

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

До захисту допущено  
**В.о. завідувача кафедри**

\_\_\_\_\_ Явіся В.С.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломна робота**

на здобуття освітнього ступеня “бакалавр”  
(назва ОС)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,  
(код і назва)

на тему: Аналіз способів побудови бездротових 5G мереж на основі хмарних технологій

Виконав : студент IV курсу, групи ТМ-61  
(шифр групи)

Квятковський Дмитро Віталійович  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Старший викладач Петрова В.М.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_ Доцент к.т.н. Валуйський С.В.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент старший викладач Новіков В.І.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

( повна назва )

Кафедра телекомунікацій

( повна назва )

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Явіся В.С.

(прізвище ініціали)

(підпис)

“ ” 2020р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Квятковському Дмитру Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_

Аналіз способів побудови бездротових 5G мереж на основі хмарних технологій

керівник роботи Старший викладач Петрова Валентина Миколіївна,

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

затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924 -с

2. Термін подання студентом роботи 4 червня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: мережа 5G; бездротові мережі; мережа 5G на базі хмарних технологій;

4.Зміст роботи

Теоретичні відомості про 5G; теоретичні відомості про хмарні технології; характеристики та порівняння методів побудови мереж на основі хмарних технологій; приклади реальних систем хмарних мереж,що вже створюються і

вдосконалюються спеціально для 5G та їх аналіз (структура, властивості, можливості, тощо)

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Теоретичні відомості про 5G у вигляді схем, структури хмарних мереж у вигляді блок-схем, загальні відомості у вигляді ілюстрацій, презентація.

6. Консультанти розділів роботи\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз розвитку технологій мереж мобільного зв'язку	Доцент к.т.н. Валуйський С.В.		
Аналіз шляхів застосування хмарних технологій в мережах мобільного зв'язку	Доцент к.т.н. Валуйський С.В.		
Аналіз проблем проектування програмно-конфігурованих мереж мобільного зв'язку 5g	Доцент к.т.н. Валуйський С.В.		

7. Дата видачі завдання 24 березня 2020 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу “Аналіз розвитку технологій мереж мобільного зв'язку”	1.04.2020-13.04.2020	
2	Написання другого розділу “Аналіз шляхів застосування хмарних технологій в мережах мобільного зв'язку”	15.04.2020-27.04.2020	
3	Написання третього розділу “Аналіз проблем проектування програмно-конфігурованих мереж мобільного зв'язку 5g”	30.04.2020-12.05.2020	
4	Аналіз та детальне дослідження хмарних мереж 5G для практичної частини роботи	12.05.2020-30.05.2020	
5	Підготовка матеріалів, повне узгодження з керівником та консультантом	1.06.2020-09.06.2020	
6	Підготовка доповіді та оформлення презентації для захисту	09.06.2020-13.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ Квятковський Д.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ с.в. Петрова В.М.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

## РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи 78 с, 26 рис, 52 джерела.

**Мета роботи** – аналіз методів побудови бездротових 5G мереж на основі хмарних технологій.

В данній роботі розглядаються основні принципи побудови бездротових 5G мереж, хмарних мереж та побудова 5G мереж на основі хмарних технологій.

### **Завдання роботи:**

- 1) Розгляд та аналіз бездротових мереж 5G;
- 2) Розгляд та аналіз хмарних технологій (їх різновидів, структури, елементів та можливостей);
- 3) Аналіз можливості побудови повноцінних бездротових мереж 5G на прикладах вже існуючих теоретичних та практичних прототипів;
- 4) Підведення підсумків.

### **Новизна:**

Витрати на все зростаючий трафік по мережах операторів зв'язку станом на 2019 рік не покривається доходами від традиційних послуг. Пошук нових послуг, т. зв. “killer application” традиційних телеком-платформ зазвичай не дає очікуваних результатів. Тим часом, основне зростання трафіку і доходів відбувається не в секторі пристроїв людей, а в секторі пристроїв Інтернету речей, який є однією з базових цілей функціоналу 5G. Тому, мережі 5G можна вважати однією з необхідних складових частин цифрової трансформації і цифрової економіки.

**Структура роботи:** Робота складається з із реферату, Abstract, змісту переліку скорочень, вступу 4-х розділів (розділи 1-3 теоретичних розгляд, 4-й розділ аналіз реалізації мереж 5G на основі хмарних технологій)

**Ключові слова:** 5G; хмарні технології; 5G мережі; бездротові мережі.

## ABSTRACT

The diplomawork consists: 78 pages, 26 figures, 52 sources.

The purpose of this work is to analyze methods for building wireless 5G networks based on cloud technologies.

This paper discusses the basic principles of building wireless 5G networks, cloud networks, and building 5G networks based on cloud technologies.

### **Work tasks:**

- 1) Review and analysis of 5g wireless networks;
- 2) Review and analysis of cloud technologies (their varieties, structure, elements and capabilities);
- 3) Analysis of the possibility of building full-fledged 5g wireless networks using examples of existing theoretical and practical prototypes;
- 4) Summing up.

### **Novelty:**

As of 2019, revenues from traditional services do not cover the cost of ever-increasing traffic across Telecom operators ' networks. The search for new services, i.e. "killer application" of traditional Telecom platforms usually does not give the expected results. Meanwhile, the main growth in traffic and revenue is not in the sector of people's devices, but in the sector of Internet of things devices, which is one of the basic goals of 5G functionality. Therefore, 5G networks can be considered one of the necessary components of digital transformation and the digital economy.

**Structure of the work:** the Work consists of an abstract, abstract, content, list of abbreviations, introduction of 4 sections (sections 1-3 of the theoretical review, section 4 analysis of the implementation of 5g networks based on cloud technologies)

**Keywords:** 5G; cloud technologies; 5G networks; wireless networks.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ .....	12
1.1 БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ 5G .....	14
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....	17
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ .....	18
2.1 ВІРТУАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОГО ФОНДУ (NFV).....	18
2.2 ХМАРНІ МЕРЕЖІ РАДІО ДОСТУПУ .....	22
2.3 МОБІЛЬНА ХМАРНА МЕРЕЖА .....	24
2.4 ХМАРНІ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ РОБОТИ В МЕРЕЖІ .....	26
2.4.1 OpenNebule .....	26
2.4.2 OpenStack .....	30
2.4.3 OpenDayLight.....	33
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 .....	34
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G.....	36
3.1 КЕШУВАННЯ.....	36
3.2 МЕРЕЖА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ МОБІЛЬНОГО КОНТЕНТУ .....	37
3.3 АРХІТЕКТУРА SDN .....	39
3.3.1 Критичні методи для рівня даних .....	42
3.3.2 Методи для контрольного шару .....	44
3.3.4 Застосування на основі SDN.....	52

3.4 МЕРЕЖЕВА ВЗАЄМОДІЯ ЯК ПОСЛУГА .....	55
3.4.1 Створення сегмента віртуальної мережі.....	56
3.4.2 Переваги NaaS.....	57
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	57
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ПРОЕКТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	
5G .....	58
4.1 METIS.....	58
4.2 СТІЛЬНИКОВІ МЕРЕЖІ MULTI-HOP .....	63
4.3 T-NOVA .....	64
4.4 iJOIN.....	66
4.5 NUAGE.....	67
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 .....	69
ВИСНОВКИ.....	70
Перелік використаних джерел: .....	73

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

3GPP	3rd Generation Partnership Project	Проект партнерства третього покоління
4G	The fourth generation mobile cellular communication system	Система мобільного стільникового зв'язку четвертого покоління
5G	The fifth-generation mobile communication	Мобільний зв'язок п'ятого покоління
AMQP	Advanced Message Queue Protocol	Протокол розширеної черги повідомлень
Amazon EC2	Amazon Elastic Compute Cloud	еластична обчислювальна хмара Amazon
API	Application Programming Interface	Інтерфейс прикладного програмування
BBU	Bandwidth Based Unit	Блок на основі смуги пропускання (широкосмуговий модуль)
BSS	Business Support Systems	Системи підтримки підприємств (бізнесу)
CC	Cloud Controller	Контроллер хмарних обчислень
CDMA	Code division multiple access	Кодовий поділ багаторазового доступу
CDN	Content delivery network	Мережа доставки вмісту
CDPI	Control-data-plane interface	Інтерфейс панелі керування та площини даних
Cloud-RAN	Cloud Radio Access Networks	Хмарні мережі радіодоступу
COTS	Commercial off-the-shelf	Комерційний готовий до продажу
D2D	Device-to-device	Пристрій до пристрою
DC	Data center	Дата-центр (центр обробки даних)
DG CONNECT	Directorate General for Communications Networks, Content & Technology	Генеральний директорат з комунікаційних мереж, змісту та Технологій
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Протокол динамічної конфігурації хоста
EMS	Element management system	Система управління елементами
eNobe B	Evolved Node B	Розвинений вузол B
EPC	Evolved Packet Core	Розвинене пакетне ядро
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	Європейський інститут телекомунікаційних стандартів
FDMA	Frequency division multiple access	Багаторазовий доступ з частотним поділом
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Вузол підтримки шлюзу GPRS



GPU	Graphics Processing Unit	Графічний процесор
ICT	Information and Communication Technology	Інформаційні та комунікаційні технології
IFA	Interfaces and Architecture	Інтерфейси та архітектура
IGP	Interior Gateway Protocol	Протокол внутрішнього шлюзу
IoT	Internet of Things	Інтернет речей
IP	Internet Protocol	Інтернет-протокол
KVM	Kernel-Based Virtual Machine	віртуальна машина на базі ядра
LGW	Local Gateway	Локальний шлюз
LTE	Long term evolution	Довгостроковий розвиток
MAC	Media Access Control	Контроль доступу до медіа
MANO	Management & orchestration	Управління та упорядкування
MCDN	Mobile Content Distribution Network	Мережа розповсюдження мобільного контенту
MCN	Multi-hop Cellular Networks	Стільникові мережі Multi-hop
MCN	Mobile cloud networking	Мобільні хмарні мережі
METIS	Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society	Мобільні та бездротові засоби зв'язку можливості для інформаційного суспільства 2020 року
MIMO	Multiple-input multiple-output	Множинний вихід з декількома входами
MMC	Massive machine communication	Масивний машинний зв'язок
MME	Mobility Management Entity	Управління мобільністю
MN	Moving network	Переміщення мережі
NaaS	Networking as a Service	Мережа як послуга
NBI	Northbound interface	північний інтерфейс
<p>Північний інтерфейс (англ. Northbound interface, скор. NBI) - в програмуванні це програмний інтерфейс, за допомогою якого додаток представляє низькорівневі деталі вищестоящому в архітектурі системи додатком.</p>		
NFaaS	Network Functions as-a-Service	Мережеві функції як послуга
NFV	Network Foundation Virtualization	Мережева Основа Віртуалізація
NFVI	NFV infrastructure	Інфраструктура NFV
NIB	Network information base	Інформаційна база мережі
NMS	Network management system	Система управління мережею
NP	Network processor	Мережевий процесор
NUAGE	Nuage Virtualized Services Platform	Платформа віртуальних сервісів Nuage
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing	мультиплексування ортогонального частотного поділу

ONF	Open Networking Foundation	Фонд відкритих мереж
OSGi	Open Services Gateway initiative	Ініціатива Open Services Gateway
OSS	Operation support system	Система підтримки операцій
PGW	Packet Data Network Gateway	Мережевий шлюз пакетної передачі даних
QoS	Quality of Service	Якість обслуговування
RAN	Radio access networks	Мережі радіодоступу
RANaaS	RAN-as-a-Service	Ran-сервіси
REL	Reliability	Надійність
REST	Representational State Transfer	Представницький Державний трансферт
RRU	Remote Radio Unit	Дистанційний радіоблок
SCN	Single-hop Cellular Networks	Стільникові мережі Single-hop
SDN	Software defined network	Мережа, що визначається програмним забезпеченням
SGSN	Serving GPRS Support Node	Сервісний вузол підтримки GPRS
SGW	Serving Gateway	Обслуговуючий шлюз
SM	Service Manager	Менеджер по обслуговуванню
SO	Service Orchestrator	Сервісне упорядкування
T-NOVA	Network function as-a-service over virtualized infrastructures	Мережева функція як послуга через віртуалізовані інфраструктури
TDMA	Time division multiple access	Множинний доступ з поділом за часом
UDN	Ultra dense networking	Надщільна мережа
UX	User Experience	Користувальницький досвід
Користувальницький досвід (UX) – користувальницький досвід, одержуваний в ході взаємодії з інтерфейсом сайту, сервісу, продукту або послуги.		
VLAN	Virtual local area network	Віртуальна локальна мережа
VM	Virtual machine	Віртуальна машина
VNF	Virtual Network Function	Віртуальна Мережева функція
VNF-FG	VNF Forwarding Graph	Графік переадресації VNF
VNFC	VNF Component	VNF-компонент
VNFL	VNF Link	посилання VNF
VNS	Virtualized network services	Віртуальні мережеві послуги
VPN	Virtual private network	Віртуальна приватна мережа
VXLAN	Virtual Extensible LAN	Віртуальна розширювана локальна мережа
WLAN	Wireless local area network	Бездротова локальна мережа

## ВСТУП

Сьогодні телекомунікаційна галузь у всьому світі стоїть на порозі впровадження нового, п'ятого покоління мобільного зв'язку. Подібно своїм попередникам, 5G дасть 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 за рахунок збільшення продуктивності, автоматизації та впровадження нових технологій у різних сферах економіки та діяльності людини.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

За останні 40 років змінилося чотири покоління мобільних технологій, кожне з яких дуже сильно вплинуло не лише на весь телекомунікаційний ринок (бо з'явилися нові послуги зв'язку, види обладнання та бізнес-моделі), а й на всі аспекти життя людей в цілому, якщо дивитись з точки зору роботи, соціальної сфери або економіки. Розвиток мобільного зв'язку обернувся справжньою технологічною революцією, яка дозволила передавати дані з вкрай низькою затримкою сигналу (до 2 мс в останніх версіях стандартів LTE), величезною швидкістю (до 3-6Гбіт/С), а також підтримувати просунуті сервіси бездротових комунікацій.

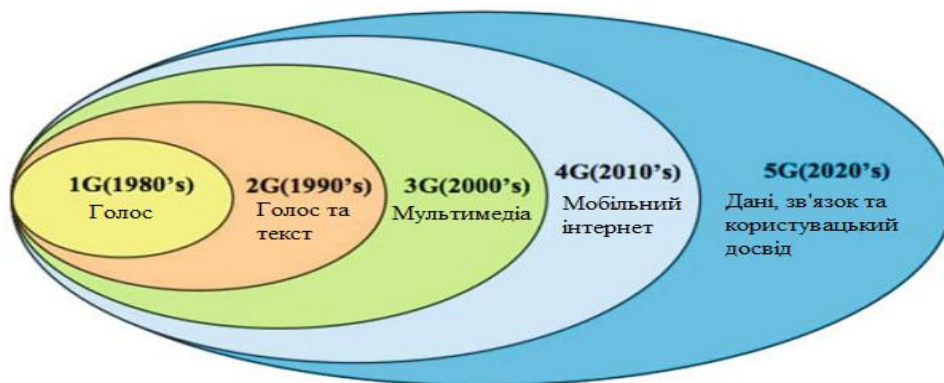


Рис. 1.1 Розвиток сервісу від 1G до 5G

Як показано на рис. 1.1, мобільний зв'язок розвивався від першого покоління систем мобільного зв'язку (1G) до четвертого покоління система мобільного зв'язку (4g), при цьому розвиток кожного покоління має свій потенціал і репрезентативну технологію, таку як аналоговий стільниковий зв'язок технологія 1G; множинний доступ з тимчасовим поділом (TDMA), багаторазовий доступ з частотним поділом (FDMA), а також інші цифрові технології стільникового зв'язку з підтримкою голосу зв'язок для 2G; код поділу множинного доступу (CDMA), що підтримує дані і мультимедійні послуги для

3G; ортогональне мультиплексування з частотним поділом (OFDM) і мультиплексування з декількома входами (MIMO), що підтримують широкосмугову передачу даних і мобільні мережі для 4G. З точки зору споживачів початкові бездротові мережі 1G і 2G забезпечували користувачів базовими комунікаційними можливостями, в той час як 3G і 4G бездротові мережі забезпечують користувачів з великою кількістю мобільних послуг і більш високим рівнем роботи в широкосмуговій мережі. У майбутньому очікується, що бездротові мережі 5G значно поліпшать користувальницький досвід (UX) і створять нову орієнтовану на користувача модель обслуговування, що дозволяє користувачам вільно користуватися послугами мобільних мереж [2]. Тим не менш, дослідження 5g все ще знаходяться на початковій стадії, хоча деякі з них документів визначають технічні характеристики 5G [1, 7, 9].

Наприклад, на рис. 1.2 показано перевагу 5G в продуктивності в порівнянні з 4G і 4.5 G. Крім того, деякі дослідники обговорюють, як побудувати мережу 5G з різних точок зору, таких як повітряний Інтерфейс [3], міліметрова хвиля [5, 8] і споживання енергії [6], більшість з них фокусуються на технічних деталях без всебічного і системного розгляду. Можна передбачити, що 5g включатиме різні методи та безліч функцій і не може бути визначений репрезентативною службою або технологією. З огляду на майбутню тенденцію розвитку комп'ютерних, мережевих і комунікаційних технологій, 5G буде являти собою віртуалізовану, екологічну "зелену" систему мобільного зв'язку, що забезпечує хмарну інфраструктуру бездротової мережі.

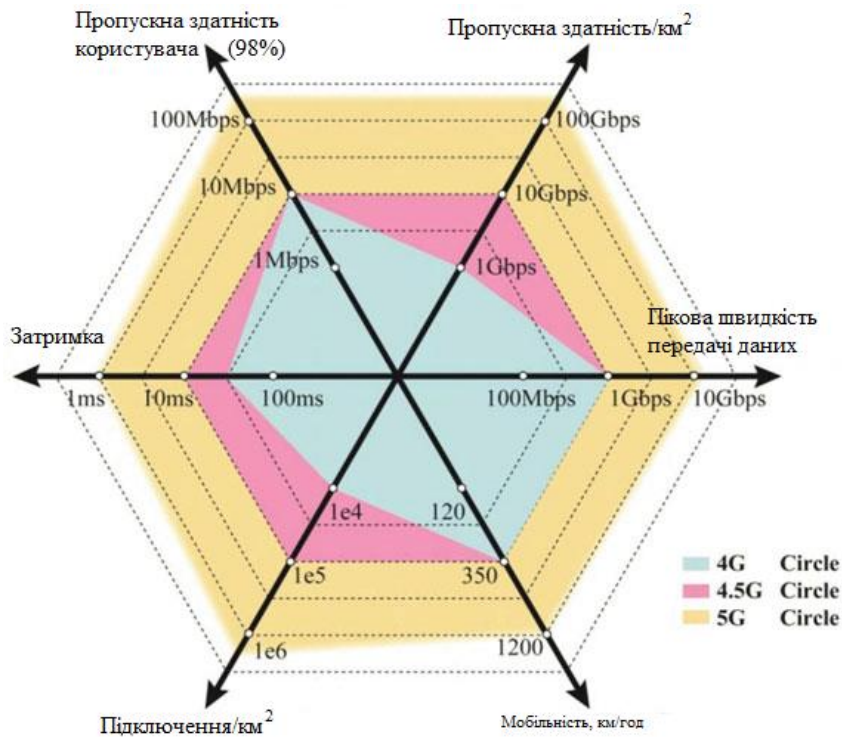


Рис. 1.2 Порівняння продуктивності між 4G, 4.5 G і 5G

## 1.1 БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ 5G

5g поступово стає новою точкою тяжіння наукових кіл і промисловості [4]. Очікується, що 5G стане провідною технологією мобільного зв'язку після 2020 року для задоволення інформаційних потреб людського суспільства шляхом бездротового з'єднання всього світу без бар'єрів [10]. Зі збільшенням пропускної здатності бездротових систем мобільного зв'язку та швидким розвитком додатків мобільних мереж IoT та мобільних бездротових мереж для особистого користування та бізнесу будуть розвиватися з фундаментальними екологічними змінами.

Незважаючи на те, що 5g був запропонований з базовою ідеєю і прототипом, він відповідає наступним вимогам та ряду ключових технічних проблем і величезних перешкод. Зокрема, існує протиріччя між зростаючим попитом на бездротовий зв'язок і все більш складним гетерогенним мережевим

середовищем, що призводить до збільшення споживання ресурсів та енергії для підвищення пропускної здатності мережі. Тому основна вимога – це розвиток стійкої, ресурсооптимізованої та енергетичної системи ефективна "зеленої" (екологічної) комунікаційної технології і мережевої інфраструктури. Як показано на Рис. 1.3, ефективне зниження споживання ресурсів та енергії, покращення ресурсозбереження та енергоефективність відповідно до екологічних принципів, а також переглянуто проектування майбутніх бездротових мереж зв'язку. Тому 5g є значущим дослідженням та інновацією, а розвиток технології 5G-це єдиний шлях для еволюція бездротових мереж.



Рис. 1.3 Розвиток екологічно безпечних комунікацій для 5G до 2020 року

Теорія пропускної здатності каналу Шеннона передбачає, що існує лінійна залежність між пропускними здатностями, в той час як зв'язок між пропускною здатністю і потужністю є логарифмічною залежністю. Фундаментальна теорема розкриває існування компромісу між необхідною потужністю і спектральною смугою пропускання, а це означає, що можна зменшити споживання енергії за рахунок збільшення ефективної смуги пропускання в рамках обмеженої потужності, і навпаки. Було доведено, що якщо мобільні оператори можуть використовувати нову технологію бездротового доступу для динамічного управління своїм ліцензованим спектром і повною мірою використовувати наявні ресурси спектра для підвищення ефективності використання, то система може заощадити близько 50% споживаної енергії.

Крім того, з поліпшенням пропускної здатності бездротових мереж швидко розвиваються мобільні додатки для окремих осіб і галузей промисловості, і поступово буде розвиватися промислова екологія, пов'язана з мобільним зв'язком. 5G-це вже не просто технологія повітряного інтерфейсу з більш високою швидкістю, більшою пропускною здатністю, більшою ємністю, але й інтелектуальна мережа для бізнес-додатків і користувацького досвіду. Зокрема, 5G повинна досягти наступних цілей:

- **Достатність:** залежність користувача від мобільних додатків вимагає, щоб бездротові мобільні мережі наступного покоління забезпечували користувачам достатню швидкість і ємність.
- **Зручність:** повсюдне покриття та стабільна якість є основними вимогами до систем зв'язку. Майбутні системи мобільного зв'язку повинні включати в себе різні підходи, щоб забезпечити користувачам повсюдне покриття і надійну якість зв'язку. Бездротові мережі 5G, як очікується, забезпечать підключення послуг і передачі інформації з непомітною затримкою.
- **Доступність:** хоча 5G включає в себе різноманітні складні технології, з точки зору користувача, це простий і зручний підхід, що включає в себе:
  - технологія доступу прозора для користувачів, у той час як перемикання пристроїв у мережі відбувається плавно і безперебійно;
  - з'єднання між кількома бездротовими пристроями зручне і сумісне;
  - мобільні термінали являються портативними, особливо переносні пристрої;
  - інтерфейс до різних додатків і сервісів уніфіковані.
  - Економіка: це в основному відображено в двох аспектах:
    - мережевий трафік продовжує зростати, тариф на Біт значно знижується і так буде і надалі;
    - інвестиції в інфраструктуру скорочуються, в той час як використання мережевих ресурсів поліпшується за рахунок динамічного розподілу в порядку до поліпшення QoS.



- **Персональність:** комунікація в майбутньому орієнтована на користувача системи, тому сервіс доступний користувачам для їх індивідуальних налаштувань під свої уподобання. Відповідно до уподобань користувача, мережею і фізичним середовищем провайдери можуть забезпечити оптимальний доступ до мережі і персоналізовані рекомендації.

## ВИСНОВОКИ ДО РОЗДІЛУ 1

В останні роки відбувається зближення інформаційно-комунікаційних та обчислювальних технологій, а також успішно впроваджуються різні технології бездротового доступу. Можна передбачити, що технологія мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) більше не може визначатися єдиною бізнес-моделлю або репрезентативною технічною характеристикою. 5g - це мультисервісна і мультитехнологічна інтегрована мережа, що відповідатиме майбутнім потребам широкого спектру великих даних і швидкому розвитку численних підприємств, а також поліпшуватиме користувацький досвід шляхом надання інтелектуальних і персоналізованих послуг.

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

### 2.1 ВІРТУАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОГО ФОНДУ (NFV)

Network Foundation Virtualization (NFV), якщо говорити простими словами, використовується для перенесення телекомунікаційного обладнання зі спеціалізованої платформи на універсальні комерційні готові сервери на базі x86 (COTS). За допомогою NFV всі мережеві елементи перетворюються в незалежні програми, які можуть бути гнучко розгорнуті на єдиній платформі, заснованій на стандартному механізмі сервера, сховища та обміну даними. Як показано на рис.2.1, при наявності незв'язаного програмного і апаратного забезпечення, можливості кожної програми можуть бути швидко розширені за рахунок збільшення віртуальних ресурсів, і навпаки, що значно підвищило еластичність мережі.



Рис. 2.1 Бачення NFV

Технологічна основа NFV-це хмарні обчислення і технології віртуалізації в індустрії інформаційних технологій (ІТ). За допомогою методів віртуалізації, ресурси обчислень, зберігання даних і мереж, можуть бути розкладені на різні віртуальні ресурси для використання верхніх областей використання (upper applications). У той же час додатки і апаратне забезпечення розділені за допомогою методів віртуалізації, а швидкість подачі ресурсів скоротилася з декількох днів до декількох хвилин. За допомогою технології хмарних обчислень досягається значне розширення і скорочення числа додатків, що сприяють зіставленню ресурсів і бізнес-навантаження, що не тільки підвищує коефіцієнт використання ресурсів, але і забезпечує швидкість відгуку системи. Зокрема, розгортання NFV дає наступні переваги:

- Скорочуються витрати на закупівлю, експлуатацію та технічне обслуговування, а також енергоспоживання операторів;
- Розгортання підприємств прискорюється, в той час як інноваційний цикл скорочується. Зокрема, підвищується ефективність тестування та інтеграції, вартість знижується, а звичайне апаратне розгортання замінюється на швидку установку програмного забезпечення;
- Мережеві програми підтримують різні версії і розраховані на багато користувачів додатка, щоб дозволити різним додаткам, користувачам, орендарям спільно використовувати єдину платформу, так як мережа можлива в спільному використанні;
- Доступно персоналізоване обслуговування різних фізичних доменів і груп користувачів, а сервісні модулі можуть бути швидко розширені;
- Мережа відкрита, і бізнес-інновації здатні викликати нову потенційну точку збільшення прибутку мережа відкрита, а інновації у сфері здатні викликати ріст прибутку.

Відповідно архітектури показаної на рис. 2.2, по вертикалі мережа складається з наступних трьох шарів: інфраструктура NFV (NFVI), віртуальні мережеві функції (VNFs) і системи підтримки експлуатації та бізнесу. (OSS&BSS).

- NFVI - це сукупність ресурсів, з точки зору хмарних обчислень. Відображення NFVI на фізичних інфраструктурах - це деякі географічно розподілені центри обробки даних, з'єднані високошвидкісною мережею зв'язку.

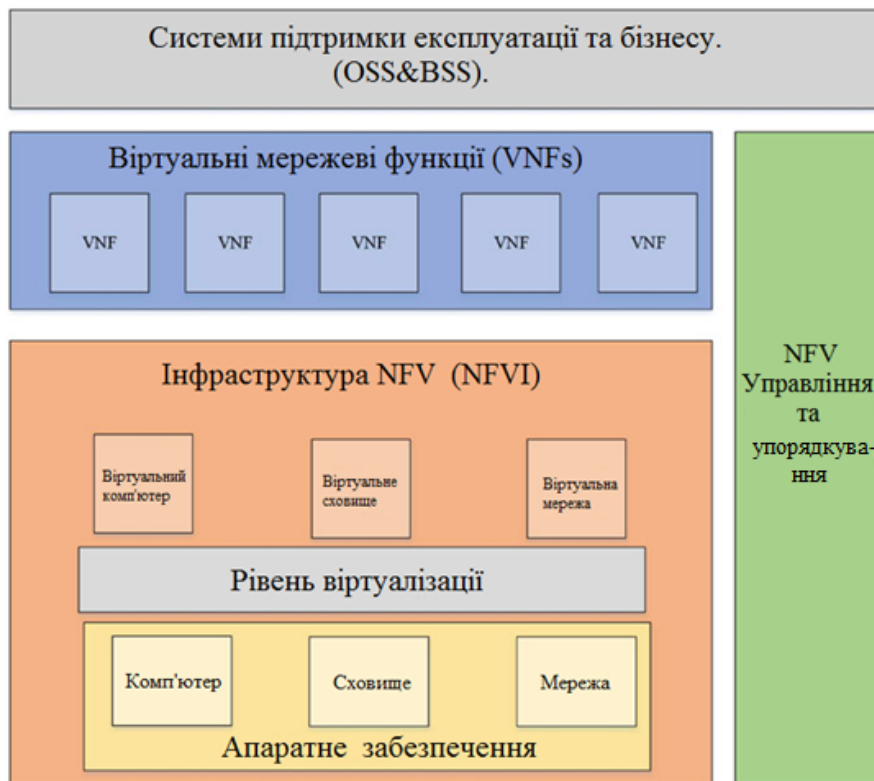


Рис. 2.2 Архітектура NFV

- VNFs відповідають різним мережам телекомунікаційних послуг. Кожен фізичний мережевий елемент зіставляється з VNF. Необхідні ресурси потрапляють у віртуальні обчислювальні ресурси/сховища/exchange, розміщені в NFVI. Інтерфейси, прийняті NFVI, все ще є сигнальними інтерфейсами, визначеними традиційною мережею. Крім того, він все ще приймає мережевий елемент, систему управління елементами і систему мережевого управління (NE-EMS-NMS) в якості своєї системи управління сервісною мережею.
- OSS&BSS - це рівень підтримки операцій, що вимагає внесення необхідних змін і коригувань для своєї віртуалізації.

Також NFV включає в себе мережу служб і управління і упорядкування:

- Мережа послуг-це мережі телекомунікаційних послуг.
- Управління та упорядкування є найбільш суттєвою різницею між NFV та традиційною мережею, що називається MANO. MANO відповідає за управління та упорядкування спільних ресурсів NFVI, бізнес-мережі та картографування та об'єднання ресурсів NFVI, а також за впровадження бізнес-ресурсний процесу OSS.

Відповідно до технологічного принципу NFV, ділова мережа може бути розділена на набір VNF і VNF Link (VNFL), представлений як VNF Forwarding Graph (VNF-FG). Кожен VNF складається з декількох компонентів VNF (VNFC) і схеми внутрішнього з'єднання, і кожен VNFC відображається на віртуальну машину (VM). Кожен VNFL відповідає Інтернет-протоколу (IP) з'єднання, яке потребує ресурсів, таких як потік, якість обслуговування (QoS), маршрутизація та інші параметри. Таким чином, мережа сервісів може робити спадні рішення для отримання розподілених ресурсів через MANO. Відповідні ресурси VM та інші ресурси виділяються NFVI. Крім того, відповідні ресурси VNFL повинні взаємодіяти з системою управління мережею на пред'явника, а також виділятися мережею IP на пред'явника. Наприклад, на рис. 2.3 показана мережа служб, що розгортають NFV.

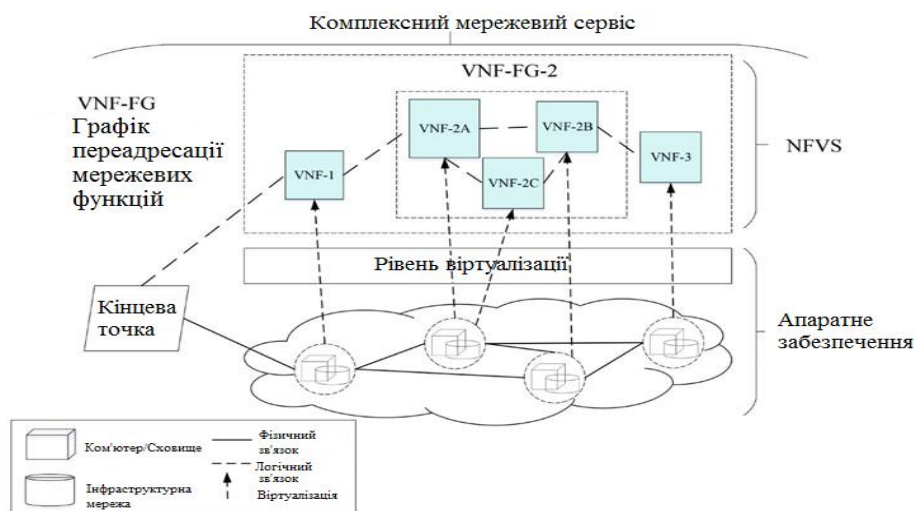


Рис. 2.3 Розгортання мережі служб NFV

## 2.2 ХМАРНІ МЕРЕЖІ РАДІО ДОСТУПУ

Хмарні мережі радіодоступу (Cloud-RAN) - це новий тип архітектури бездротової мережі. C-RAN базується на централізованій обробці, спільному радіо та хмарній інфраструктурі реального часу. Його суть полягає в скороченні числа базових станцій і зниженні енергоспоживання, впровадженні технології спільної роботи і віртуалізації для реалізації спільного використання ресурсів і динамічного планування, підвищенні ефективності спектра і досягненні низької вартості, високої пропускної здатності і гнучкої роботи. Загальна мета C-RAN полягає у вирішенні різних проблем, пов'язаних з швидким розвитком мобільних мереж, таких як споживання енергії, витрати на будівництво, експлуатацію та технічне обслуговування, а також ресурси спектра., переслідуючи стійкий бізнес і зростання прибутку в майбутньому [12].

Як показано на рис. 2.4, Архітектура C-RAN в основному складається з наступних трьох компонентів:

- Розподілена мережа, що складається з віддаленого радіоблоку (RAU) і антени.
- Оптична мережа передачі з високою пропускною здатністю і низькою затримкою, яка з'єднує RRU і Bandwidth-Based Unit (BBU).
- Централізований базовий пул обробки смуги пропускання, що складається з високопродуктивного загального процесора і віртуальної технології реального часу.

Архітектура C-RAN включає в себе наступні переваги:

- Централізований підхід може значно скоротити число базових станцій і енергоспоживання систем кондиціонування повітря.
- Завдяки високій щільності RRU, відстань від RRU до користувачів скорочується для зниження потужності емісії, не впливаючи на загальне покриття мережі.

- Низька потужність передачі означає, що термін служби батареї терміналу буде довше, а енергоспоживання бездротових мереж доступу буде знижено.

На відміну від традиційної розподіленої базової станції, C-RAN розриває фіксоване з'єднання між RRU і BBU, що кожен RRU не належить ніякому BBU. Відправка і прийом сигналів в RRU здійснюється у віртуальному BBU, в той час як пропускна здатність віртуальної базової станції підтримується призначеними процесорами в пулі віртуальних каналів розподілу в реальному часі.

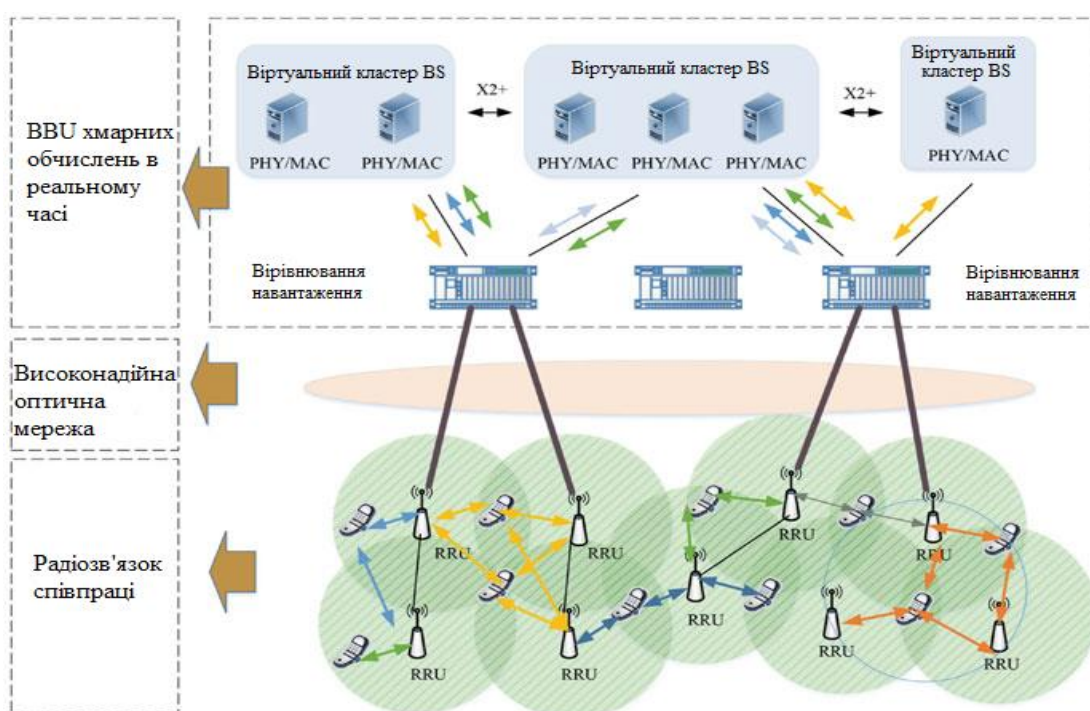


Рис.2.4 Архітектура C-RAN

В архітектурі C-RAN ділянки BBU можуть бути зменшені на один-два порядки величини. Централізований басейн базових діапазонів і пов'язане з ним допоміжне обладнання може бути розміщене в якомусь ключовому центральному машинному відділенні для простоти управління. Хоча кількість RRU в C-RAN не зменшується, завдяки невеликим розмірам і низькому енергоспоживанню цих пристроїв, вони можуть бути легко розгорнуті в обмеженому просторі з системою електроживлення і без частого технічного

обслуговування. В результаті цього можна прискорити швидкість побудови оперативної мережі.

### 2.3 МОБІЛЬНА ХМАРНА МЕРЕЖА

Мобільна хмарна мережа (MCN)-це великомасштабний комплексний проект, що фінансується Європейською комісією EP7, спрямований на впровадження хмарних обчислень і віртуалізації мережевих функцій для досягнення віртуальної стільникової мережі. Це повністю хмарна платформа для мобільного зв'язку та додатків, її метою є дослідження, впровадження та оцінка технологічної бази системи мобільного зв'язку LTE. Ця система мобільного зв'язку забезпечує атомарний рівень обслуговування на основі мобільної мережі та децентралізованих обчислень та інтелектуального зберігання даних, щоб підтримувати атомарні послуги та гнучку оплату.

Як показано на рис. 2.5, очікується, що MCN:

- Передбачається, що MCN забезпечить базову мережеву інфраструктуру і платформне програмне забезпечення в якості послуги для вирішення проблем втрати ресурсів, з якими стикається негнучка традиційна мережа, а також підтримку оплати на вимогу, самообслуговування, гнучкого споживання, віддаленого доступу та інших послуг.
- Структура хмарних обчислень не здатна підтримувати інтеграцію з мобільною екосистемою. Тому MCN намагається розширити концепцію хмарних обчислень від центру обробки даних до користувачів мобільних терміналів. Зокрема, розробляється новий рівень віртуалізації та система моніторингу, нова мобільна платформа для майбутніх мобільних сервісів і додатків, що підтримують хмару, а також надаються наскрізні послуги MCN.

MCN фокусується на двох основних принципах:



- Сервіс хмарних обчислень повинен ілюструвати сукупність ресурсів,
- Архітектура орієнтована на обслуговування. Робота MCN в основному складається з наступних компонентів: інфраструктура хмарних обчислень, бездротова хмара, хмара мобільної базової мережі та послуги мобільної платформи.

Архітектура MCN є сервіс-орієнтованою, послуги, що надаються MCN, виробляються з ресурсів, які можуть бути як фізичними, так і віртуалізованими. Послуга MCN підрозділяється на два види: послуга на атомарном рівні і складова послуга.

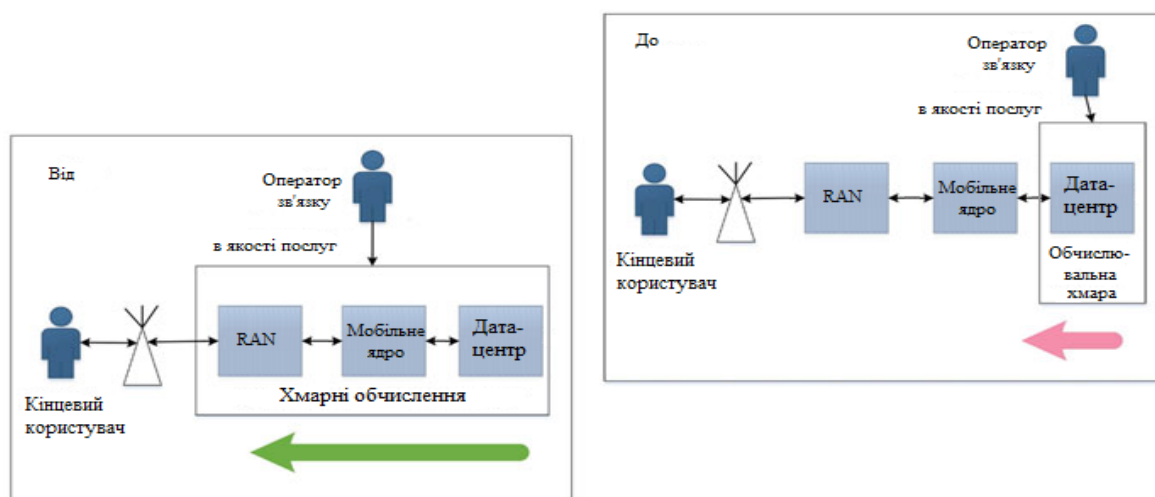


Рис.2.5 Завдання MCN

На малюнку 2.6 показані наступні найважливіші об'єкти і зв'язки в MCN архітектурі:

- Service Manager (SM): надає орієнтований на користувача візуальний зовнішній інтерфейс і підтримує багатокористувацькі послуги.
- Сервісне упорядкування(SO): надає фактичні послуги.
- Хмарний контроллер (CC): підтримує розгортання та налаштування SO.

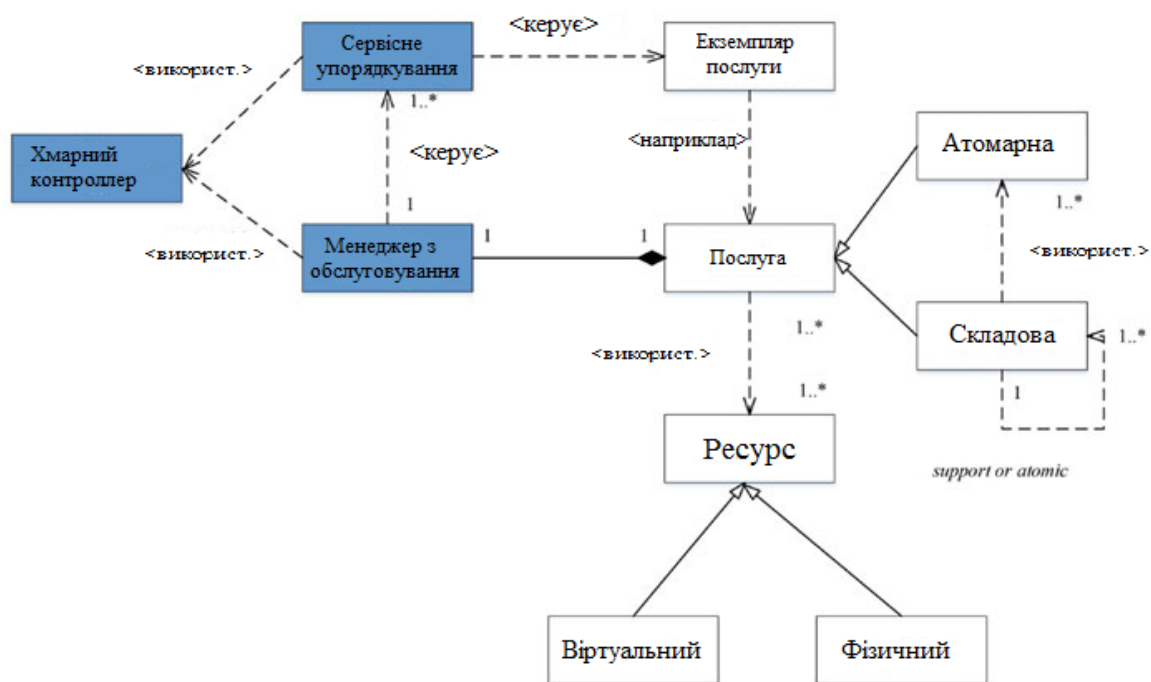


Рис. 2.6 Найважливіші сутності і відносини в архітектурі MCN

## 2.4 ХМАРНІ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ РОБОТИ В МЕРЕЖІ

### 2.4.1 OpenNebule

OpenNebula-це набір інструментів з відкритим вихідним кодом для хмарних обчислень і його загальна архітектура, як показано на рис.2.7. Він підтримує створення та управління приватною хмарою за допомогою реалізації Xen [11], віртуальної машини на основі ядра (KVM) [13] або VMware ESX [14], а також надає адаптер Deltacloud2 спільно з Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) [18] для управління гібридною хмарою.

OpenNebula надає підприємствам наступні можливості для реалізації приватної/гібридної/публічної хмари:

- Високонадійні багатокористувацькі операції;
- Підготовка і моніторинг обчислювальних, запам'ятовуючих і мережевих ресурсів на вимогу;

- Висока доступність;
- Оптимізація розподілених ресурсів для забезпечення кращої продуктивності робочого навантаження;
- Централізоване управління в декількох регіонах і доступні інтерфейси;
- Висока масштабованість.

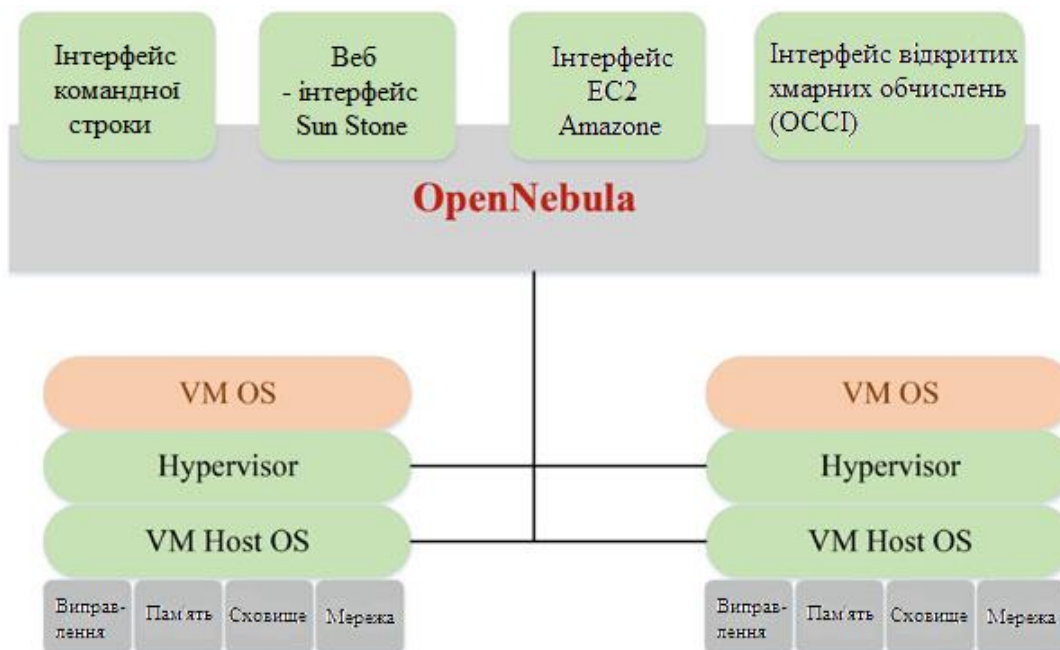


Рис. 2.7 Архітектура OpenNebula

Як показано на рис.2.8, приватна хмара прагне надати локальним користувачам і адміністраторам гнучку і приватну інфраструктуру для запуску віртуальних служб в керованому домені. Віртуальна інфраструктура OpenNebula надає прикладні програмні інтерфейси (API) віртуалізації, мережі, конфігурації образів і фізичних ресурсів, управління, моніторингу та обліку. Приватна хмара OpenNebula надає користувачам швидку доставку та масштабовану інфраструктурну платформу для задоволення динамічних потреб. Служби розміщуються на віртуальній машині, а потім передаються, контролюються і

управляються через операційний центр OpenNebula або інтерфейси OpenNebula в хмарі.

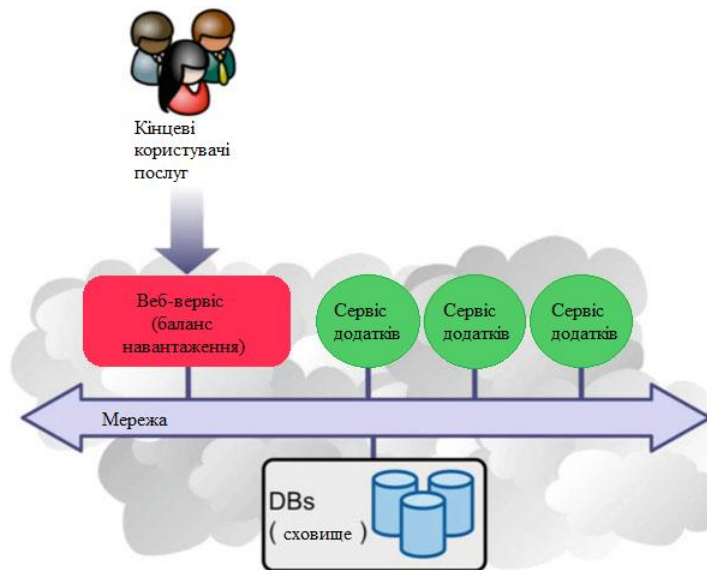


Рис. 2.8 Приватна хмара OpenNebula

Як показано на рис. 2.9, OpenNebula надає Адаптер Deltacloud і Amazon EC2 для управління гібридною хмарою. Публічна хмара OpenNebula-це розширення приватної хмари для надання інтерфейсу передачі репрезентативних станів (REST). Якщо ви надаєте своїм партнерам/зовнішнім користувачам доступ до вашої інфраструктури або продавати ваші послуги, хмарний інтерфейс повинен бути доданий в ваше приватну або гібридну хмару.

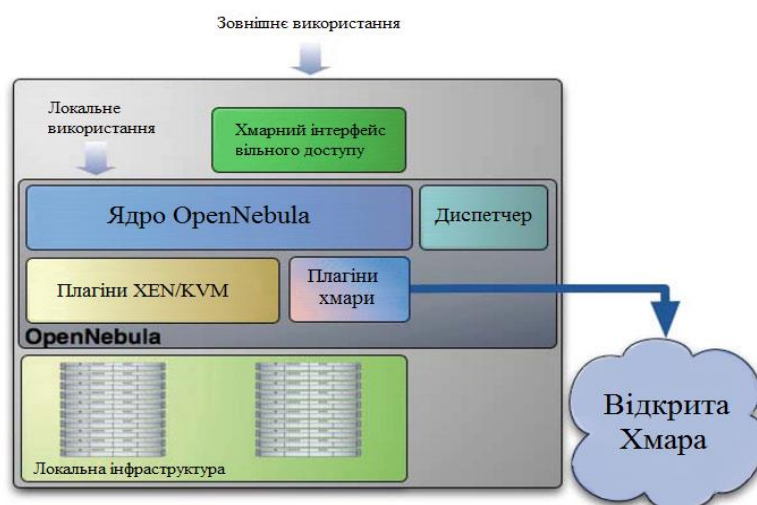


Рис. 2.9 Гібридна хмара OpenNebula

Як показано на рис. 2.10 фреймворк OpenNebula складається з трьох шарів: шар драйверів, основний шар і шар інструментів. Рівень драйверів безпосередньо взаємодіє з операційною системою для створення, запуску, виключення віртуальних машин, виділення сховища для віртуальних машин, моніторингу стану фізичних і віртуальних машин. Основний рівень керує віртуальними машинами, пристроями зберігання та віртуальними мережами. Рівень інструментів надає користувачам API і командний рядок або браузер в якості користувацького інтерфейсу.

OpenNebula використовує спільні пристрої зберігання даних для надання образів віртуальних машин, щоб кожен обчислювальний вузол міг отримати доступ до одного і того ж ресурсу образів віртуальної машини. Якщо користувачам необхідно запустити або вимкнути віртуальну машину, OpenNebula увійде в обчислювальний вузол для безпосереднього виконання відповідних команд управління віртуалізацією. Ця модель також відома як безагентна [16], щоб виключити необхідність установки додаткового програмного забезпечення (або сервісу) на обчислювальні вузли.

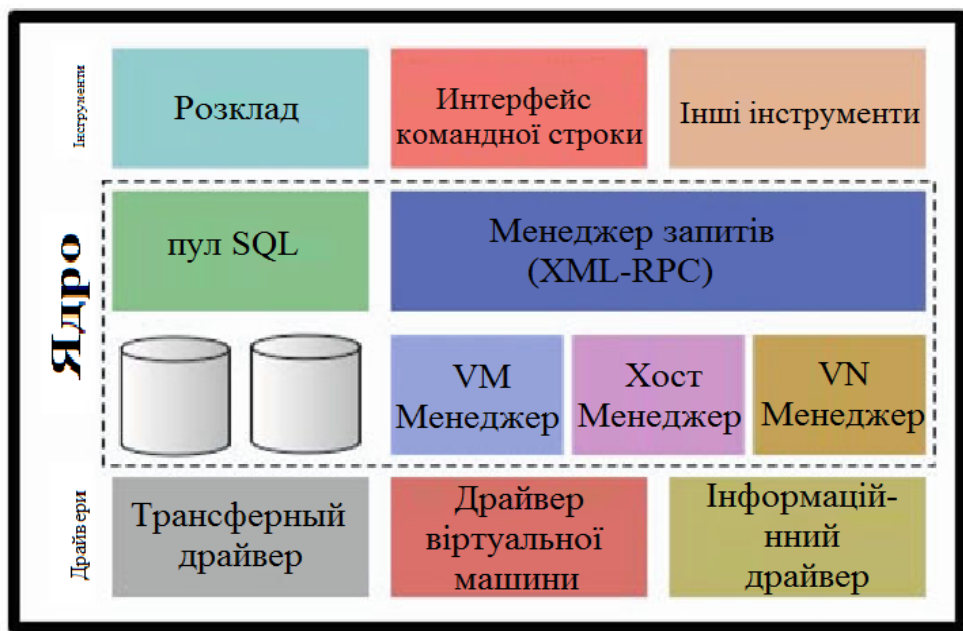


Рис. 2.10 Тришарова архітектура OpenNebula

Крім того, OpenNebula використовує міст для підключення віртуальної мережі, в той час як IP-адреса і MAC-адреса управління доступом до мультимедіа кожного вузла генеруються в певному діапазоні. Мережа буде підключена до певного мосту, в той час як кожен міст має свого власника мережі, і він може бути публічним або приватним.

## 2.4.2 OpenStack

OpenStack-це хмарна операційна система для управління обчисленнями в центрах обробки даних, сховищами, мережами тощо, які можуть бути використані для створення публічної та приватної хмари [17]. OpenStack в основному програмується на Python і його архітектура розроблена з повністю розв'язаними модульними ідеями. Тому OpenStack має дуже хорошу відкритість і сумісність.

OpenStack складається з наступних п'яти компонентів:

1. Keystone надає сервіс аутентифікації.
2. Nova надає обчислювальні послуги.
3. Swift надає сервіс зберігання даних.
4. Glance надає сервіс зображень.
5. Horizon надає послуги інформаційної панелі.

Зокрема, Horizon-це веб-фреймворк на основі Python, розроблений Django для візуального управління платформою OpenStack. Nova-це обчислювальний контролер OpenStack, який виділяє віртуальну машину на вимогу запитів користувача і управляє розподілом і плануванням ресурсів віртуальних обчислень, що є компонентом для управління розподілом і плануванням віртуальної машини.

Як показано на рис. 2.11, Nova, що складається з наступних модулів, що надає користувачеві API для роботи з VMs і управління ними, а хмарна інфраструктура повинна управлятися через Nova-API.

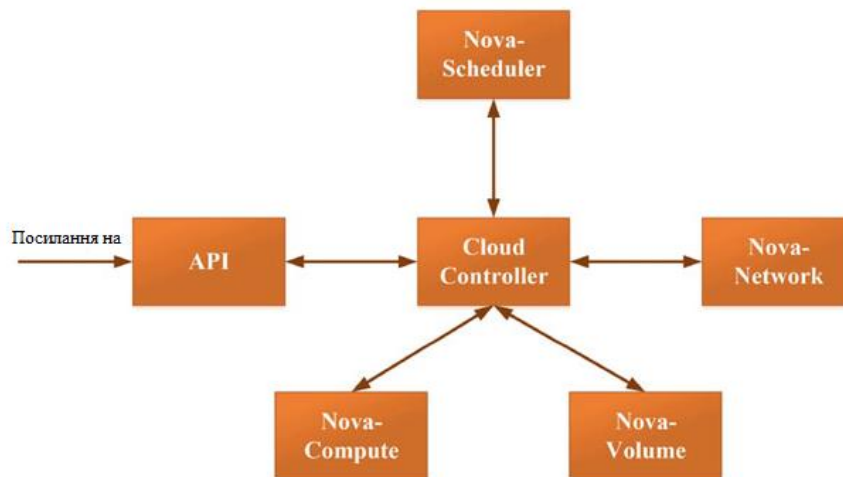


Рис. 2.11 NOVA

- Message Queue ( черга повідомлень ) - це комунікаційний модуль між кожним вузлом в OpenStack, який в основному заснований на протоколі Advanced Message Queue Protocol (AMQP). Так як основні операції Nova займають дуже багато часу, то для того, щоб зменшити час відгуку користувача, Nova відповідає на запит використання асинхронно через зворотні виклики.
- Nova-Compute використовується для управління життєвим циклом VM. Після отримання запиту на створення або завершення роботи VM Nova-Compute обробляє його через libvirt API, а потім повертає результати по черзі повідомлень.
- Nova-Network надає VM послуги з мережевого підключення, які обробляються цим модулем для внутрішньомережевого та міжмережевого обміну даними між VM. Зокрема, Nova-Network в основному відповідає за призначення IP-адреси VM, налаштування віртуальної локальної мережі (VLAN) і груп безпеки і т. д.

- Nova-Volume надає VM з постійним сховищем, що дуже важливо для обчислювальних пристроїв і значно знижує втрати, викликані перебоями в електропостачанні, простоями і збоями на системному рівні.
- Nova-Scheduler-це служба, що запускається при включенні хмарної платформи. Коли Nova отримує запит на створення віртуальної машини (VM), Nova-Scheduler повинен вирішити, який обчислювальний вузол слід використовувати для створення VM. Коли VM потребує перенесення, Nova-Scheduler управляє міграцією віртуальної машини і перерозподілом ресурсів. Міграція VM-це дуже складний процес, який необхідний Nova-Scheduler, щоб уникнути втрати обчислювальних ресурсів і забезпечити загальну продуктивність хмарної платформи під час міграції віртуальних машин, тобто сплячий режим, простоювання хостів для економії енергоспоживання

Keystone надає послугу аутентифікації. Користувач не може отримати доступ до обчислювальних ресурсів у хмарі або керувати сервісами без ідентифікації та дозволу OpenStack. Коли користувачі надають свої ідентифікаційні дані в OpenStack, який зазвичай є ім'ям користувача та паролем, Keystone перевіряє їх відповідно до їх ідентифікаційної інформації в базі даних. Якщо це дійсно так, Keystone повернеться до користувача з токеном, який може бути використаний в якості аутентифікації для відправки запиту в OpenStack.

Swift надає OpenStack розподілене сховище для віртуальних об'єктів, ы повністю відрізняється від Nova-Volume, який надає віртуальній машині постійне сховище. Коротше кажучи, сховище, надане Nova-Volume, схоже на жорсткий диск, тоді як Swift, заснований на розподіленому підході, в основному підтримує масивне об'єктне сховище та забезпечує віртуальні машини та хмарні додатки контейнерами даних, захищеним сховищем, резервним копіюванням даних тощо.



### 2.4.3 OpenDayLight

OpenDaylight-це суспільно-орієнтована платформа з відкритим вихідним кодом для просування інновацій та впровадження SDN. Система OpenDaylight має надзвичайно гнучкий контролер, який включає в себе набір модулів, здатних швидко виконувати мережеві завдання, що дозволяє розгортати її на будь-якій платформі з підтримкою Java [15].

На рис.2.12, показано, що архітектура новітнього OpenDaylight складається з чотирьох шарів. OpenDaylight надає додаткам відкритий northbound API, підтримує фреймворк Open Services Gateway initiative (OSGi) і двонаправлений REST API. Зокрема, платформа OSGi надається додаткам, що працюють за однією адресою з контролером, в той час як REST API надається додаткам, що працюють за іншою адресою.

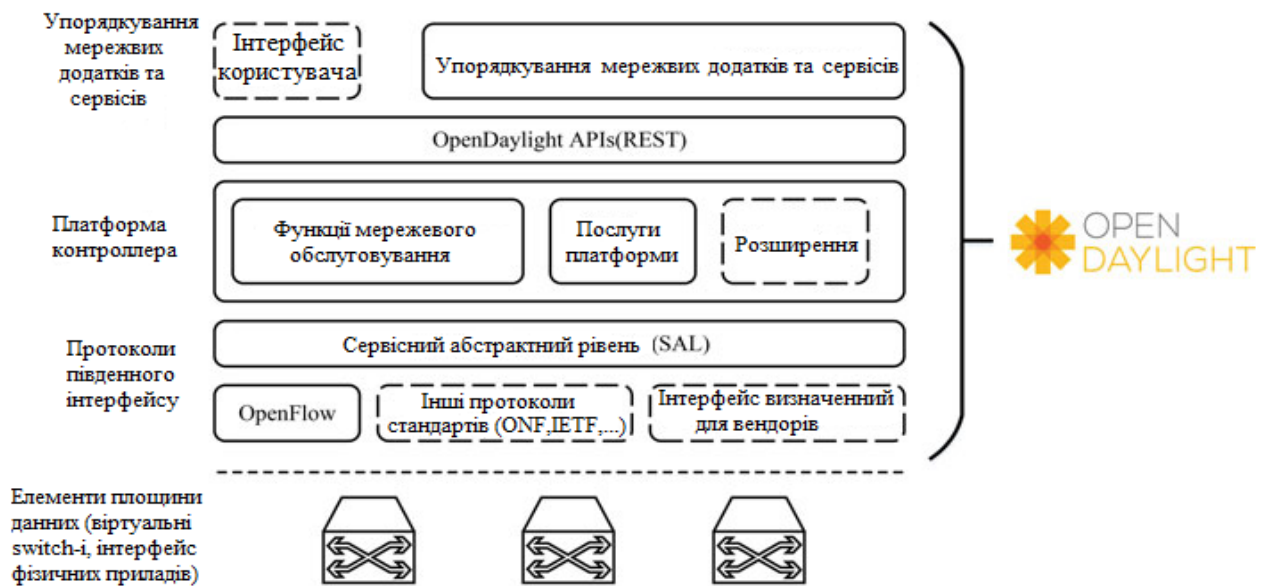


Рис.2.12 Фреймворк OpenDayLight

Платформа управління включає в себе базові мережеві сервіси і деякі додаткові сервіси, встановлені у вигляді плагіна, що підвищує гнучкість OpenDaylight.

#### 2.4.4 Віртуальна машинна міграція

Міграція дозволяє заощадити гроші на управління, технічне обслуговування та оновлення, а також дозволяє одному серверу одночасно замінити попередні кілька серверів для економії великого простору приміщення. Крім того, віртуальна машина має "віртуальні апаратні ресурси", на відміну від сервера, що має різні апаратні ресурси, такі як різні чіпсети, мережеві карти, жорсткі диски і графічний процесор (GPU). Після міграції віртуальні машини можуть управлятися в єдиному інтерфейсі, і одна VM може перемикатися на іншу через деяке програмне забезпечення, коли вона виходить з ладу, що підтримує безперервне обслуговування. Коротше кажучи, міграція має перевагу в спрощенні обслуговування і управління системою, поліпшенні балансування навантаження системи, підвищенні стійкості системи до помилок і оптимізації управління живленням системи.

Очікується, що відмінний інструмент міграції мінімізує загальний час міграції та час простою, а також зменшить негативний вплив на продуктивність, спричинену міграцією. Зокрема, показники ефективності міграції віртуальних машин включають наступні три аспекти:

1. Загальний час міграції;
2. Час простою, тобто вихідний і кінцевий хости недоступні одночасно;
3. Вплив на продуктивність.

#### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Хмарні мережі-це новий підхід до побудови та управління безпечних приватних мереж через загальнодоступний Інтернет за допомогою інфраструктури хмарних обчислень. У хмарних мережах традиційні мережеві функції та послуги включаючи підключення, безпеку, управління і контроль,

передаються в "хмару" і публікуються в якості послуг, таких як віртуалізація мережевого фонду, "хмарне радіо", мережі доступу та мобільні хмарні мережі (MCN).

Хмарні обчислення - це різновид інтернет-обчислень, що надає загальні обчислювальні ресурси і дані на вимогу для комп'ютерів та інших пристроїв. З розвитком NFV, SDN та інших передових мережевих технологій, широко використовується хмарна платформа для управління віртуальними мережевими ресурсами і функціями для забезпечення більшого вибору підключення, кращої продуктивності і нижчої ціни.

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО- КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

### 3.1 КЕШУВАННЯ

Сьогодні технологія кешування не є новою технологією. Завдяки веб-кешуванню, мережевий трафік мінімізується, коли користувач використовує інтернет, при цьому швидкість доступу також значно підвищується [20]. Оскільки ядром Content Distribution Network (CDN) є збільшення швидкості доступу, технологія кешування є однією з найважливіших технологій для CDN, а сервер веб-кешування є ядром системи кешування і CDN [27].

Кеш-сервер може бути загальним сервером, що встановлюється разом з кешуючим програмним забезпеченням або спеціальним обладнанням, включаючи програмне та апаратне забезпечення. Коротко, кеш-сервер грає роль фільтрації і агентури між вихідним сервером і користувачами. Він фільтрує надлишкові запити користувачів для збереження пропускнуої здатності магістральної мережі і збільшення швидкості відповіді. Крім того, він може отримувати інформацію для користувачів з вихідного сервера в якості агентства. Як показано на рис. 3.1, він ілюструє положення і функції кеш-сервера. Якщо запитуваний вміст зарезервовано в кеші, сервер буде відповідати на запит користувача. В іншому випадку, кеш-сервер відправить запит на оригінальний сервер від імені користувача, а потім скопіює і ретранслює відповідь користувачеві.

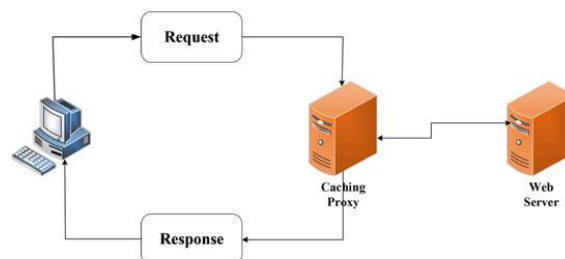


Рис. 3.1 Кешуючий сервер

### 3.2 МЕРЕЖА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ МОБІЛЬНОГО КОНТЕНТУ

Мобільна мережа розподілу контенту (MCDN), як очікується, доставить вміст для користувачів терміналу оптимальним чином через будь-який вид бездротової мережі або мобільної мережі [22]. Як і традиційні CDN, MCDN прагне надати користувачам терміналу вміст, що забезпечує високу доступність і високу продуктивність. Крім того, MCDN може оптимізувати передачу вмісту на мобільні пристрої через певну бездротову мережу.

Мережа MSDN здатна знизити навантаження на трафік основної мережі шляхом розгортання CDN сервісних вузлів в основній мобільній мережі або на лінійній стороні бездротової мережі. Суть реалізації MSDN для мобільної мережі, в тому, як отримати користувачів. Групування IP-даних для аналізу і завчасної відповіді. Таким чином, можна розгорнути кеш-обладнання на мережевий елемент для MCDN, наприклад, Evolved Node B (eNode B), сервісний вузол підтримки GPRS (SGSN) і шлюзовий вузол підтримки GPRS (GGSN) в основній мережі, як показано на рис.3.2.

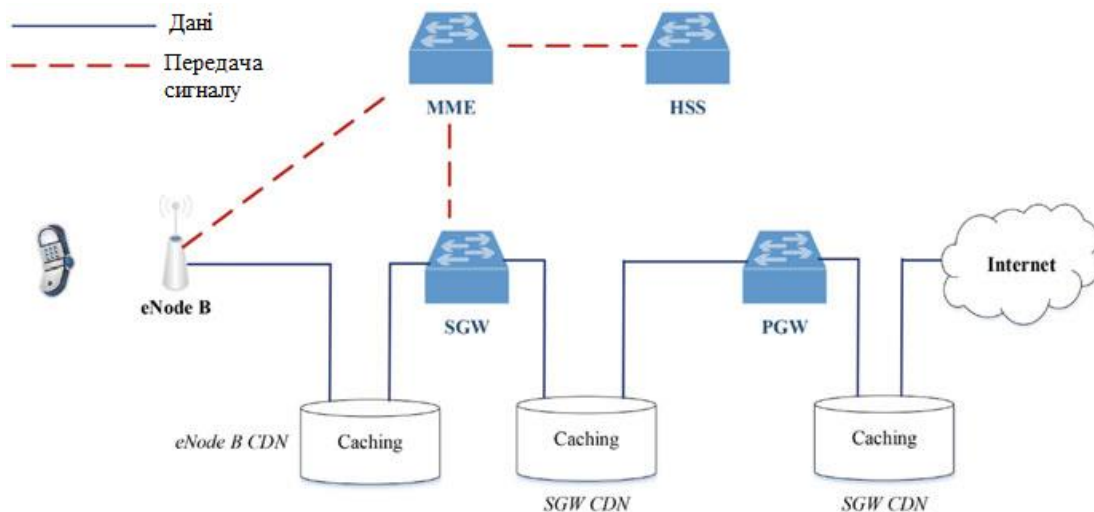


Рис. 3.2 eNobe B MCDN

Недоцільно розміщувати вузол зберігання MCDN за кожним eNode B, враховуючи велику кількість і широке поширення eNode B. Для конкретної

області, що містить велику кількість користувачів, можна додати локальний шлюз (LGW) за eNode B в якості регіонального обладнання, і CDN спільно розгортається за LGW, як показано на рис.3.3. Існуюча мережева архітектура зберігає те ж саме, що шлюз пакетної мережі передачі даних (PGW) як і раніше служить провінційним якірним обладнанням, а об'єкт управління мобільністю (MME)/обслуговуючий шлюз (SGW) служить муніципальним якірним обладнанням. Функція доданого LGW-це комбінація SGW і PGW. Подібно SGW, LGW знаходиться під контролем MME, і LGW може включати один або кілька eNode B. у проекті 3GPP LGW був визначений для реалізації бічного CDN, але він не став загальноприйнятим стандартом. Це рішення просто потребує невеликої зміни існуючої мережі, оскільки MME в існуючій мережі підтримує основні LGW та SGW. Тому нове обладнання можна плавно розгорнути в мережі без нового інтерфейсу. LGW можна розглядати як ослаблену версію комбінації SGW і PGW, яка підходить для деяких конкретних регіонів, таких як жваві комерційні місця і школи.

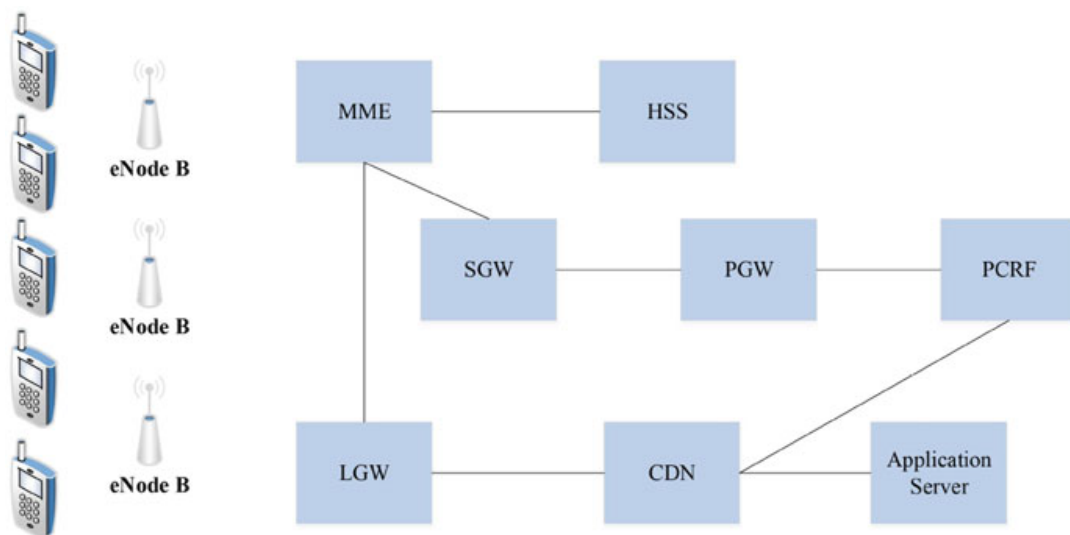


Рис. 3.3 MCDN на базі LGW

Коли вузол зберігання MSDN розташований за SGW, PGW може отримати повне групування IP-даних користувача. Більш того, SGW завжди є муніципальним мережевим елементом, що підходить для установки MSDN-

кешу. Як показано на рис. 3.4, користувальницький мережевий елемент - це SGW в Evolved Packet Core (EPC), а граничний мережевий елемент - PGW. Після того, як SGW отримує IP запит користувача зі стека протоколів, він може підключитися до кеш-апаратури MSDN безпосередньо через Ethernet-інтерфейс для передачі IP-групи даних.

При розміщенні вузла зберігання MSDN за PGW, так як розташування сховища знаходиться поблизу межі EPC, навантаження на трафік основної мережі дещо знижується після розміщення вузла кешування. В деякій мірі це схоже на звичайну CDN систему.

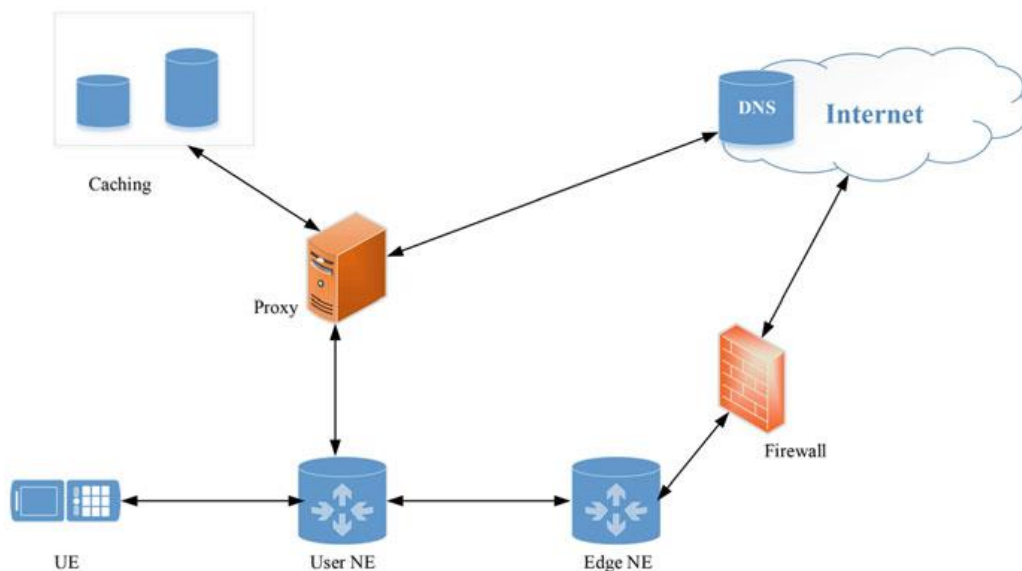


Рис. 3.4 MCDN на базі SGW

### 3.3 АРХІТЕКТУРА SDN

Для задоволення різних потреб були запропоновані різні архітектури SDN. Перша архітектура SDN запропонована ONF, що широко прийнято в наукових колах та промисловості. Крім того, архітектура NFV пропонується ETSI для несучих мереж, що підтримується галуззю. OpenDaylight спільно пропонується великими виробниками обладнання та програмними компаніями для конкретизації архітектури SDN для фактичного розгортання.

Архітектура SDN спочатку згадується в ONF, а на рис. 3.5 показана її версія, випущена в 2013 році. Знизу вгору (або з півдня на північ) Архітектура SDN складається з площини даних, площини управління та прикладної площини. Зв'язок між площиною даних і площинами управління підтримується інтерфейсом SDN, що представляє собою уніфікований стандарт зв'язку в основному заснований на протоколі OpenFlow. Зв'язок між площиною керування та прикладною площиною підтримується серверними інтерфейсами ISDN (BRI), які можна налаштувати відповідно до фактичних вимог.

Площина даних складається з комутаторів та інших мережевих елементів, в той час як з'єднання між мережевими елементами слідує різним правилам. Площина управління, що містить логіку управління SDN, відповідає за виконання логіки управління, підтримуючи вид мережі. Контролер абстрагує мережеве представлення в мережеві сервіси, звертається до проксі-сервера CDPI для виклику відповідного мережевого тракту даних і надає операторам, дослідникам та іншим третім сторонам зручні NBI для налаштування приватних додатків і логічного управління мережею. Прикладна площина включає в себе різні мережеві додатки на основі SDN. CDPI відповідає за пересилання правил, відправлених мережевою операційною системою, на мережеві пристрої, які повинні відповідати обладнанню різних виробників і моделей і не впливають на рівень управління і логіку.

NBI дозволяють третій стороні розробляти індивідуальне програмне забезпечення та програми для управління мережею, надаючи більше можливостей для менеджерів. Ця функція мережевого абстрагування дозволяє користувачеві вибрати іншу мережеву операційну систему в залежності від потреби і не впливає на нормальну роботу фізичного пристрою.

Інтерфейс в SDN відкритий, а контролер є логічним центром. У південному напрямку контролер відповідає за зв'язок з площиною даних, в той час як в північному - за зв'язок з прикладною площиною.



У дослідженнях на відкритих інтерфейсах, південний інтерфейс контролера є основною технологією і точкою дослідження для поділу управління і даних. Завдяки розв'язці між контрольним рівнем і рівнем даних, поліпшення для цих двох шарів відносно незалежні, але стандартні південні інтерфейси необхідні між шарами, бо є ключовим компонентом багаторівневої SDN архітектури. Логічно, що вона повинна підтримувати нормальну комунікацію між контрольним та інформаційним рівнями, а також їх незалежне оновлення. Розробка стандартних південних інтерфейсів є важливою частиною фундаментальних досліджень SDN. Багато організацій розробили стандарти для південних інтерфейсів, і CDPI, запропонований ONF, стає основним інтерфейсом, який слідує протоколу OpenFlow.

OpenFlow є першим широко прийнятим протоколом інтерфейсів даних для контрольного рівня SDN, що робить єдине інтегроване і закрите мережеве обладнання більш гнучким і контрольованим комунікаційним обладнанням. Протокол OpenFlow відповідає правилам, заснованим на концепції потоку, тому комутатору необхідно підтримувати таблицю потоків для пересилання даних, тоді як створення, підтримання та розподіл таблиці потоків здійснюються контролером.

За винятком досліджень, пов'язаних з південним інтерфейсом NBI, східний і західний інтерфейси також є гарячими точками. NBI підтримують комунікації між контрольним рівнем і різними додатками. Програми можуть запитувати ресурси для вивчення загальної інформації про мережу, спрощення конфігурації мережі і прискорення розгортання бізнесу. Однак, у зв'язку з різноманітністю бізнес-додатків, важко розробляти NBI, що відповідає різним вимогам. Спочатку SDN підтримує налаштовані NBI для різних сценаріїв підганяють під північний, але при цьому враховуються уніфіковані NBI, безпосередньо впливати на безперебійний розвиток сервісу додатків. Таким чином, багато організацій починають розробляти стандарти NBI, такі як стандарти NBI від ONF і REST API від OpenDaylight. Однак ці стандарти описують тільки функцію без її

детальної реалізації. Тому досягнення єдиного стандарту NBI є наступним важливим завданням у галузі. На відміну від інтерфейсів північ-південь, інтерфейси Схід-Захід забезпечують зв'язок між контролерами. Оскільки обмежена продуктивність одного контролера не може задовольнити попит на розгортання великомасштабної SDN, очікується, що Східно-Західні інтерфейси поліпшать реалізованість контролера і забезпечать технічну підтримку для балансування навантаження і підвищення продуктивності.

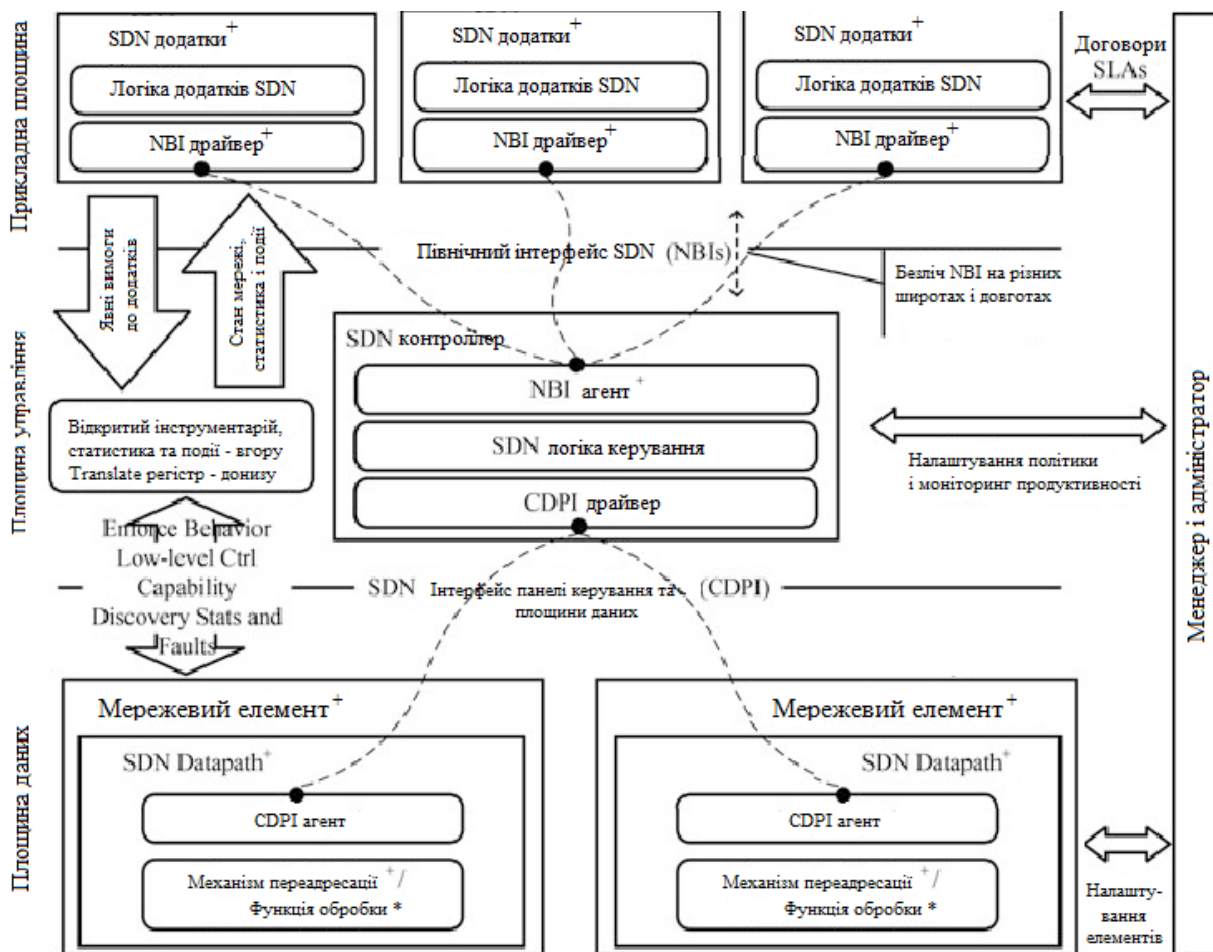


Рис. 3.5 Архітектура SDN

### 3.3.1 Критичні методи для рівня даних

У SDN рівень даних відокремлений від управління тим, що контролер відповідає за масову стратегію управління, в той час як комутатор відповідає

тільки за швидке пересилання пакетів відповідно до відповідних правил. Щоб уникнути частоті взаємодії між комутатором і контролером, правила засновані на потоці, а не на кожному пакеті. Функція рівня даних SDN відносно проста, пов'язані з цим технологічні дослідження зосереджені на наступних питаннях:

1. питання проектування комутатора, тобто як спроектувати масштабований і швидкий пристрій пересилання для гнучкого узгодження правил і швидкого пересилання потоку даних;
2. питання проектування правил пересилання, такі як правила оновлення узгодженості після проблем збою.

### Проблеми Проектування Комутаторів

Комутатор SDN розгортається на рівні даних для пересилання потоку даних апаратним і програмним забезпеченням. У загальному випадку швидкість обробки мікросхеми комутатора в 10-100 разів швидше процесора, в 1-10 разів швидше мережевого процесора (NP), і ця різниця буде тривати довго. Однак з точки зору гнучкості комутатор значно поступається процесору, NP і іншим програмованим пристроям. Отже, великою проблемою є розробка вдосконаленого комутатора, що забезпечує значну швидкість пересилання і забезпечує гнучкість у визначенні правил пересилання.

### Питання Проектування Правил Пересилання

Аналогічно традиційній мережі, проблема відмови мережевого вузла також можлива в SDN, що призводить до несподіваних змін правил пересилання мережі, серйозно впливає на надійність мережі. Крім того, передача навантаження мережевого трафіку або обслуговування мережі також призводять до змін в правилах пересилання. SDN дозволяє адміністраторам вільно

оновлювати правила за допомогою низькорівневого управління абстракцією, що може призвести до невідповідностей при оновленні правил.

Невідповідностей, викликаних низькорівневим управлінням, можна уникнути за допомогою високорівневого управління абстракцією, яке зазвичай включає в себе наступні дві процедури оновлення правил:

1. Коли правило має бути оновлено, контролер запитує у кожного комутатора, чи відповідає завершений ним потік старим правилам, і оновлює правила всіх комутаторів, які завершують обробку.
2. Коли всі комутатори будуть оновлені, оновлення буде завершено, в іншому випадку воно повинно бути скасовано.

Для включення оновлення правил двох процедур пакет даних попередньо обробляється і позначається тегом, що описує версію правила. Під час пересилання комутатор перевіряє зазначену версію і обробляє відповідну дію пересилання, що відповідає потрібним правилам. Після того, як пакет буде переданий від комутатора, позначка видаляється. Однак при такому підході пакет даних, відповідний новим правилам, не може бути оброблений до тих пір, поки не будуть оброблені всі пакети даних, що відповідають старим правилам, що призводить до заповненню простору правил і більш високих витрат. На щастя, алгоритм інкрементного оновлення послідовності може вирішити цю проблему, яка полягає в тому, що оновлення правила ділиться на кілька раундів, в той час як кожен раунд являє собою двопроцедурний підхід до оновлення підмножини правил, тому простір правил може бути збережено.

### 3.3.2 Методи для контрольного шару

Контролер є основним компонентом рівня управління. За допомогою контролера користувач може логічно і централізовано керувати комутатором для швидкої передачі даних, зручного і безпечного управління мережею і

підвищення продуктивності мережі. У цьому розділі, як перший контролер OpenFlow, розглядається поліпшення на основі NOX, включаючи два режими: режим багатопотокового управління і режим плоского, ієрархічного управління за рахунок збільшення кількості розподілених контролерів. Крім того, вводиться основний мовний інтерфейс для абстракції мови управління, а також представлений поглиблений аналіз узгодженості, доступності та відмовостійкості контролера.

### Проблеми проектування контролерів

Основна функція контролера полягає в тому, щоб надати дослідникам доступну програмну платформу. NOX-це перша і широко використовувана платформа контролера, що забезпечує широкий спектр базового інтерфейсу. Користувачі можуть отримувати доступ, керувати та оперувати інформацією про глобальну мережу, а також програмувати мережеві додатки через інтерфейси, що надаються NOX. З розширенням SDN обчислювальна потужність централізованого контролера з однією структурою, наприклад NOX, обмежена, в той час як розширення ускладнене і стикається з браком продуктивності. Таким чином, цей контролер доступний тільки для мереж малого бізнесу або моделювання досліджень. Існує два способи розширення єдиного централізованого контролера: поліпшення можливостей контролера або впровадження декількох контролерів для підвищення загальної обчислювальної потужності.

Контролер має інформацію про глобальну мережу, тому він повинен мати високу продуктивність обробки. NOX-MT-це контролер NOX з можливістю багатопотокової обробки, що підвищує продуктивність NOX [32]. NOX-MT не змінює базову структуру контролера NOX, але покращує продуктивність за допомогою традиційної паралельної технології. Таким чином, користувачі

можуть швидко оновити NOX до NOX-MT без невідповідностей, викликаних заміною платформи.

Для мереж середнього розміру один контролер зазвичай є компетентним без істотного впливу на продуктивність. Однак для великомасштабних мереж необхідно реалізувати багатопотоковий підхід, щоб гарантувати продуктивність. Великомасштабну мережу можна розділити на кілька доменів, як показано на рис. 3.6. Якщо один контролер обробляє запит комутатора через централізоване управління, то між контроллером і комутаторами в інших доменах буде спостерігатися значна затримка. Крім того, це вплине на продуктивність обробки даних в мережі. Крім того, проблема відмови одного вузла можлива при єдиному централізованому управлінні, яке можна вирішити шляхом збільшення числа контролерів, тобто контролери фізично розподілені в мережі з логічно централізованим управлінням. Це дозволяє кожному комутатору взаємодіяти з контролером для підвищення загальної продуктивності мережі.

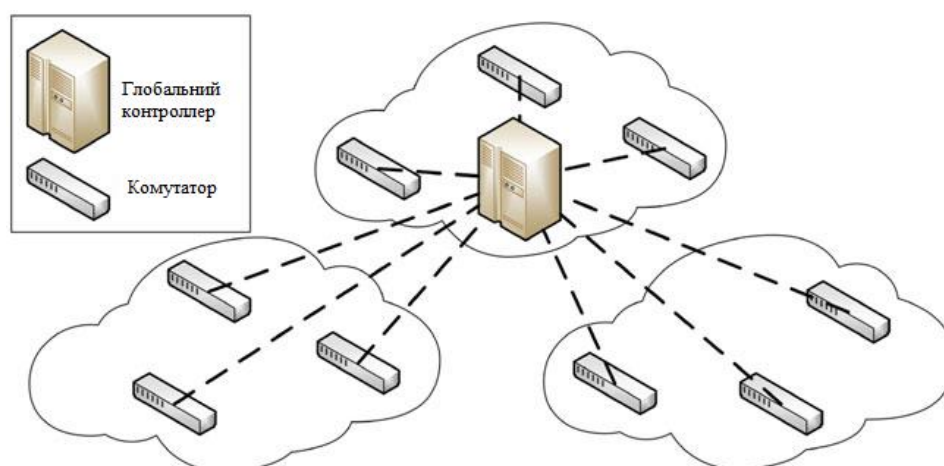


Рис. 3.6 Одиночний контролер в SDN

Розподілені контролери зазвичай включають в себе два режими розширення: плоске управління (рис. 3.7) і ієрархічне управління (рис. 3.8). Для режиму плоского управління всі контролери розміщуються в непересічних областях і відповідно, керують власною мережею. Кожен контролер ідентичний і взаємодіє з іншими через інтерфейси Схід-Захід. Для ієрархічного управління

доступні функції вертикального управління між контролерами, тобто локальний контролер відповідає за свою власну мережу, а глобальний контролер-за локальні контролери. Взаємодія між контролерами може бути завершена глобальним контролером.

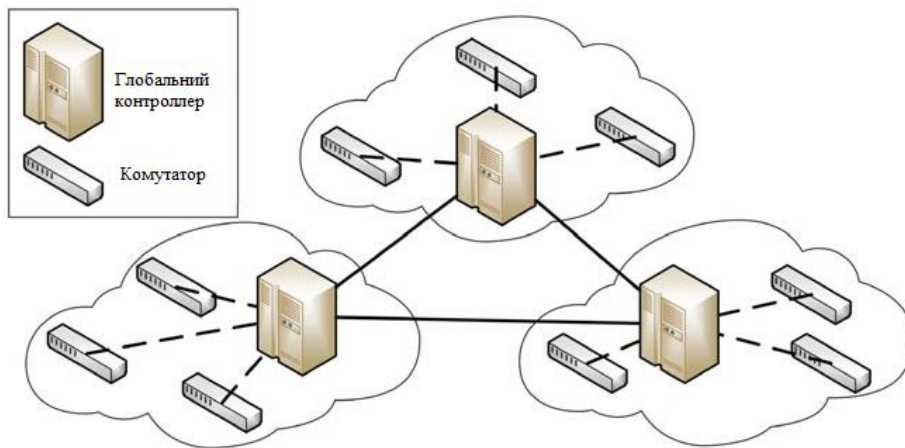


Рис. 3.7 Плоский контролер в SDN

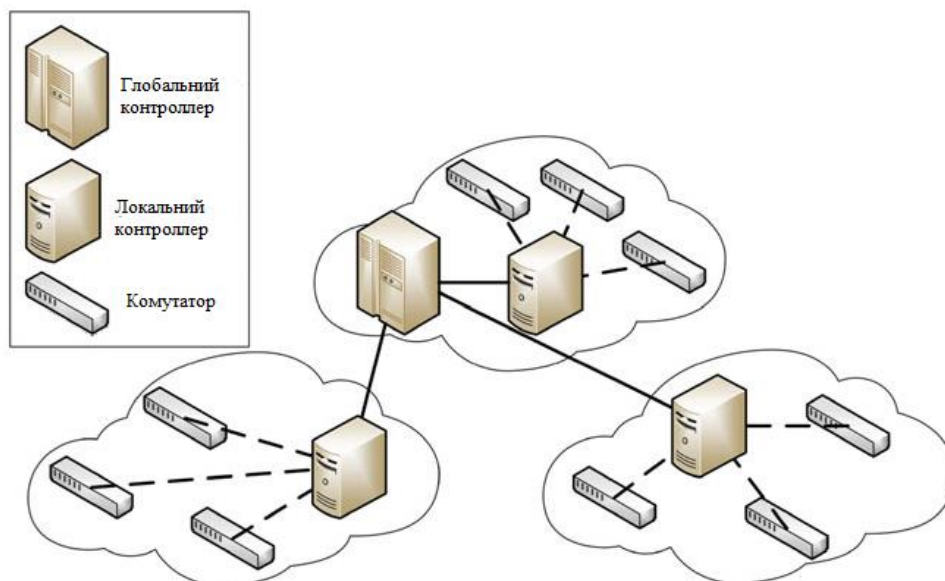


Рис. 3.8 Ієрархічний контролер в SDN

При плоскому режимі управління всі контролери розміщуються на одному рівні. Хоча кожен контролер фізично розташований в різних областях, всі елементи управління логічно збігаються з глобальним контролером для

управління станом глобальної мережі. При зміні топології мережі всі контролери оновлюються одночасно, і комутатору потрібно тільки налаштувати відображення адрес контролера без складної операції оновлення. Тому плоске розподілене розширення мало впливає на рівень даних. Оніх-це перший розподілений SDN-контролер, що підтримує архітектуру плоского розподіленого контролера, який управляється мережевою інформаційною базою (NIB) [26]. Кожен контролер має відповідний NIB, в той час як оновлення синхронізації контролерів засноване на узгодженості NIB.

HyperFlow-це розподілена керуюча площина для OpenFlow, що дозволяє мережевим операторам вільно розгортати кілька контролерів в кожному регіоні мережі [31]. Контролери фізично розділені, але логічно централізовані так само, як і централізоване управління SDN. HyperFlow взаємодіє через механізми реєстрації та широкомовлення, і коли контролер виходить з ладу, комутатор, керований контролером, що вийшов з ладу, вручну перенастроюється для управління новим контролером для забезпечення доступності. У режимі плоского управління, хоча кожен контролер керує станом глобальної мережі, він управляє тільки локальною мережею, що призводить до втрати деяких ресурсів і збільшення загального мережевого навантаження для оновлення контролера. Крім того, при фактичному розгортанні різні домени можуть мати різних господарюючих суб'єктів-операторів, тому неможливо реалізувати рівний зв'язок між контролерами в різних доменах.

У режимі ієрархічного управління контролери класифікуються відповідно до їх використання. Локальний контролер знаходиться відносно близько до комутатора, який відповідає за управління вузлами і управління станом мережі в регіоні. Наприклад, контролер, близький до комутатора, підтримує лише регулярну взаємодію та розподіл правил, тоді як глобальний контролер відповідає за підтримку всієї мережевої інформації та повну маршрутизацію та інші операції на основі всієї мережевої інформації. Взаємодія ієрархічного контролера включає в себе дві моделі: взаємодія між локальним контролером і



глобальним контролером, а також взаємодія між глобальними контролерами. Оскільки домени належать різним операторам, то слід узгоджувати тільки взаємодію між глобальними контролерами. Kandoo реалізує ієрархічну розподілену структуру [24]. Коли комутатор пересилає пакети, він спочатку запитує локальний контролер поблизу. Якщо пакет-це локальна інформація, то локальний контролер відреагує швидко. Якщо локальний контролер не може обробити повідомлення, він запросить глобальний контролер і відправить отриману інформацію на комутатор. Це дозволяє уникнути частоті взаємодії глобальних контролерів і ефективно знижує навантаження на трафік. Оскільки це залежить від інформації про попадання, оброблюваної локальним контролером, сценарій, що включає більше локальних додатків, має більш високу ефективність.

### Особливості керуючого шару

Узгодженість, доступність і відмовостійкість є найбільш важливими характеристиками рівня управління, але ці три характеристики не можуть бути задоволені одночасно. Тому в більшості випадків дослідники зосереджуються на частковому поліпшенні характеристик з невеликим негативним впливом на інші характеристики.

**1. Узгодженість:** у порівнянні з іншими мережевими архітектурами централізоване управління є одним з найбільш істотних переваг SDN. Завдяки централізованому управлінню користувач може отримати глобальне уявлення про мережеву інформацію для уніфікованого проектування і розгортання мережі, що забезпечує узгодженість конфігурації мережі. Однак в розподілених контролерів все ще можуть викликати потенційні невідповідності. Через різну конструкцію контролерів вимоги до узгодженості різні. Таким чином, контролер, що підтримує розподілений статус уніфікованим глобально, не може гарантувати продуктивність мережі. З іншого боку, якщо контролер здатний

швидко реагувати на запити і поширювати політику, узгодженість глобального статусу не гарантується. Таким чином, забезпечення узгодженості без істотного впливу на продуктивність SDN є великою проблемою.

2. Доступність: резервне копіювання правил може підвищити доступність мережі. Наприклад, RuleBricks пропонується для гнучкого впровадження підтримки високої доступності в існуючі політики OpenFlow. RuleBricks вводить три ключові примітиви: drop, insert і reduce, які можуть виражати різні політики призначення потоку і резервного копіювання. Він перевіряє, що RuleBricks зберігає лінійну масштабованість з кількістю реплік на кільці Chord [33].

Контролер SDN є ядром вузлів для обробки великої кількості запитів від комутатора, в той час як велике навантаження може вплинути на доступність SDN. Розподілений контролер доступний для балансування навантаження і підвищення загальної продуктивності SDN. Зокрема, для ієрархічного контролера, такого як Kandoo, локальний контролер використовується для обробки основних запитів від комутатора, в той час як глобальний контролер може надавати кращі послуги для користувачів. Однак існує також проблема зручності використання в архітектурі розподіленого контролера. Оскільки кожен контролер повинен мати справу з різними комутаторами і розподіл мережевого трафіку не збалансовано, тому доступність деяких контролерів знижується. Для вирішення цієї проблеми пропонується ElastiCon, що представляє собою архітектуру еластичного розподіленого контролера, в якій пул контролерів динамічно зростає або стискається в залежності від умов руху. Для усунення дисбалансу навантаження, викликаного просторовими і тимчасовими змінами умов руху, ElastiCon автоматично балансує навантаження між контролерами, забезпечуючи тим самим хорошу продуктивність в будь-який час незалежно від динаміки руху [21].

Крім того, доступність рівня управління може бути поліпшена за рахунок зменшення кількості запитів від комутатора. Наприклад, DIFANE,

масштабоване і ефективне рішення, що пропонується для підтримання всього трафіку в площині даних шляхом вибіркового направлення пакетів через проміжні комутатори, які зберігають необхідні правила. DIFANE зводить контролер до більш простого завдання поділу цих правил по комутаторах. DIFANE може бути легко реалізований за допомогою апаратного забезпечення commodity switch, так як всі функції площини даних можуть бути виражені в термінах підстановочних правил, які виконують прості дії над співпадаючими пакетами [35].

1. **Відмовостійкість:** подібно до традиційного Інтернету, SDN також стикається з відмовою мережевого вузла або каналу зв'язку. На щастя, контролер SDN може швидко відновити вузол, хоча вся інформація про мережу, що ілюструє сильну здатність відмовостійкості на рис. 3.10, показує процес конвергенції відновлення мережевого вузла: (1) збій комутатора виявляється іншими комутаторами; (2) комутатор повідомляє контролер про збій; (3) контролер обчислює правила, що вимагають відновлення, на основі наявної інформації; (4) оновлення надсилаються до уражених мережних елементів площини даних; (5) уражені елементи площини даних відповідно оновлюють інформацію таблиці потоків.

З процесу відновлення каналу зв'язку видно, що інформація про збій в архітектурі SDN не інформується всією мережею шляхом Flood, а безпосередньо передається на рівень управління, і контролер приймає рішення про відновлення, яке може викликати явище коливання маршрутизації. Якщо зв'язок між комутатором і контролером виходить з ладу, що призводить до неможливості зв'язку, це буде відносно важко для конвергенції. Це може бути відновлення шляхом Flood через протокол внутрішнього шлюзу (IGP). Завдяки комутатору, встановленому зі статичними правилами пересилання для перевірки підключення топології, швидка конвергенція мережних збоїв стає більш доступною.

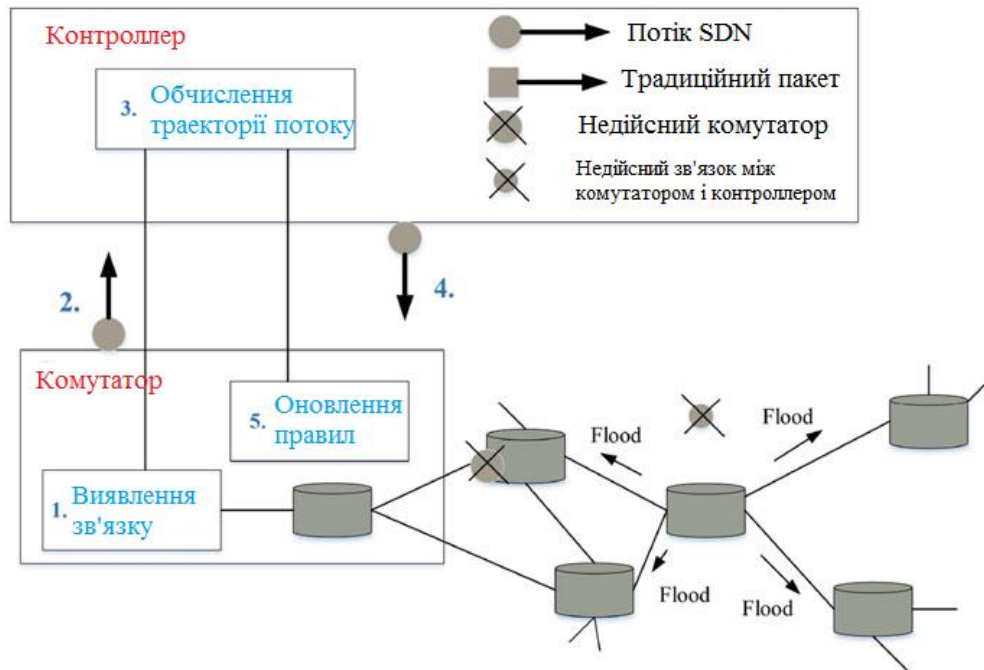


Рис. 3.10 Конвергенція невдалого вузла або ланки

Щоб уникнути збою вузла, викликаного ручним налаштуванням, рівень управління забезпечує старшу мову відмовостійкості мережі FatTire. Центральною особливістю цієї мови є нова програмна конструкція, заснована на регулярних виразах, яка дозволяє розробникам визначати набір шляхів, по яких пакети можуть проходити через мережу, а також необхідну ступінь відмовостійкості. Ця конструкція реалізована компілятором, який націлений на внутрішньомережеві механізми швидкого відпрацювання відмови, передбачені в останніх версіях стандарту OpenFlow, і полегшує просте міркування про мережеві програми навіть при наявності збоїв [29].

### 3.3.4 Застосування на основі SDN

З швидким розвитком SDN, він був застосований до різних мережевих сценаріїв, від мережі малого підприємства і мережі кампуса до центру обробки даних (DC) і глобальної мережі (WAN), що розширюється від дротової мережі до бездротової мережі. Незалежно від сценарію, розділений рівень управління і

рівень даних SDN реалізовані в більшості додатків для отримання глобального уявлення для управління мережами.

### Центр обробки даних і хмара

У зв'язку зі складним обладнанням і високим ступенем концентрації, розгортання SDN в дата центрах(DC) також є великою проблемою. Раніше розгортання SDN в DC базувалось на NOX, а потім додатки на базі SDN широко впроваджуються в DC. Зокрема, при розгортанні часто враховуються продуктивність і енергоефективність.

Енергозбереження - це питання постійного струму, яке не можна ігнорувати. Як правило, великомасштабні стабільні та ефективні Інтернет-послуги, що надаються DC, здійснюються за рахунок втрат енергії. Хоча він здатний економити невелику кількість енергії, тимчасово закриваючи порти без трафіку, найбільш ефективним способом є управління глобальною інформацією через SDN і закриття непрацюючих пристроїв в режимі реального часу для економії близько 50% споживаної енергії.

Через DC користувачі можуть зручно керувати мережею через хмару. Однак топологія хмарної мережі є змінною. На щастя, через SDN доступне глобальне управління хмарною мережею. Наприклад, IBM пропонує примітиви динамічних графових запитів для управління хмарними мережами на основі SDN, включаючи загальну бібліотеку графів, яка може підтримувати операції управління мережею. Використовуючи ілюстративний випадок алгоритму найкоротшого шляху для всіх пар, можна побачити, як можуть бути реалізовані масштабовані полегшені механізми запитів динамічних графів для забезпечення практичного часу обчислень при наявності мережевої динаміки [28].

## WAN

WAN підключається до багатьох DCs, щоб забезпечити ефективне з'єднання і передачу трафіку. Для того щоб забезпечити надійні послуги, він повинен забезпечити, щоб будь-який збій зв'язку або маршрутизації не міг вплинути на ефективну роботу мережі. Крім того, стабільність традиційної WAN досягається за рахунок використання каналу зв'язку, так що середнє завантаження WAN становить всього 30-40%, в той час як при великому навантаженні на мережу вона становить всього 40-60% [36].

Щоб підвищити ефективність використання, Google пропонує B4 надати приватну WAN-мережу, що з'єднує центри обробки даних Google по всій планеті. B4 має ряд унікальних характеристик:

1. Масові вимоги до пропускної здатності розгорнуті на невеликій кількості сайтів;
2. Еластичний попит на трафік, який прагне максимізувати середню пропускну здатність;
3. Повний контроль над прикордонними серверами і мережею, що дозволяє обмежувати швидкість і вимірювати попит на кордоні.

Централізована служба проектування трафіку B4 забезпечує майже 100% - це завантаження каналів зв'язку, при цьому розділяючи потоки додатків між декількома шляхами, щоб збалансувати пропускну здатність відповідно до пріоритетів додатків/вимог [25].

## Бездротова мережа

Ранні дослідження технології SDN були розгорнуті в бездротовій мережі, яка широко використовується в різних аспектах бездротової мережі. Наприклад, Open-Roads, платформа з відкритим кодом для інновацій в мобільних мережах, пропонується для того, щоб дослідники могли впроваджувати інновації,

використовуючи свої власні виробничі мережі, надаючи бездротове розширення OpenFlow [34]. Odin, платформа SDN для впровадження програмованості в корпоративних бездротових локальних мережах (WLAN), пропонується для підтримки широкого спектру послуг і функціональних можливостей, включаючи аутентифікацію, авторизацію і облік, політику, управління мобільністю і перешкодами, а також балансування навантаження [30]. OpenRadio пропонується для програмованої бездротової плати передачі даних, яка забезпечує модульні та декларативні програмні інтерфейси по всьому бездротовому стеку [19]. Пропонується SoftRAN- як фундаментальне переосмислення рівня радіодоступу. Софтран SoftRAN - це програмно визначана централізована площина управління мережами радіодоступу, яка абстрагує всі базові станції в локальній географічній зоні у вигляді віртуальної великої базової станції, що складається з центрального контролера і радіоелементів (окремих фізичних базових станцій) [23].

### 3.4 МЕРЕЖЕВА ВЗАЄМОДІЯ ЯК ПОСЛУГА

Концепція мережева взаємодія як послуга (Networking as a Service - NaaS) зародилася в хмарних обчисленнях, які, як очікується, будуть надавати на вимогу корпоративні мережеві сервіси для створення віртуальної мережі для підтримки додатків і забезпечення гнучкого, масштабованого проектування і розгортання функції мережевих сервісів [37]. У порівнянні з звичайною мережею, що забезпечує з'єднання для фіксованого розташування, сервера з сервером і сервера зі сховищем, NaaS значно відрізняється. У певному сенсі це робиться просто для того, щоб змінити бізнес-модель, тому що постачальники все ще повинні розгорнути той же рівень інфраструктури. Але з точки зору замовника, користувач може платити щомісячну плату в залежності від своїх

вимог, в той час як NaaS дозволяє йому використовувати мережеві послуги без будь-якого розгортання інфраструктури.

Оскільки NaaS розгорнуто і управляється програмним забезпеченням, мережа додатків є по суті прозорим додатком для фактичного мережевого обладнання та послуг, що створюють з'єднання. Віртуальна мережа накладання класифікує з'єднання, створене реальними сервісами та інфраструктурами, але вона не створює ніякого з'єднання або не змінює договірні відносини сервісу, що є ідеальним рішенням для динамічного управління мережевими додатками без будь-якої зміни підключення до сайту, режиму будівництва і змісту сервісу

### 3.4.1 Створення сегмента віртуальної мережі

Якщо мережеві служби повинні стати більш гнучкими і орієнтованими на застосування, то необхідні додаткові розробки. Одним з найважливіших обмежень віртуальної мережі накладання є неможливість створення реальної мережі, хоча NaaS вважається новим гнучким мережевим сервісом. Фактично, віртуальне накладання може розрізнити тільки з'єднання, що надаються реальною мережею або сервісом.

Віртуальна мережа накладання -це не єдиний спосіб створення сегментів віртуальної мережі. У мережах Ethernet фактична інфраструктура може бути розділена на віртуальні мережі через VLAN, віртуальну розширювану локальну мережу (VXLAN) та інші стандарти, а мережеві оператори надають послуги VLAN і віртуальної приватної мережі (VPN).

Співпраця між програмним забезпеченням / хмарою та NMS є найбільш суттєвим недоліком для створення NaaS. Хоча спільна робота доступна, важливо забезпечити, щоб мережа і служби містили всі ключові елементи мережевих додатків. Застосування віртуальної мережі часто вимагає сервера протоколу динамічної конфігурації хоста (DHCP) для розподілу адрес, системи доменних



імен (DNS) для дозволу адрес і шлюзу за замовчуванням, тобто маршрутизатора, для підключення мережі додатка до користувача.

### 3.4.2 Переваги NaaS

У порівнянні з загальними мережевими рішеннями NaaS дає деякі переваги. Наприклад, клієнти можуть отримати операційні переваги від централізованого управління трафіком на основі політики, а також велику гнучкість, оптимізацію ресурсів, масштабованість, ефективність мережі та економію витрат. Крім того, NaaS також надає більш широкі аналітичні можливості та можливості аварійного відновлення, які важко розгорнути в окремій конфігурації.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

З метою забезпечення високої надійності і короткої затримки від початку до кінця, необхідно оптимізувати і розвивати існуючу архітектуру мережі і функціональну конфігурацію мережевого елемента. SDN і NFV забезпечують новий напрямок для системного проектування 5G, тобто гнучкої системної архітектури, керованої програмним забезпеченням, тісно інтегруючись з інфраструктурою. У порівнянні з традиційною IP-мережею на основі розрахунку розподіленої маршрутизації, SDN на основі централізованої маршрутизації розрахунки можуть ефективно планувати всі мережеві ресурси. NFV доступний для підключення всіх мережевих вузлів і реалізувати мережевий інтелект за допомогою програмування програмного забезпечення для підвищення гнучкості. Крім того, NFV дозволяє операторам для задоволення потреб користувачів, контролювати пропускну здатність мережі для поліпшення масштабованості. Поєднання SDN і NFV, оновлення мережевого додатка, і мережеве обладнання розділене. Це розділ присвячений визначеній мережі, одній з ключових технологій, що підтримують мережеву архітектуру 5G.

## РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ПРОЕКТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

### 4.1 METIS

Mobile and wireless communications enablers for the 2020 Information Society - METIS, стартувала в листопаді 2012 року, що як очікується, займе 3 роки, щоб запропонувати нові концепції 5G і розробити різні ключові технології для забезпечення високої ефективності, включаючи енергоефективність, спектральну ефективність і економічність, для швидкого зростання бездротового трафіку даних [44].

Це означає, що за допомогою METIS, кожен може отримати доступ до інформації, обмінюватися даними і підключатися до всього в будь-який час і в будь-якому місці. Такий всеохопний світ без інформаційних кордонів буде в значній мірі сприяти розвитку і зростанню соціальної економіки. На відміну від сучасних бездротових систем зв'язку, 5G повинен значно підвищити енергоспоживання, вартість і ресурсоефективність, що дозволяє стабільно підвищувати пропускну здатність системи при прийнятних витратах і енергоспоживанні. Крім того, 5G також потребує універсальності для підтримки різних вимог до продуктивності, таких як доступність, мобільність, QoS і т.д., і сценарії застосування, особливо для масивних комунікаційних пристроїв. Нарешті, очікується, що система 5G забезпечить значну масштабованість, дозволяючи системі задовольняти різні вимоги, зберігаючи при цьому ефективність витрат, енергії та ресурсів.

Порівняно з 8-мим релізом LTE, концепція системи 5G, побудована METIS, підтримує 1000-кратний бездротовий трафік даних, 10-100-кратну кількість пристроїв доступу, 10-100-кратну швидкість передачі даних, забезпечуючи 10-кратний час автономної роботи для зв'язку між масивними пристроями з низьким енергоспоживанням і однієї п'ятої спеціалізованої

затримкою. Зокрема, щоб побудувати концепцію системи 5G, METIS фокусується на наступних чотирьох ключових технологіях:

1. Радіозв'язок: звертаючись до майбутніх вимог різних нових бездротових додатків, METIS розробляє новий бездротовий повітряний інтерфейс. Зокрема, однією з найскладніших завдань є підтримка широкого спектру різних сценаріїв, від надзвичайно низької швидкості передачі даних і низького енергоспоживання датчиків до надшвидкісних мультимедійних сервісів. Таким чином, необхідно розробити нові технології, такі як форма сигналу передачі, кодування, модуляція і структура приймача, щоб підвищити спектральну ефективність, енергоефективність, антиінтерференційну здатність і надійність фізичного рівня бездротового зв'язку.

2. Багатовузлова та багатоантенна передача: очікується, що технологія багатовузлової та багатоантенної передачі покращить продуктивність і пропускну здатність систем зв'язку, що включає в себе різні дослідження, такі як розробка обмежень продуктивності, вплив архітектури, алгоритмів і ключових технологій, а також надщільних мереж (UDN), масивних комунікаційних машин та інших нових сценаріїв. По-перше, METIS фокусується на формуванні сигналу, просторовому поділі множинного доступу, просторовому мультиплексуванні на основі масивних багатоантенних додатків, щоб забезпечити високу швидкість передачі даних і спектральну ефективність, а також підвищити надійність зв'язку, охоплення і енергоефективність. Була розроблена передова технологія багатовузлової координації, що дозволяє значно підвищити спектральну ефективність і пропускну здатність користувача, а також поліпшити якість бездротового зв'язку користувача в суворих умовах. Ці технології реалізують новий повітряний інтерфейс і координацію, а також інтегрують вдосконалену багатовузлову координацію з реальною системою. Нарешті, при багатоперехідному зв'язку і кодуванні бездротової мережі розгортаються один або кілька ретрансляційних вузлів між джерелом і призначенням, щоб забезпечити ефективне зворотне транспортування,

поліпшити покриття і надійність або передати обробку інформації і споживання енергії від масивних пристроїв в мережу.

3. Мультирадіозв'язок і багат шарова мережа: технологія мультирадіозв'язку і багат шарової мережі є основою для майбутньої бездротової мережі для ефективного розгортання, експлуатації та оптимізації мережі, особливо для гетерогенної багат шарової і багаторівневої мережі доступу. Мультирадіозв'язок і багаторівнева мережа фокусуються на мережевому співіснуванні, спільній роботі і управлінні перешкодами, оскільки залежності перешкод між взаємодіючими об'єктами в UDN особливо складні, а зв'язок між пристроями (device to-device ,D2D) значно збільшує ступінь свободи для управління перешкодами. Крім того, управління попитом, трафіком і мобільністю привертає увагу з боку METIS, які дуже важливі і включають в себе місце розташування користувача і екологічну інформацію. Технологія радіодоступу і вибір мережевого рівня можуть бути широко оптимізовані за рахунок повного використання цієї інформації. Зокрема, щоб звести до мінімуму накладні витрати на сигналізацію, METIS пропонує управління мобільністю, особливо нову концепцію управління мобільністю UDN. Нарешті, METIS присвячує себе реалізації функціональності мережі, включаючи визначення нового інтерфейсу управління, що забезпечує автоматичну інтеграцію і управління різними вузлами мережі, а також ефективну інтеграцію кочових осередків в гетерогенні мережі.

4. Спектр: METIS пропонує нову концепцію спільного використання спектру, щоб забезпечити наявність спектру для системи бездротового зв'язку після 2020 року. Ці концепції дозволять значно збільшити кількість доступних спектрів і значно підвищити ефективність використання спектра. METIS буде аналізувати спектр від 300 МГц до 275 ГГц для виявлення нових спектральних ресурсів і розуміння їх характеристик. Тим часом METIS проаналізує сценарії майбутнього бездротового зв'язку, щоб зрозуміти вимоги до спектру після 2020 року. Крім того, METIS розробить нову гнучку технологію спільного

використання спектру і управління ним, яка дозволить нам працювати на високих частотах і підтримувати автоматичний прямий зв'язок D2D для забезпечення високої мобільності.

Проект METIS пропонує ряд питань для побудови концепції системи 5G. Кожна проблема об'єднує ряд нових методів і забезпечує ефективні рішення для одного або декількох сценаріїв. До цих пір METIS визначив наступні шість проблем [45]:

- Прямий D2D-зв'язок : прямий зв'язок D2D являє собою два або більше бездротових термінали, які взаємодіють безпосередньо, тобто дані користувальницької площини не проходять через мережеву інфраструктуру. У порівнянні з звичайними одноранговими комунікаціями, такими як Bluetooth, істотною особливістю D2D є те, що зв'язок між пристроями як і раніше управляється мережею, включаючи управління радіоресурсами і управління перешкодами. Таким чином, D2D здатний збільшити охоплення мережі, доступність і надійність, розподілити зворотний транспорт і знизити витрати.
- Масивна машинна комунікація: масивна машинна комунікація (ММС) є дуже важливим компонентом майбутніх систем бездротового зв'язку, які як очікується, забезпечать зв'язок для десятків мільярдів мережевих пристроїв, щоб мережа могла гнучко масштабуватися вгору або вниз. Зокрема, найбільша проблема полягає в тому, що машинно-центрована комунікація має широкий спектр унікальних характеристик і вимог до швидкості передачі даних, затримки, вартості, доступності та надійності, які дуже відрізняються від сучасних людино-центрованих комунікацій. METIS буде розробляти нові технології, засновані на цих характеристиках і потребах, щоб підтримати ММС.
- Рухома мережа: рухома мережа (MN) складається з одного або декількох вузлів, в той час як кожен вузол може бути об'єднаний в мережу автомобілем, автобусом або іншими рухомими пристроями. У такій

мережі кожен вузол може взаємодіяти з оточуючими вузлами, включаючи фіксовані або мобільні вузли, включені або виключені в мобільній мережі, що дозволяє великій кількості мобільних пристроїв підключатися один до одного. Розробка MN практично пов'язана з усіма технічними елементами, згаданими вище, особливо зі зворотними перевезеннями, мобільністю і управлінням перешкодами, а також з моделями і методами спільного використання спектру і мереж.

- UDN: UDN стане найважливішим рішенням для задоволення високого попиту на трафік після 2020 року, що, як очікується, призведе до збільшення пропускну здатності, підвищення енергоефективності бездротових ліній зв'язку та використання спектру. Фактично в існуючій бездротовій мережі розгорнуто ущільнення інфраструктури, і мінімальна відстань між базовими станціями становить близько 200 м. В рамках METIS планується подальше збільшення щільності мережі в кілька разів. Проте UDN зіткнеться з багатьма новими технічними проблемами, включаючи мобільні, зворотні перевезення (особливо самохідні) тощо. В рамках METIS буде розроблено вдосконалене управління перешкодами і мобільністю на фізичному і мережевому рівнях для підтримки UDN. Крім того, METIS буде оцінювати ефективність UDN з точки зору витрат, енергоефективності, використання спектра і т.д.
- Архітектура: METIS зосереджується на мережевій архітектурі та ключових методах майбутньої бездротової системи мобільного зв'язку, а також розробляє всі функції бездротової системи, пов'язані з функцією, топологією та інтерфейсом. Іншими словами, буде створена нова мережева архітектура 5G, яка інтегрує всі технічні елементи, згадані вище.

## 4.2 СТІЛЬНИКОВІ МЕРЕЖІ MULTI-HOP

В якості архітектури бездротового зв'язку пропонуються багатопотокові стільникові мережі (MCN), що поєднують в собі переваги фіксованої інфраструктури, тобто базових станцій і гнучкість спеціальної бездротової мережі [43]. MCN зменшує кількість базових станцій або обмежує чутливість маршрутизації спеціальної бездротової мережі, в той час як пропускна здатність і продуктивність поліпшуються. На відміну від одноканальних стільникових мереж (SCN), багато досліджень підтвердили, що пропускна здатність MCN вище, ніж SCN, в той час як MCN ефективно збільшує дальність передачі [41, 42].

У SCN мобільна станція завжди може підключитися до базової станції за один стрибок, що відмінно від MCN. Зокрема, різниця між MCN і SCN включає в себе наступні аспекти:

- У SCN базова станція та мобільна станція завжди можуть з'єднуватися один з одним одним стрибком в межах однієї комірки. При відправці пакета мобільна станція завжди відправляє його на одну і ту ж базову станцію всередині комірки. Якщо вихідний і кінцевий вузли знаходяться в одній комірці, базова станція буде безпосередньо відправляти пакет на кінцеві вузли. В іншому випадку базова станція переадресує пакет на базову станцію в комірці, що містить вузол призначення, а потім ця базова станція переадресує цей пакет на вузол призначення за один стрибок.
- Архітектура MCN аналогічна SCN, але вона не може гарантувати єдиний зв'язок між базовою та мобільною станцією. У MCN діапазон передачі базової станції та мобільної станції менше, ніж SCN, тому поняття "комірка" з SCN змінюється на "суб-комірку" в MCN. Як спеціальна бездротова мережа, ключова особливість MCN полягає в тому, що при наявності з'єднань між мобільними станціями мобільна станція може безпосередньо взаємодіяти з іншими, що може бути викликано

багатополюсною маршрутизацією і не підтримується в SCN. Якщо вихідні та кінцеві вузли знаходяться в одній комірці, то для ретранслятора можна використовувати інші мобільні станції, що також може викликати багатоперехідну маршрутизацію в комірці. Якщо джерело та призначення не знаходяться в одній комірці, пакети будуть відправлені на базову станцію у вихідній комірці, а потім переадресовані на цільову базову станцію. Нарешті, вони будуть відправлений на кінцевий вузол.

### 4.3 T-NOVA

T-NOVA (Мережева функція як послуга над віртуалізованими інфраструктурами - network function as-a-service over virtualized infrastructures) спільно розробляється низкою компаній і установ, що, як очікується, призведе до єдиного рішення для розгортання NFVs і управління ними за межами складових інфраструктур.

Зокрема, T-NOVA прагне розробити та впровадити інтегровану структуру управління, включаючи автоматизовані торгові системи для білінгової платформи для управління, моніторингу та оптимізації архітектури NFV. T-NOVA перетворює і вдосконалює існуючу структуру управління хмарними обчисленнями для еластичного розподілу ресурсів постачання та IT-інфраструктури, а також застосовує її для управління мережевими функціями. Він також розширює концепцію SDN, зосереджуючись на технології Openflow, для ефективного управління мережевими ресурсами, включаючи нарізку мережі, перенаправлення трафіку та Qos.

Крім підтримки мережевих операторів/постачальників послуг для ефективного управління мережею, T-NOVA також пропонує деякі інноваційні концепції. Зокрема, він розглядає можливість надання операційним



користувачам мережеских функцій як ціннісно-орієнтованої послуги, тобто мережеских функцій як послуги (NFaaS).

Як показано на рис.6.1, T-NOVA надає провайдеру комплексну послугу від платформи NFaaS, що складається з наступних компонентів:

1. Зв'язки.
2. Мережева функція. Відповідно до вимог, ці функції включають обробку потоку, механізми управління та розвантаження трафіку.

Для полегшення роботи користувачів T-NOVA створює інноваційний "магазин мережеских функцій", який аналогічний "магазину додатків" в деяких операційних системах. У магазині мережева функція, розроблена сторонніми розробниками, публікується як самостійна сутність, включаючи сховище і необхідні метадані. Магазин дозволяє користувачам вибрати віртуальний пристрій, який відповідає їхнім вимогам для налаштування / зміни та підключення до існуючого підключення.

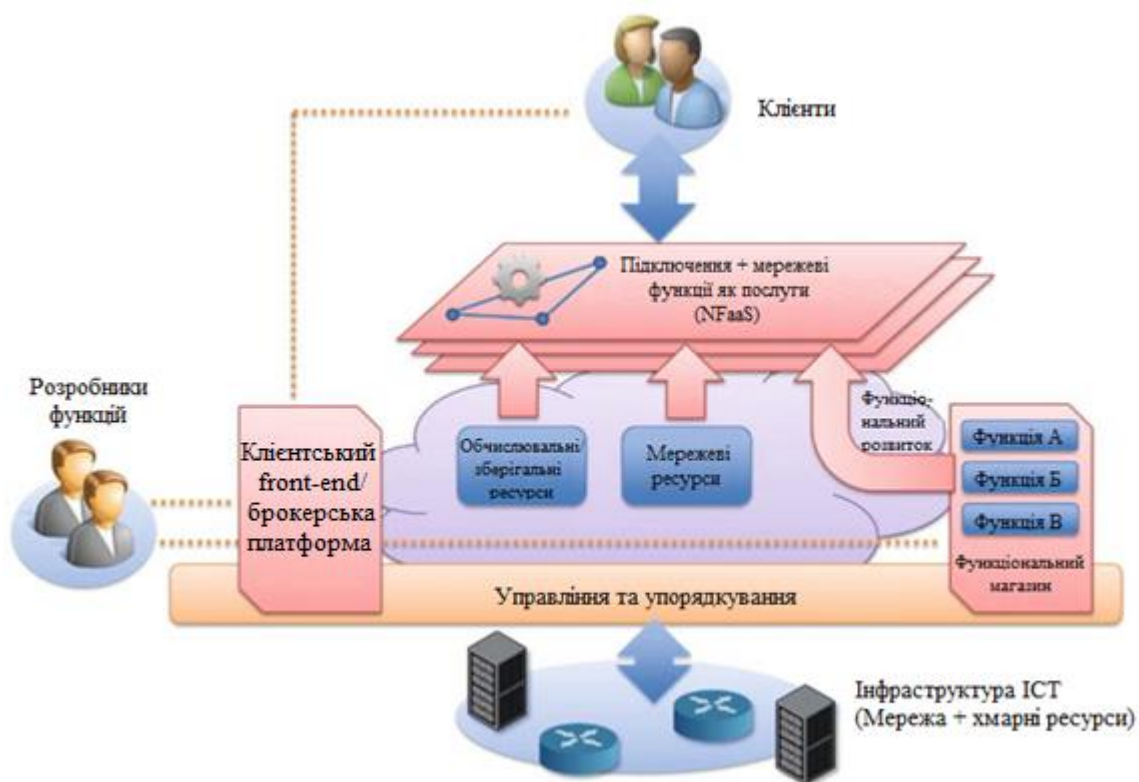


Рис. 6.1 Архітектура T-NOVA

Для розвитку конкуренції і підтримки різних конфігурацій передбачається, що нова брокерська платформа, тобто T-NOVA, дозволить користувачам вибирати відповідні сервіси і підтримувати безліч сторонніх розробників. Після отримання запиту користувача брокерська платформа повинна перевірити доступні мережеві та ІТ-ресурси, сховище, функцію і т. д.

Через платформу магазину функцій і брокера T-NOVA прагне просувати NFV, бізнес-рішення для розгортання і залучати більше уваги з боку промисловості та академічних кіл. Зокрема, T-NOVA фокусує інноваційну мережеву функцію або програмне забезпечення, яке може бути включено в функціональний магазин і швидко витіснене на ринок, уникаючи ризиків, викликаних апаратною інтеграцією і затримкою прототипу.

#### 4.4 iJOIN

iJOIN-це проект FP7 STREP, спільно фінансований Європейською Комісією в рамках теми ICT (Call 8) Генерального директорату з комунікаційних мереж, контенту і технологій (DG CONNECT). iJOIN представляє нову концепцію ran-asa-Service( RANaaS), яка являє собою централізовану хмарну відкриту архітектуру для IP-Інтернету. iJOIN прагне проектувати та оптимізувати зворотне з'єднання, алгоритми роботи та управління, а також елементи архітектури, інтеграцію малих осередків, гетерогенних зворотних перевезень та централізованої обробки.

iJOIN оптимізує пропускну здатність мережі радіодоступу (RAN) і ефективно надає послуги відповідно до динамічних вимог до вартості, енергії, складності і затримки. Крім того, з швидким розвитком технологій-кандидатів на фізичному, MAC і мережевому рівнях iJOIN буде досліджувати вимоги, обмеження і вплив існуючих мобільних мереж, особливо 3GPP LTE-A.

Введена концепція RANaaS доступна для абстрактних нових користувачів для ринку RAN / backhaul, який аналогічний постачальнику хмарної

інфраструктури або платформи. RANaaS також забезпечує технічну основу для коротшого та ефективнішого циклу розробки продукту. Нарешті, технологія iJOIN дозволить значно знизити витрати операторів, оскільки обчислювальна складність RAN частково переноситься на хмарну інфраструктуру.

Зокрема, очікується, що iJOIN:

1. Значно підвищить пропускну здатність системи без збільшення спектральних ресурсів;
2. Підвищить ефективність передачі даних за рахунок щільного розгортання RANaaS,
3. Скоротить витрати на розгортання і експлуатацію невеликих мереж;
4. Поліпшить коефіцієнт використання ресурсів.

#### 4.5 NUAGE

Платформа NUAGE (платформи модулів віртуальних сервісів) - програмно-визначені мережі домінування компанії Nokia. Вона може віртуалізувати будь-яку мережеву архітектуру DC і автоматично підключатися до комп'ютерних ресурсів під час створення.

З точки зору політики мережі постійного струму, переваги NUAGE в основному впливають з відокремленого управління від інфраструктури. Зокрема, вона включає в себе наступні переваги:

- Мережевий зріз можна візуально контролювати, і постачальники, і орендарі, і групи і користувачі отримують послуги на основі ролей.
- Будь-який існуючий DC може бути віртуалізований і автоматизований.
- Він сумісний з будь-якими відкритими програмними продуктами, такими як Openstack, CloudStack [40], VMware Cloud.
- Він забезпечує повну віртуалізацію і автоматично завершує з'єднання між внутрішньою мережею і DC, а також з'єднання між DC і VPN підприємства.

Віртуалізовані мережеві послуги (VNS) Nuage є доповненням до існуючих IP VPN і Carrier Ethernet VPN. Але на відміну від цих VPN сервісів, Nuage VNS спеціально розроблені для хмарних ІТ підприємств з шаблонами споживання. Відповідно до вимог підприємств, Nuage VNS надає гнучкі та необмежені мережеві послуги, що відповідають динамічному хмарному середовищу.

Nuage VNS-це новий підхід до побудови глобальної мережі для безперешкодного підключення підприємства, незалежно від розміру або географії, в той час як індивідуальні мережеві вимоги знижуються.

На малюнку.6.2, він показує архітектуру Nuage, що складається в основному з хмарного споживання, розширюваності та безпеки, гнучкої мережі та операційної масштабованості. Зокрема, використання хмари дозволяє уніфікувати управління публічною і приватною хмарою для надання наступних послуг:

- Бухгалтерський облік через хмару, наприклад OpenStack, CloudStack тощо.
- Управління за допомогою відкритих API, таких як OpenStack Horizon та ін.
- Налаштування за допомогою великих середовищ розробки, таких як Kubernetes [38], Mesos [39] і т. д.



## Рис. 4.2 Архітектура NUAGE

Розширюваність та безпека дозволяє перевірити, щоб:

- Інтегрованість з іншими додатками, такими як бази даних, пристрої безпеки, операційні системи і т. д.;
- Управління мережевими ресурсами за допомогою політики, попереднього налаштування або користувальницького інтерфейсу;
- Персоналізації.

Гнучка мережа підтримує:

- Контроль, віртуалізацію та управління ресурсами без оновлення;
- Співіснування декількох віртуалізованих середовищ.

Оперативна масштабованість забезпечує:

- Ефективну багатокористувацьку роботу і багатоадресну передачу, мережевий шаблон і інші мережеві функції;
- Візуалізоване NFV

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У цьому розділі представлені п'ять репрезентативних проєктів по 5G, які є новим підходом до побудови глобальної мережі, включаючи мобільні і бездротові засоби зв'язку для інформаційного суспільства "2020" (METIS), стільникові мережі з декількома стрибками (MCN), Мережева функція as-a-service над віртуалізованими інфраструктурами (T-NOVA), iJOIN і платформа віртуалізованих послуг Nuage (NUAGE)

## ВИСНОВКИ

Хоча вже існують деякі відповідні 5G документи, що визначають технічні характеристики, дослідження 5G все ще знаходиться на початковій стадії. Розглядаючи майбутній розвиток комп'ютерних, мережевих і комунікаційних технологій, 5G, як очікується, стане майбутньою архітектурою бездротових мереж, націленої на створення віртуальних, настроюваних і інтелектуальних систем мобільного зв'язку.

В даний час дослідження по 5G все ще знаходяться на початковій стадії, вже існують деякі 5G-релевантні документи, що визначають технічні характеристики [46, 48, 52]. Крім того, хоча деякі дослідники обговорювали, як побудувати мережу 5G з різних точок зору, таких як повітряний інтерфейс [47], міліметрова хвиля [49, 51] і споживання енергії [50], багато з цих досліджень зосереджені на технічних деталях, рідко створюючи всю систему з глобальної точки зору. Можна передбачити, що 5g не може бути визначений сервісом або типовою технологією.

Поряд з постійним підвищенням пропускної здатності бездротової системи мобільного зв'язку та швидким розвитком додатків мобільного інтернету для особистого користування та бізнесу, галузі, пов'язані з мобільним зв'язком, трансформуються в різноманітну екосистему. 5G - це не просто технологія, що забезпечує більш високу швидкість передачі даних, більшу пропускну здатність і пропускну здатність, але і система для розміщення різних бізнес-орієнтованих додатків. Зокрема, 5G повинна відповідати наступним вимогам і пов'язаним з ними проблемам:

- Достатність: оскільки користувачі покладаються на мобільні додатки, бездротові мобільні мережі наступного покоління повинні забезпечувати достатню швидкість і пропускну здатність для користувачів. З точки зору сучасного бізнесу можна очікувати, що більшість мобільних терміналів

повинні досягати швидкості передачі даних 10 Мбіт / с для підтримки стиснення відео у форматі Full-HD. У деяких спеціальних сценаріях бездротові термінали необхідні для досягнення швидкості передачі даних 10 Гбіт / с, наприклад, для миттєвого і дуже швидкого завантаження файлів з прилеглої точки доступу.

- Зручність: повсюдне охоплення і стабільну якість зв'язку є основними вимогами до зручної для користувача системи зв'язку. Існуючі системи мобільного зв'язку охоплюють майже всі населені пункти, але все ще мають сліпі зони. Бездротовий зв'язок з швидко рухомими транспортними засобами (наприклад, високошвидкісними поїздами) поки не є стабільним і надійним. Майбутні системи мобільного зв'язку будуть поєднувати в собі різні засоби зв'язку, щоб забезпечити користувачам повсюдне охоплення і надійну якість зв'язку.
- Зручність використання: технологічна система 5G складна, з точки зору користувача вона повинна бути простою і зручною, оскільки технологія доступу буде прозорою для користувачів, а термінали будуть легко перемикатися між технологіями доступу.
- Економія: передбачається, що системи 5G є економічно ефективними для користувачів. Економічна ефективність може бути досягнута за рахунок зниження витрат на інвестиції в інфраструктуру і більш ефективного використання мережевих ресурсів.
- Персоналізація: мобільні системи 5G повинні бути орієнтовані на людей. Користувачі можуть налаштовувати свої послуги відповідно до своїх індивідуальних уподобань і користуватися персоналізованими послугами.

По суті, щоб впоратися з новими вимогами 5G, такими як більш висока ємність і швидкість передачі даних, підтримка великої кількості підключених пристроїв, більш висока надійність, більша універсальність і підтримка топологій конкретних областей застосування, необхідні нові концепції та підходи до проектування. Деякі існуючі методи можуть бути реалізовані для

збільшення пропускної здатності і забезпечення більш ефективної передачі даних, для управління перешкодами, а також для взаємодії з іншими системами. Крім того, для оптимізації роботи мережі будуть потрібні удосконалення в терміналах і приймачах. Хмарна архітектура-це цікава парадигма для 5G, поряд з хмарними обчисленнями, MIMO, NFV, SDN і великими даними.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 A. Gohil, H. Modi, S.K. Patel, 5G technology of mobile communication: a survey, in 2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP) (IEEE, Vallabh Vidhyanagar, Anand, 2013), pp. 288–292
- 2 T. Janevski, 5G mobile phone concept, in 2009 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (IEEE, Las Vegas, 2009), pp. 1–2
- 3 S.G. Larew, T.A. Thomas, M. Cudak, A. Ghosh, Air interface design and ray tracing study for 5G millimeter wave communications, in 2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (IEEE, Atlanta, 2013), pp. 117–122
- 4 Q.C. Li, H. Niu, A.T. Papathanassiou, G. Wu, 5G network capacity: key elements and technologies. *IEEE Veh. Technol. Mag.* **9**(1), 71–78 (2014)
- 5 G.R. MacCartney, J. Zhang, S. Nie, T.S. Rappaport, Path loss models for 5G millimeter wave propagation channels in urban microcells, in 2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (IEEE, Atlanta, 2013), pp. 3948–3953
- 6 M. Olsson, C. Cavdar, P. Frenger, S. Tombaz, D. Sabella, R. Jäntti, 5GrEEn: towards green 5G mobile networks, in The 9th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2013), International Workshop on the Green Optimized Wireless Networks (GROWN 2013), IEEE Conference Proceedings, Lyon, 7th October, 2013, pp. 212–216
- 7 M.S. Pandey, M. Kumar, A. Panwar, I. Singh, A survey: wireless mobile technology generations with 5G. *Int. J. Eng.* **2**(4), 33–37 (2013)
- 8 T.S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G.N. Wong, J.K. Schulz, M. Samimi, F. Gutierrez, Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: it will work! *IEEE Access* **1**, 335–349 (2013)
- 9 A. Tudzarov, T. Janevski, Functional architecture for 5G mobile networks. *Int. J. Adv. Sci. Technol.* **32**, 65–78 (2011)

10 L.-C. Wang, S. Rangapillai, A survey on green 5G cellular networks, in 2012 International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM) (IEEE, Bangalore, 2012), pp. 1–5

11 G. Carella, M. Corici, P. Crosta, P. Comi, T.M. Bohnert, A.A. Corici, D. Vingarzan, T. Magedanz, Cloudified IP multimedia subsystem (IMS) for network function virtualization (NFV)-based architectures, in 2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC) (IEEE, Madeira, 2014), pp. 1–6

12 A. Checko, H.L. Christiansen, Y. Yan, L. Scolari, G. Kardaras, M.S. Berger, L. Dittmann, Cloud ran for mobile networks—a technology overview. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* **17**(1), 405–426 (2015)

13 Z. Huiling, S. Fan, Development and challenge of SDN/NFV. *Telecommun. Sci.* **30**(8), 13–18 (2014)

14 J. Liu, Z. Jiang, N. Kato, O. Akashi, A. Takahara, Reliability evaluation for NFV deployment of future mobile broadband networks. *IEEE Wirel. Commun.* **23**(3), 90–96 (2016)

15 J. Medved, R. Varga, A. Tkacik, K. Gray, Opendaylight: towards a model-driven SDN controller architecture, in *Proceeding of IEEE International Symposium on aWorld ofWireless, Mobile and Multimedia Networks 2014* (2014)

16 M. Rose, F.W. Broussard, Agentless application virtualization: enabling the evolution of the desktop. White Paper, IDC, and Sponsored by VMware (2008)

17 O. Sefraoui, M. Aissaoui, M. Eleuldj, Openstack: toward an open source solution for cloud computing. *Int. J. Comput. Appl.* **55**(3), 38–42 (2012)

18 G. Wang, T.E. Ng, The impact of virtualization on network performance of amazon EC2 data center, in *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE* (IEEE, San Diego, 2010), pp. 1–9

19 M. Bansal, J. Mehlman, S. Katti, P. Levis, Openradio: a programmable wireless dataplane, in *Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks* (ACM, New York, 2012), pp. 109–114

- 20 G. Barish, K. Obraczke, World wide web caching: trends and techniques. *IEEE Commun. Mag.* **38**(5), 178–184 (2000)
- 21 A.A. Dixit, F. Hao, S. Mukherjee, T. Lakshman, R. Kompella, Elasticon: an elastic distributed sdn controller, in *Proceedings of the Tenth ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems* (ACM, New York, 2014), pp. 17–28
- 22 A. Dutta, H. Schulzrinne, Marconinet: overlay mobile content distribution network. *IEEE Commun. Mag.* **42**(2), 64–75 (2004)
- 23 A. Gudipati, D. Perry, L.E. Li, S. Katti, SoftRAN: software defined radio access network, in *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking* (ACM, New York, 2013), pp. 25–30
- 24 S. Hassas Yeganeh, Y. Ganjali, Kandoo: a framework for efficient and scalable offloading of control applications, in *Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks* (ACM, New York, 2012), pp. 19–24
- 25 S. Jain, A. Kumar, S. Mandal, J. Ong, L. Poutievski, A. Singh, S. Venkata, J. Wanderer, J. Zhou, M. Zhu et al., B4: experience with a globally-deployed software defined wan. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* **43**(4), 3–14 (2013)
- 26 T. Koponen, M. Casado, N. Gude, J. Stribling, L. Poutievski, M. Zhu, R. Ramanathan, Y. Iwata, H. Inoue, T. Hama et al., Onix: a distributed control platform for large-scale production networks, in *OSDI*, vol. 10 (2010), pp. 1–6
- 27 M. Rabinovich, O. Spatscheck, *Web Caching and Replication* (Addison-Wesley, Boston, 2002)
- 28 R. Raghavendra, J. Lobo, K.-W. Lee, Dynamic graph query primitives for sdn-based cloudnetwork management, in *Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks* (ACM, New York, 2012), pp. 97–102
- 29 M. Reitblatt, M. Canini, A. Guha, N. Foster, Fattire: declarative fault tolerance for softwaredefined networks, in *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking* (ACM, New York, 2013), pp. 109–114

- 30 L. Suresh, J. Schulz-Zander, R. Merz, A. Feldmann, T. Vazao, Towards programmable enterprise WLANS with Odin, in Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks (ACM, New York, 2012), pp. 115–120
- 31 A. Tootoonchian, Y. Ganjali, HyperFlow: a distributed control plane for OpenFlow, in Proceedings of the 2010 Internet Network Management Conference on Research on Enterprise Networking (2010), pp. 3–3
- 32 A. Tootoonchian, S. Gorbunov, Y. Ganjali, M. Casado, R. Sherwood, On controller performance in software-defined networks, in Presented as Part of the 2nd USENIX Workshop on Hot Topics in Management of Internet, Cloud, and Enterprise Networks and Services (2012)
- 33 D. Williams, H. Jamjoom, Cementing high availability in OpenFlow with RuleBricks, in Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking (ACM, New York, 2013), pp. 139–144
- 34 K.-K. Yap, M. Kobayashi, R. Sherwood, T.-Y. Huang, M. Chan, N. Handigol, N. McKeown, Openroads: empowering research in mobile networks. ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. **40**(1), 125–126 (2010)
- 35 M. Yu, J. Rexford, M.J. Freedman, J. Wang, Scalable flow-based networking with difane. ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. **40**(4), 351–362 (2010)
- 36 C.-K. Zhang, Y. Cui, H.-Y. Tang, J.-P. Wu, State-of-the-art survey on software-defined networking (sdn). J. Softw. **1**(01), 62–81 (2015)
- 37 Z. Zirui, W. Jingyu, X. Tong, Tenant-oriented customized vm networking technology. Telecommun. Sci. **31**(10), 2015267 (2015)
- 38 E.A. Brewer, Kubernetes and the path to cloud native, in Proceedings of the Sixth ACM Symposium on Cloud Computing (ACM, New York, 2015), p. 167
- 39 B. Hindman, A. Konwinski, M. Zaharia, A. Ghodsi, A.D. Joseph, R.H. Katz, S. Shenker, I. Stoica, Mesos: a platform for fine-grained resource sharing in the data center, UC Berkeley, Technical Report, UCB/EECS-2010-87 [Online]. Available: <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2010/EECS-2010-87.html> (2010)

- 40 R. Kumar, K. Jain, H. Maharwal, N. Jain, A. Dadhich, Apache cloudstack: open source infrastructure as a service cloud computing platform, in Proceedings of the International Journal of Advancement in Engineering Technology, Management and Applied Science (2014), pp. 111–116
- 41 L. Le, E. Hossain, Multihop cellular networks: potential gains, research challenges, and a resource allocation framework. *IEEE Commun. Mag.* **45**(9), 66–73 (2007)
- 42 X.J. Li, B.-C. Seet, P.H.J. Chong, Multihop cellular networks: technology and economics. *Comput. Netw.* **52**(9), 1825–1837 (2008)
- 43 Y.-D. Lin, Y.-C. Hsu, Multihop cellular: a new architecture for wireless communications, in INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, vol. 3 (IEEE, Tel Aviv, 2000), pp. 1273–1282
- 44 A. Osseiran, F. Boccardi, V. Braun, K. Kusume, P. Marsch, M. Maternia, O. Queseth, M. Schellmann, H. Schotten, H. Taoka et al., Scenarios for 5g mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. *IEEE Commun. Mag.* **52**(5), 26–35 (2014)
- 45 H.M.P. Team, Metis: striding towards 5G. *Communicate* **73**, 49–52 (2014)
- 46 A. Gohil, H. Modi, S.K. Patel, 5G technology of mobile communication: a survey, in 2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP) (IEEE, Gujarat, 2013), pp. 288–292
- 47 S.G. Larew, T.A. Thomas, M. Cudak, A. Ghosh, Air interface design and ray tracing study for 5G millimeter wave communications, in 2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (IEEE, Atlanta, 2013), pp. 117–122
- 48 Q.C. Li, H. Niu, A.T. Papathanassiou, G. Wu, 5G network capacity: key elements and technologies. *IEEE Veh. Technol. Mag.* **9**(1), 71–78 (2014)
- 49 G.R. MacCartney, J. Zhang, S. Nie, T.S. Rappaport, Path loss models for 5G millimeter wave propagation channels in urban microcells, in 2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (IEEE, Atlanta, 2013), pp. 3948–3953

50 M. Olsson, C. Cavdar, P. Frenger, S. Tombaz, D. Sabella, R. Jäntti, 5GrEEEn: towards green 5G mobile networks, in 2013 IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob) (Lyon, 2013), pp. 212–216

51 T.S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G.N. Wong, J.K. Schulz, M. Samimi, F. Gutierrez, Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: it will work! *IEEE Access* **1**, 335–349 (2013)

52 A. Tudzarov, T. Janevski, Functional architecture for 5G mobile networks. *Int. J. Adv. Sci. Technol.* **32**, 65–78 (2011)