без вибоїн, не слизькою, зручною для вологого прибирання, мати антистатичні властивості.

ВНТУ ФІРЕН ГКСТЬ МКР 2019

Забороняється застосовувати для оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

6.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом в даному приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність устаткування, випадкове торкання до струмоведучих частин або металевих частин, що опинилися під напругою. Згідно [74] дане приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (більше 75 %) вологості. Тому безпека експлуатації електрообладнання повинна забезпечуватись комплексом заходів, які включають використання ізоляції струмоведучих частин, захисних блокувань, захисного заземлення тощо [75].

6.2.3 Пожежна безпека

Згідно [76] приміщення, де проводиться робота з удосконалення ефективності мереж зв’язку 5G для тактильного інтернету, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Це приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огороджувальними конструкціями з природних або штучних кам’яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев’яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій розглядуваного приміщення наведені в табл. І.7. В табл. І.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, в якому проводиться робота з удосконалення, має бути оснащене двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [77].

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТБ МКР 2019

6.3 Дослідження безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах надзвичайних ситуаціях

На мережу зв'язку можуть діяти загрозливі чинники НС техногенного характеру. Впливати на її роботу та навіть призвести до виходу з ладу. В свою чергу це може призвести до порушення оповіщення, багатьох жертв серед населення та до великих матеріальних збитків.

В умовах надзвичайних ситуацій, особливого періоду оператори мереж зв'язку, організації в управлінні яких є засоби та мережі, надають можливість використовувати ресурси своїх мереж зв'язку для попередження, локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, оповіщення населення, проведення мобілізації, забезпечення потреб національної безпеки, розвідки, охорони правопорядку та організації евакуацій. Також надзвичайні ситуації можуть призвести до загибелі людей або значних матеріальних втрат. Тому необхідно дослідити безпеку роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії загрозливих чинників НС.

В радіоелектронній апаратурі іонізуючі випромінювання, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінень створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою. При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи систем радіоелектроніки. В результаті опромінення нейтронним потоком у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів. У органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат.

До впливу електромагнітного імпульсу (EMI) мережа мобільного зв'язку теж досить вразлива. Електромагнітний імпульс індукує високу електричну напругу в електромережах, електричному і електронному обладнанні. Зростання напруженості спричиняє раптове зростання електричної напруги і виділення великої кількості тепла, внаслідок чого

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

зазнають пошкоджень електронні елементи, електричні кола і навіть лінії електропередачі. Високі напруги також можуть призвести до пробою електричної ізоляції. Електромагнітні імпульси діють на роботу мережі, викликаючи в ньому оборотні і необоротні зміни. Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для електронної апаратури. Слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Апаратура, виконана на напівпровідникових і інтегральних схемах, що працюють на малих струмах і напругах особливо нестійка до ЕМІ. Це відбувається тому, що така апаратура схильна до впливу зовнішніх полів. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіо пристроях, іонізацію діелектриків.

Таким чином необхідно підвищити стійкість апаратури до дії ЕМІ об’єктами захисту. Зниження або повне виключення впливу ЕМІ на об'єкти захисту може бути досягнуте шляхом комплексного використання наступних фізичних механізмів:

1. При захисті РЕЗ за основним каналом прийому – створення умов для відводу енергії ЕМІ.

2. При захисті РЕЗ за неосновним каналом прийому, а також через конструктивні елементи РЕЗ необхідно забезпечити:

– узгодження вільного простору з характеристиками середовища;

– збільшення поглинання енергії ЕМІ, що впливає на РЕЗ;

– зменшення відбиття енергії ЕМІ, що впливає на РЕЗ;

– формування нелінійних ефектів в середовищах, що опромінюються, з метою зміни спектральних характеристик відбитого ЕМІ.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи мережі 5G зв’язку в умовах дії іонізуючого випромінювання

Аварія на мережі зв’язку 5G та системах зв`язку може виникнути внаслідок події виведення з ладу (наприклад, електричного пробою ізоляторів, короткого замикання проводів, збою визначальних програм функціонування, «зараження вірусами» та інших «пошкоджень» інформаційних сигналів і ін.) будь-якої з визначальних «інформаційно-

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

небезпечних» систем, які одночасно є складовими конкретної системи зв`язку та телекомунікації або функціонують вкупі з нею.

Нормальна робота мережі буде залежати від таких елементів, як транзистори, мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди.

За критерій безпеки роботи технологічного обладнання в цих умовах приймається таке значення дози опромінення елементної бази ($Р_{зв}$, Р/год), або граничне значення рівня ($Р_{гр}$, Р/год), при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але мережа буде працювати з потрібною якістю. Отримані значення занесемо до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Граничні рівні радіації елементів мережі 5G зв'язку

№	Блоки мережі мобільного зв'язку	Елементи мережі 5G зв'язку	$Р_{гр\ і}$, Р	$Р_{гр}$, Р
1	Блок живлення	Мікросхема MCP4021-202E/SN	10^5	10^5
		Конденсатори SAMXON GF470/10	10^8	
		Резистор CF2WS-1M	10^7	
		Діод Д226В	10^{10}	
2	Блок підсилення	Мікросхема ULN2004 DIP16	10^5	
		Конденсатор CBB-60 ACECA	10^8	
		Резистор 1206 SMD	10^8	
3	Блок керування	Контролер APKO-TEL-1	10^5	

З наведеної таблиці слідує, що мінімальні значення допустимої дози, при яких в елементній базі можливі необоротні зміни мають мікросхема MCP4021-202E/SN блоку живлення, мікросхема ULN2004 DIP16 блоку підсилення та контролер APKO-TEL-1 блоку керування – $Р_{гр}=10^5$, $t_к=60000$ год, $k_{посл}=1$.

Визначаємо максимальний рівень радіації:

$$P_{1\max} = \frac{P_{гр} \cdot k_{посл}}{2 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}. \qquad (6.11)$$

Підставивши відповідні числові значення в формулу (6.11) отримаємо:

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБМКР 2019

$$P_{1\max} = \frac{10^5 \cdot 1}{2 \cdot (\sqrt{600000} - \sqrt{1})} = 204.(P/год).$$

Визначаємо допустимий час роботи мережі:

$$t_{доп} = \left(\frac{P_{гр} \cdot k_{посл} + 2 \cdot P_{1\max} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1\max}} \right)^2 = \left(\frac{10^5 \cdot 1 + 2 \cdot 204 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 204} \right)^2 = 60564(год).$$

Таким чином, допустимий час роботи мережі складатиме 60564 годин або 6 років 328 днів 17 годин при максимальному рівні радіації 204 Р/год.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу

Критерієм оцінки приймається коефіцієнт безпеки:

$$K_{бв(г)} = 20 \lg \frac{U_д}{U_{в(г)}}, \qquad (6.12)$$

де $U_д$ – допустиме коливання напруги живлення;

$U_{В(Г)}$ – напруги, наведені у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах елементної бази.

Система вважається стійкою коли $К_{Бві}$ і $К_{Бгі} \geq 40$ (дБ).

Дослідження здійснюється за дією електричного поля, яке є складовою електромагнітного. Допустимі коливання напруги:

$$U_д = U_ж + \frac{U_ж N}{100} = 220 + \frac{220 * 5}{100} = 231 \text{ (В)}, \qquad (6.13)$$

де $U_ж$ – напруга живлення від електричної мережі;

N – допустиме відхилення напруги в системі.

Зазвичай все обладнання знаходиться у металевому корпусі, і всі кабелі живлення будуть у вертикальному положенні, тому на напругу наведення у горизонтальній струмопровідній частині можна не зважати. Знаходиться

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

напруга наведення у вертикальній струмопровідній частині обладнання, використовуючи формулу для знаходження коефіцієнта безпеки.

$$K_{бв} = 20\lg\frac{U_д}{U_в} \quad \Rightarrow \quad U_в = \frac{U_д}{10^{\frac{K_{бв}}{20}}}; \tag{6.14}$$

$$U_в = \frac{231}{10^{\frac{40}{20}}} = 2,31 \text{ (В)}; \tag{6.15}$$

З цього можна зробити наступний висновок – для безпечної роботи мережі 5G зв'язку необхідно, щоб напруги наведення не перевищували 2,31 (В).

За значенням напруги наведення складові напруженості електричного поля становитимуть:

$$E_г = \frac{U_в}{l_в}; \tag{6.16}$$

$$E_в = \frac{E_г}{10^{-3}}, \tag{6.17}$$

де $l_в$ – загальна довжина струмопровідних частин обладнання, кабелів живлення.

Середні за величиною мережі 5G зв'язку містять в собі багато комунікаційного обладнання, тому загальна довжина струмопровідних частин складає в середньому 30 м.

$$E_г = \frac{U_в}{l_в} = \frac{2,31}{30} = 0,077(В/м). \tag{6.18}$$

$$E_в = \frac{E_г}{10^{-3}} = \frac{0,077}{10^{-3}} = 77(В/м). \tag{6.19}$$

Для безпечної роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу вертикальна складова частина напруженості електричного поля повинна бути меншою 77 (В/м).

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

6.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії загрозливих чинників НС

Для покращення безпеки роботи мережі 5G зв'язку необхідно виконувати заходи, які допоможуть зберегти стійкість мережі зв'язку до відмов. Серед таких заходів для боротьби з впливом іонізуючого опромінення використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати новітній вітчизняний метод, що полягає в захисному покритті радіоелектронної апаратури, що розміщується на поверхнях даних елементів, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання, відмінним тим, що захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці, або утворює її захисний шар.

Для безпечної роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу вертикальна складова частина напруженості електричного поля повинна бути меншою 77 (В/м). При виконанні таких заходів безпеки, мережа мобільного зв'язку буде працювати безвідмовно тривалий час, та не буде виникати непередбачуваних відмов.

Тож мережа зв'язку 5G є умовно стійкою в умовах впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи мережі в заданих умовах становить 60564 год., при рівні радіації 204 Р/год. Для додаткового захисту можна застосувати підбір радіаційної стійкості елементної бази та перебування мережі в більш захищених приміщеннях. Від впливу на систему ЕМІ необхідно застосувати додаткове екранування. Визначається перехідне гасіння енергії електричного поля екраном А = 40 дБ. Для сталевого екрану визначається товщина стінки за допомогою формули $A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}$,(дБ) , де t - товщина стінки екрану, см; f – частота f = 15000 Гц.

Розрахуємо товщину захисної стінки:

$$t = \frac{A_{БК}}{5,2\sqrt{t}} = \frac{40}{5,2\sqrt{15000}} = 0,063 \text{ см.}$$

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

6.4 Висновки до розділу 6

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення попереднє КПО для однобічного природного освітлення, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення удосконалення ефективності мереж зв'язку 5G для тактильного інтернету, безпека в надзвичайних ситуаціях. Також досліджувалась стійкість роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії іонізуючих випромінювань і електромагнітного імпульсу. В умовах дії іонізуючих випромінювань час роботи склав 60564 годин або 6 років 328 днів 17 годин при максимальному рівні радіації 204 Р/год. Для безпечної роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу вертикальна складова частина напруженості електричного поля повинна бути меншою 77 (В/м). В цьому випадку система стійка. Після застосування металевих екранів коефіцієнт безпеки складав 40 дБ, а тому система є стійкою до ЕМІ і може працювати без збоїв.

ВНТУ ФІРЕНТ ТКСТБ МКР 2019

ВИСНОВОК

У магістерській кваліфікаційній роботі отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз концепції тактильного Інтернету і вимог, що пред'являються цією концепцією до мереж зв'язку. Тактильний Інтернет привнесе в життя людини і суспільства принципові зміни, дозволивши реалізувати взаємодії H2M в повній мірі і з новою якістю. У той же час впровадження концепції тактильного Інтернету вимагає перегляду принципів побудови існуючих і перспективних мереж зв'язку, в тому числі і мереж зв'язку п'ятого покоління. Основною проблемою при цьому є реалізація вимог тактильного інтернету по круговій затримці величиною в 1мс.

2. Проведено аналіз додатків і перспектив впровадження послуг тактильного Інтернету. При цьому розглянуті такі області застосування тактильного Інтернету як охорона здоров'я, віртуальна і доповнена реальність, індустріальна автоматизація, робототехніка, безпілотні транспортні засоби, розумна енергетика і т.д.

3. Розроблено новий метод побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G з використанням мобільних граничних обчислень MEC і багаторівневої хмарної системи, що відрізняються тим, що вводиться новий рівень міні хмар, що розташовуються на базових станціях мережі 5G, що забезпечує виконання вимог тактильного Інтернету по круговій затримці величиною в 1мс.

4. Розроблено метод вивантаження трафіку з базової мережі, що відрізняється від відомих спільним використанням технологій багаторівневої хмарної системи MEC, що включає рівень міні хмар, і взаємодій пристрій-пристрій D2D.

5. Розроблено метод побудови ядра мережі зв'язку п'ятого покоління, що відрізняється від відомих тим, що з метою виконання вимог тактильного Інтернету за величиною затримки ядро мережі побудовано на основі технології програмно-конфігурованих мереж. Запропонована архітектура мережі для тактильних Інтернету з використанням технології SDN в ядрі мережі спільно з раніше запропонованої архітектурою багаторівневої хмарної системи дозволяє зменшити кругову затримку до одиниць мілісекунд. Таким чином, запропоновані рішення з побудови мережі є корисними і ефективними для реалізації додатків тактильного Інтернету.

ВНТУ ФІРТ ТКСТБ МКР 2019

Ядро мережі SDN з централізованим контролером має недоліки при реалізації мереж великої ємності і для мереж 5G при наявності трафіку від дуже великої кількості пристроїв. Для цих випадків розроблена мультиконтролерна архітектура мережі на базі технології SDN.

6. Розроблено методику оптимізації розміщення контролерів на мережі і розподілу комутаторів SDN по контролерам, що відрізняється тим, що для оптимізації використовується алгоритм хаотичного рою сальп, і доведено, що запропонований алгоритм забезпечує найменшу тривалість обчислень в порівнянні з відомими алгоритмами: ігровою ненульовою суми, зграї сірих вовків та рою частинок.

7. Проведено моделювання для всіх мереж, систем і алгоритмів на основі технологій MEC і SDN, запропонованих в МКР для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G і тактильного Інтернету. При моделюванні багаторівневої хмарної архітектури при використанні мобільних граничних обчислень продуктивність оцінювалася з використанням різних метрик. Був змодельований також алгоритм вивантаження трафіку, розроблений для багаторівневої хмарної архітектури для мереж зв'язку п'ятого покоління 5G, і оцінена його продуктивність.

8. Моделювання інтелектуального ядра мережі на основі технології SDN, розробленого для мереж 5G і тактильного Інтернету, було проведено як для архітектури SDN з одним централізованим контролером, так і для мультиконтролерної мережі SDN. При моделюванні алгоритму оптимізації хаотичного рою сальп, розробленого в МКР для мереж SDN з декількома контролерами, оцінена його продуктивність.

9. Всі запропоновані мережеві і системні рішення і алгоритми оцінені в порівнянні з традиційними системами, що показало переваги запропонованих в роботі нових моделей і методів в області побудови мереж і систем зв'язку, а також алгоритмів оптимізації.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атея А.А., Энергоэффективная граничная облачная система для 5G / Филимонова М.И.; Атея А.А.; Мутханна А.С.А.; Киричек Р.В. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 4. С. 78-84.

2. Атея, А.А. 5G Граничные Вычисления На Базе D2D Коммуникации / Атея, А.А.; Мутханна, А.С.; Филимонова, М.И. // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018) VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сборник научных статей. В 4-х томах. Под редакцией С.В. Бачевского. 2018. С. 66-70.

3. Атея, А.А. Архитектура сотовой системы 5G на базе MEC / Атея, А.А.; Мутханна, А.С.; Кучерявый, А.Е.; // В книге: Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ-2017) материалы молодежной научной школы. Российский университет дружбы народов; Под общей редакцией К. Е. Самуйлова, Е. А. Кучерявого, А. Н. Дудина. 2017. С. 23-29.

4. Атея, А.А. Интеллектуальное ядро для сетей связи 5G и тактильного интернета на базе программно-конфигурируемых сетей / Атея, А.А., Мутханна, А.С., Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2019. № 3. С. 34-40.

5. Атея, А.А. Многоуровневая облачная архитектура для услуг тактильного интернета, «Электросвязь», // Атея, А.А.; Выборнова, А.И.; Кучерявый, А.Е./ №2, 2017.

6. Атея, А.А. Многоуровневый Протокол Кластеризации Для Крупномасштабных Беспроводных Сенсорных Сетей // Атея, А.А. , Мутханна А.С.А, Кучерявый А.И / Информационные технологии и телекоммуникации, 2018, Том . 6, Номер: 2. С. 01–26.

7. Атея, А.А. Структура Системы 5G/IMT-2020 / Атея, А.А.; Филимонова, М.И.; Мутханна, А.С.А. // 73-Я Всероссийская Научно-Техническая Конференция, Посвященная Дню Радио, 2018.

8. Бородин, А.С. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики / Бородин, А.С.; Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45-49.

9. Волков, А.Н. MEC И SDN/NFV Как Решение По Обеспечению 1 Мс В Сетях Связи 5G/IMT-2020 / Волков, А.Н., Атея, А.А., Мутханна, А.С.А.,

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

Киричек, Р.В. // 723-Я Всероссийская Научно-Техническая Конференция, Посвященная Дню Радио, 2018.

10. Выборнова, А.И. Тактильный интернет: новые возможности и задачи / Выборнова, А.И.; Кучерявый, А.Е. // В сборнике: Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2016 Первый научный форум "Телекоммуникации: теория и технологии" 3Т-2016. 2016. С. 133-134.

11. Гимадинов, Р.Ф. Кластеризация в мобильных сетях 5g / Гимадинов, Р.Ф., Мутханна, А.С., Кучерявый, А.Е. // случай частичной мобильности. Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. Т. 3. № 2. С. 44-52.

12. Гольдштейн Б.С. Сети связи ПОСТ-NGN. / Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Санкт-Петербург, 2013.

13. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. -М.: Машиностроение, 1979. -432 с.

14. Кучерявый, А.Е. Перспективы внедрения NGN Информация и космос. / Кучерявый, А.Е.; Ларичев, Н.И.; Пятаев, В.О. // 2004. № 1. С. 8-12.

15. Кучерявый, А.Е. Самоорганизующиеся сети / Кучерявый, А.Е.; Прокопьев, А.В.; Кучерявый, Е.А. // Санкт-Петербург, 2011.

16. Кучерявый, А.Е. Сети связи общего пользования. тенденции развития и методы расчета / Кучерявый, А.Е.; Парамонов, А.И.; Кучерявый, Е.А. // Москва, 2008.

17. Кучерявый, А.Е. Тактильный Интернет. Сети связи со сверх малыми задержками / Кучерявый, А.Е., Маколкина, М.А., Киричек, Р.В. // Электросвязь, №1, 2016, с.44-46.

18. Маколкина, М.А. Распределение ресурсов при предоставлении услуги дополненной реальности / Маколкина, М.А.; Парамонов, А.И.; Гоголь, А.А.; Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2018. № 8. С. 23-30.

19. Мутханна, М.С.А. Разработка Модели Кластеризации Для Реализации Умного Города / Мутханна, М.С.А.; Шпаков, М.Н.; Атея, А.А.; Мутханна, А.С.А. // 73-Я Всероссийская Научно-Техническая Конференция, Посвященная Дню Радио, 2018.

20. Мухизи, С. Исследование моделей балансировки нагрузки в программно-конфигурируемых сетях / Мухизи, С., Мутханна, А.С., Киричек, Р.В., Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2019. № 1. С. 23-29.

21. Титова, К.Ю. Динамическая Кластеризация Распределенных Контроллеров SDN / Титова, К.Ю., Атея, А.А., Мутханна, А.С.А., Киричек,

ВНТУ ФРЕН ТКСЕТ МКР 2019

Р.В. // 73-Я Всероссийская Научно-Техническая Конференция, Посвященная Дню Радио, 2018.

22. 3GPP TR 22.891, “Feasibility Study on New Services and Markets Tech-nology Enablers,” Ver. 14.2.0, Sep. 2016.

23. 3GPP TR 38.913, “Study on Scenarios and Requirements for Next Genera-tion Access Technologies,” Ver. 14.3.0, June. 2017.

24. 3GPP TS 28.554. Management and orchestration; 5G end to end Key Per-formance Indicators (KPI). Ver. 2.0.0, release 15, Sep 2018.

25. 5G PPP Architecture Working Group white paper, “View on 5G Architec-ture,” July 2016.

26. Abuarqoub, A. Behaviour Profiling in Healthcare Applications Using the Internet of Things Technology / Abuarqoub, A. and Hammoudeh, M. H. // Proceed-ings of Fourth International Conference on Advances in Information Processing and Communication Technology, PP. 1-4, 2016.

27. Agiwal, M. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive sur-vey / Agiwal, M., Roy, A. and Saxena, N // IEEE Communications Surveys & Tuto-rials, 18(3), pp.1617-1655, 2016.

28. Ahmad, S. Feature selection using salp swarm algorithm with chaos / Ah-mad, S.; Mafarja, M.; Faris, H. and Aljarah, I. // John Wiley & Sons., 2018.

29. Aijaz, A. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks / Aijaz, A.; Dohler, M.; Aghvami, A. H.; Friderikos, V.; and Frodigh, M. // IEEE Wireless Comm., 24(2), pp.82-89, 2017.

30. Aijaz, A. Shaping 5G for the Tactile Internet / Aijaz, A.; Simsek, M.; Dohler M. and Fettweis, G. 5G Mobile Communications, Springer International Publishing, pp.677-691, 2017.

31. Aijaz, A. Towards 5G-enabled tactile internet: Radio resource allocation for haptic communications / Aijaz, A. // In Proceedings of the 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Doha, Qatar, 3–6 April 2016; pp. 1–6.

32. An, X. On end to end network slicing for 5G communication systems / An, X., Zhou, C., Trivisonno, R., Guerzoni, R., Kaloxylos, A., Soldani, D. and Hecker, A. // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 28(4), 2017.

33. Arenas, J. Ultra-low Latency in Next Generation LTE Radio Access / Are-nas, J., Dudda, T. and Falconetti, L., // In Proceedings of 11th International

ВНТУ ФРЕН ПКСП МКР 2019

ITG Conference on Systems, Communications and Coding; SCC 2017, pp. 1-6, VDE, Febraury 2017.

34. Ateya, A. 5G framework based on multi-level edge computing with D2D enabled communication / Ateya, A.; Muthanna, A. and Koucheryavy, A. // In Ad-vanced Communication Technology (ICACT), 2018 20th International Conference on, IEEE, pp. 507-512, Feb. 2018.

35. Ateya, A. A. Development of Intelligent Core Network for Tactile Internet and Future Smart Systems / Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Abuarqoub, A.; Vybornova, A.; Koucheryavy, A. // Journal of Sensor and Actuator Networks, 7(1), pp. 1, 2018.

36. Ateya, A. A. Intelligent core network for Tactile Internet system / Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Vybornova, A.; Koucheryavy, A. // In Proceedings of

the International Conference on Future Networks and Distributed Systems, p. 15, ACM, July 2017.

37. Ateya, A. End-to-end system structure for latency sensitive applications of 5G / Ateya, A.; Al-Bahri, M.; Muthanna, A. and Koucheryavy, A. // Электросвязь, (6), pp. 56-61, 2018.

38. Ateya, A. Model Mediation to Overcome Light Limitations—Toward a Se-cure Tactile Internet System / Ateya, A.; Muthanna, A.; Vybornova, A.; Gudkova, I.; Gaidamaka, Y.; Abuarqoub, A.; Algarni, A. and Koucheryavy, A. // Journal of Sen-sor and Actuator Networks, 8(1), p.6, 2019.

39. Ateya, A.A. Multilevel cloud based Tactile Internet system / Ateya, A.A.; Vybornova, A.; Kirichek, R.; Koucheryavy, A. // In Proceedings of the 19th Interna-tional Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Bongpyeong, Korea, pp. 105–110, 19–22 February 2017.

40. Ateya, A.A. Study of 5G Services Standardization: Specifications and Re-quirements / Ateya, A.A., Muthanna, A., Makolkina, M. and Koucheryavy, A. // In 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), pp. 1-6, IEEE, November 2018.

41. Athmiya, N.S. Feasibility study and implementation of openflow based SDN controller for tactical scenario / Athmiya, N.S.; Shobha, K.R. and Sarimela, V. // In IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), pp. 789-794, IEEE, May 2016.

ВНТУ ФІРЕН ПЗСТЗ МКР 2019

42. Azar, A. T. Advances in chaos theory and intelligent control / Azar, A. T. and Vaidyanathan, S. eds. // Springer, vol. 337, Apr. 2016.

43. Bahwaireth, K. Experimental comparison of simulation tools for efficient cloud and mobile cloud computing applications / Bahwaireth, K. Tawalbeh, L., Benkhelifa, E. et al. // Springer EURASIP Journal on Info. Security, June, 2016.

44. Bannour, F. Distributed SDN Control: Survey, Taxonomy and Challenges / Bannour, F.; Souihi, S. and Mellouk, A. // IEEE Communications Surveys & Tutori-als, Dec. 2017.

45. Basit, A. SDN Orchestration for Next Generation Inter-Networking: A Mul-tipath Forwarding Approach / Basit, A.; Qaisar, S.; Rasool, S. H. and Ali, M. // IEEE Access, vol. 5, pp. 13077-13089, 2017.

46. Basta, A. A virtual SDN-enabled LTE EPC architecture: A case study for S-/P-gateways functions / Basta, A., Kellerer, W., Hoffmann, M., Hoffmann, K. and Schmidt, E.D. // In Future Networks and Services (SDN4FNS), 2013 IEEE SDN for (pp. 1-7). IEEE, November 2013.

47. Bizanis, N. SDN and virtualization solutions for the Internet of Things: A survey / Bizanis, N. and Kuipers, F. A. // IEEE Access, vol. 4, pp. 5591-5606, 2016.

48. Blanco, B. Technology pillars in the architecture of future 5G mobile net-works: NFV, MEC and SDN / Blanco, B.; Fajardo, J.O.; Giannoulakis, I.; Kafetzakis, E.; Peng, S.; Pérez-Romero, J.; Trajkovska, I.; Khodashenas, P.S.; Goratti, L.; Paolino, M. and Sfakianakis, E. // Computer Standards & Interfaces, 54, pp.216-228, 2017.

49. Blial, O. An overview on SDN architectures with multiple controllers / Blial, O.; Mamoun, M. and Benaini, R. // Journal of Computer Networks and Communications, 2016.

50. Bock, W. The connected world: the growth of the global mobile internet economy / Bock, W.; Field, D.; Zwillenberg, P. and Ti rogers, k. // Boston Consulting Group Watch Report, Feb. 2015.

51. Bratton, D. Defining a standard for particle swarm optimization / Bratton, D. and Kennedy, J. // In Proc. Swarm Intelligence Symposium, SIS 2007, IEEE, 2007, pp. 120–127.

52. Calheiros, R.N. CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms

ВНТУ ФІЛЕН ТКСТВ МКР 2019

/ Calheiros, R.N., Ranjan, R., Beloglazov, A., De Rose, C.A. and Buyya, R. // Software: Practice and experience, 41(1), pp.23-50, 2011.

53. Cao, J. Mobile agents in networking and distributed computing / Cao, J. and Das, S.K. // John Wiley & Sons, 2012.

54. Caporusso, N. Enabling touch-based communication in wearable devices for people with sensory and multisensory impairments / Caporusso, N.; Biasi, L.; Cinquepalmi, G.; Trotta, G.F.; Brunetti, A. and Bevilacqua, V. // In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 149-159). Springer, Cham, July, 2017.

55. Chan, L. Application of adaptive controllers in teleoperation systems: A survey / Chan, L.; Naghdy, F.; Stirling, D. // IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 44(3), pp. 337-352, 2014.

56. Chang, B. Dynamic QoS allocation for real-time wireless control in tactile internet / Chang, B.; Zhao, G.; Imran, M. A.; Li, L.; Chen, Z. // In 2018 IEEE 5G World Forum (5GWF), pp. 273-277. IEEE, July 2018.

57. Chen, T. Software defined mobile networks: concept, survey, and research directions / Chen, T., Matinmikko, M., Chen, X., Zhou, X. and Ahokangas, P. // IEEE Communications Magazine, 53(11), pp.126-133, 2015.

58. Cheng, T. Y. QoS-Guaranteed controller placement in SDN / Cheng, T. Y.; Wang, M. and Jia, X. // In Proc. 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), IEEE, Dec. 2015, pp. 1–6.

59. Chizeck, H. J. Methods and systems for six-degree-of-freedom haptic inter-action with streaming point data / Chizeck, H. J.; Ryden, F.; Stewart, A. // U.S. Patent No. 9,753,542. Washington, 2017, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

60. Chochlidakis, G. Low latency virtual network embedding for mobile net-works / Chochlidakis, G. and Friderikos, V. // In 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1-6, IEEE, May 2016.

61. Choudhury, G. Joint Optimization of Packet and Optical layers of a Core Network Using SDN Controller, CD ROADMs and machine-learning-based traffic prediction / Choudhury, G., Thakur, G. and Tse, S. // In Optical Fiber Communica-tion Conference, pp. M2A-1, Optical Society of America, March 2019.

62. Chun, B. Clonecloud: elastic execution between mobile device and cloud / Chun, B.; Ihm, S.; Maniatis, P.; Naik, M. and Patti, A. // In Proceedings of the sixth conference on Computer systems, pp. 301-314. ACM, 2011.

ВНТУ ФІРЕН ІКСТВ МКР 2019

63. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

64. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.

65. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

66. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

67. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

68. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.

69. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

70. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

71. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

72. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов’язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.

73. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1998. – 382 с.

74. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

75. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об’єктів будівництва.

76. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

77. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

78. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. – К., 1997.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТЬ МКР 2019

ДОДАТКИ

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток А
(обов’язковий)

Технічне завдання

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток Б
(обов’язковий)

Загальна структура системи тактильного Інтернету

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток В
(обов’язковий)

Багаторівнева система граничних обчислень для
Тактильного Інтернету і мереж 5G

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток Г
(обов’язковий)

Модель системи тактильного Інтернету
на основі багаторівневої хмарної структури

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток Д
(обов’язковий)

Хмарна структура мережі IoT/5G

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток Е
(обов’язковий)

Базова структура мережі SDN з мультиконтролерами

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток Є
(обов’язковий)

Трирівнева структура системи зв'язку п'ятого покоління 5G

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток Ж
(обов’язковий)

Структура системи мобільного зв'язку з кінця в кінець

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток З
(обов’язковий)

Основні параметри для моделювання

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток І
(обов’язковий)

Допустимі значення виробничих факторів

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019

Додаток А

(обов’язковий)

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,

канд. техн. наук, професор

Г.Г.Бортник

. “__” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ ЗВ’ЯЗКУ 5G ДЛЯ ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ

08-34.МКР.004.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ

Васильківський М.В.

Виконавець: ст. гр. ТКС-18м

Кирилюк С.О.

Вінниця-2019

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження і розробка методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G, що забезпечують виконання вимог концепції тактильного Інтернету.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз концепції тактильного Інтернету і вимог, що пред'являються цією концепцією до мереж зв'язку;
- аналіз додатків і перспектив впровадження послуг тактильного Інтернету;
- розробка моделі і методи побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, що реалізує вимоги тактильного Інтернету, на основі використання технології мобільних граничних обчислень MEC;
- розробка методу вивантаження трафіку для мережі зв'язку п'ятого покоління з використанням спільно як технології MEC, так і технології D2D;
- розробка методів побудови інтелектуального ядра мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, що реалізує вимоги тактильного Інтернету, на основі технології програмно-конфігурованих мереж SDN при використанні централізованого контролера і мультиконтролерної системи;
- оптимізація розміщення контролера по мережі і розподілу комутаторів SDN по контролерам з використанням алгоритму хаотичного рою сальп.

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

Предмет дослідження є реалізація вимог тактильного Інтернету в мережах 5G.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- аналіз науково-дослідних робіт в сфері тактильного інтернету;
- граничні обчислення і тактильний інтернет;

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

- програмно-конфігуровані мережі SDN для мереж 5G і тактильного інтернету;

- результати моделювання мультирівневої хмарної системи мобільних граничних обчислень;

- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;

- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Створенні науково-обгрунтовані рекомендації з планування мереж зв'язку п'ятого покоління 5G при реалізації вимог тактильного Інтернету по забезпеченню кругової затримки величиною в 1 мс. Крім того, методика розміщення контролерів на мережі і розподілу комутаторів SDN на основі алгоритму хаотичного рою сальп дозволяє отримати оптимальні рішення при проектуванні мереж зв'язку п'ятого покоління 5G.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах звіту з переддипломної практики “Підвищення ефективності мереж звязку 5G для тактильного інтернету”, який виконувався у ВНТУ 2019/2020 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цього звіту.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 Атея А.А., Энергоэффективная граничная облачная система для 5G / Филимонова М.И.; Атея А.А.; Мутханна А.С.А.; Киричек Р.В. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 4. С. 78-84.

3.3 Атея, А.А. 5G Граничные вычисления на базе D2D коммуникации / Атея, А.А.; Мутханна, А.С.; Филимонова, М.И. // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018) VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сборник научных статей. В 4-х томах. Под редакцией С.В. Бачевского. 2018. С. 66-70.

3.4 Атея, А.А. Архитектура сотовой системы 5G на базе МЕС / Атея, А.А.; Мутханна, А.С.; Кучерявый, А.Е.; // В книге: Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ-2017) материалы молодежной научной школы. Российский университет дружбы народов; Под общей редакцией К. Е. Самуйлова, Е. А. Кучерявого, А. Н. Дудина. 2017. С. 23-29.

РЕПОЗИТОРІЙ ГКСТБ МКР 2019

3.5 Атея, А.А. Интеллектуальное ядро для сетей связи 5G и тактильного интернета на базе программно-конфигурируемых сетей / Атея, А.А., Мутханна, А.С., Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2019. № 3. С. 34-40.

3.6 Атея, А.А. Многоуровневая облачная архитектура для услуг тактильного интернета, «Электросвязь», // Атея, А.А.; Выборнова, А.И.; Кучерявый, А.Е./ №2, 2017.

3.7 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.8 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.9 Козловський В.О. Техніко-економічні обгрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.10 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.11 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.12 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-18м Кирилюк С.О.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методу побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G з використанням мобільних граничних обчислень MEC і багаторівневої хмарної системи, що включає рівень міні хмар, що розташовуються на базових станціях мережі 5G, які забезпечує виконання вимог тактильного Інтернету по круговій затримки величиною в 1 мс.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- затримка обробки OpenFlow Switch – 5 мкс;

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

- затримка обробки контролера SDN – 0,5 мкс;
- швидкість прибуття мікро хмарного блоку λ_i – 15;
- затримка зв'язку всередині стільникової комірки – 100 мкс;
- пропускна здатність мережі зв’язку – змінна від 1Гбіт/с до 10Гбіт/с;
- пам’ять RAM мікро хмари – 1024 Мбайт;
- пам’ять RAM міні хмари – 2048 Мбайт;
- кругова затримка в мережі – 1 мс.

Запропонована в роботі заміна традиційного еволюційного пакетного ядра мережі на мережу контролерів і комутатор SDN, в тому числі з мульти контролерною архітектурою, істотно змінює традиційні теоретичні уявлення про ядро мережі в мережах зв'язку п'ятого покоління і ставить нові науково-дослідні завдання з аналізу та синтезу мереж 5G.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документ-тація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Аналіз науково-дослідних робіт в сфері тактильного інтернету	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.
3.	Граничні обчислення і тактильний інтернет	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Програмно-конфігуровані мережі SDN для мереж 5G і тактильного інтернету	07.10.2019р	25.10.2019р.	Характе-ристики і параметри	Розділ 3

ВПУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

5.	Результати моделювання мультирівневої хмарної системи мобільних граничних обчислень	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Характе-ристики і параметри	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичай-них ситуаціях	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення поясню-вальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документа-ція	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відзиви	Відзив. рецензія
10.	Захист МКР ЕК		09.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- загальна структура системи тактильного Інтернету;
- багаторівнева система граничних обчислень для Тактильного Інтернету і мереж 5G;
- модель системи тактильного Інтернету на основі багаторівневої хмарної структури;
- хмарна структура мережі IoT/5G;
- базова структура мережі SDN з мультиконтролерами;
- трирівнева структура системи зв'язку п'ятого покоління 5G;
- структура системи мобільного зв'язку з кінця в кінець;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленої системи зв'язку п'ятого покоління 5G.

ВПУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження системи зв'язку п'ятого покоління 5G;

- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження системи зв'язку п'ятого покоління 5G.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впроваджені результатів досліджень очікується отримати оптимальні рішення при проектуванні мереж зв'язку п'ятого покоління 5G.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

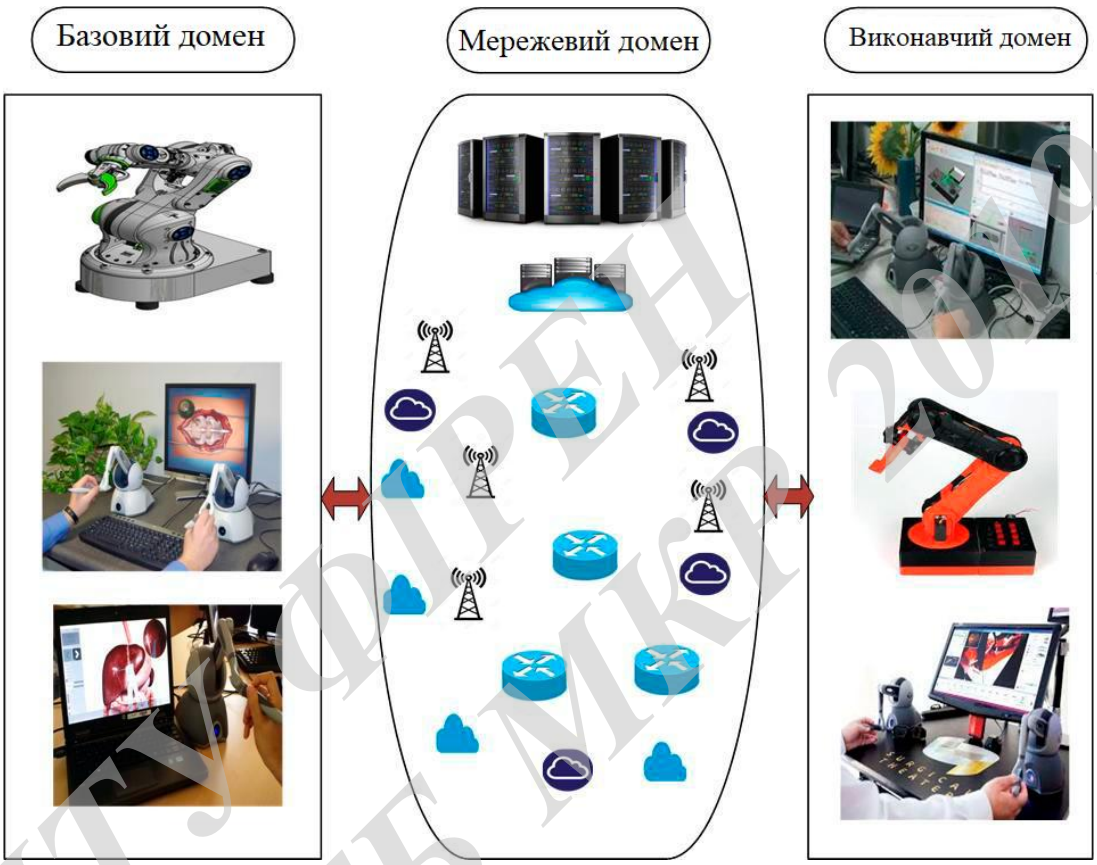
- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- загальну структуру системи тактильного Інтернету;
- багаторівневу систему граничних обчислень для Тактильного Інтернету і мереж 5G;
- модель системи тактильного Інтернету на основі багаторівневої хмарної структури;
- хмарну структуру мережі IoT/5G;
- базову структуру мережі SDN з мультиконтролерами;
- трирівневу структуру системи зв'язку п'ятого покоління 5G;
- структуру системи мобільного зв'язку з кінця в кінець;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленої системи зв'язку п'ятого покоління 5G.

ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

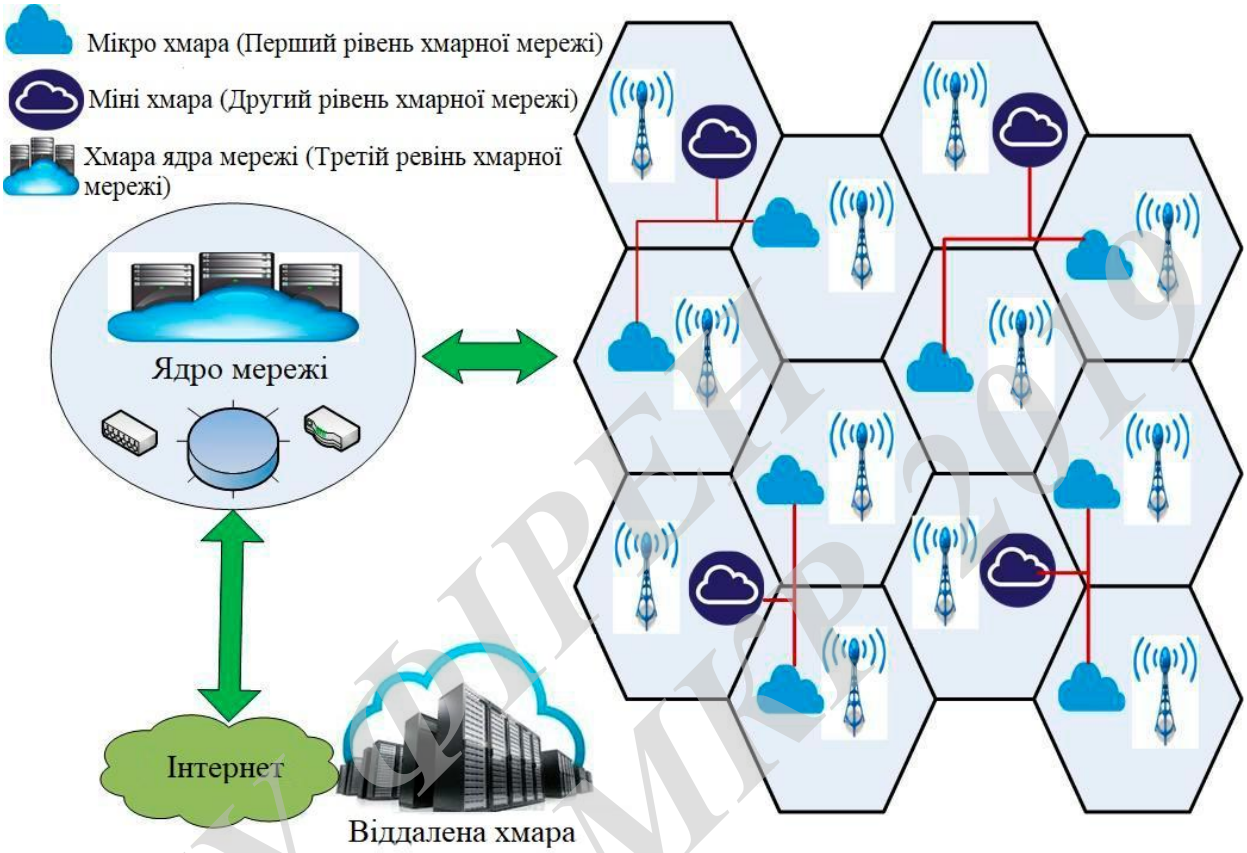
У зв’язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТБ МКР 2019



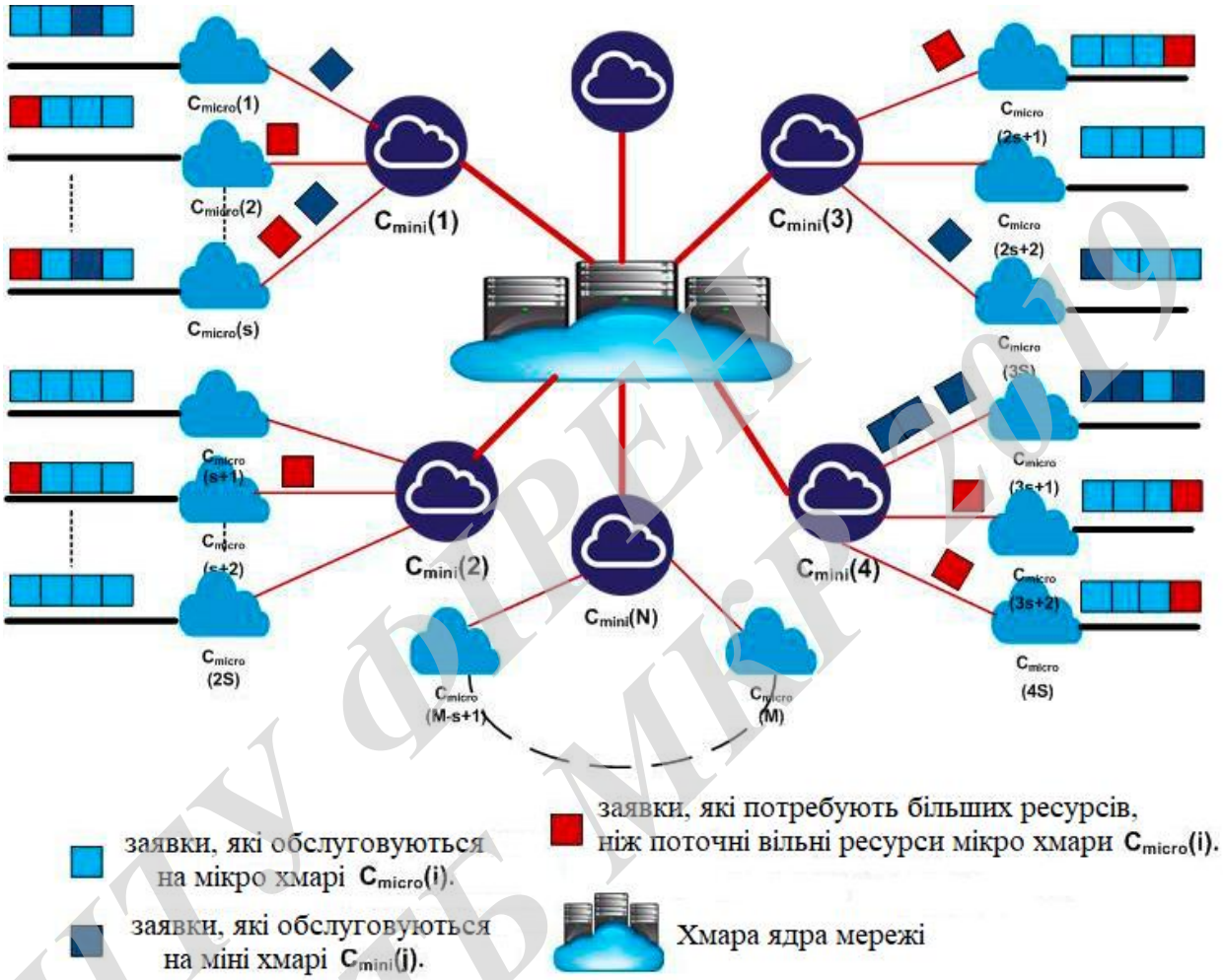
ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Кирилюк С.О.			Загальна структура системи тактильного Інтернету	Літ. / Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.				
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м
Н. Контр.		Васильківський М.В.				
Затверд.		Бортник Г.Г.				



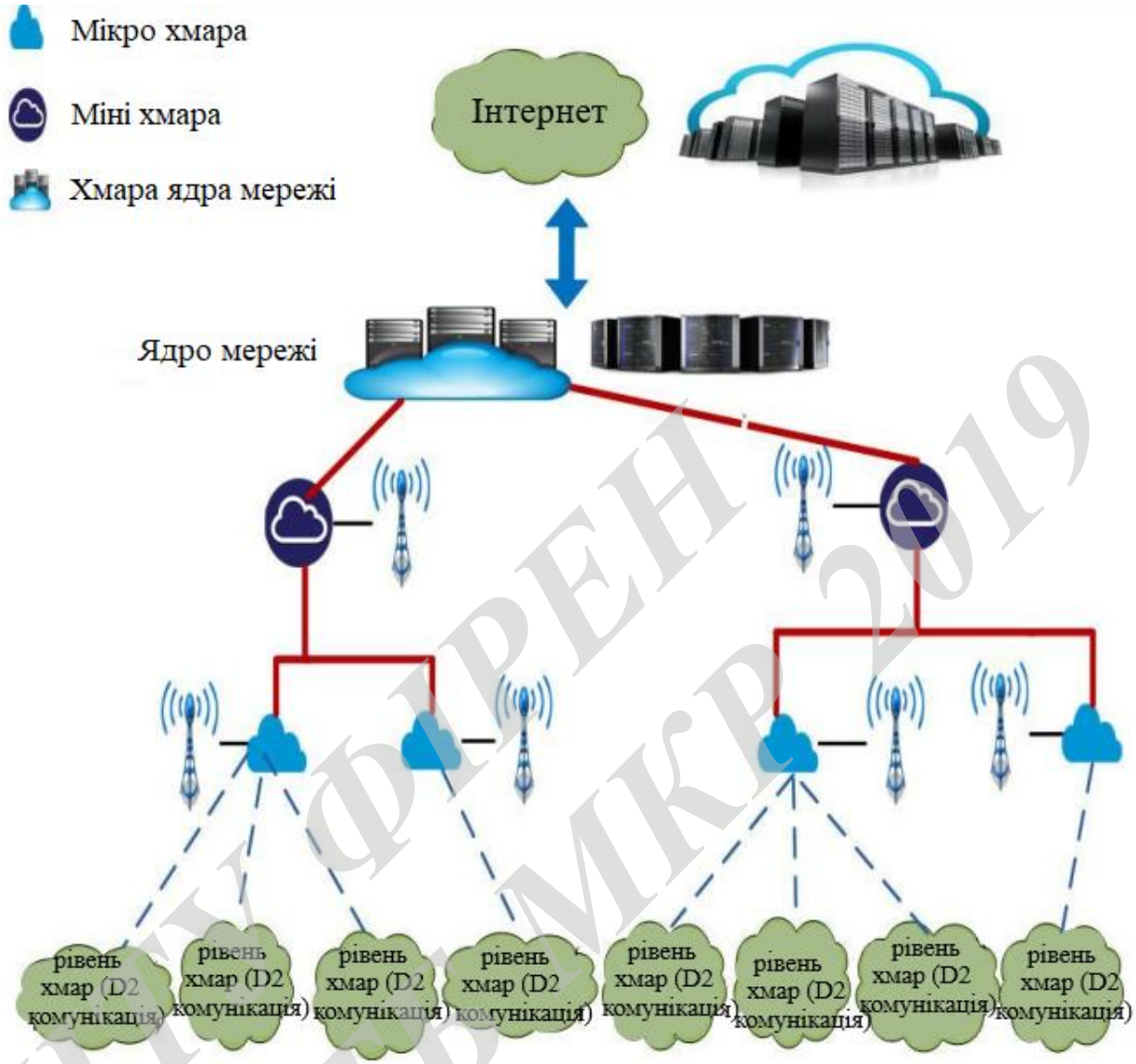
ВНТУ ІРТЕ ТКСТБ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кирилюк С.О.			Багаторівнева система граничних обчислень для Тактильного Інтернету і мереж 5G	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.					
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м	
Н. Контр.		Васильківський М.В.					
Затверд.		Бортник Г.Г.					



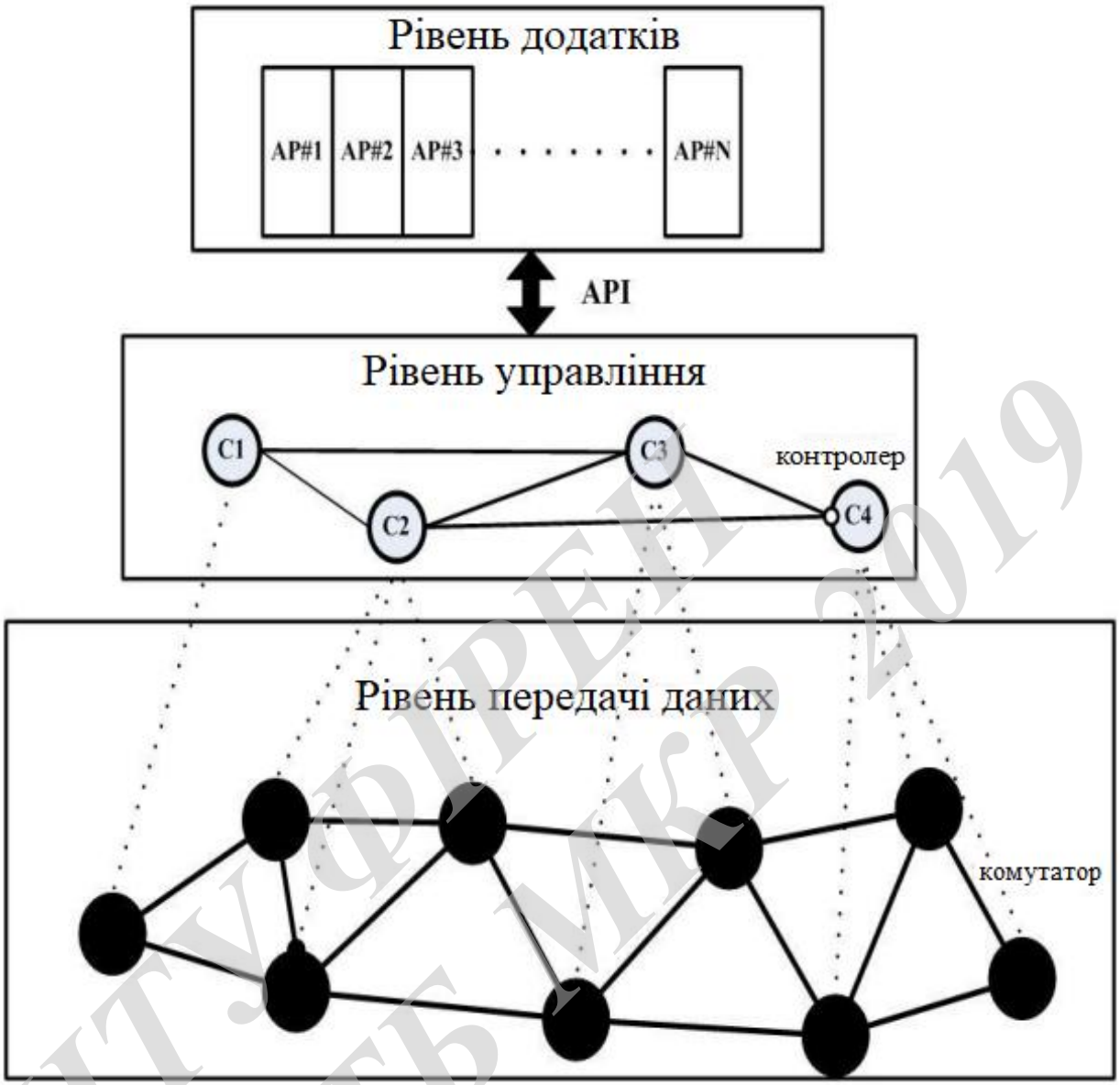
ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кирилюк С.О.			Модель системи тактильного Інтернету на основі багаторівневої хмарної структури	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.					
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м	
Н. Контр.		Васильківський М.В.					
Затверд.		Бортник Г.Г.					



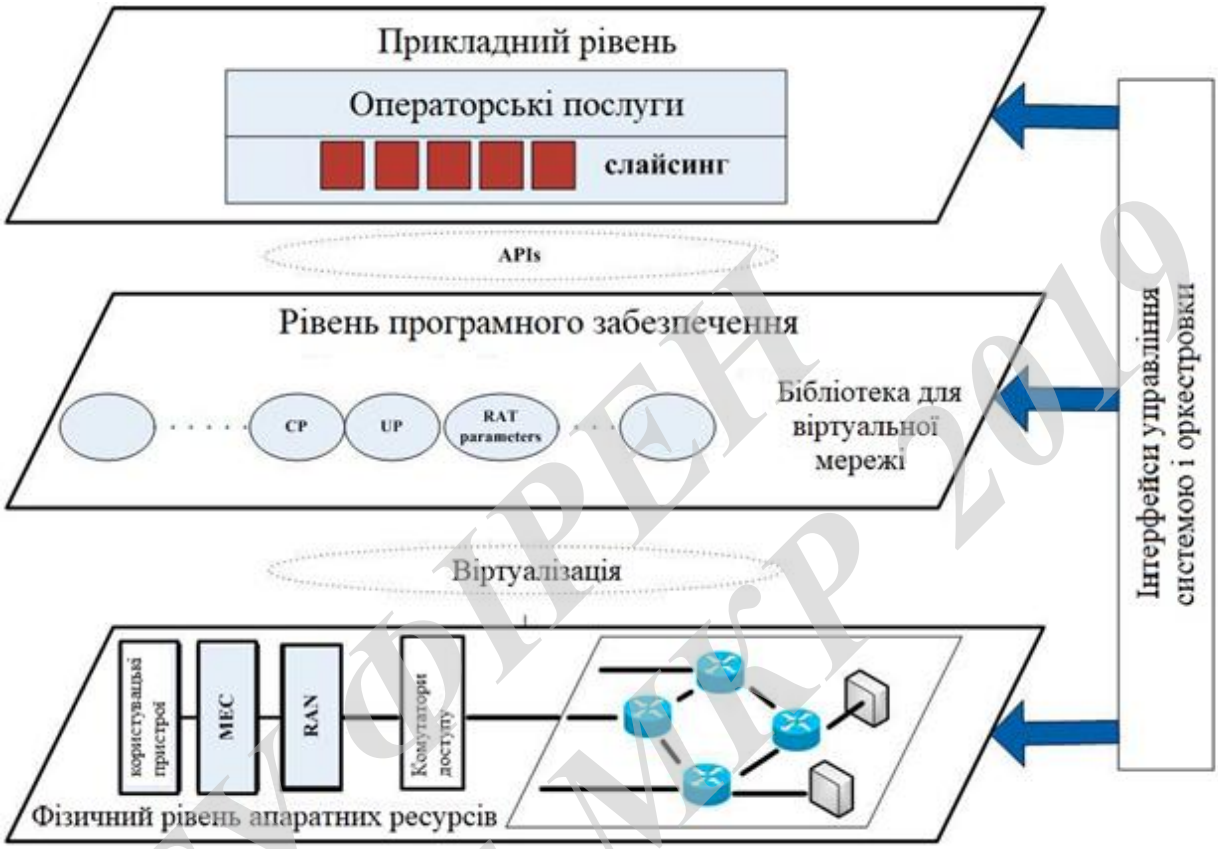
ВНТУ ФІРЕН ТКСТВ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Кирилюк С.О.			Хмарна структура мережі IoT/5G	Літ. / Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.				
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м
Н. Контр.		Васильківський М.В.				
Затверд.		Бортник Г.Г.				



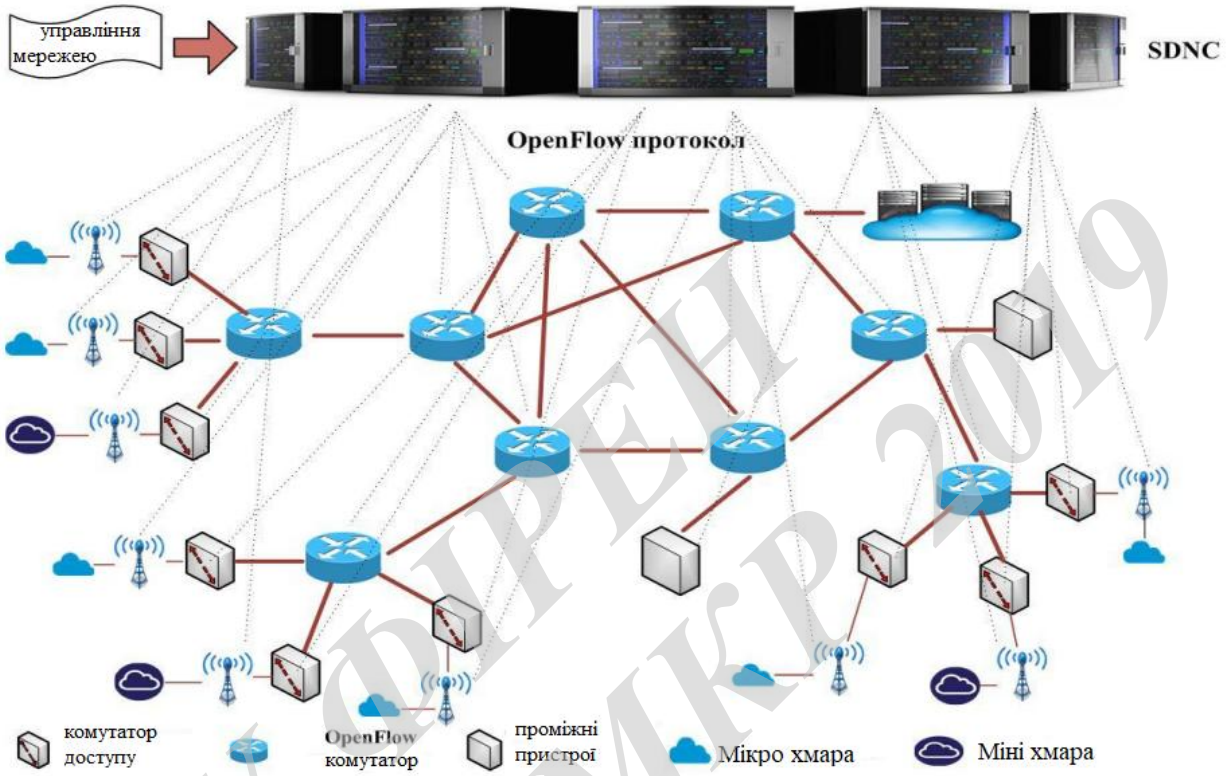
ВНТУ ФІРЕН ТКСТБ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Кирилюк С.О.			Базова структура мережі SDN з мультиконтролерами	Літ. / Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.				
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м
Н. Контр.		Васильківський М.В.				
Затверд.		Бортник Г.Г.				



ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Кирилюк С.О.			Трирівнева структура системи зв'язку п'ятого покоління 5G	Літ. / Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.				
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м
Н. Контр.		Васильківський М.В.				
Затверд.		Бортник Г.Г.				



ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кирилюк С.О.			Структура системи мобільного зв'язку з кінця в кінець	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Васильківський М.В.					
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-18м	
Н. Контр.		Васильківський М.В.					
Затверд.		Бортник Г.Г.					

Таблиця 3.1 Параметри моделювання для багаторівневої граничної системи тактильного Інтернету

Параметр	Найменування	Значення
M	Число мікро хмар в мережі	300
N	Число міні хмар в мережі	20
S	Число мікро хмар, з'єднаних з кожною міні хмарою	15
W_{mmax}	Максимальне робоче навантаження на міні хмару в заявках за секунду	100 заявок/с
W_{cmax}	Максимальне робоче навантаження на мікро хмару в заявках за секунду	(20,30,40) заявок/с
λ_i	Інтенсивність вхідного потоку на мікро хмарі	15
μ_i	Швидкість обслуговування на мікро хмарі	5Мбіт/с
μ_j	Швидкість обслуговування на міні хмарі	8Мбіт/с
d_{cell}	Затримка поза мережею	1 мс/перехід
$d_{Cmicro-i,Cmini-i}$	Затримкаміжмікрохмароюімініхмарою	1.5 мс
α	Градієнт обчислювальної функції	10
β	Константа обчислювальної функції	0
RAM,HDD	Мікро хмара RAM, пам'ять Міні хмара RAM, пам'ять	1024Mb,1Gb 2048 Mb, 5Gb

Таблиця 3.2 Параметри моделювання при використанні технології D2D в мережах IoT / 5G

Параметр	Представлення параметра	Значення
1	2	3
N_{SD}	Кількість сенсорних пристроїв	10
N_{CD}	Кількість первинних пристроїв	20
N_{GD}	Кількість шлюзів	8
N_{MD}	Кількість мастер пристроїв	5

ВНТУ ФІЕН ТКСТЬ МКР 2019

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
N_{maxGD}	Максимальна кількість SDs або CDs, з'єднанихз GD.	3
N_{maxMD}	Максимальна кількість SDs, CDs або GDs, з'єднанихзMD.	3
W_{mmax}	Максимальне навантаженняна міні хмару в секунду	100 заявок
W_{cmax}	Максимальне навантаженняна мікро хмару в секунду	30 заявок
W_{MDmax}	Максимальне навантаження на MD в секунду	5 заявок
W_{GDmax}	Максимальне навантаження на GD в секунду	2 заявки
λ_i	Інтенсивність надходить потоку на мікро хмара	15
μ_i	Швидкість обслуговування в мікро хмарі	5 Mbps
μ_j	Швидкість обслуговування в міні хмарі	8 Mbps
d_{cell}	Затримка поза стільники	1мс/перехід
$d_{Cmicro,Cmini}$	Затримка між мікро хмарою і міні хмарою	1.5мс
S_{dmax}	Максимально допустима затримка в обслуговуванні	(5мс -15мс)
α	Градієнт функції обчислень	10
β	Константа функції обчислень	0
RAM,HDD	Пам'ять RAM мікро хмари Пам'ять RAM міні хмари	1024Mb,1Gb 2048Mb,5Gb

ВНТУ ФРЕН ТКСТБМКР 2019

Таблиця І.1 – Нормовані допустимі показники мікроклімату [66]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Таблиця І.2 – ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м^3	0,15	4
Іони n^+, n^-	число іонів в 1 см^3 повітря	50000	–

Таблиця І.3 – Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення і мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2

Таблиця І.4 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця І.5 – Допустимі рівні віброприскорення [70]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

ВНТУ ФРЕІ ТКС ВКР 2019

Таблиця І.6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна чи кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, λ	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot \lg\lambda$
8	Метрові хвилі (ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

Таблиця І.7 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [75]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несійні конструкції	Елементи покриття	
	Носійні та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні носійні	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	не нормується	

Примітка. R – втрати носійної здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – M ≤ 25 см – для горизонтальних конструкцій; M ≤ 40 см – для вертикальних і похилих конструкцій.

Таблиця І.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [77]

Об'єм приміщення, тис. $м^3$	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/$м^2$			Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу	Відстань між будівлями та спорудами, м, для ступеня їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, $м^2$, для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	В	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

ВНТУ ФРЕН ТКСТБ МКР 2019