

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ____ » _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Передача обслуговування в мобільних мережах 5G на базі
SDN»

Виконав:

студент II курсу, групи ТЗ-01мп

Денисюк Владислав Вікторович _____

Керівник: директор НН ІТС,

д.т.н., професор кафедри ТК, Ільченко М. Ю. _____

Рецензент:

професор кафедри ІКТС ІТС, д.т.н., с.н.с.

Скулиш М.А. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Денисюку Владиславу Вікторовичу

1. Тема дисертації «Передача обслуговування в мобільних мережах 5G на базі SDN», науковий керівник директор ІТС, академік НАНУ, доктор технічних наук, професор, Ільченко Михайло Юхимович, затверджені наказом по університету від «04» листопада 2021 р. № 3672-с.

2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2021 р.

3. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес передачі обслуговування в межах бездротової мережі 5G на базі технології SDN.

4. Предмет дослідження

Предметом дослідження є методи забезпечення неперервної передачі обслуговування в межах бездротової мережі 5G на базі технології SDN.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- визначити основні параметри, характеристики та принцип роботи бездротової технології 5G;

- визначити особливості архітектури програмно-конфігурованих мереж;
- змоделювати систему для процесу обслуговування в мережі 5G на базі технології SDN.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

- 1) Тема та предмет дослідження. Мета роботи
- 2) Загальні відомості про технологію 5G
- 3) Стандартизація технології 5G
- 4) Історія та перші кроки SDN
- 5) Протокол OpenFlow
- 6) Застосування SDN в мережах 5G
- 7) Аналітичне моделювання та аналіз затримок у мережах 5G на базі технології SDN

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Дата видачі завдання “ 01 ” вересня _____ 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Написання першого розділу магістерської дисертації	01.09.2020-31.12.2020	виконано
2	Написання другого розділу магістерської дисертації	01.01.2021 – 01.03.2021	виконано
3	Написання третього розділу магістерської дисертації	01.03.2021-01.06.2021	виконано
4	Розроблення стартапу на основі магістерської дисертації	01.06.2021-10.12.2021	виконано

Студент

Владислав ДЕНИСЮК

Науковий керівник дисертації

Михайло ІЛЬЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Робота містить: 95 сторінок, 27 рисунків, 17 таблиць. Було використано 23 джерела.

Актуальність теми. Сьогодні телекомунікаційна галузь у всьому світі стоїть на порозі впровадження нового, п'ятого покоління мобільного зв'язку. Подібно своїм попередникам, 5G надає поштовх розвитку не тільки телекомунікаційної, а й інших галузей економіки. Очікувані технологічні інновації стандарту п'ятого покоління призведуть до зростання пропускної здатності мереж мобільних операторів і швидкості передачі даних, а також до появи нових сценаріїв використання мобільного зв'язку та розвитку інноваційних цифрових послуг. Це сприятиме економічному розвитку шляхом збільшення продуктивності, автоматизації та впровадження нових технологій у різних сферах економіки та діяльності людини. 5G надає величезні можливості для підвищення продуктивності і зростання цифрової економіки. Наявність необхідних частот є одним з основних чинників для розвитку таких мереж, поряд з готовністю мережевої архітектури та інфраструктури, бізнес-моделей і абонентських пристроїв.

Аналітики повідомляють, що світовий ринок Software-Defined Networks щорічно збільшується мінімум на 80%. Це пояснюється можливістю використання переваг SDN в багатьох рішеннях, насамперед в телекомунікаційній сфері. Розвиток мережевої архітектури пов'язаний із впровадженням нових технологій, таких як програмно-конфігуруванні мережі SDN і віртуалізація мережевих функцій (NFV). Для забезпечення неперервного розвитку мобільних мереж ці технології потребують додаткових змін поточних станів. По мірі поширення SDN в опорній мережі 5G зміст конкретного обладнання почне втрачати сенс, оскільки, як і трафік управління так і користувацький трафік будуть оброблятися різними логічними об'єктами, які віртуалізовані в хмарній інфраструктурі в якості розподілених систем.

Об'єктом дослідження є процес передачі обслуговування в межах бездротової мережі 5G на базі технології SDN.

Предметом дослідження є методи забезпечення неперервної передачі обслуговування в межах бездротової мережі 5G на базі технології SDN.

Метою роботи є дослідження методів передачі обслуговування в системах мобільного зв'язку 5G на базі технології SDN

Для досягнення поставленої мети треба виконати наступні завдання:

- визначити основні параметри, характеристики та принцип роботи бездротової технології 5G;
- визначити особливості архітектури програмно-конфігурованих мереж;
- змодельовати систему для процесу обслуговування в мережі 5G на базі технології SDN.

Практична цінність отриманих в роботі результатів полягає в тому, що запропонована архітектура дозволяє зменшити затримку в мережі шляхом поділу системи на площину даних та площину керування.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів та висновків.

У *вступі* подано загальну характеристику роботи, зроблено оцінку сучасного стану проблеми, обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, сформульовано мету і задачі досліджень, показано наукову новизну отриманих результатів і практичну цінність роботи.

У *першому розділі* наведено базові терміни та основи мереж 5G.

У *другому розділі* наведено опис базових структур програмно-конфігурованих мереж.

У *третьому розділі* проведено дослідження затримок в мережі 5G на базі технології SDN.

У *четвертому розділі* розроблено стартап проект по темі магістерської дисертації.

У *висновках* представлені результати проведеної роботи.

Ключові слова: програмно-конфігуровані мережі, SDN, 5G, OpenFlow.

ABSTRACT

The work contains: 95 pages, 27 figures, 17 tables. 23 sources were used.

Actuality of theme. Today, the telecommunications industry around the world is on the verge of introducing a new, fifth generation of mobile communications. Like its predecessors, 5G provides a boost not only to telecommunications but also to other sectors of the economy. The expected technological innovations of the fifth generation standard will lead to an increase in the capacity of mobile operators' networks and data transfer speeds, as well as to the emergence of new scenarios for the use of mobile communications and the development of innovative digital services. This will contribute to economic development by increasing productivity, automation and the introduction of new technologies in various areas of the economy and human activity. 5G provides great opportunities to increase productivity and grow the digital economy. The availability of the necessary frequencies is one of the main factors for the development of such networks, along with the readiness of the network architecture and infrastructure, business models and subscriber devices.

Analysts report that the global Software-Defined Networks market is growing at least 80% annually. This is due to the possibility of using the benefits of SDN in many solutions, especially in the telecommunications sector. The development of network architecture is associated with the introduction of new technologies such as software configuration of SDN and virtualization of network functions (NFV). To ensure the continuous development of mobile networks, these technologies require additional changes in current conditions. As SDNs spread across the 5G backbone, the content of specific equipment will become meaningless, as both control traffic and user traffic will be handled by different logical objects that are virtualized in the cloud infrastructure as distributed systems.

The object of the study is the process of handover within the 5G wireless network based on SDN technology.

The subject of the research is the methods of providing continuous handover within the 5G wireless network based on SDN technology.

The aim of the work is to study the methods of handover in 5G mobile communication systems based on SDN technology

To achieve this goal you must perform the following tasks:

- determine the basic parameters, characteristics and principle of operation of 5G wireless technology;
- to determine the features of the architecture of software-configured networks;
- to model the system for the service process in the 5G network based on SDN technology.

The practical value of the results obtained in this work is that the proposed architecture reduces network latency by dividing the system into a data plane and a control plane.

Structure and scope of work. The master's dissertation consists of an introduction, four chapters and conclusions.

The introduction presents a general description of the work, assesses the current state of the problem, substantiates the relevance of research, formulates the purpose and objectives of research, shows the scientific novelty of the results and the practical value of the work.

The *first section* presents the basic terms and basics of 5G networks.

The *second section* describes the basic structures of software-configured networks.

In the *third section*, a study of delays in the 5G network based on SDN technology.

In the *fourth section*, a startup project on the topic of a master's dissertation was developed.

The conclusions present the results of the work.

Keywords: software-configured networks, SDN, 5G, OpenFlow.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ 5G ТА ЇЇ СТАНДАРТИЗАЦІЯ	12
1.1. Загальні відомості про технологію 5G	12
1.2. Стандартизація технології 5G	14
1.3. Основні вектори розвитку мереж 5G.....	17
1.4. Технології та архітектура наземної мережі 5G.	20
1.5. Технології та архітектура супутникової мережі 5G.....	25
1.6. Проблеми мереж 5G	28
1.7. Перспективи мереж 5G та вимоги до якості їх обслуговування	29
Висновки	34
РОЗДІЛ 2. SDN ЯК ТЕХНОЛОГІЯ МАЙБУТНЬОГО ОПЕРАТОРСЬКИХ МЕРЕЖ.....	35
2.1. Історія та перші кроки SDN	35
2.2. Архітектура мереж SDN.....	39
2.3. Протокол OpenFlow	42
2.4. Network Slicing як технологія розділення мережі на логічні шари	49
Висновки	55
Розділ 3. АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЗАТРИМОК У МЕРЕЖАХ 5G НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ SDN	57
3.1. Вступ до аналітичного моделювання.....	57
3.2. Система	60
3.3. Модель забезпечення черг для хмар Edge.....	63
3.4. Аналіз затримок	67
3.5. Результати	69
Висновки	75
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	77
4.1. Опис ідеї проекту	77
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	79
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	79
4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

5G	5-е покоління мобільних мереж
IoT	(Internet of Things, IoT) – Інтернет речей
Wi-Fi	(Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi) — Бездротова точність
3GPP	стандарт з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості
URLLC	(Ultra-Reliable Low Latency Cellular network) - Надзвичайно надійна мобільна мережа
eMBB	(Enhanced Mobile Broadband) - Розширений мобільний широкопasmовий зв'язок
E2E	(END to END)
SDN	(Software-Defined Networking) – програмно-конфігуровані мережі
BS	(Base station) – Базова станція
DOS	(Denial-of-service attack)- Атака на відмову в обслуговуванні
Handoff	Переадресація
CDMA	(Code-division multiple access)
RAN	(radio access network) – мережі радіодоступу
NBI	(North Bound interface) – північний інтерфейс
NFV	(Network function virtualization) – віртуалізація функцій мережі

ВСТУП

Сьогодні гостро стоїть проблема дефіциту частотного ресурсу, який необхідний для забезпечення якості послуг, що викликано стрімким зростанням трафіку, який споживається та ери інтернету речей (IoT), яка наближається. Передбачається, що в порівнянні з мережами LTE, які уже існують, швидкість передачі даних в мережі 5G повинна бути в 10-100 разів вище, 5G мережа повинна буде підтримувати в 100 разів більше абонентів і т.п. Актуальність використання мереж SDN пояснюється ринковими тенденціями. На сьогоднішній день спостерігається різке зменшення доходів операторів мобільного зв'язку від стандартних послуг, при цьому ріст трафіка, який споживається стрімко прямує вгору. У зв'язку з цим в найближчі роки гравцям ринку телекомунікаційних послуг необхідно провести цифрову трансформацію. Технологія SDN повинна сприяти переорієнтації операторських бізнес-моделей на хмарні та цифрові сервіси. Також оператори надіються звільнити мережі від надлишку обладнання.

Програмно-конфігуруванні мережі SDN на базі технології 5G допоможуть операторам керувати послугами мережі, коли функціонал управління відділений від нижнього рівня даних. Планування мережі і управління трафіком в при цьому відбувається програмним шляхом. Це дозволить операторам піти від використання дорогих спеціалізованих апаратно-програмних комплексів в сторону віртуалізованих програмних рішень. Всеосяжне бачення в розробці SDN підняло рівень абстракції в розробці нових додатків та особливо в зменшенні деяких з недосказаностей в розробці SDN базованих оптимізацій, роблячи їх більш доступними для розгортання мережевими менеджерами.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ 5G ТА ЇЇ СТАНДАРТИЗАЦІЯ

1.1. Загальні відомості про технологію 5G

Стандарт першого покоління бездротової мережі був запущений в столиці Японії, в місті Токіо в далекому 1979 році. Поступово з розвитком технологій стандарт першого покоління покриття територію усєї країни. Швидкість була настільки низькою, що можна сказати, що 1G майже не надавав ніяких переваг. Однак, це був перший і найбільший крок на шляху подальшого розвитку поколінь бездротових мереж.

Технологія 2G з'явилася в столиці однієї зі Скандинавських країн – Фінляндії у 1991 році. Вона уже була дійсно схожою на зв'язок: користувачі могли отримувати та відправляти текстові повідомлення (SMS) та мультимедійні повідомлення (MMS), а телефонні розмови стали вперше закодовані в цифровому форматі. Уже через 10 років, знову в Японії, почав свій шлях розвитку стандарт третього покоління. Його перевагою стала велика швидкість передачі даних до таких мір, що можливо було дивитись відео в мережі Інтернет та брати участь у відео-конференціях.

Нарешті, у 2012 році у Великобританії стартувала технологія 4G, яка надала можливість грати у ігри через мережу Інтернет, дивитись відео та телебачення в HD, а сама швидкість передачі даних значно збільшилась. І ось настала черга технології 5G, яка є фундаментом для багатьох технологій і трансформації цілої інфраструктури.

В контексті мобільного зв'язку з технологією 5G швидкість інтернету коливається від 10 до 25 Гбіт/с з мінімальними затримками в передачі сигналу (всього 1-2 мс). З такою швидкістю відкриваються нові горизонти: нові послуги, сервіси, цілі бізнес-моделі, які були неможливі в мережах 4G. Для масового користувача уже зараз найбільш затребувана сфера застосування 5G – віртуальна та доповнена реальність. Наприклад, у світі на певних футбольних стадіонах установлені камери, які захоплюють 360 градусів і зображення з них передається по мережі 5G. Трансляцію можна дивитись у

шоломі віртуальної реальності, повністю занурившись в те, що відбувається на стадіоні.

Новий стандарт використовує не тільки нові технологічні, а й програмні функції. Наприклад, в 5G використовуються декілька антен на прийому-передачі тому росте швидкість і якість сигналу. Сигнал 5G займає більш високі частоти, що означає, що перешкод буде менше, але передавачі повинні бути потужніші, а станції повинні розташовуватись ближче. Також в 5G використовується технологія розділення мережі network slicing, завдяки якій мережа може розділюватись на декілька логічно ізольованих мереж для певних задач. Наприклад, одна мережа для Інтернету речей, а інша для відео-трансляцій. Під кожен задачу виділяються певні ресурси і технології, що допоможе запобігти перенавантаженню мережі, а також затримкам сигналу.

Також 5G вважають однією з необхідних складових частин цифрової трансформації та економіки, оскільки, витрати на пропуск трафіку, який постійно зростає мережами операторів зв'язку не покривається їхніми доходами від традиційних послуг. В той час, як ріст трафіку і доходів відбувається не в секторі пристроїв людей, а в секторі пристроїв інтернету речей, який є однією із базових цілей функціоналу 5G.



Рис. 1.1. Різниця прибутків від росту трафіку операторів мобільного зв'язку

Сьогодні провідні телекомунікаційні компанії розробляють та пропонують концепцію майбутніх 5G мереж. Серед них такі гіганти як Huawei, Ericsson, Nokia.

Очікується, що пропускна здатність мережі 5G буде до 20 Гбіт/с по лінії «вниз» (до абонента) та до 10 Гбіт/с у зворотному напрямку. Також, мережа наступного покоління матиме підтримку одночасного підключення до 1 млн пристроїв на 1 квадратний кілометр. Зменшення часової затримки на радіо інтерфейсі до 0.5 мс (для сервісів наднадійного між машинного зв'язку) і до 4 мс (для сервісів широкосмугового мобільного зв'язку). Підвищення енергоефективності на 2 порядки дозволить пристроям інтернету речей працювати без підзарядки акумуляторів протягом 10 років. Решта характеристик мережі 5G у порівнянні з 4G наведена на рис. 1.2.

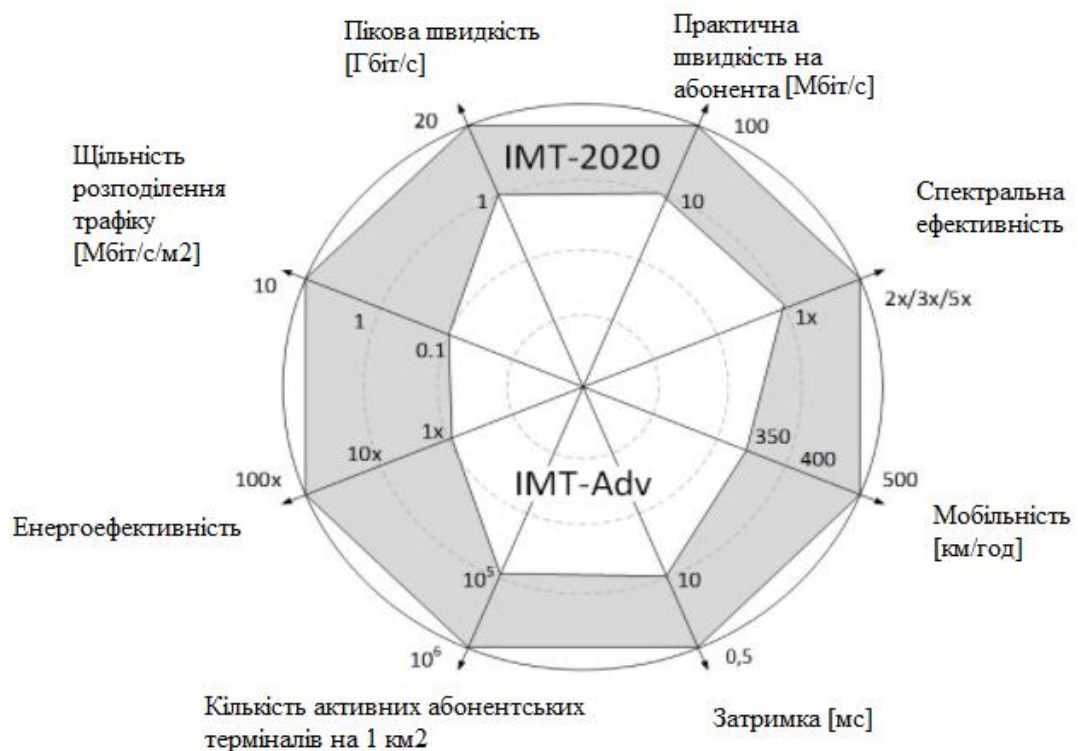


Рис. 1.2. Порівняння характеристик 4G та 5G

1.2. Стандартизація технології 5G

Стандартизація технологій та рішень 5G впроваджується рядом організацій, серед яких:

1) 3GPP (3rd Generation Partnership Project) – альянс семи організацій, які розробляють різні телекомунікаційні стандарти. Задача 3GPP полягає в формуванні технічних вимог, оцінка пропозицій та кінцеве

прийняття стандартів. Наприкінці 2016 року була прийнята версія загального стандарту під назвою «Release 15». Крім того, 3GPP розробляє стандарти радіо технологій 5G New Radio для нових частотних діапазонів, які виділяються для 5G.

2) ITU (International Telecommunication Union) – агентство ООН, яке займається стандартизацією об'ємного спектру телекомунікаційних технологій та координує роботу по сумісному використанню спектру радіочастот, також і для мереж 5G [4].

3) 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) є ключовим агентством по стандартизації 5G. Організація планує амбіційні цілі по розробці вимог до мереж 5G, наприклад, збільшення ємності мережі в тисячу разів, зниження споживання енергії пристроїв користувачів на 90%, значне зменшення часу для залучення нових сервісів та послуг, повне та безпечне мережеве покриття з якнайменшою затримкою передачі даних[5].

4) IETF (Internet Engineering Task Force) розробляє рішення модернізації протоколу IP необхідного підтримці віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization). Наприклад, IETF розробляли технології саме для комбінації віртуалізованих компонентів архітектури 5G, наприклад, базові станції, шлюзи послуг і пакетів даних в єдиному маршруті [7].

5) NGMN (Next Generation Mobile Networks) – об'єднання так званих мереж наступного покоління, яке має основну ціль - стандартизація загальних рішень для 5G. В об'єднання входить керівництво провідних американських операторів: Verizon, Cellular і AT&T.

Оперативну групу по мережевим аспектам IMT-2020 в ДК13 сектору стандартизації МСЕ-Т було створено весною 2015 року з метою аналізу взаємодії нових технологій 5G в мережах нового покоління. Саме це стане необхідним для забезпечення розвитку систем 5G. Робоча група IMT-2020 прийняла концепцію екосистеми 5G і опублікувала аналіз розвитку мереж 5G у звіті 13-ї дослідницької комісії [6].

На початку 2017 року група ОГ ІМТ-2020 МСЕ-Т представила 9 проєктів рекомендацій і технічних звітів по мережам ІМТ-2020, які представляли вимоги до мережевої архітектури 5G. Початковою план підготовки специфікацій 5G був наступний: 1-ша фаза специфікацій має бути завершена до другої половини 2018 р. (в рамках Rel'15 3GPP); 2-а фаза специфікацій – до грудня 2019 р. (в рамках Rel'16 3GPP). Але, у зв'язку з інтересом низки операторів щодо прискорення комерціалізації систем 5G, у 3GPP було ухвалено рішення щодо скорочення термінів стандартизації. Release 16 3GPP дозволить підвищити ефективність мереж 5G та розширити застосування технологій п'ятого покоління [1].

Детальний план роботи 3GPP над Релізом 15 включає в себе безліч проміжних задач і календарних точок контролю проміжних результатів, однак, головні пункти виконання робіт були наступними:

- підготовка технічного аналізу по новим вимогам щодо радіодоступу (NR);
- початок роботи по нормативації над архітектурою мережі нового покоління (Next Generation);
- початок розробки специфікацій нових вимог щодо радіодоступу (5G NR) робочими групами RAN;
- публікація технічних вимог Release 15 мереж радіодоступу і базових мереж 5G;
- завершення розробки фази 1-ї мережі 5G і публікація остаточної версії Release 15 [8].

3GPP прийшли до висновків, які стосуються двох сценаріїв використання мереж 5G [9]:

- Покращений широкосмуговий доступ мобільних мереж;
- Ультранадійний зв'язок з низькими затримками;

Однак, третій сценарій «Масові підключення до міжмашинного обміну даними» на етапі робіт по Релізу 15 потрапив в перелік питань технічного звіту 3GPP. Було прийнято рішення про залучення діапазону 6ГГц в якості

нульової позиції на шкалі спектру з метою проведення роботи по дослідженню спектру як нижче, так і вище 6 ГГц.

1.3. Основні вектори розвитку мереж 5G

Одночасно зі швидкістю стільникового з'єднання та ємністю самої мережі, стійкість покриття є дуже важливим аспектом, який впливає на рівень сприйняття послуг користувачем та на якість сервісу. Абонентські термінали, які розміщені на краю соти зазвичай мають бездротове з'єднання більш низької якості через свою віддаленість від обслуговуючої базової станції, а також через високий рівень інтерференції. Надійність стільникового покриття всередині приміщень також залишається незадовільною. Націлені на забезпечення більш одноманітного та безшовного з'єднання перспективні мережі 5G змушені використовувати агресивні механізми використання спектрального ресурсу та просунуті засоби керування інтерференцією. Оскільки, ці технології були запропоновані порівняно недавно – межі їх застосування в практичних гетерогенних мережах ще не встановлені остаточно.

Поряд з тим, важливим фактором є той факт, що сотові системи ліцензованого спектру часто суміщаються географічно з мережами, які працюють на неліцензованих частотах (наприклад, WiFi). З іншої сторони, абонентські термінали останнього покоління можуть використовувати одночасно декілька технологій радіодоступу. Стрімкий ріст популярності таких пристроїв з підтримкою власних радіотехнологій дозволяє зменшувати навантаження на стільникові мережі за допомогою прямих з'єднань між пристроями в неліцензованому спектрі. З урахуванням обмеженої полоси ліцензованих частот виростає необхідність в ефективній координації всеможливих гетерогенних технологій радіодоступу [2].

По мірі того, як скорочуються зони покриття малих сот, ефективні радіуси дії стільникових, локальних та персональних мереж доступу починають в значній мірі перекриватись. Така обставина створює можливість

одночасного використання декількох радіотехнологій для підвищення якості бездротової мережі. Однак, такому сумісному використанню мереж доступу було виділено значно менше уваги, ніж оптимізації роботи окремих радіотехнологій. Таким чином, інтеграція різних технологій радіодоступу стає важливим напрямком дослідження в мережах 5G, особливо у світі тенденції ущільнення стільникового покриття. В результаті, бездротові технології близького та дальнього радіусу дії повинні взаємодіяти більш тісно для досягнення бажаних показників якості обслуговування та сприйняття послуги. Зокрема, ефективні методи управління трафіком, пов'язаних з вибором радіотехнології як на стороні абонентського терміналу так і безпосередньо інфраструктурної стільникової мережі. Як наслідок, підвищується ефективна швидкість передачі даних та знижується амплітуда її коливань, а середня спектральна ефективність зберігається при цьому на допустимому рівні. Інтеграція різних технологій радіодоступу в надщільних гетерогенних мережах стає вкрай затребуваним напрямком дослідження не тільки для підтримки безлічі традиційних сценаріїв мобільного зв'язку, а також для забезпечення перспективних додатків Інтернету речей.

Сьогодні великий інтерес приділяється області дослідження ефективних методів управління трафіком, пов'язаних з вибором радіотехнології як на стороні абонентського терміналу так і безпосередньо інфраструктурною стільниковою мережею. Як наслідок, підвищується ефективна швидкість передачі даних та зменшується амплітуда її коливань, а середня спектральна ефективність зберігається при цьому на допустимому рівні. Інтеграція різних технологій радіодоступу в надщільних гетерогенних мережах стає край необхідним напрямком дослідження не тільки для підтримки великої кількості традиційних сценаріїв мобільного зв'язку, а також для забезпечення перспективних напрямків Інтернету речей.

Оскільки, прогнози передбачають стрімкий ріст об'ємів мобільного трафіку, який передається по бездротовим мережам зв'язку, то, відповідно, розгорнуті нині системи широкопasmового доступу будуть схильні до

значних навантажень, викликаних недостатньою ємністю радіомереж, що призведе до різкого зниження якості обслуговування користувачів. Однак, очікується, що приросту в спектральній ефективності вдасться досягнути при використанні прямого підключення абонентських пристроїв. Використання мережі «пристрій – пристрій» дозволить кардинально підвищити ступінь перевикористання радіоресурсів у просторі. Зокрема, сусідні абонентські термінали зможуть взаємодіяти напряму, без залучення мережевої інфраструктури в процес передачі даних. Тому, використання прямого підключення пристроїв користувачів в рамках централізованої архітектури стільникової мережі стає новим напрямком для підвищення спектральної ефективності самої мережі. При цьому, вважається, що за допомогою інтенсивної взаємодії між абонентськими терміналами можна досягнути лінійного росту ємності мережі зв'язку зі збільшенням числа задіяних пристроїв.

В той час, як переважна більшість досліджень у розвитку технологій 5G була націлена на підвищення спектральної ефективності, розгляд енергетичної ефективності стає все більш актуальних у тих сценаріях застосування мереж 5G, які орієнтовані на обслуговування терміналів з вкрай обмеженим ресурсом акумуляторної батареї. Це можуть бути пристрої Інтернету речей та обладнання. Необхідність забезпечення неперервного бездротового підключення не повинна призводити до швидкого виснаження батареї малогабаритних пристроїв, а збільшення часу їх роботи без підзарядки є важливою практичною задачею.

Характеристики функціонування мереж 5G зв'язку, що відображають зниження енергоспоживання підключених до них пристроїв, як правило, визначаються співвідношенням між досягнутою швидкістю передачі даних і спожитою при цьому потужністю (у бітах на Джоуль). У зв'язку з цим інтерес представляє розробка нових методів підвищення енергетичної ефективності в системах 5G та проведення відповідної оптимізації. Це стає особливо важливо при здійсненні міжмашинної взаємодії, яка пов'язана з роботою

малогабаритного обладнання (сенсори, силові приводи, інтелектуальні вимірювачі, пристрої, що носяться і т.д.). Використання пристроїв Інтернету речей стає все більш поширеним у багатьох сферах життєдіяльності, що висуває завдання підвищення енергетичної ефективності такого обладнання на передній план.

1.4. Технології та архітектура наземної мережі 5G.

Архітектура майбутніх мереж мобільного зв'язку 5G визначається наступними ключовими факторами:

1) Мережі 5G повинні, з однієї сторони, забезпечувати більш високу продуктивність, порівняно з існуючими мережами мобільного зв'язку, з іншого – мати нижчі капітальні та операційні витрати. Інакше інвестиційна привабливість мереж 5G буде невисокою.

2) Мережі 5G обслуговуватимуть пристрої та програми з суттєво різними характеристиками трафіку - від низькошвидкісних M2M-лічильників до сервісів віртуальної та доповненої реальності з високими вимогами до швидкості передачі даних та високонадійних систем керування транспортним рухом з високими вимогами до мережних затримок. Тому мережі 5G повинні ефективно керувати мережевими ресурсами залежно від потреб додатків та вимог щодо якості надання послуг.

3) Обмеженість частотного ресурсу для подальшого розвитку мереж мобільного зв'язку призводить до необхідності використання в мережах радіодоступу смуг частот різних діапазонів (сантиметрові та міліметрові хвилі) та ефективного управління спільним використанням спектра.

Таким чином, основною вимогою до архітектури майбутніх мереж 5G є гнучкість. Як основні підходи до побудови мереж 5G, які забезпечують високий рівень гнучкості мережевої архітектури, пропонуються технології програмно-конфігурованих мереж (Software-Defined Networking - SDN) та віртуалізації мережевих функцій (Network Functions Virtualization - NFV).

Проблему з покриттям та доступністю до мережі було вирішено змінити шляхом орієнтування на абонентів, тобто радіопокриття мережі підлаштовуватиметься під потреби абонентів, на відміну від мереж минулого покоління. Планується застосування автоматичних фазованих антенних ґрат, здатних динамічно змінювати діаграми спрямованості антенних систем. Також планується використання всього доступного частотного діапазону, зокрема, використання міліметрового діапазону на коротких відстанях [3].

Що стосується питання про мережеву архітектуру 5G, то тут можна виділити три підсистеми (хмари) (рис. 1.3).

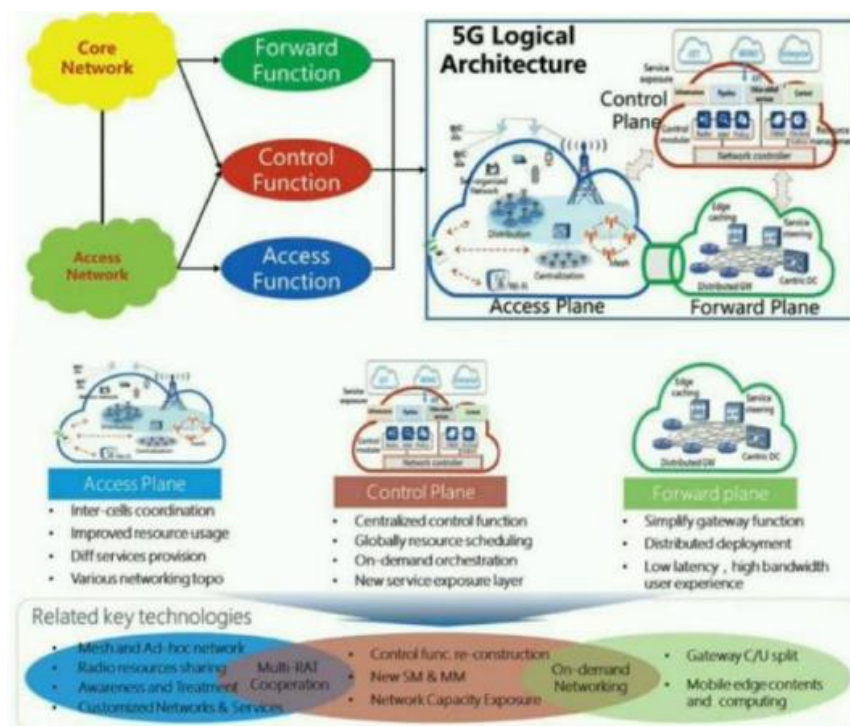


Рис. 1.3. Архітектура мережі 5G

- Хмара доступу (Access) – вважається, що підключені як централізовані так і розподілені системи доступу.

- Хмара управління (Control) - управління сесіями, мобільністю та якістю послуг;

- Транспортна хмара (Forward) – фізична передача даних у мережу з високою надійністю, швидкістю та балансуванням навантаження.

У разі використання мереж SDN рівень керування мережею відокремлений від пристроїв передачі даних та реалізується програмними

засобами. Ключовими принципами програмно-визначуваних мереж є поділ процесів передачі та управління даними, централізація управління мережею за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізація фізичних мережевих ресурсів.

Мережа SDN забезпечує єдине автоматизоване керування мережними налаштуваннями в розподіленій мережі оператора та миттєво реагує на зміни конфігурації віртуалізованих програм (віртуальних машин) [11].

Під віртуалізацією мережевих функцій розуміється надання набору обчислювальних ресурсів або їхнього логічного об'єднання, абстраговане від апаратної реалізації та забезпечує при цьому логічну ізоляцію обчислювальних процесів, що виконуються на одному фізичному ресурсі. За такого підходу для запуску нових послуг оператору не потрібно щоразу закуповувати нове обладнання та вирішувати проблему його сумісності з наявним. Використання NFV дозволяє розділяти одну фізичну мережу на кілька віртуальних мереж (шарів) для забезпечення оптимальної підтримки різних видів послуг, з різними характеристиками та вимогами. Таке розділення називають Network Slicing (рис. 1.4.)

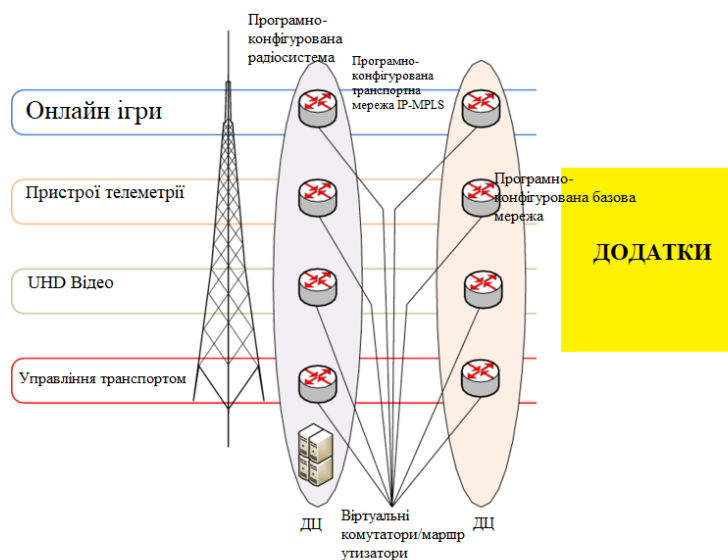


Рис. 1.4. Архітектура програмно-конфігурованих мереж

Для кожного шару в мережі гарантовано виділені ресурси, такі як ресурси віртуальних серверів, пропускну здатність мережі, якість

обслуговування тощо. Оскільки шари ізольовані один від одного, помилки або збої, що відбулися в одному шарі, не впливають на послуги в інших шарах.

З урахуванням того, що мережі 5G будуть обслуговувати окрім традиційних мобільних телефонів велику кількість різних пристроїв M2M і IoT, які мають специфічні характеристики та вимоги, використання технології Network Slicing дозволить підвищити ефективність роботи мобільних мереж зв'язку та якість послуг. При віртуалізації мережевих функцій мережі радіодоступу основна функціональність базових станцій 5G, що відповідає за цифрову обробку сигналу, синхронізацію та управління, розміщуватиметься у хмарі (Software-Defined Radio - SDR) окремо від радіоголовок (RRH) та антен, дозволяючи реалізовувати переваги когнітивного радіо та знижувати капітальні та операційні витрати на мережу радіодоступу[11].

Застосування концепції самоорганізованих мереж радіодоступу (Self-Organizing Networks - SON) забезпечить підвищення ефективності розподілу радіоресурсів мереж 5G, якості обслуговування користувачів та скорочення операційних витрат за рахунок автоматизації процесів формування радіопокриття та координації роботи сусідніх базових станцій різного рівня (мікро- та макробазових станцій). Програмно-визначувана архітектура мережі 5G (SDR і SDN), у якій рівень управління мережею відокремлений від пристроїв передачі і реалізується програмними засобами, дозволить перерозподіляти апаратні ресурси залежно від навантаження, підвищуючи ефективність їх використання [10].

Крім високої швидкості передачі необхідно забезпечити якісне покриття мережі радіозв'язку. Зважаючи на це, у мережі мобільного зв'язку 5G має місце подальший розвиток ідеї гетерогенності мережевої архітектури, а саме масове застосування піко- та фемтосот.

Фемтосота (англ. Femtocell) - малопотужна та мініатюрна станція стільникового зв'язку, призначена для обслуговування невеликої території

(одного офісу чи квартири). З'єднується з мережею стільникового оператора через канал зв'язку, підведений до користувача (публічний Інтернет), обслуговує зазвичай не більше кількох телефонів (до 4 для дому та 16/32 для підприємства).

Фемтосоти, пікосоти, метростільники, і мікростільники відносяться до категорії так званих «малих стільників» (small cells) — малопотужних бездротових точок доступу, що працюють у частотному діапазоні, що ліцензується, і керованих оператором. Завдяки фемтосотам, покриття стільникової мережі різко покращується саме в тих точках, де це необхідно. Надає ті самі функції, що і «велика» стільникова комірка, але в одному зручному для установки контейнері. Для стільникового оператора дає можливість покращити покриття та ємність мережі, особливо усередині будівель. З'являється можливість надавати додаткові послуги за зниженими цінами та заощаджувати на обладнанні [10].

Пікосоти – аналогічна концепція; відрізняється тим, що пікосота - не самостійна базова станція, а лише виносний елемент для прийому та передачі сигналу, що вимагає підключення до стандартного контролера "великої" базової станції. Таке підключення може бути організовано дешевими інтернет-мережами. Проблеми цього варіанта полягають у меншій захищеності сигналу, що передається, надійності каналу і в тому, що контролери базових станцій не розраховані на велику кількість ведених передавачів [12].

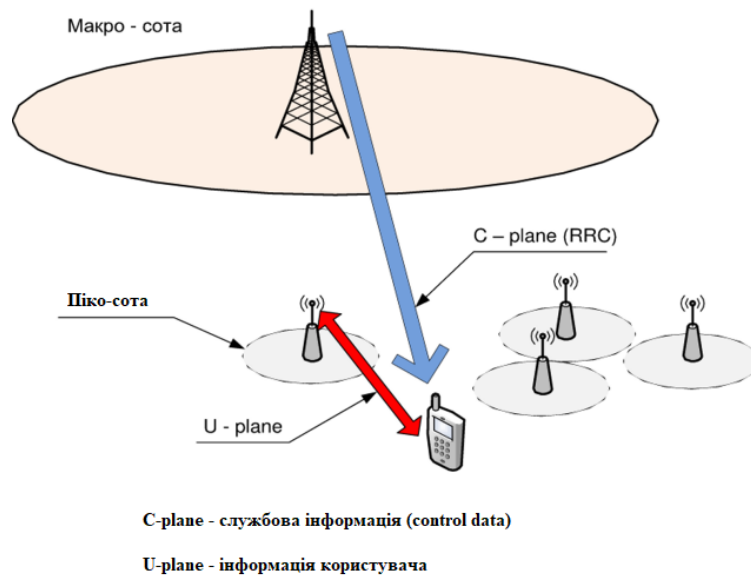


Рис. 1.5. Приклад мережі з піко-сотами

1.5. Технології та архітектура супутникової мережі 5G.

Основні проблеми, які долаються з використанням супутникового сегменту для доступу до послуг мереж 5G «у будь-який час та у будь-якому місці», вимагають забезпечення безперервності та глобальності їх надання. Використання діапазону ММДХ, що обмежує зони покриття через умови поширення радіохвиль в ньому, створює труднощі для безперервного покриття територій, що обслуговуються такими мережами. Відсутність мереж у малонаселених та ненаселених регіонах через економічну недоцільність забезпечення суцільного покриття наземними мережами 5G у поєднанні з умовами поширення міліметрового діапазону хвиль призводить до необхідності досліджень застосування супутникового сегменту мережі.

На етапі створення мереж 3G (ІМТ-2000) глобальність надання послуг була однією з головних вимог щодо їх побудови, які передбачали створення супутникового сегменту. Однак у ході створення та розвитку мереж 4G ідея глобального покриття ними навіть не розглядалася в надії на впровадження конвергентних рішень супутникового та наземного стільникового зв'язку.

Вимоги до супутникового сегменту мережі п'ятого покоління будуть визначатися насамперед сукупністю послуг, що підтримуються мережами 5G, об'єднані трьома основними бізнес-моделями: розширений мобільний

широкосмуговий доступ (Enhanced mobile broadband – eMBB), масове з'єднання пристроїв машинного типу (Massive Type Communications – mMTC) та наднадійний зв'язок із низьким рівнем затримки (uRLLC – ultra-Reliable Low Latency Communications). Можливості супутникових мереж підтримувати ключові сценарії використання 5G визначаються з існуючих характеристик сучасних мереж космічного зв'язку та тенденцій розвитку супутникових технологій у майбутньому:

- сценарій eMBB. У цьому сценарії супутникові мережі можуть підтримувати передачу даних зі швидкістю до кількох Гбіт/с, яка відповідає вимогам для розширених послуг мобільного широкосмугового зв'язку. Супутникові технології сьогодні здатні транслювати тисячі каналів з контентом з високими вимогами до швидкості передачі (HD та UHD), і ці можливості пропускної спроможності можуть бути використані для підтримки послуг мобільних мереж майбутнього покоління. Супутникові канали вже використовуються як транспортні мережі мобільного зв'язку 2G/3G у багатьох регіонах світу, а високопродуктивні космічні апарати (КА) поточного і наступного поколінь (HTS) на геостаціонарних і негеостаціонарних орбітах можуть підтримувати транспортну інфраструктуру мобільних мереж 4G/LTE майбутньому;

- сценарій mMTC. Супутникові системи зв'язку вже підтримують технологію управління SCADA та інші глобальні програми для відстеження вантажів та об'єктів при масовому застосуванні пристроїв Інтернету речей (IoT). Вони можуть масштабуватися для підтримки пристроїв та послуг IoT у прямому каналі управління або як лінії зворотного зв'язку з пристроями Інтернету речей та M2M з віддалених місць, з кораблів та інших транспортних засобів;

- сценарій uRLLC. Супутникові системи зв'язку відомі своєю надійністю та можливістю забезпечувати вимоги щодо затримок сигналів у мережі. Основні користувачі цих мереж – міжнародні мовники, оператори

мобільного зв'язку, урядові органи та комерційні споживачі, які потребують критично важливого та наднадійного зв'язку.

Чотири головні сценарії, що розглядаються для інтеграції супутникового сегмента для мереж п'ятого покоління (ІМТ-2020), можуть включати:

- транкінгові та головні вузли фідерні лінії (Trunking and Head-end Feed);
- транспортні канали та фідерні лінії для свіжих базових станцій мережі (Backhauling and Tower Feed);
- лінії зв'язку для мобільних об'єктів (Communications on the Move);
- гібридні послуги для мультисервісних (Hybrid Multiplay);

На рис. 1.6 та 1.7 показано системну архітектуру супутникового сегмента 5G, яку планується розроблятися на основі технології Bent-Pipe (з прозорими супутниковими транспондерами-ретрансляторами без обробки інформації на борту), де здійснюється тільки посилення та перетворення сигналів по частоті при збереженні виду модуляції. При використанні у супутникових транспондерах технології On-Board Processing на борту здійснюється регенерація, включаючи модулювання та кодування сигналів.

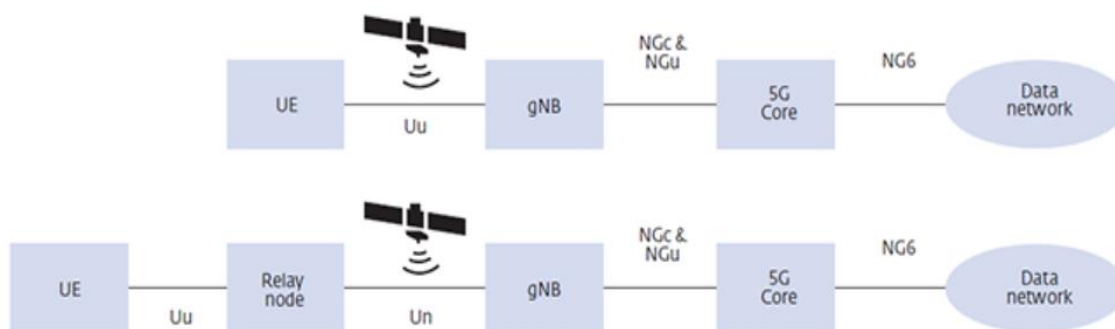


Рис. 1.6. Архітектура супутникового сегменту 5G на основі технології Bent-Pipe.

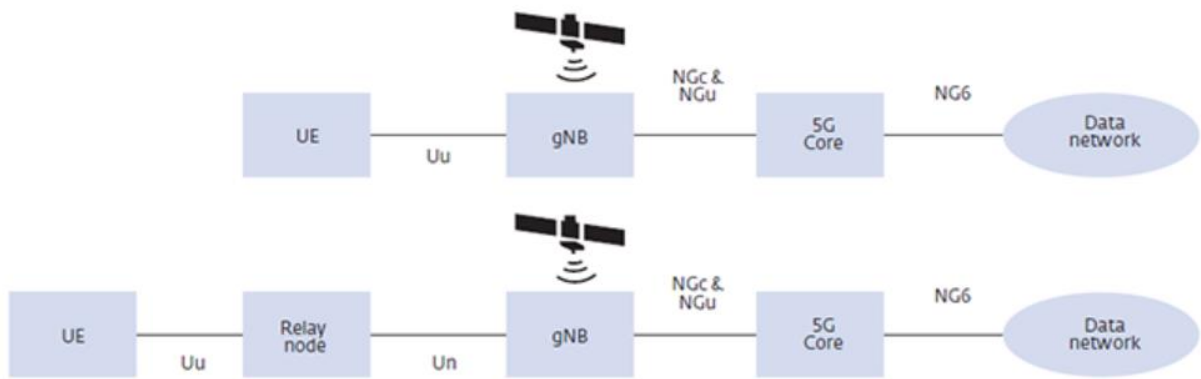


Рис. 1.7. Архітектура супутникового сегменту 5G на основі технології On-Board Processing.

1.6. Проблеми мереж 5G

Мобільні мережі п'ятого покоління можуть бути небезпечними для тих, хто не хоче, щоб за ним слідкували. В протоколі цих мереж виявлено вразливість, що дозволяє контролювати переміщення абонентів і навіть виводити з ладу цілі сегменти таких мереж за допомогою DoS-атак (denial of service, відмова в обслуговуванні). Про це стало відомо весною 2021 року.

Цю проблему з 5G виявили фахівці компанії AdaptiveMobile. Про неї вони розповіли у своєму звіті, в якому вказали винуватця проблеми – протокол поділу мереж п'ятого покоління.

Використання механізму поділу мереж, відомого як Network Slicing, дозволяє операторам зв'язку дробити свої 5G-мережі, представляючи їх у вигляді окремих блоків - віртуальних мереж, з'єднаних між собою. Кожен такий блок - це свого роду окрема мережа, яку оператор може виділити під певну сферу використання - автомобілебудування (автомобільні головні пристрої, охорона здоров'я (розумні медичні прилади, телемедицина), критична інфраструктура, розваги і т.д.

Відповідно до звіту AdaptiveMobile, така реалізація мереж 5G далека від ідеалу щодо мережевої безпеки. Наприклад, зловмисник може отримати доступ до окремого блоку 5G (до окремої віртуальної мережі), після чого він

може спробувати пробитися через нього та інші блоки, включаючи ті, які призначені для мобільних пристроїв, тобто для смартфонів.

Проникнення в цей блок може дати хакеру доступ до інформації про персональні дані абонентів мережі, включаючи їх місцезнаходження, історію платежів тощо. Також він може запустити DoS-атаку на один або відразу кілька «сусідних» блоків 5G-мереж.

Співробітники AdaptiveMobile назвали виявлену в мережах 5G вразливість фундаментальною. Вони наголосили, що насамперед у небезпеці знаходяться корпоративні клієнти операторів зв'язку. У той же час вони зазначили, що можливість компрометації 5G-мереж з використанням недоліків у механізмі Network Slicing на березень 2021 року невисока. Це пов'язано з тим, що лише кілька операторів зв'язку в усьому світі дроблять свої мережі 5G на блоки. Але в майбутньому їх кількість може збільшитись

До публікації свого звіту експерти AdaptiveMobile, які виявили вразливість у 5G-мережах, повідомили про свою знахідку в асоціацію GSM (GSMA), до якої на березень 2021 року входять понад 800 операторів зв'язку по всьому світу. Окремо вони повідомили про неї консорціум 3GPP (Third Generation Partnership Project), що займається розробкою специфікацій для мобільних мереж зв'язку, у тому числі і для п'ятого покоління.

Для вирішення деяких проблем, зокрема, підвищення ефективності механізмів управління пропускної здатності мережі; спрощення управління мережею і підвищення рівня автоматизації; підвищення масштабованості мережі; підвищення безпеки мереж; підвищення ефективності маршрутизації; зниження капітальних затрат та затрат на експлуатацію націлена технологія SND. Більш детально про неї можна прочитати у розділі №2.

1.7. Перспективи мереж 5G та вимоги до якості їх обслуговування

Мережі мобільного зв'язку на основі технологій 5G забезпечують передачу даних зі швидкістю більше 10 Гбіт/с. В той час, як технології

попереднього покоління забезпечують можливість гнучкого управління якістю послуг на основі показників передачі даних, розділених на дев'ять класів якості і охоплюючих обидва принципи забезпечення QoS: надання послуг без гарантій якостей (Best Effort) і надання гарантованої якості обслуговування (GBR).

На жаль, ці досягнення технології LTE і майбутні вимоги до 5G в області управління QoS покривають своїми можливостями ланцюг «кінцевий споживач – кінцевий користувач» (E2E) лише частково, а саме внутрішньо мережеві з'єднання «5G-5G», «4G-4G». Відсутність можливості узгодження і гнучкого управління якість в фіксованих IP і мобільних мережах попереднього покоління ще довго буде гальмом на шляху до нового рівня якості обслуговування абонентів мереж 5G.

Зараз обсяг трафіку відеопослуг становить, за оцінками операторів, від 66 до 75% загального обсягу трафіку в мережах 4G, включаючи 33% на послуги YouTube та 34% - чисте відео, а також відеоспостереження (Video Surveillance) у мережах M2M. Крім того, до 2024 р. кількість M2M-підключень у мережах мобільних операторів зростатиме з показником CAGR = 45% і досягне 2,4 млрд з'єднань. З урахуванням зростаючої масовості (Massive M2M), послуги M2M теж будуть перевалювати над базовими голосовими послугами в мережах 4G і 5G.

Для забезпечення високих швидкостей передачі даних в мережах 5G потрібно використовувати широкі смуги каналів як у лінії вниз (DL), так і лінії вгору (UL) з безперервним спектром шириною від 500 до 1000 МГц, що в 25-50 разів перевищує ширину каналів, що реалізуються в 4G. Виділення таких смуг для каналів 5G можливе лише на верхній межі сантиметрового та в міліметровому діапазонах частот, що суттєво скоротить зони покриття базових станцій 5G через зменшення радіусу сотів до 50–100 м.

Підвищення спектральної ефективності у мережах 5G може бути досягнуто за рахунок застосування неортогональних методів доступу (NOMA) у мережах RAN та неортогональних сигналів (наприклад, FTN-, F-

OFDM-сигналів та ін.). Характеристики вимог до спектральної ефективності соті мереж 5G для різних каналів передачі показані на рис. 1.8. Порівняння цих вимог з аналогічними вимогами до мереж 4G показує зростання спектральної ефективності в 3-5 разів.

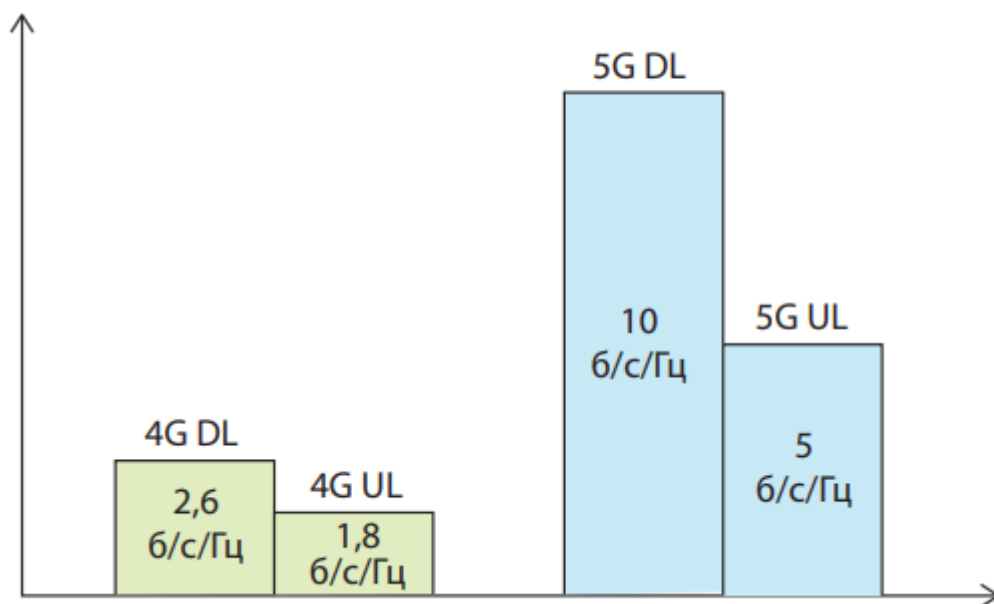


Рис. 1.8. Спектральна ефективність в соті 5G

Інфраструктура мереж 5G будуватиметься на основі хмарних технологій - як у мережах радіодоступу (Cloud RAN) з програмно-конфігурованою мережею (Software Defined Radio, SDR), так і в базовій (опорній) мережі (Cloud CN) з програмно-конфігурованою інфраструктурою (Software Defined Network, SDN). Повна віртуалізація мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV), яка буде реалізована в інфраструктурі 5G, охопить контроль та управління QoS, політики обслуговування та пріоритизацію трафіку.

У табл. 1 наведено вимоги до затримок у мережах 3G/4G/5G, сформовані у 3GPP та проекті METIS. З таблиці випливає, що з переходом від покоління до покоління в мережі мобільного зв'язку підвищуються вимоги до межі загальної затримки даних. Також аналіз вимог до загальної затримки мережі 5G показав, що, враховуючи ефект накопичення, затримка в мережі RAN 5G повинна бути менше 1 мс.

Условия для QoS	PDB, мс		
	3G	4G	5G
Без гарантий качества	Не определено	100–300	Не определено
С гарантированным качеством	100–280	50–300	1

Рис. 1.9. Вимоги щодо загальної затримки в мережах 3G/4G/5G

Порівняння вимог щодо затримки у площині управління та площині користувача відповідно для трафіку сигналізації та трафіку користувача (рис. 1.10) свідчить, що вимоги до мереж 5G будуть жорсткішими: у два рази для трафіку у площині управління та у 10 разів у площині абонентського трафіку.

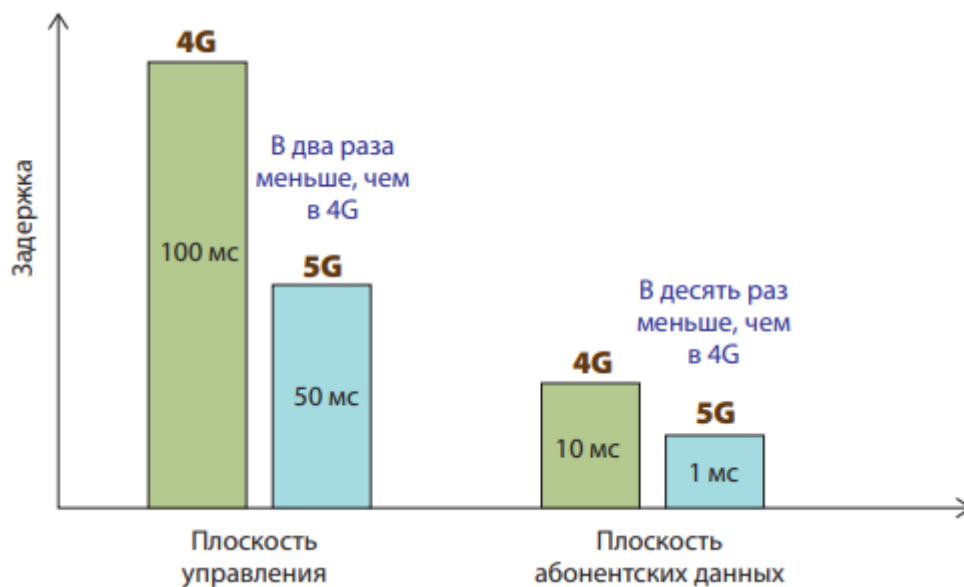


Рис. 1.10. Вимоги щодо затримки в площині управління і площині користувача для мереж 4G/5G

Ще одним критерієм якості є частка втрачених пакетів через помилки прийому пакетів даних (Packet Error Loss Rate). Значення цього параметра, що визначає найбільшу кількість втрачених IP-пакетів для відеотрансляцій при їх передачі через мережу мобільного зв'язку 3G/4G/5G, наведені на рис. 1.11.

Для послуг M2M якість багато в чому залежить від частки втрачених пакетів прийому в мережах 3G/4G/5G. Враховуючи, що умови обслуговування абонентських пристроїв M2M будуть визначатися для випадків обслуговування як із гарантованою якістю (GBR), так і без гарантій (non-GBR), вимоги до частки втрачених пакетів можуть відрізнятися на три порядки (рис. 1.11).

Условия для QoS	3G	4G	5G
Без гарантированного качества (non-GBR)	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
С гарантированным качеством (GBR)	10^{-2}	10^{-6}	10^{-7}

Рис. 1.11. Доля втрачених пакетів для послуг M2M

Зміниться і мережна архітектура модулів, які відповідають за якість послуг у мережі 5G. Розвиток концепції віртуалізації мережевих функцій NFV призведе до віртуалізації функцій управління якістю, які можна представити у вигляді двох основних функцій: контролю QoS (Cloud QoS Control Function, CQCF) та управління QoS (Cloud QoS Management Function, CQMF). Функція CQCF контролю QoS забезпечуватиме у мережі 5G контроль у реальному часі потоків трафіку на основі встановлюваних під час з'єднання рівнів QoS. Основні механізми контролю QoS включають профіль трафіку, планування та управління потоками даних. Функція CQMF управління QoS буде забезпечувати в мережі 5G підтримку QoS згідно з договорами обслуговування SLA, здійснювати моніторинг, обслуговування, перегляд та масштабування QoS. Реалізація алгоритмів пріорітизації трафіку в мережах 5G базуватиметься на процедурах класифікації трафіку з орієнтацією на пріоритети відео- та M2M-трафіку. Процедура класифікації трафіку має будуватися з урахуванням можливості навчання цієї процедури, оскільки характеристики трафіку динамічно змінюватимуться з появою нових додатків в області як M2M, так і відеопослуг.

Висновки

Мережа наступного покоління 5G стає ключовим гравцем не тільки в області мобільного зв'язку, а є базисом цифрової економіки, завдяки чому можна створювати та розвивати нові та старі бізнес-моделі. В той же час існує необхідність для забезпечення масштабного територіального покриття територій передових країн світу мережами 5G. Супутниковий сегмент 5G набуває своєї популярності у зв'язку з розвитком та стандартизацією мереж п'ятого покоління на другому етапі розвитку – у період першої половини 2020-х років.

Провідні міжнародні організації зв'язку, консорціуми та виробники включилися в активні дослідження можливості створення супутникового сегмента 5G у частотних діапазонах, які виділені супутниковій радіослужбі або будуть виділені для мереж 5G на майбутній ВКР-19, насамперед у діапазонах частот S, Ka та V.

Однією з найважливіших проблем майбутнього розвитку супутникового сегмента 5G можуть стати питання спільного використання радіочастотного спектру в смугах частот, що виділяються на первинній основі як супутниковому, так і наземному сегменту 5G, а також міжсистемної електромагнітної сумісності бортового обладнання та земних станцій з обладнанням базових та абонентських станцій наземного сегменту мережі.

В той же час, стандарт 5G – це не лише мережева технологія, а її потрібно розглядати як середовище для обміну інформації між пристроями за допомогою якого ми зможемо реалізувати Інтернет-Речей та машиноорієнтовані комунікації.

РОЗДІЛ 2

SDN ЯК ТЕХНОЛОГІЯ МАЙБУТНЬОГО ОПЕРАТОРСЬКИХ МЕРЕЖ

2.1. Історія та перші кроки SDN

У 2007 році незалежні дослідники подали кілька патентних заявок з описом практичних додатків для SDN, операційної системи та мереж, обчислювальних блоків мережної інфраструктури як багатоядерних процесорів на основі методу сегментації віртуальної мережі на основі її функціональності. Ці програми стали загальнодоступними у 2009 році і, оскільки, усі патенти також були анульовані, то вся інформація в патентах надається безкоштовно для публічного використання і не може бути будь-ким запатентована.

Робота над OpenFlow тривала в Стенфорді, у тому числі зі створенням тестових стендів для оцінки використання протоколу в одній мережі університетського містечка, а також у глобальній мережі як магістраль для з'єднання кількох кампусів. В академічному середовищі існувало кілька дослідницьких та виробничих мереж, заснованих на комутаторах OpenFlow від NEC та Hewlett-Packard; а також на основі білих ящиків Quanta Computer, починаючи приблизно з 2009 року.

Окрім академічних кіл, перше розгортання було здійснено Nicira у 2010 році для управління OVS від Onix, розробленого спільно з NTT та Google. Помітним розгортанням було розгортання Google B4 у 2012 році. Пізніше Google одночасно визнав їхнє перше розгортання OpenFlow з Onix у своїх центрах обробки даних. Інше відоме велике розгортання - China Mobile.

На заході Interop and Tech Field Day в 2014 році компанія Avaya продемонструвала програмно-конфігуровані мережі з використанням мосту найкоротшого шляху (IEEE 802.1aq) і OpenStack як автоматизований кампус, розширюючи автоматизацію від центру обробки даних до кінцевого пристрою, виключаючи послуг.

Технологія програмно-конфігурованих мереж (SDN) – це підхід до управління мережею, який забезпечує динамічну, програмно ефективну конфігурацію мережі для підвищення продуктивності і моніторингу мережі, що робить її більш схожою на хмарні обчислення, ніж на традиційну мережу. SDN має на меті централізацію мережевого інтелекту в одному мережевому компоненті, відокремлюючи процес передачі мережевих пакетів (площина даних) від процесу маршрутизації (площина управління). Остання складається з одного або декількох контролерів, які вважаються мізком мережі SDN, в яку інтегрований весь інтелект. Однак, інтелектуальна централізація має свої недоліки, коли мова заходить про безпеку масштабованості та гнучкості і це є основною проблемою SDN. Зазвичай ця технологія асоціюється з протоколом OpenFlow (для віддаленого зв'язку з елементами площини мережі з метою визначення шляху мережевих пакетів через мережеві комутатори) з моменту появи останнього в 2011 році. Однак, з 2012 року OpenFlow для багатьох компаній перестав бути ексклюзивним рішенням і вони додали власні методики [14].

Технологія SDN в наш час доступна для додатків промислового управління, які потребують надзвичайно швидкого переключення при відмові, так званих програмно-конфігурованих мереж (SDN) Operational Technology (OT). Технологія OT SDN- це підхід до управління контролем доступу до мережі і доставкою пакетів Ethernet на безпечному обладнанні для критично важливих інфраструктурних мереж. OT SDN відокремлює управління площиною управління від комутаторів, централізуючи його в контролі потоку і застосовує SDN в якості базової площини управління в комутаторі. Застаріла площина управління, яка використовується OT SDN є протоколом OpenFlow, який робить його сумісним з іншими рішеннями SDN, з тою різницею, що OpenFlow протокол є єдиною площиною управління в комутаторі і що комутатор зберігає потоки через цикли включення живлення, а всі потоки і резервування проактивно спроектовані для трафіку, тому комутатори можуть виконувати переадресацію, на виконання якої вони

налаштовані з контролем трафіку чи ні. OT SDN забезпечує переваги для промислових мереж у вигляді продуктивності, яке досягається за рахунок попереднього управління трафіком за непередбачуваних обставин з використанням груп Fast Failover в OpenFlow, що призводить до відновлення мережі при збоях каналу або комутатора за мікросекунди, а не за мілісекунди як в технології сполучного дерева. Ще одна перевага в продуктивності полягає в тому, що усунення петель (loop) здійснюється за допомогою планування маршрутів трафіку, а не заблокованих портів, що дозволяє власнику системи активно використовувати всі порти. Переваги кібербезпеки OT SDN заключається в тому, що комутатори за замовчуванням заблоковані, а потоки – це правила, які дозволяють перенаправляти трафік. Це забезпечує надійний контроль доступу до мережі, при якому усі пакети можуть перевіритися від рівня 1 до рівня 4 моделі OSI на кожному переході. Недосліджені вразливості безпеки рівня управління усунені, оскільки застаріла площа управління більше не існує. Підміна таблиць MAC-адрес більше неможлива, оскільки її немає в комутаторах OT SDN. Переваги OT SDN дозволяють власнику мережі бачити, які пристрої знаходять в мережі, які розмови можуть відбуватися і відбуваються, а також ким ці розмови можуть відбуватися.

Мережева технологія OT SDN дозволяє мережам Ethernet задовольняти жорсткі вимоги до обміну повідомленнями зв'язку для вимірювання та управління критично важливою інфраструктурою і просто надає власнику системи контроль над тим, які пристрої можуть підключатися до мережі, де ці пристрої можуть підключатися та які розмови може виконувати кожен пристрій. мають. Переваги OT SDN з точки зору ситуаційної поінформованості дозволяють власнику мережі бачити, які пристрої знаходяться в мережі, які розмови можуть відбуватися і відбуваються, а також з ким ці розмови можуть відбуватися. Мережева технологія OT SDN дозволяє мережам Ethernet задовольняти жорсткі вимоги до обміну повідомленнями зв'язку для вимірювання та управління критично важливою

інфраструктурою і просто надає власнику системи контроль над тим, які пристрої можуть підключатися до мережі, де ці пристрої можуть підключатися та які розмови може виконувати кожен пристрій має.

SDN – це нова парадигма, яка дозволяє розробляти інноваційні мережеві системи. Ролі SDN подвійні: 1) SDN дозволяє програмувати мережу; 2) Полегшує контроль мережі та управління. Традиційно пристрої, такі як комутатори та маршрутизатори, створюються з огляду на обробку трафіку відносно сусідніх пристроїв. Це призводить до розподіленого інтелекту. SDN, навпаки, забезпечує архітектурний принцип, коли управління мережами централізовані та відокремлені від площини даних, як показано на рисунку 2.1. SDN відтворює конструкцію традиційного маршрутизатора через два різних елементи: 1) контролер, відповідальний за оновлення таблиць маршрутизації мережевих пристроїв; 2) комутатори, які передають пакети за правилами, задані контролером. Примітно, що запропоноване рішення площини управління та даних в архітектурі SDN є не новою концепцією. Фактично, ця концепція є ключовим елементом технології багатопротокольної комутації міток (MPLS). Різниця між MPLS та SDN полягає в тому, що останній більше піклується про надання інтерфейсів програмування в топології мережі.

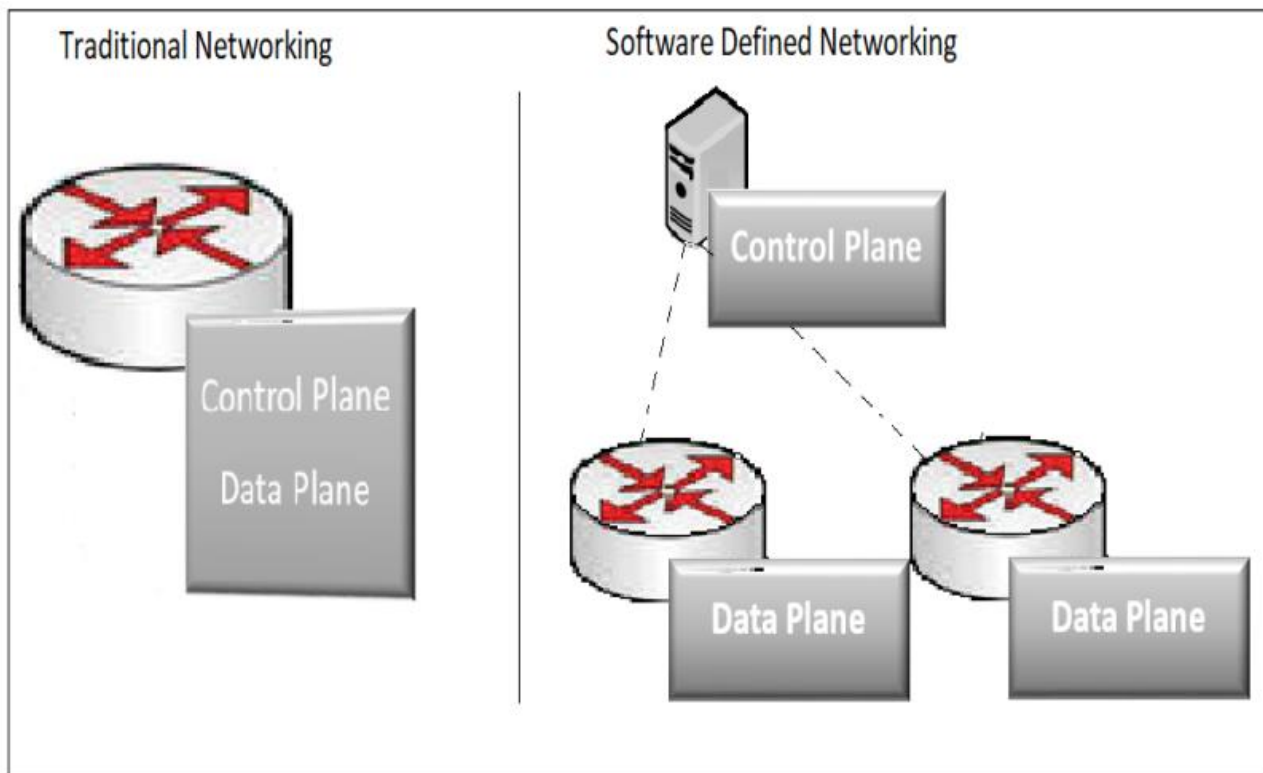


Рис. 2.1. Порівняння традиційної мережі та програмно-конфігурованої мережі (SDN)

2.2. Архітектура мереж SDN

З точки зору Open Networking Foundation (ONF) архітектура SDN складається з трьох рівнів: прикладного рівня (площина додатку), рівня управління (площина управління) та рівня даних (площина даних). Кожен елемент зв'язується зі своїм сусіднім рівнем за допомогою відповідного інтерфейсу. Далі у роботі відбувається дослідження SDN з точки зору ONF. Основні компоненти архітектури перераховані таким чином:

1) Площина даних: містить елементи мережі (маршрутизатори та комутатори) для обробки та пересилання трафіку даних. Площина даних представляє просту роль, яка полягає в передачі пакетів до наступного стрибка за дотриманням заданих правил.

2) Площина керування: ця площина складається з контролерів SDN, які мають ексклюзивний контроль над елементами площини даних. Кожен контролер SDN є логічно централізованим об'єктом, який переводить вимоги

з площини програми SDN до площини даних і надає додаткам SDN абстрактне уявлення про мережу.

3) Площина програми: яка включає одну або кілька програм, які передають свої вимоги до мережі контролеру SDN за допомогою інтерфейсу NBI (північний інтерфейс, який працює лише на передачу чи прийом). Ця площина розгортає різні програми SDN, такі як: виявлення топології мережі, надання мережевих ресурсів і резервування шляху.

4) Інтерфейс SDN SouthBound (SDN SBI) – це інтерфейс, визначений між контролером SDN та елементами площини даних. Він забезпечує програмне керування всіма операціями пересилання, статистичні звіти та сповіщення про події. Це дозволяє контролеру SDN динамічно вносити зміни відповідно до потреб мережі в реальному часі. Найпоширенішим інтерфейсом для південного напрямку є відкритий потік.

5) Інтерфейс SDN NorthBound (SDN NBI) – це інтерфейси між додатками SDN та контролерами SDN. Ці інтерфейси забезпечують абстрактні уявлення про мережу та забезпечують пряме вираження поведінки та вимог мережі.

6) Управління та адміністрування: ця площина охоплює статичні завдання, які краще обробляються поза площинами програми, керування та даних. Приклади включають управління діловими відносинами між постачальником і клієнтом, призначення ресурсів клієнтам і налаштування фізичного обладнання [15].

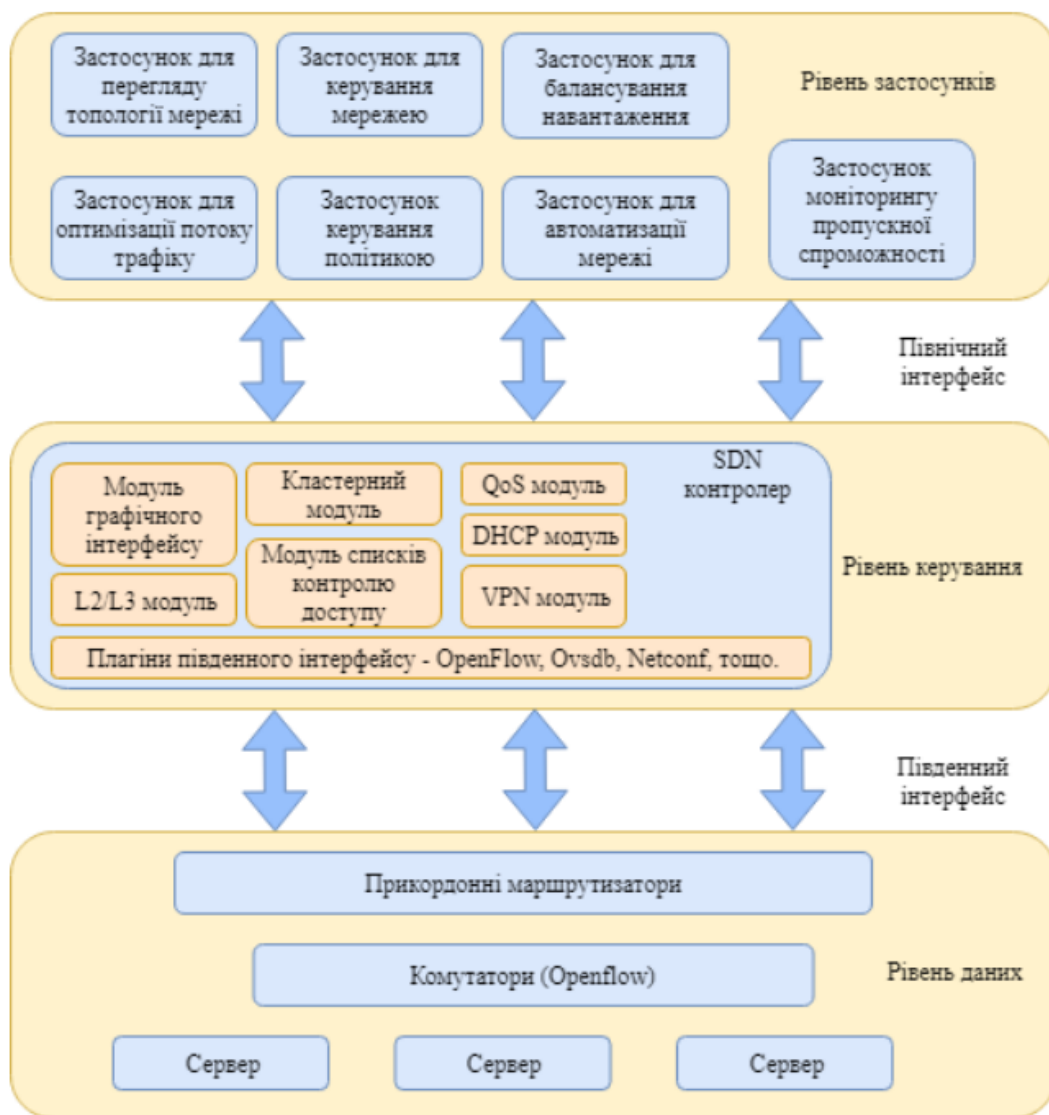


Рис. 2.2. Архітектура SDN.

Фізичні з'єднання, які обробляють зв'язок між комутаторами та контролеми можуть бути встановлені за допомогою двох режимів керування: внутрішньосмугового та позасмугового:

- Внутрішньосмугове (in-band) управління передбачає передачу керуючої інформації через існуюче з'єднання даних.
- Позасмуговий (out-of-band) управління включає виділений канал керування між кожним комутатором і контролером. На рис. 2.3. зображені вищезгадані режими керування.

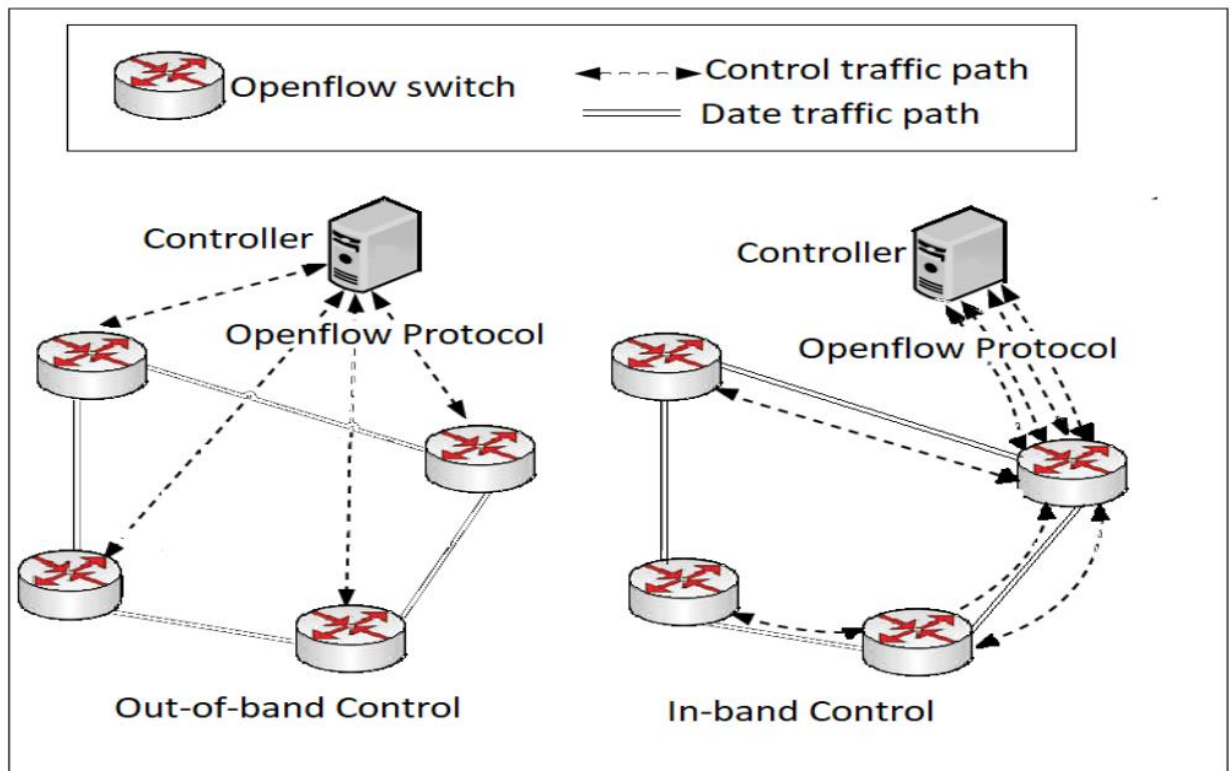


Рис. 2.3. Внутрішньосмугова та позасмугова модель управління.

У разі використання методу управління out-of-band, комутатори мають мережеві шляхи, які необхідні, щоб зв'язатися з контролерами, на які не впливає робота протоколу OpenFlow. У протилежному випадку, під час використання in-band комутатори уже використовують протокол OpenFlow для зв'язку з контролером та для самої передачі даних.

2.3. Протокол OpenFlow

Найбільш часто використовуваним протоколом для зв'язку між мережевими пристроями та контролерами є OpenFlow. Цей протокол стандартизований ONF і використовується багатьма вендорами мереж. Терміни Openflow і SDN використовуються разом у літературі, однак важливо розрізняти ці терміни. Фактично, термін SDN відноситься до роз'єднання рівнів управління та даних, тоді як Openflow – це протокол, який дозволяє контролерам SDN віддалено керувати та налаштовувати комутатори

Openflow, щоб читати стани мережевих пристроїв і збирати інформацію про трафік і статистику.

Openflow - стандартний протокол, є основним елементом концепції SDN, який забезпечує взаємодію контролера з мережевими пристроями. Контролер використовується управління таблицями потоків комутаторів, виходячи з яких приймається рішення про передачу прийнятого пакета на конкретний порт комутатора. Таким чином, мережі формуються прямі мережеві з'єднання з мінімальними затримками передачі даних і необхідними параметрами.

Відповідно комутатор OpenFlow складається, як мінімум, із двох компонентів:

- таблиці потоків (flow table);
- безпечного каналу (secure channel)

MAC src	MAC dst	IP Src	IP Dst	TCP dport	...	Action	Count
•	10:20..	•	•	•	•	port 1	250
•	•	•	5.6.7.8	•	•	port 2	300
•	•	•	•	25	•	drop	892
•	•	•	192.	•	•	local	120
•	•	•	•	•	•	controller	11

Рис. 2.4. Приклад таблиці потоків OpenFlow

Протокол Openflow розроблений ONF і є галузевим стандартом, який визначає спосіб, яким контролер SDN повинен взаємодіяти з площиною даних і адаптувати мережу до мінливих вимог бізнесу, щоб мережа краще реагувала на трафік. Відповідно до вимог, контролер SDN може встановлювати за протоколом Openflow правила пересилання в елементи площини даних.

Слід зазначити, що Openflow не є єдиним доступним протоколом, який використовується для інтерфейсу SDN на південь. Фактично визначено

кілька протоколів південного напрямку, а саме LISP, Forces і SoftRouter. Проте нас цікавить OpenFlow, оскільки - це найпопулярніший і добре перевірений протокол з відкритим кодом на інтерфейсі SDN, який є південноорієнтованим.

Протокол OpenFlow передбачає, що OpenFlow обмін даними (наприклад, комутатор Ethernet, який підтримує протокол OpenFlow) був налаштований з урахуванням необхідних даних, таких як IP-адреси контролерів. Метою протоколу конфігурації OpenFlow (OF-CONFIG) є надання можливості віддаленого конфігурування обміну даними. Прикладом роботи протоколу OF-CONFIG є формування таблиці переадресації та рішень щодо дій, які протокол Openflow має виконувати [16].

OF-CONFIG визначає схему взаємодії з логічним комутатором OpenFlow (абстракція комутатора). Протокол OF-CONFIG допускає завдання характеристик логічного комутатора, щоб контролер міг взаємодіяти з комутатором і керувати ним за допомогою протоколу OpenFlow.

Версія OF-CONFIG 1.1 визначає операційний контекст одного чи більше обмінів OpenFlow. Комутатором, сумісний із OpenFlow, є еквівалентом реального фізичного або віртуального мережевого комутатором (напр. комутатора Ethernet), через який здійснюється один або більше обмінів шляхом поділу набору ресурсів OpenFlow, таких як порти та черги даних. Протокол OF-CONFIG дозволяє динамічне асоціювання ресурсів комутатора, сумісного із OpenFlow, з певними логічними комутаторами, сумісному із OpenFlow. OFCONFIG не специфікує того, як виходять ресурси комутатора, сумісного із OpenFlow. OF-CONFIG передбачає, що такі ресурси як порти та черги використовуються спільно кількома логічними комутаторами (OpenFlow Logical Switches), тому кожен такий комутатор може мати повний контроль над ресурсами, які йому наданими.

Завдання, які містять повідомлення OF-CONFIG для OpenFlow Capable Switch називаються конфігураційними точками OpenFlow. Жодних припущень щодо природи конфігураційної точки OpenFlow не робиться.

Наприклад, це може бути сервіс, що надається програмою, яка виконує функцію контролера OpenFlow або це може бути сервіс, що надається традиційною системою управління мережею. Будь-яка взаємодія між точкою конфігурації OpenFlow і контролерами OpenFlow знаходяться за межами стандарту OF-CONFIG 1.1.

На рис. 2.4. показано взаємодію різних компонентів протоколів OF-CONFIG 1.1, а лінії зв'язку показують, що точки конфігурації та комутатори, сумісні з OpenFlow, взаємодіють через OFCONFIG. Налаштування конфігурації впливають на відповідні контролери логічних комутаторів та самі логічні комутатори.

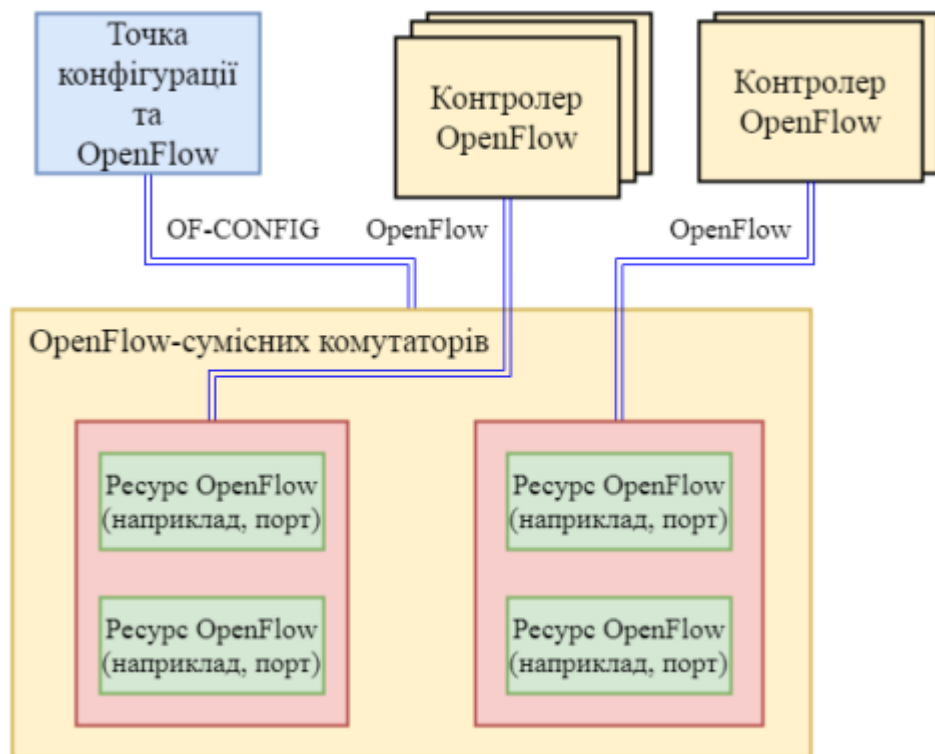


Рис. 2.4. Взаємодія між компонентами специфікації протоколів OF-CONFIG та OpenFlow

OpenFlow Capable Switch - комутатор, сумісний з OpenFlow, представляє собою фізичний або віртуальний комутатор, який може діяти в операційному контексті, як логічний комутатор OpenFlow. Такі комутатори містять і підтримують ресурси OpenFlow, які можуть бути асоційовані з контекстом логічного ключа OpenFlow.

OpenFlow Configuration Point - Точка конфігурації OpenFlow налаштовує один або більше комутаторів OpenFlow за допомогою протоколу конфігурації та управління OpenFlow (OF-CONFIG).

OpenFlow Logical Switch - логічний комутатор OpenFlow являє собою набір ресурсів (наприклад, портів) комутатора, сумісного з OpenFlow, який може бути асоційований з певним контролером OpenFlow. Логічний комутатор OpenFlow являє собою засіб для переадресації даних.

Ресурс OpenFlow - Ресурс OpenFlow являє собою порт або чергу, які асоціюються з комутатором, який підтримує OpenFlow і здатен бути асоційованим з логічним комутатором.

У процесі переадресації деякі поля заголовка пакета можуть бути модифіковані застереженим чином. На рис. 2.5. показано діаграму проходження пакета через комутатор OpenFlow [18].



Рис. 2.5. Схема проходження пакету через комутатор OpenFlow

Після того, як комутатор прийняв пакет – він проводить аналіз заголовку пакету, який надійшов з метою пошуку відповідного запису у таблиці потоків. Якщо в ній знаходиться запис з полем-заголовком, який відповідає заголовку пакету, то в такому випадку запис враховується. У разі, коли ідентичних заголовків знайдено більше одного, то на основі пріоритетів вибирається запис з найбільшим пріоритетом. Після цього відбувається

оновлення лічильника в записі комутатором. Після цього комутатор виконує дії над пакетом, які вказані в таблиці, наприклад, переслати пакет на відповідний порт, який вказано. У разі, коли не існує записів в таблиці, які відповідають заголовку пакета, то комутатор надсилає контролеру повідомлення про те, що пакет буферизується. Останній інкапсулює пакет або перші байти з використанням повідомлення PACKET-IN і передає його контролеру. Останній отримує це повідомлення та вирішує правильну дію для цього пакету. Тобто, додає один чи більше записів у відповідну таблицю. Передбачається, що комутатори, які використовують буферизацію, показують доступний обсяг буфера і час, коли буфер можна використовувати повторно. Комутатор повинен обережно обробляти випадки, коли повідомлення packet_in не викликає жодного відгуку з боку контролера. Комутатор повинен запобігати повторному використанню буфера доти, доки йде обробка ситуації в контролері, або поки не пройде певний час (зазначений у документації) [17].

Комутатор може використовувати кілька таблиць потоків. Конвеєр (рис. 2.6) визначає спосіб, у який пакети повинні взаємодіяти з цими таблицями потоків. Таблиці потоків нумеруються, починаючи з 0. Обробка завжди починається з потокової таблиці 0.

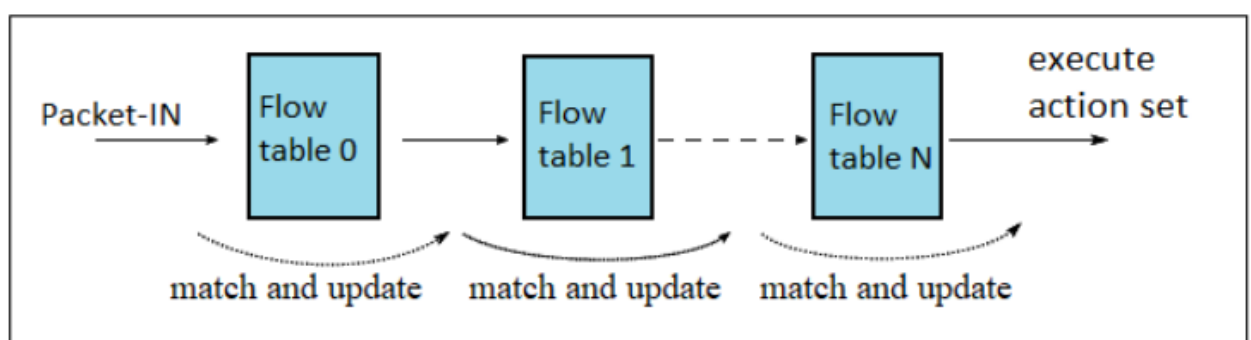


Рис. 2.6. Конвеєр протоколу OpenFlow

Кожна таблиця містить кілька записів потоку. Кожен запис потоку містить наступні елементи:

- Поля відповідності (match fields) – використовуються для узгодження між пакетом та вхідним портом;
- Пріоритет – використовується для відповідності полю пріоритету запису потоку;
- Лічильники – оновлюються, коли пакети збігаються з записом потоку;
- Інструкції – використовується для зміни набору дій або обробки конвеєра;
- Тайм-аути – визначає максимальну кількість часу або простою перед потоком і закінчується комутатором;
- Cookie - файли cookie використовуються контролером для фільтрації записів потоку, на які впливає статистика потоку, зміни потоку та запити на видалення потоку.
- Прапорці- прапорець можна використовувати, щоб змінити спосіб керування записами потоку.

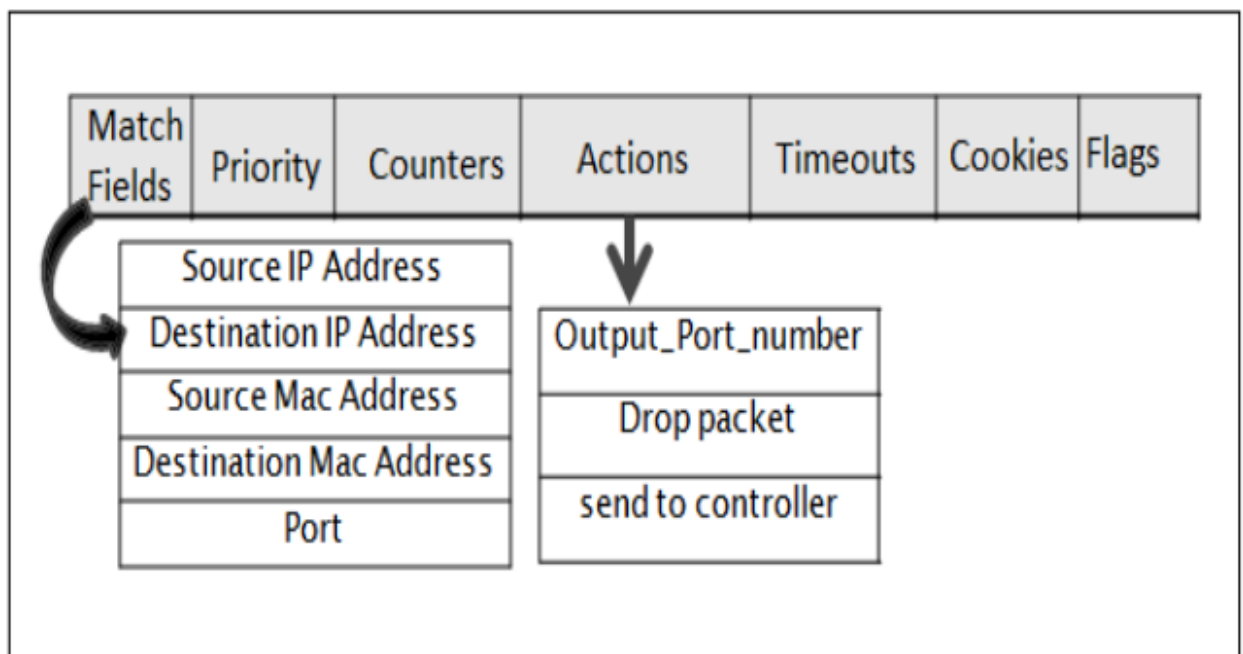


Рис. 2.7. Послідовність вхідних елементів протоколу OpenFlow

2.4. Network Slicing як технологія розділення мережі на логічні шари

Історія network slicing (мережеве сегментування) розпочалась з кінця 80-х років одночасно з введенням поняття «сегментування» в мережу. Оверлейні мережі забезпечили першу форму сегментування мережі, оскільки, гетерогенні мережеві ресурси були об'єднані разом для створення віртуальних мереж через загальну інфраструктуру. Однак, їм бракувало механізму, який міг би забезпечити їх програмування.

На початку 2000-х років PlanetLab представила фреймворк віртуалізації, який дозволяв групам користувачів програмувати мережеві функції, щоб отримати ізольовані та специфічні для програми фрагменти. Поява технологій SDN у 2009 році ще більше розширила можливості програмування за допомогою відкритих інтерфейсів, що дозволило реалізувати повністю конфігуровані та масштабовані сегменти мережі.

У контексті мобільних мереж розділення мережі почало розвиватися з концепції спільного використання RAN, яка спочатку була введена в стандарт LTE. Прикладами такої технології є багатооператорські мережі радіодоступу (MORAN) і багатооператорські базові мережі (MOCN), які дозволяють операторам мережі спільно використовувати загальні ресурси LTE в межах однієї мережі радіодоступу (RAN).

Парадигма мережі «єдиного розміру для всіх», яка використовувалася в минулих мережах мобільного зв'язку (2G, 3G і 4G), більше не підходить для ефективного вирішення ринкової моделі, що складається з дуже різних додатків, таких як зв'язок машинного типу, ультранадійна низька затримка. зв'язок і розширена доставка вмісту мобільного ширококутного Інтернету.

Сегментування мережі стає важливою технікою в мережах 5G, щоб задовольнити такі різні і, можливо, контрастні вимоги до якості обслуговування (QoS) з використанням єдиної фізичної мережевої інфраструктури.

Основна ідея сегментування мережі полягає в тому, щоб «розрізати» оригінальну архітектуру мережі на кілька логічних і незалежних мереж, які налаштовані для ефективного задоволення різноманітних вимог до послуг. Для кількісної реалізації такої концепції використовуються кілька прийомів:

- Функції мережі: вони виражають елементарні функціональні можливості мережі, які використовуються як «будівельні блоки» для створення кожного фрагмента мережі.

- Віртуалізація: забезпечує абстрактне представлення фізичних ресурсів за єдиною та однорідною схемою. Крім того, він дає можливість масштабованого розгортання фрагментів на основі NFV, що дозволяє відокремити кожен екземпляр мережевої функції від мережевого обладнання, на якому він працює.

- Комбінування: це процес, який дозволяє координувати всі різні компоненти мережі, які беруть участь у життєвому циклі кожного сегмента мережі. У цьому контексті SDN використовується для забезпечення динамічної та гнучкої конфігурації фрагментів.

У комерційному плані сегментування мережі дозволяє оператору мобільного зв'язку створювати конкретні віртуальні мережі, які обслуговують конкретних клієнтів і варіанти використання. Деякі програми, такі як мобільний ширококутний зв'язок, комунікації між машинами (наприклад, у виробництві чи логістиці) або розумні автомобілі, отримують користь від використання різних аспектів технології 5G. Для одного може знадобитися більш висока швидкість, для інших - низька затримка, а ще для іншого - доступ до граничних обчислювальних ресурсів. Створюючи окремі фрагменти, які визначають пріоритети конкретних ресурсів, оператор 5G може запропонувати індивідуальні рішення для певних галузей. Деякі джерела наполягають, що це зробить революцію в таких галузях, як маркетинг, доповнена реальність або мобільні ігри. В той час як інші більш обережні, вказуючи на нерівномірність покриття мережі та погане охоплення переваг, крім збільшення швидкості [19].

Сегментування також може підвищити безперервність обслуговування за допомогою покращеного роумінгу між мережами, створюючи віртуальну мережу, що працює на фізичній інфраструктурі, яка охоплює декілька локальних або національних мереж; або дозволивши хост-мережі створити оптимізовану віртуальну мережу, яка повторює ту, яку пропонує домашня мережа роумінгового пристрою.

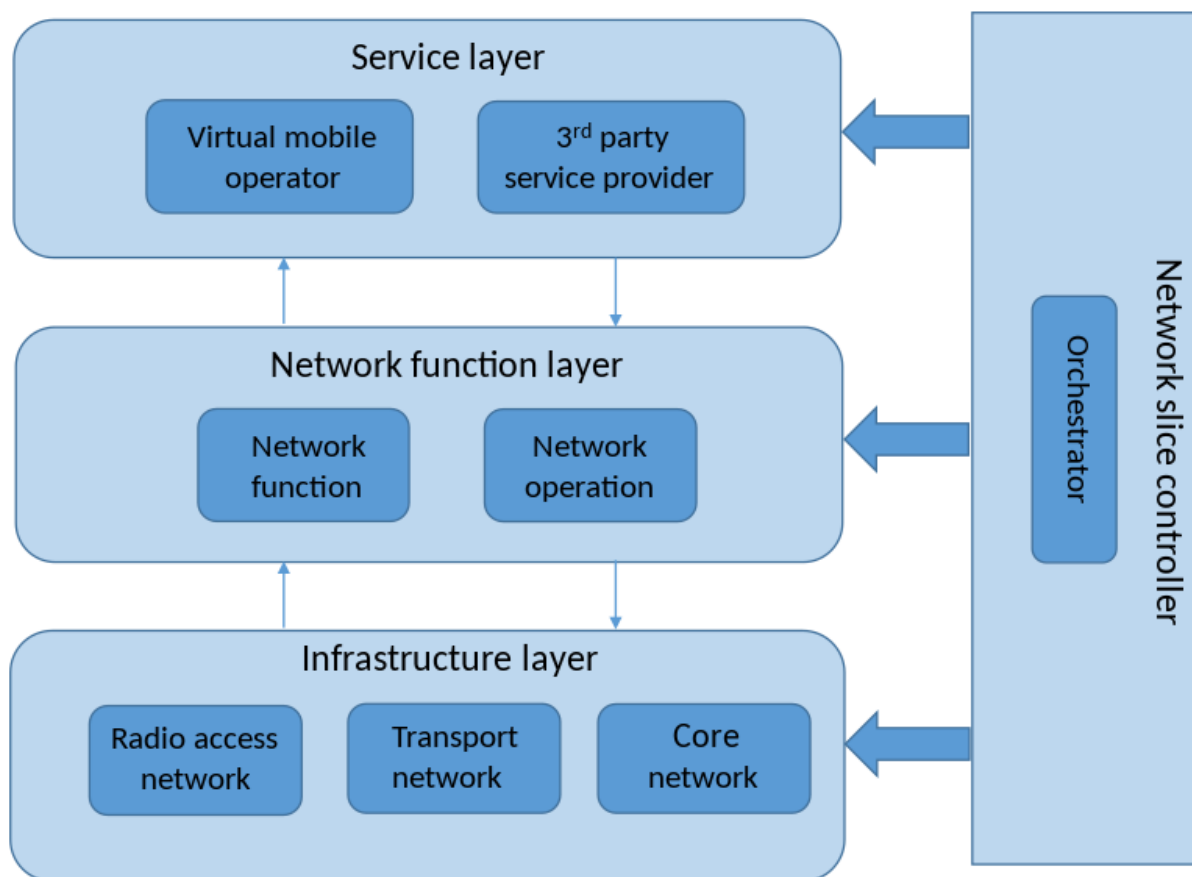


Рис. 2.8. Універсальна структура сегментування мережі 5G

Хоча існують різні варіанти архітектур мережевих фрагментів, можна визначити загальну архітектуру, яка відображає загальні елементи кожного рішення в загальну та уніфіковану структуру. З точки зору високого рівня, архітектуру слайсингу мережі можна розглядати як складену з двох мережевих блоків, один з яких призначений для фактичної реалізації фрагмента, а інший — для управління та конфігурації сегмента. Перший блок розроблений як багаторівнева архітектура, що складається з трьох рівнів (сервісний рівень, мережевий функціональний рівень, рівень

інфраструктури), де кожен з них робить внесок у визначення та розгортання фрагмента з різними завданнями. Другий блок розроблено як централізований мережевий об'єкт, який у загальному вигляді позначається як контролер мережевих сегментів, який контролює та керує функціональними можливостями між трьома рівнями, щоб ефективно координувати співіснування кількох сегментів.

Сервісний рівень взаємодіє безпосередньо з мережевими бізнес-об'єктами (наприклад, MVNO і сторонніми постачальниками послуг), які спільно використовують базову фізичну мережу, і забезпечує єдине бачення вимог до послуг. Кожна служба формально представлена як екземпляр служби, який включає всі характеристики мережі у вигляді вимог SLA, які, як очікується, будуть повністю вирішені при створенні відповідного фрагмента.

Функціональний рівень мережі відповідає за створення кожного сегмента мережі відповідно до запитів екземплярів служби, що надходять від верхнього рівня. Він складається з набору мережевих функцій, які втілюють чітко визначену поведінку та інтерфейси. Декілька мережевих функцій розміщуються в інфраструктурі віртуальної мережі та з'єднуються разом, щоб створити наскрізний екземпляр мережевого фрагмента, який відображає характеристики мережі, які запитує служба. Конфігурація мережевих функцій виконується за допомогою набору мережевих операцій, які дозволяють керувати їх повним життєвим циклом (від їх розміщення, коли створюється фрагмент, до їх зняття, коли надана функція більше не потрібна).

Щоб підвищити ефективність використання ресурсів, одна і та сама функція мережі може одночасно використовуватися різними фрагментами за ціною збільшення складності управління операціями. І навпаки, відображення один до одного між кожною функцією мережі та кожним фрагментом полегшує процедури налаштування, але може призвести до поганого та неефективного використання ресурсів.

Рівень інфраструктури являє собою фактичну топологію фізичної мережі (мережа радіодоступу, транспортна мережа та базова мережа), на якій кожен сегмент мережі мультиплексується, і він надає ресурси фізичної мережі для розміщення кількох мережевих функцій, що складають кожен сегмент.

Домен мережі доступних ресурсів включає гетерогенний набір компонентів інфраструктури, таких як центри обробки даних (ресурси сховища та обчислювальної потужності), пристрої, що забезпечують підключення до мережі, такі як маршрутизатори (мережні ресурси) та базові станції (ресурси пропускної здатності радіо).

Контролер мережевого фрагмента визначається як мережевий оркестратор, який взаємодіє з різними функціями, що виконуються кожним рівнем, щоб узгоджено керувати кожним запитом на сегмент. Перевага такого елемента мережі полягає в тому, що він забезпечує ефективне та гнучке створення фрагментів, які можна переналаштувати протягом життєвого циклу. Операційно контролер мережевого фрагмента відповідає за кілька завдань, які забезпечують більш ефективну координацію між вищезгаданими рівнями:

- Наскрізне управління послугами: відображення різних екземплярів послуг, виражених у термінах вимог SLA, з відповідними мережевими функціями, здатними задовольнити обмеження служби.

- Визначення віртуальних ресурсів: віртуалізація ресурсів фізичної мережі з метою спрощення операцій управління ресурсами, що виконуються для розподілу функцій мережі.

- Управління життєвим циклом фрагмента: моніторинг продуктивності сегмента на всіх трьох рівнях, щоб динамічно переконфігурувати кожен сегмент, щоб задовольнити можливі зміни вимог SLA.

Через складність виконуваних завдань, які стосуються різних цілей, контролер мережевого фрагмента може складатися з кількох організаторів, які незалежно керують підмножиною функціональних можливостей кожного

рівня. Щоб виконати вимоги до сервісу, різні об'єкти оркестровки повинні координувати один з одним шляхом обміну інформацією високого рівня про стан операцій, залучених до створення та розгортання фрагмента.

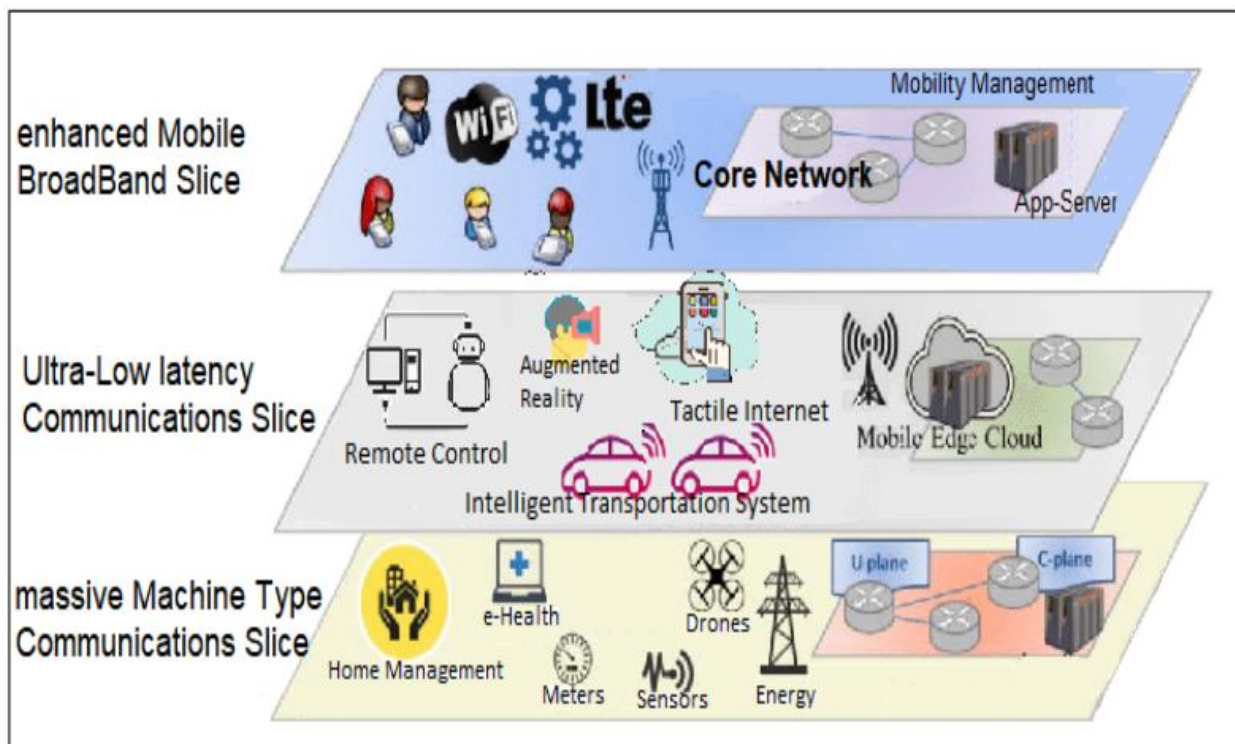


Рис. 2.9. Сегментація в мережі 5G

Розширений сегмент мобільного широкосмугового зв'язку (eMBB): вимагає дуже високої швидкості передачі даних для виконання вимог мультимедійного вмісту, наприклад потокового відео надвисокої чіткості.

Масивний фрагмент комунікації машинного типу (mMTC): цей фрагмент повинен витримувати значне навантаження трафіку підключених пристроїв, передаючи конфіденційну інформацію без затримок, наприклад, сенсорні мережі, розгорнуті в розумних містах.

Фрагмент зв'язку з надмалою затримкою (URLLC): цей фрагмент повинен надавати послуги, які надзвичайно чутливі до затримок, наприклад автономне водіння, тактильний Інтернет та доповнена реальність. Він вимагає надійності, низької затримки та безпеки.

Висновки

SDN – технологія майбутнього операторських мереж. Навпаки, телеком-вендори самі перебувають у скрутній ситуації у зв'язку з тотальним технологічним переворотом у галузі, оскільки вони будуть змушені повністю переоснащувати свої виробничі потужності та переорієнтувати свої R&D-центри, а також у зв'язку з конкурентним тиском ІТ-вендорів. Перехід до SDN/NFV можна порівняти тільки з переходом від аналогових телефонних станцій до цифрових на початку 70-х років, коли телеком-вендорам знадобилося така ж переорієнтація і таке ж переоснащення. На той час також було багато дискусій на тему про те, «чим “цифра” краща?». Подібну паралель можна провести щодо переходу від парового двигуна до двигуна внутрішнього згоряння, від луків, стріл та мечів до вогнепальної зброї, або від кінноти до танків. Цілі – одні й самі, кошти – різні.

Переваги. У чому переваги та вигоди від застосування SDN для операторів? Можна вказати лише основні з них:

- Оперативність виведення нових послуг ринку. Замість проведення маркетингових досліджень, будувати нову апаратну платформу для нових сервісів, проводити тести, робити пілотні проекти, на що зазвичай йдуть місяці, з NFV можна «конструювати» нові послуги програмно, в дата-центрах, там же їх тестувати і швидко виводити ринку. У разі невдачі чи незатребуваності нової послуги (що іноді трапляється при прорахунках маркетингу) ціна невдачі буде мінімальною.

- Скорочення капітальних витрат. Реалізація мережевих елементів на стандартних (commodity) серверах у дата-центрах при масовому розгортанні обходиться значно дешевше, ніж на виділеному обладнанні.

- Скорочення операційних витрат. Обслуговування стандартних серверів у дата-центрах проводиться сертифікованим ІТ-персоналом, якому для роботи з NFV лише потрібно пройти курси підвищення кваліфікації, а не спеціалізованими інженерами з апаратних платформ операторських мереж, необхідна кваліфікація яких має бути набагато вищою, а спеціалізація – вже.

Крім того, чисельність необхідного персоналу також скорочується з тих самих причин.

- Гнучкість використання ресурсів. При невеликому трафіку викликів задіюється мінімальна кількість віртуальних машин на серверах, при зростанні трафіку автоматично підключаються нові віртуальні машини, на яких працюють VNF для емуляції функцій мережного обладнання. У разі апаратної реалізації ресурси обладнання будуть використовуватися нераціонально, оскільки ресурси завжди розраховуються на максимальний трафік у мережі, а такі ситуації трапляються лише в години максимального навантаження. Іншим часом обладнання (у разі апаратної реалізації) залишається недовантаженим.

- Проблеми. Не можна сказати, що перехід на технології SDN та NFV у мережах операторів буде гладким та безболісним. Тут також можна провести аналогію із переходом на цифрові станції від аналогових. Цей процес зайняв роки та навіть десятиліття. Багато хто пам'ятає повільне зростання «відсотка цифровізації» для операторських мереж. Так само і зростання «SDN-зації» операторських мереж також буде поступовим. У міру вироблення терміну служби або морального старіння апаратних платформ IMS/EPC, мереж агрегації та доступу відбуватиметься процес поступового переходу на «хмарні» платформи SDN/NFV, які реалізовуватимуть віртуалізацію vIMS/vEPC. Основна проблема, яка тут виникатиме – наявність власних дата-центрів у операторів, або доступність дата-центрів у хмарних провайдерів для аутсорсингу ресурсів стандартних серверів та систем зберігання даних.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЗАТРИМОК У МЕРЕЖАХ 5G НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ SDN

3.1. Вступ до аналітичного моделювання

Технологія мобільного зв'язку 5G привернула широку увагу з усіх верств населення світу. Технологія може передавати дані зі швидкістю більше 1 Гбіт/с в діапазоні надвисоких частот 35 GHz, а найдовша відстань передачі може становити 2 км. Швидкість передачі даних висока, стабільність хороша, відстань передачі велика, безпека хороша тощо. Технологія мобільного зв'язку 5G має свої переваги та велике покриття бездротового зв'язку. Він був покращений в досвіді користувачів і системній безпеці комунікаційних технологій і широко використовується в різних сферах. Мережа 5G зі швидкістю в 100 разів більшою, у 50 разів меншою затримкою та 10 у рази більша щільність значно розширить технологічний ринковий простір мобільного зв'язку. Концепція технології 5G привертає увагу з усього світу. Технологія дозволяє передавати дані зі швидкістю близько 1 Гбіт/с, що забезпечить більше зручності для користувачів. За оцінками світових операторів зв'язку, послуги мобільного зв'язку 5G почнуть масово застосовуватися приблизно в 2023 році. Більшість антен із кількома входами й багатьма виходами підключені до базової станції за допомогою оптичних волокон, наприклад, у густонаселених районах, будинках з високою щільністю, комерційних вулицях тощо. Малі стільники також є хорошим вибором. У цьому процесі необхідно розгорнути певну кількість віртуальних осередків як доповнення для забезпечення зовнішнього покриття та швидкості передачі даних.

У 2015 році було запропоновано розгортання технологій 5G у мережах бездротових перетворювачів розумного міста та розумного будинку. З 2016 року відповідні науковці досліджували методи віртуалізації та планування бездротових мереж на основі когнітивного радіо 5G. Після цього були запропоновані фактори, архітектура та бізнес-модель Інтернету речей (IoT) в

епоху 5G. З розвитком і розширенням Інтернету з'явилося багато нових слів; «IoT» є одним із них. Це не тільки значний розділ техніки нового покоління, але й значний етап розвитку в епоху повідомлень 21-го століття. Білл Гейтс розповів про свої унікальні погляди на технологію IoT у своїй книзі понад 20 років тому. Зі швидкою популяризацією комп'ютерів та Інтернету IoT стає третьою хвилею розвитку Інтернету. Нині комерційна система мобільного зв'язку 4G ефективно покращила швидкість передачі та комунікаційну здатність шляхом покращення та покращення архітектури мережі та Ключові технології на основі 3G. Технологія мобільного зв'язку 5G не тільки значно підвищила швидкість, але й зазнала серйозних змін у технологіях. Це не єдина технологічна еволюція і не лише комбінація кількох нових технологій, а комбінація кількох технологій для задоволення різних потреб. Кешування та доставка інформації, зберігання та розповсюдження інформації в традиційних мережах мобільного зв'язку будуть передані в мережу доступу, а інформація передається відповідно до фактичних потреб користувачів, таким чином постійно покращуючи користувацький досвід.

Мобільна технологія 5G розроблена для того, щоб йти в ногу зі зростанням кількості підключених пристроїв і послуг, що надаються в мобільних мережах. Прогнозується, що до 2024 року їх кількість досягне 12,4 мільярдів, і ці пристрої, за оцінками, будуть генерувати 77 Ексабайт даних на місяць, з яких 12% будуть передаватися мережами 5G.

Мобільний трафік також еволюціонував, від голосового до переважно голосового з невеликою кількістю даних, а тепер до переважно IP-трафіку. Так само диверсифікувалися й цільові послуги. Мобільні мережі більше не обмежуються обслуговуванням лише людей. Вони підтримують і підтримуватимуть, наприклад, автомобільні мережі, сенсорні мережі, програми електронного здоров'я та мовлення, серед багатьох інших. Кожна з цих програм має різні вимоги до якості обслуговування (QoS) для послуг, що надаються мобільною мережею. У 5G такі послуги включають розширений

мобільний широкосмуговий доступ (eMBB) і масивний Інтернет речей (mIoT).

Кожна з цих категорій послуг має різні вимоги до якості обслуговування (QoS), і кожна з них потребує ізоляції від інших, навіть якщо вони використовують ті самі основні ресурси. Відповідні логічні мережі називаються мережевими фрагментами в 5G. Окрім віртуалізації мережевих функцій (NFV), програмно-визначена мережа (SDN) є ключовою технологією, що забезпечує розділення мережі, яка дає змогу розробляти трафік між мережевими функціями та між ними для відповідних мережевих фрагментів. Архітектурні пропозиції 5G пропонують SDN використовувати як в базовій, так і в граничній хмарі.

У центрі уваги цього розділу є дослідження здатності такої граничної хмари на основі SDN задовольняти вимоги QoS для підтримуваних служб. Заради простоти та зручності ми зосереджені на двох категоріях послуг, а саме eMBB та mIoT. Враховуючи, що ці два типи послуг мають дуже різні характеристики та вимоги до QoS, деяка політика планування між ними на шляху даних передбачається для ізоляції/диференціації послуг між ними. Метою роботи є розробка моделі масового обслуговування для аналізу продуктивності послуг у граничній хмарі, на основі якої наведено приклад аналізу затримок вузла комутації. На відміну від класичних мереж з комутацією пакетів, де пересилання даних і маршрутизація трафіку інтегровані в одному вузлі, площину даних і площину управління розділені в SDN.

Нові внески розділу такі. По-перше, пропонується модель черги для аналізу продуктивності периферійної хмари 5G на основі SDN, яка підтримує, наприклад, eMBB і mIoT і приймає деяке планування між ними на шляху даних. Запропонована модель враховує вплив контролера SDN на продуктивність пересилання пакетів у мережі: пакет, що входить у комутатор SDN, не знаходячи відповідності потоку, закликає контролер прийняти рішення про правило пересилання перед тим, як буде перенаправлено

комутатором. Крім того, щоб продемонструвати використання моделі, представлено аналіз затримки пакетів комутаційного вузла в граничній хмарі. Крім того, введені числові результати, щоб показати зв'язок між затримкою пакету та основними системними параметрами, такими як щільність фрагментів, і вплив контролера SDN на затримку. Наслідком моделі, аналізу та результатів є те, що вони можуть використовуватися для планування мережі/ресурсів та контролю доступу в хмарах 5G на периферії, щоб задовольнити вимоги щодо затримок послуг. Наскільки відомо, це перша спроба моделювання SDN у периферійних хмарах 5G з акцентом на наявність кількох мережевих сегментів у різних категоріях послуг, хоча були дослідження щодо моделювання SDN для інших цілей, які будуть обговорені далі.

3.2. Система

У цьому розділі представлено короткий опис системи та її функціонування. Зокрема, досліджувана мережа відповідає стандартній стільниковій архітектурі 5G, яка розділяє інфраструктуру на дві частини: базову мережу та мережу радіодоступу (RAN) (частиною якої є транспортна мережа), як показано на рис. 3.1. Деякі функції мережі та послуги наближені до користувача та розміщені в периферійних хмарах, розташованих у RAN, щоб відповідати вимогам до послуг 5G, тоді як основні функції розташовані в основній хмарі.

Мережа радіодоступу поділена на осередки, кожна з яких обслуговується вузлом В п'ятого покоління (gNB). Хмара обчислення може покривати або підтримувати кілька таких осередків. Щоб спростити уявлення, у цьому дослідженні ми зосередимося на одній клітинній частині хмари. Ця гранична хмарна «комірка» складається з усього обладнання базової станції (gNB), що використовується для надання послуг, і радіоресурсів стільника. Обладнання включає в себе комутатор SDN, обладнання, що реалізує фізичні мережеві функції (PNF), і мікроцентр обробки даних, що містить функції віртуальної мережі (VNF), для підтримки,

наприклад. нарізка мережі в граничній хмарі. Такі комутатори SDN комірки підключені до транспортної мережі всієї граничної хмари, яка далі підключається до магістральної мережі та основної хмари, як показано на рис. 3.1 [20].

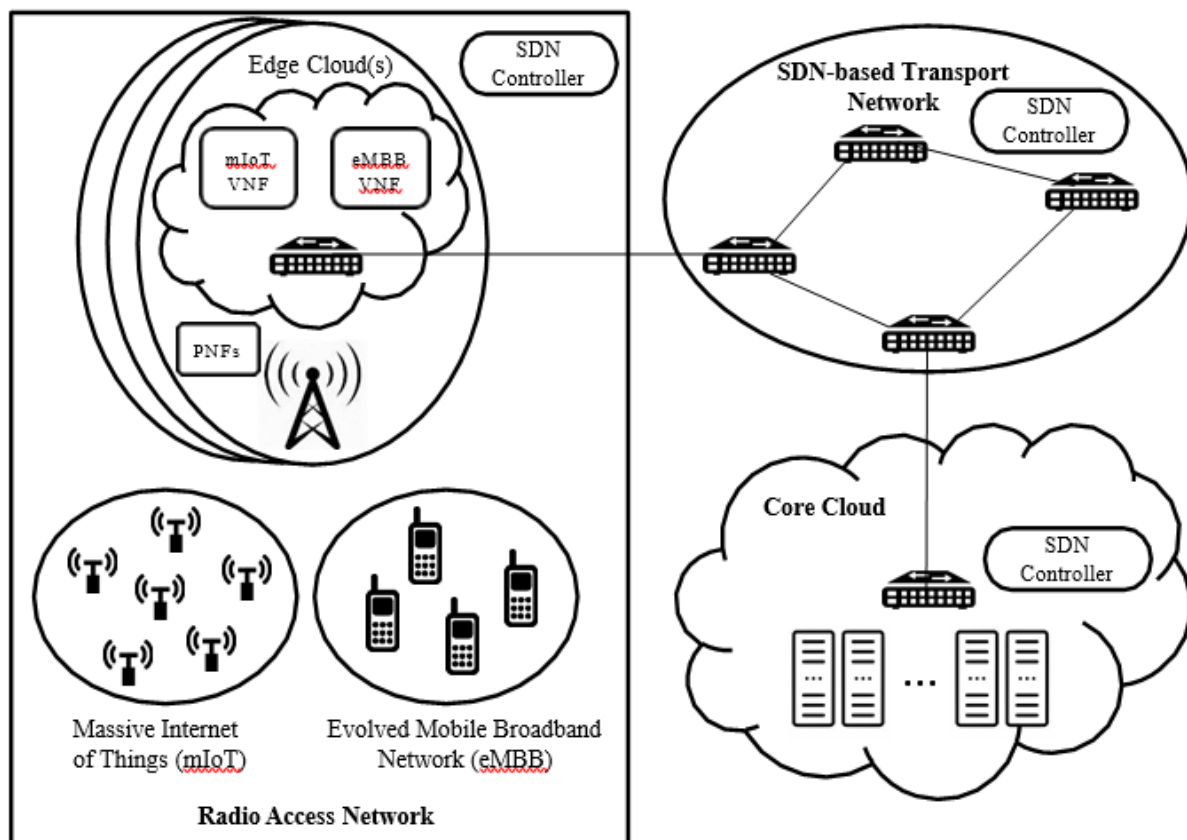


Рис. 3.1. Огляд граничної (обчислювальної) хмари в мережі радіодоступу 5G

Комутатор SDN у цій конфігурації системи (i) пересилає всі дані, що надходять від мобільних терміналів і пристроїв mIoT, до відповідних функцій і маршрутів, (ii) забезпечує підключення до всього обладнання та функцій граничної хмари, і (iii) транспортує трафік з/до основної мережі та інші пограничних хмар. Припускається, що контролер SDN для граничної хмари знаходиться в тій самій RAN. Також передбачається, що керуючий трафік є однофазним із трафіком даних, тобто керуючий трафік використовує ті ж самі канали та займає ті самі буфери, що й трафік даних, що й надано.

Для забезпечення зв'язку між контролером SDN і комутаторами SDN розглядається архітектура OpenFlow. Хоча OpenFlow має кілька стандартних

повідомлень, ми обмежимося лише тими, які використовуються для; i) сповіщення контролера про те, що надійшов новий потік, ii) встановлення нових правил на комутатори, iii) ініціювання передачі обслуговування та iv) налаштування комутаторів. Повідомлення OpenFlow, визначені для виконання цих завдань: Packet-in, Flow-mod і Port-status.

У SDN, коли пакет надходить на комутатор, він перевіряється з таблицею потоків на комутаторі. Якщо існує правило відповідності, пакет пересилається відповідно до нього. В іншому випадку на комутаторі генерується повідомлення про введення пакетів, яке надсилається контролеру. Як тільки контролер визначить правило пересилання, він надсилає повідомлення Flow-mod всім комутаторам на маршруті, щоб вони оновлювали свої таблиці потоків.

У разі хендовера, реалізація хендовера на основі OpenFlow використовує для нього повідомлення про статус порту. У цьому підході вихідний комутатор – від того місця, де передається мобільний вузол до цільового комутатора – надсилає контролеру повідомлення про відключення порту, що ініціює передачу обслуговування. Згодом цільовий комутатор надсилає на контролер повідомлення On-port, що сигналізує про те, що мобільний вузол знаходиться в зоні його покриття. Оскільки для кожного повідомлення Off-port є відповідне повідомлення On-port, їх можна спільно моделювати як повідомлення про статус порту. Контролер, зі свого боку, оновлює всі комутатори, які пересилають потоки з мобільного вузла, надсилаючи їм повідомлення Flow-mod [13].

Передбачається, що підтримується кілька класів послуг, таких як eMBB і mMTC, які мають дуже різноманітні характеристики трафіку. На комутаторі SDN передбачається деяка дисципліна планування між трафіком цих класів послуг для ізоляції/диференціації між ними, тоді як в межах одного класу трафік ділиться однією і тією ж чергою FIFO.

3.3. Модель забезпечення черг для хмар Edge

Щоб змоделювати систему, представлену раніше, повернемося до рис. 3.1. Позначення зведено в таблиці 3.1.

Трафік до комутатора: створений і перенаправлений. Розглянемо клітинку граничної хмари з перемикачем, яка охоплює область A_i , і обслуговує кількість n_i^e eMBB розподілених мереж та кількість n_i^m mIoT розподілених мереж. Це одна з n сот, що обслуговується одним контролером SDN граничної хмари. Користувачі в j -му зрізі eMBB та пристрої в k -му зрізі mIoT вважаються непросторово розподіленими за процесами точки Пуассона з параметрами $\alpha_i^{j(e)}$ користувачів на одиницю площі та $\alpha_i^{k(m)}$ пристроїв на територію. Згодом, відповідні процеси надходження пакетів задаються як (3.1) передній сегмент eMBB і (3.2) для фрагмента mIoT, де B^e і B^m позначає відповідні швидкості передачі даних, P^e і P^m означає їхні середні розміри IP-пакетів, а p^e і p^m частки активних користувачів/пристроїв у соті в будь-який момент часу.

$$\zeta_i^{j(e)} = \alpha_i^{j(e)} A_i \frac{p^e B^e}{P^e} \quad (3.1)$$

$$\zeta_i^{k(m)} = \alpha_i^{k(m)} A_i \frac{p^m B^m}{P^m} \quad (3.2)$$

Ми припускаємо, що просторові розподіли для всіх зрізів eMBB і mIoT у соті є незалежно однаково розподілені випадкові величини у відповідних службових класах, які в іншій частині статті також називаються вертикалями, з параметрами ζ_i^e та ζ_i^m відповідно. Тому показники прибуття eMBB і mIoT в соті i визначаються (3.3) і (3.4).

$$\lambda_i^e = n_i^e \zeta_i^e \quad (3.3)$$

$$\lambda_i^m = n_i^m \zeta_i^m \quad (3.4)$$

Parameter	Description
A_i	Cell size of i^{th} cell
n	Number of cells controlled by an SDN controller
n_i^e	Number of eMBB slices in i^{th} cell
n_i^m	Number of mIoT slices in i^{th} cell
$\alpha_i^{j(e)}$	Users in j^{th} eMBB Slice of i^{th} cell
$\alpha_i^{k(m)}$	Devices in k^{th} mIoT Slice of i^{th} cell
$B^{e/m}$	Data rate of eMBB/mIoT service
$P^{e/m}$	Average eMBB / mIoT packet size
$p^{e/m}$	Percentage of active users in eMBB/mIoT slice
$\zeta_i^{j(e/m)}$	eMBB/mIoT packet arrival rate in j^{th} slice of i^{th} cell
$\lambda_i^{e/m}$	eMBB/mIoT packet arrival rate in cell i
$\gamma_i^{e/m}$	eMBB/mIoT data plane packet arrival rate in cell i
$\Gamma_i^{e/m}$	eMBB/mIoT total (data + control) arrival rate in cell i
Γ_c	Total packet arrival rate in controller
$p_{ji}^{e/m}$	Routing probability of cell i for cell j for eMBB /mIoT
$w_i^{j(e/m)}$	eMBB/mIoT indicator: cell i in new flow path for cell j
$v_i^{j(e)}$	eMBB indicator: cell i in handover path for cell j
$\sigma_i^{j(e/m)}$	Prob. that cell i is in route for cell j for eMBB/mIoT
μ_i	Switch i service intensity
μ_c	Controller service intensity
ρ_i	Switch i server utilization
ρ_c	Controller server utilization
δ_i^e	Handover intensity
$q_i^{nf(e/m)}$	Probability of new eMBB/mIoT flow in cell i
K	Controller buffer size

Рис. 3.2. Параметри і їх визначення

Крім того, комутатор кожної соти граничної хмари також переадресує трафік даних з інших граничних хмар. Оскільки, дані для кожної вертикалі відокремлені від інших вертикалей, розміщених на комутаторі, перехресний трафік даних з інших крайових хмар буде спрямовуватися в черги відповідних вертикалей. Імовірність маршрутизації від комутатора j до комутатора i визначається як p_{ji}^e для eMBB і p_{ji}^m для вертикалі mIoT. Отриманий агрегований трафік, що надходить у чергу eMBB на комутаторі i , наведено в (3.5), а в чергу mIoT — в (3.6).

$$\gamma_i^e = \lambda_i^e + \sum_{j \in N} p_{ji}^e \gamma_j^e \quad (3.5)$$

$$\gamma_i^m = \lambda_i^m + \sum_{j \in N} p_{ji}^m \gamma_j^m \quad (3.6)$$

де N — набір усіх комутаторів, підключених до комутатора i .

Варто підкреслити, що γ_i^e та γ_i^m враховують лише трафік у площині даних, а те, як трафік із площини керування додатково вносить свій внесок, представлено нижче.

Трафік до комутатора: забезпечується площиною керування. Зауважте, що контролер SDN викликається щоразу, коли: (i) новий потік входить до комутатора SDN; (ii) мобільний вузол передається від одного комутатора до іншого.

Як наслідок (i), коли пакет потрапляє в комутатор i пропускає збіг потоку, він надсилається контролеру. Для ймовірності того, що пакет, що надходить, належить до нового потоку і не має збігу в таблиці потоків комутації, ми називаємо його ймовірністю промаху і використовуємо $q_i^{nf(e)}$ для позначення для пакетів eMBB і $q_i^{f(m)}$ для пакетів mIoT. Потім контролер обчислює маршрут для потоку і надсилає правила пересилання назад комутатору, а також усім комутаторам, які будуть пересилати пакети цього потоку. Це означає, що перший пакет потоку проходить через комутатор двічі: перший раз до контролера і другий раз передається наступному вузлу. Чи перебуває комутатор i на маршруті для нового потоку, що походить від комутатора, і чи має до нього додати потік, вказується функцією $u_i^{j(e)}$ для eMBB і функцією $u_i^{j(m)}$ для mIoT. Якщо значення функції дорівнює 1, це означає, що комутатор знаходиться в маршруті, тоді як 0 означає протилежне [21].

Для (ii), щоб спростити представлення та взяти до уваги той факт, що пристрої IoT, як правило, є стаціонарними в сферах застосування, надалі передачі розглядатимуться лише у вертикалі eMBB. Припустимо, що запити на передачу обслуговування від eMBB надходять до gNB, створені або завершені, зі швидкістю запитів δ_i^e в секунду. Запити отримує gNB, а згодом його комутатор надсилає контролеру повідомлення про стан порту. У відповідь контролер відправляє назад повідомлення комутатору, щоб оновити таблицю потоків. Він також надсилає повідомлення всім

комутаторам, чії таблиці потоків слід оновити. Відповідно, функція індикатора $v_i^{j(e)}$ використовується для визначення того, чи потрібно оновити комутатор у відповідь на передачу обслуговування. Він має значення 1, якщо комутатор i потрібно оновити для хендовера, що починається або закінчується на комутаторі j , і 0 в іншому випадку.

Зверніть увагу, що функції $u_i^{j(x)}$ і $v_i^{j(x)}$, де $x \in \{e, m\}$, є подібними індикаторними функціями, і ймовірності маршрутизації p_{ji}^x від сусідніх комутаторів подібні до ймовірності того, що комутатор i лежить на шляху для трафіку з іншого перемикача j . Щоб спростити представлення, ми будемо використовувати модель $o_i^{j(x)}$, якщо комутатор i знаходиться на маршруті для потоків, що надходять від довільного комутатора j , де j може бути таким же, як i . Це неявно означає, що він також охоплюватиме дві функції індикатора $u_i^{j(x)}$ та $v_i^{j(x)}$. Спрощена загальна швидкість надходження до черг eMBB і mMTC на комутаторі тепер виражається в (3.7) і (3.8) відповідно.

$$\begin{aligned} \Gamma_i^e &= \left(1 + q_i^{nf(e)}\right) \lambda_i^e + 2\delta_i^e \\ &+ \sum_{j=1, j \neq i}^n o_i^{j(e)} \left(\left(1 + q_j^{nf(e)}\right) \lambda_j^e + \delta_j^e \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\Gamma_i^m = \left(1 + q_i^{nf(m)}\right) \lambda_i^m + \sum_{j=1, j \neq i}^n o_i^{j(m)} \left(\left(1 + q_j^{nf(m)}\right) \lambda_j^m \right) \quad (3.8)$$

Трафік до контролера. Центральною частиною системи є контролер SDN. Після того ж обговорення в попередньому підрозділі, трафік до контролера має двох учасників (i) і (ii). По суті, спосіб, у який контролер включено в нашу модель, полягає в тому, що, коли пакет приходить на комутатор i і не знаходить відповідне правило потоку на комутаторі, він пересилається до контролера, оскільки він є першим пакетом або знову створений потік (i) або шлях хендовера (ii). Це підводить нас до виразу для швидкості введення в черзі контролера, наведеного в (3.9).

$$\Gamma_c = \sum_{i=1}^n \left(q_i^{nf(m)} \lambda_i^m + q_i^{nf(e)} \lambda_i^e + \delta_i^e \right) \quad (3.9)$$

В системі граничної хмари кожен комутатор SDN має окрему чергу для кожного класу обслуговування і використовує певну дисципліну планування для планування пакетів серед черг. Навпаки, контролер SDN підтримує лише одну чергу FIFO для обробки запитів. Для черги на контролері, щоб уникнути надмірної затримки очікування в черзі на запити, може застосовуватися обмеження на довжину черги. Схема системи, змодельованої таким чином мережею масового обслуговування, зображена на рис. 3.3, враховуючи два взаємопов'язаних комутатори i і j і контролер c .

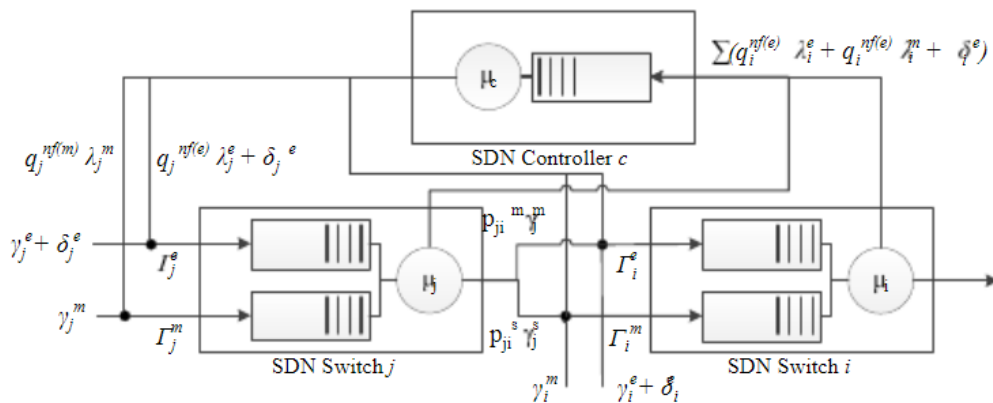


Рис. 3.3. Модель мережі черги для Edge Cloud на основі SDN

3.4. Аналіз затримок

Щоб продемонструвати використання моделі мережі масового обслуговування, розробленої в попередньому розділі, в цьому розділі представлено аналіз часу перебування пакета на комутаторі, що відповідає межі хмарної комірки. Використовуючи результати в літературі з теорії масового обслуговування, напр. Аналіз мережі Джексона, аналіз затримки одного перемикача можна поширити на весь випадок крайової хмари, але через обмеження простору це розширення тут опущено.

Для аналізу затримок ми робимо наступні припущення. Для початку передбачається, що система підтримує два класи обслуговування, а саме eMBB і mMTC, і буде стабільною, тобто $\rho_i = (\Gamma_i^e + \Gamma_i^m) / \mu_i < 1$ і $\rho_c = \Gamma_c / \mu_c < 1$ і в стаціонарному стані. На комутаторі прийнято планування пріоритету без випередження, коли трафіку eMBB надається вищий пріоритет, і немає

обмежень на розмір черги кожного класу. Що стосується контролера, то застосовується обмеження на довжину черги, яке позначається як K .

Зауважте, що загальний трафік до кожної черги в комутаторі або контролері є сукупністю трафіку від кількох процесів введення. Для такого агрегатного процесу, дотримуючись теореми Пальма – Хінчина, ми апроксимуємо його процесом Пуассона.

Крім того, для часу обслуговування пакета на комутаторі або контролері він складається з двох частин: час обробки комутатором, щоб перевірити, чи його потік має правило збігу в комутаторі, або контролер, щоб визначити правило пересилання для свого відповідний потік і час передачі пакета на комутаторі або час передачі пакета повідомлення, що містить правило, комутатору на контролері. Щоб полегшити аналіз, ми припускаємо, що час обслуговування пакета розподілено експоненціально. Це відповідає наближенню незалежності Клейнрока для класичних комп'ютерних мереж.

З наведеними вище припущеннями, комутатор моделюється як система черги $M/M/1/\infty$ /пріоритет, а контролер як система черги $M/M/1/K$. Тоді, на основі наявних результатів черг для них, відповідну середню кількість пакетів на комутаторі i можна отримати як:

$$N_i^e = \Gamma_i^e \frac{(1 + \rho_i - \frac{\Gamma_i^e}{\mu_i})}{\mu_i - \Gamma_i^e} \quad (3.10)$$

$$N_i^m = \Gamma_i^m \frac{(1 + \rho_i \frac{\Gamma_i^e}{\mu_i} - \frac{\Gamma_i^e}{\mu_i})}{(1 - \rho_i)(\mu_i - \Gamma_i^e)} \quad (3.11)$$

і середня кількість пакетів у контролері як:

$$N_c = \frac{\rho_c}{1 - \rho_c} - \frac{(K + 1) \rho_c^{K+1}}{1 - \rho_c^{K+1}} \quad (3.12)$$

Використовуючи (3.10), (3.11) і (3.12) і застосовуючи формулу Літтла в теорії масового обслуговування, середній час, проведений в комутаторі пакетом eMBB, визначається як $W_e = N_e / \Gamma_e$, а пакетом mMTC - W_m .

$=Nmi/\Gamma mi$, а середній час, проведений пакетом у контролері, визначається як $Wc=Nc/\Gamma c$.

Тепер ми враховуємо ймовірність промаху при розрахунку затримки через контролер. Щоб спростити представлення, ми припускаємо, що ймовірність промаху однакова по вертикалі, тобто $qnf(e)_i=qnf(e)\forall i\in\{1,2,\dots,n\}$; $iqnf(m)_i=qnf(m)\forall i\in\{1,2,\dots,n\}$.

Нарешті, середній час, що витрачається пакетом eMBB / mIoT у соті граничної хмари, визначається формулою (3.13), де $x\in\{e,m\}$:

$$D_{tot}^x = (1 - q^{nf(x)})W^x + q^{nf(x)}(2W^x + W_c) \quad (3.13)$$

У (13) перший доданок у правій частині рівняння означає затримку, коли пакет знаходить відповідний запис потоку в комутаторі, і, отже, буде лише одноразовий Wx на комутаторі. Крім того, другий доданок пов'язаний з тим, що пакет не знаходить запис потоку в комутаторі, і, отже, його потрібно відправити до контролера, щоб він згенерував повідомлення про вхід, яке надсилається комутатору, перш ніж пакет зможе використати його для пересилання. Як наслідок, задіяна затримка включає одноразовий Wc і два рази Wx , як також обговорювалося в попередньому розділі [22].

3.5. Результати

Тепер ми використовуємо аналіз затримки (13) і типові значення параметрів, щоб отримати результати. Зокрема, ми беремо $\mu_i=1250$ pkt/ms, щоб показати обробку зі швидкістю лінії 10 Гбіт/с із середньою довжиною пакету $P_e=P_m=1$ КБ. Крім того, ми вибираємо значення $(x)_i=0,2, n=5, K=750, \mu_c=250$ ms⁻¹ і $\delta e_i=0,01$ ms⁻¹, щоб максимально імітувати реальність. Нарешті, ми розглянемо приміську соту, яка охоплює $A_i=1$ км² і має в середньому $\alpha_j(e)_i=40$ користувачів eMBB, лише $p_e=30\%$ активних за раз, і в середньому $\alpha_k(m)_i=400$ активних пристроїв mIoT у кожному відповідному сегменті служби. Швидкість передачі даних підтримується на рівні 50 Мбіт/с для eMBB і 100 кбіт/с для mIoT відповідно до стандартів.

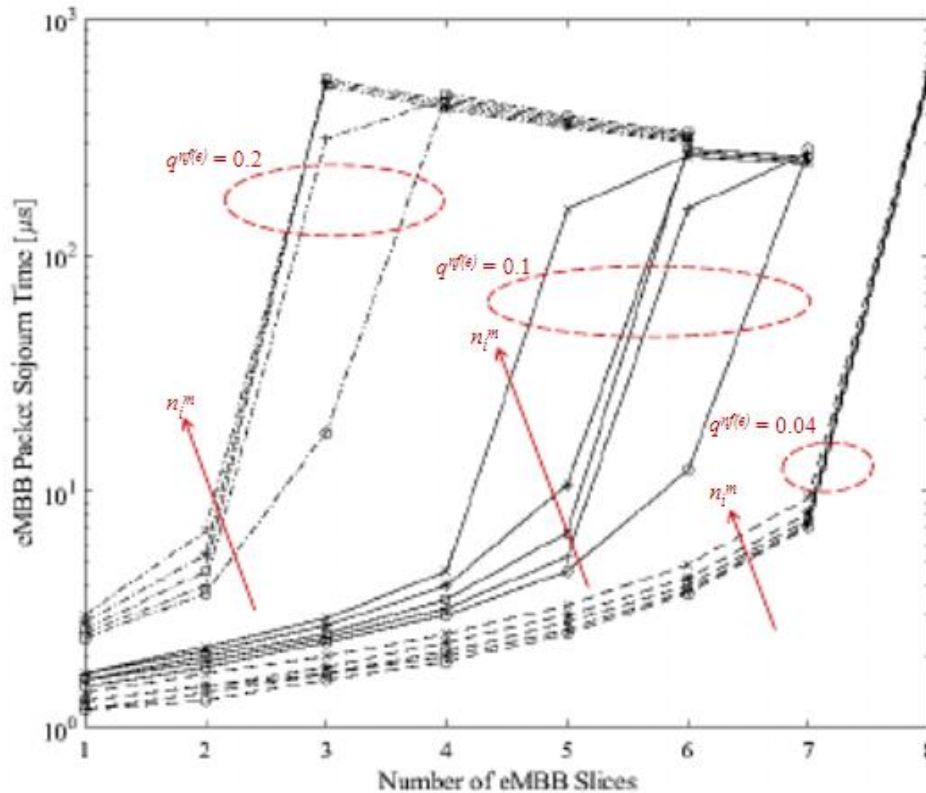


Рис. 3.4. Продуктивність затримки eMBB для різної кількості фрагментів

Рис. 3.4. показує час перебування пакета eMBB в одній соті з різною кількістю фрагментів eMBB. Імовірність промаху mIoT залишається постійною на рівні $q^{nf(m)} = 0,5$, щоб показати, що половину часу пакети, що надходять із фрагментів mIoT, пересилаються на контролер. Це значення підтримується високим, щоб імітувати той факт, що в багатьох програмах IoT кожен пристрій mIoT надсилає пакети, які знаходяться далеко один від одного, і, отже, існує висока ймовірність того, що запис потоку буде видалено з таблиці потоків. Час перебування пакета побудовано для трьох різних значень ймовірності промаху eMBB, тобто $q^{nf(e)} \in \{0.04, 0.1, 0.2\}$. Тут перше значення визначається експериментально, тоді як два інших значення демонструють випадки з коротшими таблицями потоків для швидшого пошуку. Крім того, для кожного значення $q^{nf(e)}$ генеруються графіки часу перебування для різної кількості фрагментів mIoT. Таким чином, для $q^{nf(e)} = 0,04$ результати побудовані для $n_i^m = 2, 4, 6, 8, 10$, тоді як в інших двох випадках кількість зрізів mIoT приймається рівним $n_i^m = 1, 2, 3, 4, 5$.

Результати показують, що збільшення кількості запитів до контролера значно впливає на затримки пакетів. Наприклад, для випадку 4% ймовірності промаху час перебування пакета в соті залишається меншим за 1 мс, навіть якщо $n_i^m = 10$, а максимальна кількість досягнутих фрагментів eMBB в цьому випадку становить $n_i^e = 8$. Але, як тільки $q^{nf(e)}$ стає 0,1, максимальна кількість зрізів зменшується до $n_i^e = 7$ для максимуму $n_i^m = 5$. Хоча час перебування в цьому випадку залишається менше 1 мс, але для окремих кривих спостерігається різке зростання затримки. Отже, коли $n_i^m = 1$, час перебування стрибає на порядок, коли кількість зрізів eMBB збільшується з шести до семи. Така поведінка спостерігається через насичення в контролері. Інтенсивність надходження на контролер стає вищою за інтенсивність обслуговування, і тому затримки зростають. Інший прояв цього явища спостерігається при $n_i^m \geq 3$. Здається, що криві згладжуються приблизно за 0,3 мс, оскільки черга контролера продовжуватиме переповнюватися і, як наслідок, відкидати пакети.

Нарешті, для $q^{nf(e)} = 0,2$, система демонструє подібну поведінку, як і для 10% ймовірності промаху, але з чергою контролера насичення вже при $n_i^e = 3$. Це можна побачити за сплюсненими кривими на рис. 3.3. Ще один помітний поведінка вертикалі eMBB полягає в тому, що час перебування залишається досить близьким для різної кількості зрізів mMTC для певної ймовірності промаху. Це є результатом пріоритету вертикального eMBB над mMTC у комутаторі. Але оскільки ймовірність промаху збільшується, відхилення йде відповідно до прикладу, оскільки участь контролера збільшується, а його черга не має пріоритету. Крім того, швидке насичення системи за рахунок збільшення частоти виклику контролера чітко вказує на роль вузького місця, яку контролер відіграє в цьому налаштування.

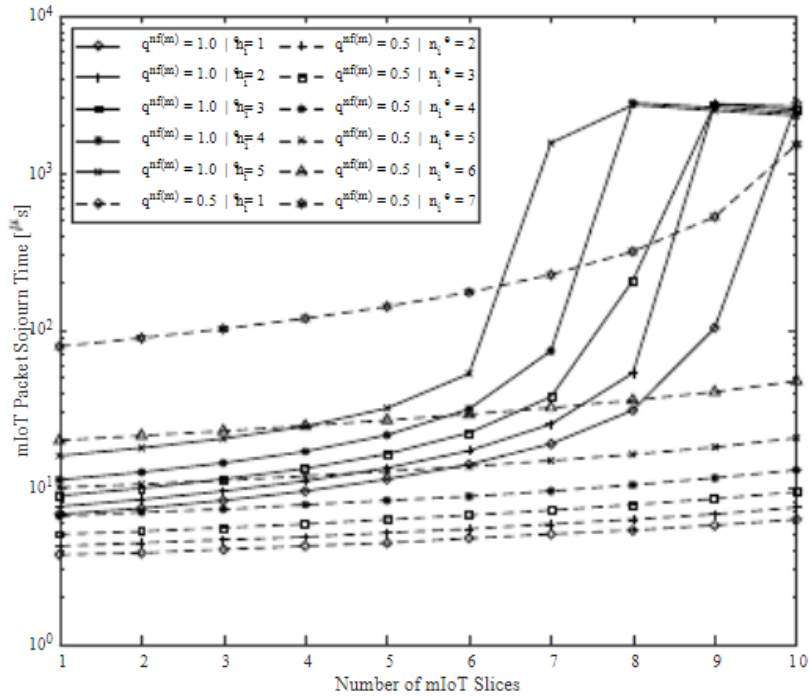


Рис. 3.5. Продуктивність затримки mIoT для різної кількості фрагментів

Так само, для вертикалі mIoT, рис. 3.5. показує час перебування пакета як функцію кількості зрізів mIoT у соті для різних значень $q^{nf(m)}$ і n_i^e , але із збереженням постійної $q^{nf(e)} = 0,04$. Результати представлені для $q^{nf(m)} \in \{0,5,1,0\}$ і $n_i^e = 1,2,3,4,5$ для $q^{nf(m)} = 0,5$ та двох додаткових значень, $n_i^e = 6,7$, для $q^{nf(m)} = 1,0$. Значення $q^{nf(m)}$ вибираються з огляду на те, що окремі пристрої mIoT надсилають дані дуже кількома пакетами в певний момент часу, а потім залишаються бездіяльними протягом тривалого періоду, зазвичай у хвилину. Це спричиняє видалення їхніх записів потоку з таблиці потоків комутаторів. Найгірший випадок полягає в тому, що кожен пристрій надсилає всі свої дані в одному пакеті, наприклад, датчики навколишнього середовища, і залишається бездіяльним протягом кількох хвилин. Він фіксується як $q^{nf(m)} = 1,0$, тоді як оптимістичний випадок дається $q^{nf(m)} = 0,5$.

З рис. 3.5. видно, що максимальна кількість зрізів mIoT за всіма представленими сценаріями становить $n_i^m = 10$. На відміну від випадку eMBB, пакети mIoT відчувають більше відхилення зі збільшенням n_i^e для того ж значення $q^{nf(m)}$. Причина полягає в тому, що пакети eMBB мають

пріоритет над пакетами mIoT. З тієї ж причини пакети mIoT відчують більші затримки, навіть коли система не завантажена. Так, наприклад, у випадку одного фрагмента mIoT із сімома фрагментами eMBB затримка пакету вже становить 100 мкс. Подібно до свого аналога eMBB, крива часу перебування пакетів mIoT також згладжується, коли досягає приблизно 2 мс, що вказує на насичення черги контролера [23].

Щоб визначити допустиму область, тобто максимальну комбінацію кількості зрізів eMBB і зрізів mIoT, які можуть підтримуватися коміркою, на рис. 5 представлено кількість зрізів eMBB, які можуть бути розміщені в комірці за умови певної кількості зрізів mIoT. Тут ми використовуємо ті самі значення параметрів, що й у Розділі V-A з $q^{nf(m)} = 1,0$ і $q^{nf(e)} = 0,04$, щоб представити найгірший випадок для вертикалі mIoT і практичний випадок для вертикалі eMBB.

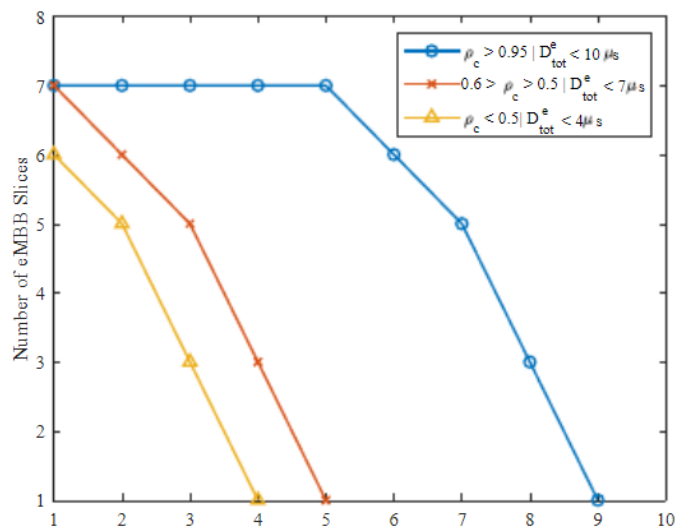


Рис. 3.6. Кількість фрагментів eMBB за певних умов

Результати, представлені на рис. 3.6, також враховують висновок із розділу 3.5. про те, що контролер є вузьким місцем продуктивності затримки. Таким чином, результати нанесені на графік з урахуванням трьох випадків використання контролера, де контролер використовується або високо, середнього або слабко завантаженого. З рис. 3.6 видно, що більша кількість зрізів mIoT призводить до меншої кількості зрізів eMBB, якщо загальна затримка пакета гарантована. Цікаве спостереження зроблено у випадку

високого використання, коли зменшення кількості фрагментів mIoT нижче 5 не дозволяє збільшити сегменти eMBB вище 7. Причина такої поведінки полягає в тому, що використання комутатора переймає використання контролера як вузьке місце.

Щоб додатково проаналізувати вплив вертикалі mIoT на продуктивність вертикалі eMBB, ми далі досліджуємо, як вертикаль eMBB поводить себе в різних умовах вертикалі mIoT. Графік на рис. 3.7 показує вплив двох параметрів mIoT на час перебування eMBB, а саме, кількість зрізів mIoT і частку трафіку mIoT, що пересилається на контролер.

Діаграма на рис. 7, намальована для семи зрізів eMBB, показує значне покращення, якого можна досягти за час перебування eMBB, якщо час закінчення потоків mIoT просто зробити достатньо довгим, щоб принаймні 10% потоків залишалися неушкодженими. приріст часу перебування набагато менший для меншої кількості фрагментів mIoT.

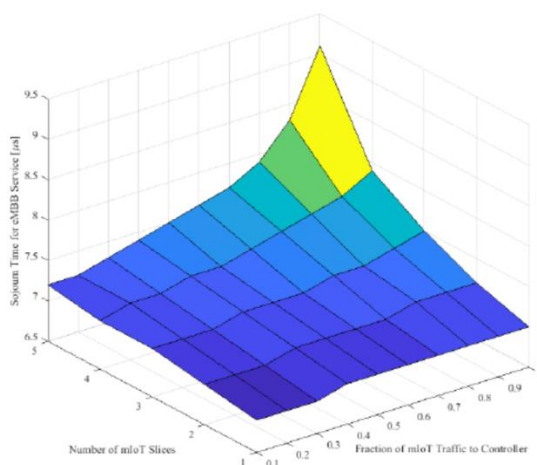


Рис. 3.7. Час перебування пакета eMBB із різними вертикальними станами mIoT

Як показано на рис. 3.4 – рис. 3.7, за реалістичних налаштувань параметрів швидкості зв'язку та швидкостей трафіку eMBB і mIoT середній час перебування на комутаторі в граничній хмарі становить близько 10 мкс. Навіть з урахуванням затримки поширення та більш точних моделей трафіку та послуг в аналізі, коли діаметр мережі крайової хмари не надто великий, наприклад 5, можна очікувати, що середня затримка від краю до краю може

бути добре близько 100 мкс. Ми вважаємо, що такого діапазону затримки вистачає не тільки для вимог щодо затримки типових додатків mIoT, але й для широкого діапазону eMBB. Це пояснюється тим, що нерівність Маркова в теорії ймовірностей говорить про те, що ймовірність того, що затримка пакета перевищує x , не перевищує $x/E[X]$, де $E[X]$ означає середнє значення. Наприклад, при $E[X] = 100$ мкс, ймовірність того, що затримка пакету в граничній хмарі перевищує 10 мс, становить не більше 1%, що добре підходить для широкого кола мультимедійних додатків.

Інше спостереження з рис. 3.4 – рис. 3.7 полягає в тому, що максимальна кількість зрізів eMBB і mIoT, які може підтримуватися клітиною граничної хмари, є досить обмеженою, зокрема менше 10 у більшості випадків. Ми зауважимо, що для простоти в аналізі не було враховано інший клас послуг 5G, який є наднадійним зв'язком з низькою затримкою (URLLC). Якщо врахувати URLLC, кількість таких фрагментів буде додатково обмежена. Наслідком є те, що такі сегменти служби/мережі можуть стати дефіцитним ресурсом, і для планування їх використання потрібна обережність.

Висновки

У цьому розділі розроблено модель мережі масового обслуговування для аналізу продуктивності граничних хмар 5G на основі SDN. Новим внеском цієї моделі є врахування впливу поділу даних та площини керування на трафік до комутатора та до контролера. Щоб продемонструвати застосування моделі, аналізується середня затримка пакету, що проходить через комутатор у граничній хмарі, яка підтримує дві вертикалі обслуговування 5G, eMBB і mIoT, і приймає пріоритет для планування їх трафіку. За допомогою включення реалістичних налаштувань параметрів в аналіз затримок отримують та обговорюють числові результати. Хоча для спроможності аналізу зроблені деякі припущення щодо процесів руху та обслуговування, суттєві наслідки результатів здебільшого виявляються, напр.

порядок затримки та допустимий регіон, що, на нашу думку, дає змогу отримати нове уявлення про надання QoS у периферійних хмарах 5G.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

В даному розділі викладено маркетинговий аналіз перспектив використання технології SDN для розділення рівня управління та передачі даних.

4.1. Опис ідеї проекту

Проект направлений на розділення рівня управління і передачі даних. В сучасних мережах ці функції поєднані, що робить контроль і управління дуже складним. Проект покаже, що якщо у комутаторів «перехопити» управління таблицями комутації, то можливо буде випадковим чином керувати поведінкою і швидкісними характеристиками і окремого комутатора і параметрами потоків даних, які передаються в масштабах усієї мережі 5G.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система розділення рівня управління та передачі даних, яка забезпечить керування як окремими елементами мережі так і всією мережею вцілому.	1. Відокремлення управління мережевим обладнанням за допомогою спеціального ПЗ. 2. Перейти до управління окремими екземплярами мережевого обладнання до управління мережею вцілому 3. Створити інтелектуальний програмно-керуючий інтерфейс між мережевим додатком та транспортним середовищем мережі.	За допомогою даного підходу оператори зв'язку отримають незалежність від обладнання, що забезпечує повну апаратну міжплатформеність і робить стабільне функціонування віртуальної мережі навіть за умови оновлення обладнання.

При порівнянні з конкурентами у першу чергу увага надається архітектурному підходу, що забезпечує ефективність керування як частиною обладнання так і мережею в цілому.

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Nicira Networks	BigSwitchNet works			
1	Використання опенсорс програмного забезпечення	так	ні	ні			так
2	Стабільна вартість	так	ні	ні		так	
3	Індивідуальні можливості управління мережею	ні	так	ні	так		
4	Єдина підтримка апаратної та програмної частини	так	ні	так			так

Даний проект має більш обширний функціонал. Серед сильних сторін зазначені використання опенсорс програмного забезпечення, стабільна вартість та єдина підтримка апаратної та програмної частини мережі. Слабкою стороною є нереалізовані індивідуальні можливості управління мережею.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Система розділення рівня управління та передачі даних	Протокол OpenFlow	Протокол дозволить гнучке керування трафіком, діагностику та усунення несправностей та має відсутні витрати на інкапсуляцію та роботу програмних комутаторів.	Є доступними та безкоштовними для використання
2		Інтерфейс API	Наявні програмні інтерфейси дозволять розробникам створювати додатки для управління мережею.	Є доступними та безкоштовними для використання

Обрана технологія реалізації проекту: протокол OpenFlow та API інтерфейс.

Для реалізації проекту доступні дві технології: протокол OpenFlow та API інтерфейс.

Протокол OpenFlow забезпечує взаємодію контролера з мережевими пристроями, а API інтерфейс допомагає створювати додатки для управління цією мережею.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

При дослідженні ринкових можливостей, в першу чергу проведений аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку. Дані наведені у таблиці нижче.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

о п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	3
	Загальний обсяг продаж	?
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу	Немає
	Специфічні вимоги для стандартизації, специфікації	Немає
	Середня норма рентабельності в галузі, %	?

Інтерес до SDN зростає з кожним днем: нові технології дозволять вендорам вирішувати свої проблеми, а головне – за менші кошти

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Розділення рівня управління та передачі даних	Оператори зв'язку	Оператори зв'язку зможуть самостійно розділяти та керувати рівнями управління та передачею даних за допомогою спеціального графічного інтерфейсу.	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість оптимізувати мережу для використання максимальної кількості ресурсів при залученні мінімальних затрат

Таблиця 4.6

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Відсутність зацікавленості у продукті	Успіх системи залежить від підтримки великих операторів зв'язку, адже проект потребує великих інвестицій на довготривалий термін. Що просто може бути не цікавим та не вигідним компаніям-лідерам ринку зв'язку.	Відмова у повній заміні телекомунікаційного обладнання на обладнання, необхідного для роботи SDN.

Таблиця 4.7

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Забезпечення повного управління параметрами мережі в цілому та і окремими елементами системи	За рахунок керування параметрами мережі – можливий підхід при якому мережа досягне своєї максимальної продуктивності при мінімальних затратних ресурсах.	Застосування та розробка новітнього обладнання, необхідного для роботи SDN

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: олігополія	На ринку представлені декілька компаній, що поставляють подібні послуги рішення проблеми розділення рівня управління та передачі даних.	Акцентування переваг продукту, що забезпечує використання протоколу OpenFlow та API інтерфейсу.
2. Рівень конкурентної боротьби: національний/інтернаціональний	Першим етапом є боротьба за ринок України з подальшим виходом на ринки інших країн	Маркетингова компанія в першу чергу орієнтована на захоплення місцевого ринку
3. Галузева ознака: внутрішньогалузева	Економічна боротьба з конкурентами відбувається в одній галузі економіки, пропонуються аналогічні послуги, що мають архітектурні відмінності у функціонуванні	Пропозиція суттєвих переваг у порівнянні з продуктами конкурентів у визначеній галузі економіки

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Oracle, Nicira Networks, BigSwitch Networks	Гнучкі ціни, Патент на продукт	Змінні витрати постачальників	Рівень чутливості до зміни цін	Ціна, лояльність споживачів
Висновки	Конкуренція не інтенсивна, кожен працює в окремому регіоні	Можливість входу в ринок висока. Потенційні конкуренти присутні	Постачальник може диктувати умови: ціни на послуги	Кожен клієнт з потребує індивідуального підходу для вирішення його задач	Обмежень для роботи на ринку з боку товарів заміників на даний момент не існує

В результаті проведення аналізу таблиці 4.9, можна зробити висновок, що можливість виходу на ринок з огляду на конкурентну ситуацію є високою. Для виходу на ринок товар в першу чергу повинен пропонувати унікальні характеристики, які відсутні у продуктах конкурентів.

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Динаміка галузі	Проблема розділення рівня управління та передачі даних є дуже важливою, а оператори мобільного зв'язку зацікавлені у вирішенні цієї проблеми.
2	Концепція товару і послуги	Система розділення рівня управління та передачі даних дозволяє ефективно використовувати кожен елемент мережі та безпосередньо керувати усіма параметрами.
3	Після продажне обслуговування	Підтримка щодо використання системи після її продажу

Таблиця 4.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін системи підвищення лояльності абонентів операторів мобільного зв'язку

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з власною системою						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Динаміка галузі	3							✓
2	Концепція товару і послуги	1					✓		
3	Після продажне обслуговування	2						✓	

Таблиця 4.12

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Не готові	Дуже високий	Дуже висока	Важко
2	Оператори мобільного зв'язку	Переважно готові	Дуже високий	Висока	Легко

Цільовими групами обрано державні компанії, що зацікавлені у модернізації мереж для розділення рівня управління та передачі даних.

Таблиця 4.13

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Динамічний розвиток завдяки висвітленню унікальних характеристик реалізованої технології	Зменшення витрат компанії шляхом використання більшої кількості ресурсів за менші ціни.	Незалежність від посередника, який утримує кошти за свої послуги	Стратегія лідерства по витратах

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Висока доступність	Стратегія диференціації	Використання протоколу OpenFlow та API інтерфейсу для новітнього підходу вирішення поставленої задачі.	Доступність, якість, швидкість

4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова програма - це розроблений на основі комплексних маркетингових досліджень стратегічний план-рекомендація щодо виробничо-збутової і науково-технічної діяльності фірми на певний період часу, покликаний забезпечити оптимальний варіант її майбутнього розвитку з урахуванням запитів споживачів і відповідно до висунутих цілям і стратегії.

В процесі розробки маркетингових програм враховуються множинні умови, перспективи та обмеження як в розвитку ринку, так і внутрішньофірмової розвитку, а також дію прямих і зворотних зв'язків з ринком, необхідність пристосування до мінливих запитам ринку і активного впливу на формування та розширення ринкового попиту.

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентом
1	Підвищення швидкодії мережі	Можливість, що забезпечується новітніми покращеними технологіями.	Використання новітніх технологій до рішення цієї задачі
2	Адаптивність мереж	Дозволяє розглядати кожен параметр телекомунікаційної мережі окремо	Проектування та моделювання мережі перед розгортанням
3	Вигідність	Отримання списку з вказанням у відсотках про затрати та окупність технологій	Подання інформації для більшого розуміння продукту.

Таблиця 4.16

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Товар забезпечує підвищення ефективності та швидкодії телекомунікаційної мережі
2. Товар у реальному виконанні	Властивості: доступність, надійність, зручність, релевантність, окупованість
	Продукт представляє собою програмний комплекс реалізований за допомогою протоколу OpenFlow та API інтерфейсу
	Поставляється у вигляді застосунку для всіх популярних платформ.
	Назва: OFapi – Open Flow Application Program Interface
3. Товар із підкріпленням	До продажу: відбувається інсталяція та конфігурування системи
	Після продажу: відбувається обслуговування програмного забезпечення та його доопрацювання по бажанню клієнта

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту.

Дані щодо визначення системи збуту надаються в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Власна система збуту	Проведення та розгортання програмного забезпечення на стороні компанії-клієнта	Канал нульового рівня, продаж товару відбувається безпосередньо споживачам через відділ збуту	Оптимальною системою збуту є прямий збут з каналом нульового рівня за відсутності посередників

Висновки

В даному розділі був проведений маркетинговий аналіз перспектив реалізації системи розділення рівня управління та передачі даних.

В результаті дослідження було визначено, що стартап має високу рівень ринкової цікавості та ефективності проекту. За рахунок існуючого попиту та майбутнього розвитку проекту є зацікавленість зі сторони великих операторів.

Проаналізувавши конкурентоспроможність проекту, було освідомлено, що стартап має високу конкурентну спроможність. Перспектива впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів є доволі сприятливою,

використання новітніх технологій мінімізує бар'єри входження, та збільшує стан конкуренції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Однією з найважливіших проблем майбутнього розвитку супутникового сегмента 5G можуть стати питання спільного використання радіочастотного спектру в смугах частот, що виділяються на первинній основі як супутниковому, так і наземному сегменту 5G, а також міжсистемної електромагнітної сумісності бортового обладнання та земних станцій з обладнанням базових та абонентських станцій наземного сегменту мережі.

В той же час, стандарт 5G – це не лише мережева технологія, а її потрібно розглядати як середовище для обміну інформації між пристроями за допомогою якого ми зможемо реалізувати Інтернет-Речей та машиноорієнтовані комунікації.

Переваги. У чому переваги та вигоди від застосування SDN для операторів? Можна вказати лише основні з них:

- Оперативність виведення нових послуг ринку. Замість проведення маркетингових досліджень, будувати нову апаратну платформу для нових сервісів, проводити тести, робити пілотні проекти, на що зазвичай йдуть місяці, з NFV можна «конструювати» нові послуги програмно, в дата-центрах, там же їх тестувати і швидко виводити ринку. У разі невдачі чи незатребуваності нової послуги (що іноді трапляється при прорахунках маркетингу) ціна невдачі буде мінімальною.

- Скорочення капітальних витрат. Реалізація мережевих елементів на стандартних (commodity) серверах у дата-центрах при масовому розгортанні обходитиметься значно дешевше, ніж на виділеному обладнанні.

- Скорочення операційних витрат. Обслуговування стандартних серверів у дата-центрах проводиться сертифікованим ІТ-персоналом, якому для роботи з NFV лише потрібно пройти курси підвищення кваліфікації, а не спеціалізованими інженерами з апаратних платформ операторських мереж, необхідна кваліфікація яких має бути набагато вищою, а спеціалізація – вже.

Крім того, чисельність необхідного персоналу також скорочується з тих самих причин.

- Гнучкість використання ресурсів. При невеликому трафіку викликів задіюється мінімальна кількість віртуальних машин на серверах, при зростанні трафіку автоматично підключаються нові віртуальні машини, на яких працюють VNF для емуляції функцій мережного обладнання. У разі апаратної реалізації ресурси обладнання будуть використовуватися нераціонально, оскільки ресурси завжди розраховуються на максимальний трафік у мережі, а такі ситуації трапляються лише в години максимального навантаження. Іншим часом обладнання (у разі апаратної реалізації) залишається недовантаженим.

У магістерській дисертації було розроблено модель мережі масового обслуговування для аналізу продуктивності граничних хмар 5G на основі SDN. Новим внеском цієї моделі є врахування впливу поділу даних та площини керування на трафік до комутатора та до контролера. Щоб продемонструвати застосування моделі, аналізується середня затримка пакету, що проходить через комутатор у граничній хмарі, яка підтримує дві вертикалі обслуговування 5G, eMBB і mMTC, і приймає пріоритет для планування їх трафіку. За допомогою включення реалістичних налаштувань параметрів в аналіз затримок отримують та обговорюють числові результати. Хоча для спроможності аналізу зроблені деякі припущення щодо процесів руху та обслуговування, суттєві наслідки результатів здебільшого виявляються, напр. порядок затримки та допустимий регіон, що, на нашу думку, дає змогу отримати нове уявлення про надання QoS у периферійних хмарах 5G.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis (TD 208 (PLEN/13), 2015).
2. Draft Terms and definitions for IMT-2020 in ITU-T (O-040).
3. Draft ITU-T Technical Report: Application of network softwarization to IMT2020 (O-041).
4. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 from network perspective (O-042).
5. Draft ITU-T Recommendation: Framework for IMT-2020 network architecture (O-043).
6. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 fixed mobile convergence (O-044).
7. Draft Technical Report: Unified network integrated cloud for fixed mobile convergence (O-045).
8. Draft ITU-T Recommendation: IMT-2020 network management requirements (O-046).
9. Draft ITU-T Recommendation: Network management framework for IMT2020 (O-047).
10. 3GPP TR 38 913.3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14.).
11. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С. Концептуальные аспекты создания 5G // Электросвязь. 2013. – № 10.
12. 3GPP TR 22.822.3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on using Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16).
13. <http://en.wikipedia.org/wiki/Handover>
14. <https://itechinfo.ru/content/%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0-%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8-5g>

15. A.Hakiri, P.Berthou. Leveraging SDN for The 5G Networks: Trends, Prospects and Challenges.
16. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:5G_\(%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:5G_(%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8))
17. https://habr.com/ru/company/ericsson_ru/blog/281509/
18. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:5G_\(%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8\)#.D0.A1.D1.82.D0.B0.D0.BD.D0.B4.D0.B0.D1.80.D1.82.D0.B8.D0.B7.D0.B0.D1.86.D0.B8.D1.8F_5G](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:5G_(%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8)#.D0.A1.D1.82.D0.B0.D0.BD.D0.B4.D0.B0.D1.80.D1.82.D0.B8.D0.B7.D0.B0.D1.86.D0.B8.D1.8F_5G)
19. <http://1234g.ru/novosti/sdn-nfv-resheniya-dlya-telekoma>
20. A.Chilwan, Y. Jiang. Modeling and Delay Analysis for SDN-based 5G Edge Clouds.
21. S.Singh. Multiclass Queueing Network Modeling and Traffic Flow Analysis for SDN-Enabled Mobile Core Networks With Network Slicing.
22. Rejeba, S. B.; Nasser, N.; Tabbane, S.; (2014) A novel resource allocation scheme for LTE network in the presence of mobility, Journal of Network and Computer Applications, Elsevier, 46:352-361.
23. Halabian, H.; Rengaraju, P.; Lung, C.H.; Lambadaris, I.; (2015), A reservation-based call admission control scheme and system modeling in 4G vehicular networks, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 1-12.