ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «**МЕТОДИ ПОБУДОВИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ**»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Максим АВРАМЧУК
(підпис) Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти гр. ТСДМ-61
Максим АВРАМЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: д.т.н., проф. Віктор ЗАЇКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Науковий ступень,
вчене звання
Резензент: _____
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Науковий ступень
вчене звання

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж_____
Ступінь вищої освіти магістр_____
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка_____
Освітньо-професійна програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТСМ

_____ Віктор ЗАЇКА

«____» _____2025 р.

_

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Аврамчук Максим Миколайович

1. Тема роботи: “Методи побудови інфокомунікаційної мережі на базі програмно-конфігурованих мереж”,
керівник роботи Віктор ЗАЇКА, д.т.н., професор
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 30.10. 2025 року № 467

2. Строк подання кваліфікаційної роботи:

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
1. Технології, що використовуються в мережі майбутнього (NGN).
2. Документ М.3000 “Огляд рекомендацій в області TMN”.
3. Стандарт М.3200 “Послуги управління TMN”.
4. Стандарт М.3400 “Функції керування TMN”
5. Стандарт ONF: SDN (Open Networking Foundation).
6. Стандарт IETF: SDN (Internet Engineering Task Force).
7. Стандарт ITU: SDN (International Telecommunication Union).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналіз розвитку сучасних ТК мереж

2. Аналіз сучасних концепцій управління ТК мережами.
3. Принцмпи побудови ТК мереж та систем управління з застосуванням концепції SDN
4. Аналіз алгоритмів функціонування програмно-конфігурованих телекомунікаційних мереж
5. Розрахунок часу затримки в інфокомунікаційних мережах на основі моделі масового обслуговування

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: презентація на 10 слайдах.

6.Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	03.11.2025	Викон.
2.	Аналіз розвитку сучасних ТК мереж	12.11.2025	Викон.
3.	Аналіз сучасних концепцій управління ТК мережами	21.11.2025	Викон.
4.	Принцмпи побудови ТК мереж та систем управління з застосуванням концепції SDN	28.11.2025	Викон.
5.	Аналіз алгоритмів функціонування програмно-конфігурованих телекомунікаційних мереж	01.12.2025	Викон.
6.	Розрахунок часу затримки в інфокомунікаційних мережах на основі моделі масового обслуговування	08.12.2025	Викон.
7.	Висновки, вступ, реферат	15.12.2025	Викон.
8.	Розробка презентації	22.12.2025	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Максим АВРАМЧУК
(підпис) (Ім'я,ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віктор ЗАЇКА
(підпис) (Ім'я,ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 95 стор., 23 рис., 2 табл., 20 джерел.

Мета роботи – дослідження принципів функціонування програмно-конфігурованих мереж та методів їх впровадження у сучасні телекомунікаційні мережі.

Об'єкт дослідження – архітектура сучасних телекомунікаційних мереж.

Предмет дослідження – принципи побудови програмно-конфігурованих мереж.

В роботі приведено основі відомості про сучасні телекомунікаційні мережі (технологій доступу і транспорту, на основі NGN) та виявлено тенденції їх сучасного розвитку. Наведені приклади сучасних концепцій управління телекомунікаційними мережами та проаналізована їх ефективність.

Проаналізована структура програмно-конфігурованої мережі та розроблені рекомендації щодо переходу від сучасних телекомунікаційних мереж до програмно-конфігурованих. Розглянуто обладнання, яке може застосовуватись у програмно-конфігурованих мережах та наведен приклад впровадження такої мережі на прикладі компанії Google.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖА МАЙБУТНЬОГО NGN, ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА МЕРЕЖА, TELECOMMUNICATION MANAGEMENT NETWORK, ПРОТОКОЛ OPENFLOW, КОМУТАТОР, КОНТРОЛЕР, ТЕХНОЛОГІЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ NFV, МІГРАЦІЯ, КОМУТАЦІЯ ПАКЕТІВ.

ABSTRACT

Text part of the qualification work for the degree of Master: 95 pages, 23 figures, 2 tables, 20 sources.

The purpose of the work is to study the principles of functioning of software-configured networks and methods of their implementation in modern telecommunication networks.

The object of the research is the architecture of modern telecommunication networks.

The subject of the research is the principles of building software-configured networks.

Summary of the work: The work provides basic information about modern telecommunication networks (access and transport technologies, based on NGN) and reveals trends in their modern development. Examples of modern concepts of telecommunication network management are given and their effectiveness is analyzed.

The structure of a software-configured network is analyzed and recommendations are developed for the transition from modern telecommunication networks to software-configured ones. The equipment that can be used in software-configured networks is considered and an example of implementing such a network is given using the example of Google.

KEYWORDS: FUTURE NGN NETWORK, SOFTWARE-DEFINED NETWORK, TELECOMMUNICATION MANAGEMENT NETWORK, OPENFLOW PROTOCOL, SWITCH, CONTROLLER, NFV VIRTUALIZATION TECHNOLOGY, MIGRATION, PACKET SWITCHING.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 9

ВСТУП 10

1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТК МЕРЕЖ 12

1.1 Сучасні технології доступу 12

1.2 Сучасні технології транспорту 22

2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ УПРАВЛІННЯ ТК МЕРЕЖАМИ 30

2.1 Концепція TMN 30

2.2 Концепція Smart TMN 40

3 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТК МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЦОНЕПЦІЇ SDN 42

3.1 Структура Програмно-конфігурованої мережі (на основі протоколу OpenFlow). 42

3.2 Комутація пакетів та балансування на основі таблиць потоків 47

3.3 Підходи міграції 53

4 АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОГРАМНО- 62

КОНФІГУРОВАНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ 62

4.1 Стандартизація програмно-конфігурованих мереж 62

4.2 Технологія віртуалізації NFV (Network Functions Virtualization - Віртуалізація Мережевих Функцій) 66

4.3 Існуючі рішення ПКМ (Обладнання, що можливе для використання в ПКМ).....76

5. РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЗАТРИМКИ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ 84

ВИСНОВКИ 94

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 96

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

NGN – Next Generation Network, мережа майбутнього.

QoS – Quality of Service, якість обслуговування, що включає в себе такі параметри: затримка, джиттер та втрати пакетів

SDH – Synchronous Digital Hierarchy, цифрова синхронна ієрархія.

MPLS – Multiprotocol Label Switching, багатопротокольна комутація з використанням міток.

ВОСП – Волоконно-оптичні системи передачі.

ВОЛЗ – Волоконно-оптичні лінії зв’язку.

TMN – Telecommunications Management Network, мережа управління телекомунікаціями.

ЦСІС – Цифрові системи з інтеграцією служб.

LAN – Local Area Network, локальна обчислювальна мережа.

WAN – Wide Area Network, глобальна обчислювальна мережа.

PAN – Personal Area Network, персональна мережа.

ATM – Asynchronous Transfer Mode, асинхронний режим передачі.

ПКМ – Програмно-конфігурована мережа.

SDN – Software Defined Network, програмно-конфігурована мережа

NFV – Network Function Virtualization, віртуалізація мережних функцій.

VNF – Virtual Network Function, блок віртуальної мережевої функції.

OS – Operating System, операційна система.

ВСТУП

Актуальність дослідження: Телекомунікаційні мережі стають все більш динамічними, а системи управління – складнішими та інтелектуальнішими. Програмно-конфігурована мережа (ПКМ) – телекомунікаційна мережа, в якій рівень керування представлений програмним контролером і є відділеним від рівня передавання даних. Технологія ПКМ забезпечує високу гнучкість управління та суттєво спрощує віртуалізацію мережних ресурсів. Можливість динамічної конфігурації мережі з допомогою контролера без зміни апаратного чи програмного забезпечення мережних пристроїв зумовила те, що сьогодні більшість операторів телекомунікаційних мереж впроваджують цю технологію. Разом з тим, алгоритми управління трафіком та методи передавання даних залишаються незмінними, а отже, питання забезпечення якості обслуговування трафіку згідно з вимогами користувачів та ефективності використання мережних ресурсів не втрачають актуальності. Незважаючи на значну кількість розроблених та впроваджених технічних рішень управління процесами передавання даних, невирішеними досі залишаються задачі ефективної маршрутизації потоків для забезпечення вимог якості обслуговування мультисервісного трафіку в умовах перевантажених каналів та обмежених мережних ресурсів.

Ступінь наукової розробки: Задачі маршрутизації та управління інформаційними потоками для підвищення якості обслуговування в мультисервісних програмно-конфігурованих мережах досліджували провідні вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема такі: Лемешко О.В., Євсеєва О.Ю, Ложковський А.Г., Беркман Л.Н., Безрук В.М., Климаш М.М, Szu-Yuan Chen, Wolfgang Kellerer, H. Hasan, Ken-Ichi Suzuki, Muhammad Aziz Muslim, Alexander Gelberger. Незважаючи на значну кількість розроблених та впроваджених технічних рішень управління процесами передавання даних, невирішеними досі залишаються задачі ефективної маршрутизації потоків для забезпечення вимог якості обслуговування

мультисервісного трафіку в умовах перевантажених каналів та обмежених мережних ресурсів. Основною причиною цього є відсутність засобів контролю за процесом передавання окремих потоків, внаслідок чого система управління не має змоги зафіксувати погіршення якості обслуговування для цих потоків, а тому не може гарантувати рівень обслуговування, узгоджений у сервісному договорі SLA (Service Level Agreement).

Практичне значення одержаних результатів: Запропоновано два принципи переходу до програмно-конфігурованих мереж, що дасть змогу ефективному використанню мережних ресурсів і призведе до підвищення якості обслуговування користувачів.

1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТК МЕРЕЖ

1.1 Сучасні технології доступу

З розвитком інфокомунікаційних послуг стали досить популярними обговорення різних варіантів архітектури NGN, які в рамках єдиної інфраструктури об’єднують мережі ТМЗК (Телефонна Мережа Загального Користування), мобільний зв’язок, ресурси мережі Інтернет, телефонію по IP-протоколу. Одною з основних відмінностей концепції NGN від реалізуємих до цього мережевих інфраструктур є перехід до принципіально іншої функціональної моделі.

Концепція NGN, в першу чергу, характеризується чітким поділом трьох рівнів з'єднання відповідно до їх функціональних завданнь: для комутації та передачі мовної інформації використовується транспортний функціональний рівень, для передачі інформації сигналізації - рівень сигналізації, а надання послуг, відмінних від базових, здійснюється на рівні послуг. При цьому між рівнями визначені інтерфейси, які є об'єктом стандартизації. Отримавши подібну незалежність один від одного, рівні в подальшому можуть розвиватися самостійно. Більш того, з точки зору адміністративного ділення мережі може ставитися питання про те, щоб послуги різних рівнів надавалися різними операторами.

Сьогодні найбільшого поширення набула чотирьохрівнева архітектура NGN:



Рис. 1.1 Архітектура мережі майбутнього

Основні системи доступу, що застосовуються в абонентських мережах в наш час і які плануються застосовуватись в найближчому майбутньому:

1) Мережі, засновані на технологіях сімейства xDSL (Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія) - забезпечують на ділянці доступу швидкості передачі до декількох Мбіт/с по крученій парі без застосування регенераторів.

До них відносяться:

- ***Мережа HDSL (High Bit Rate DSL - високошвидкісна цифрова абонентська лінія)***, що забезпечує швидкості передачі T1/E1 (1,5/2 Мбіт/с) по двох кручених парах. При діаметрі жили 0,5 мм ці системи забезпечували дальність зв'язку до 5 км без установки додаткових регенераторів;
- ***Мережа ADSL (Asymmetrical DSL - асиметрична цифрова абонентська лінія)***, що забезпечує по одній парі швидкості передачі від 384 кбіт/с до 8 Мбіт/с від станції до абонента (в прямому напрямку або «вниз») і від 128 кбіт/с до 1,5 Мбіт/с від абонента до телефонної станції («наверх» або в зворотному напрямку); Дані в системах ADSL передаються в діапазоні частот, розташованому вище смуги тонального каналу, однак для поділу мовного сигналу і даних необхідно застосовувати спеціальний розділовий фільтр (splitter), що забезпечує одночасну передачу мовного сигналу і даних. Для формування лінійного сигналу в апаратурі ADSL застосовуються два типи модуляції - амплітудно-фазова модуляція з заглушенням несучої або дискретна багаточастотна модуляція. Другий тип модуляції має більш високу завадостійкість, але характеризується більш складною реалізацією, тобто збільшеною кінцевою вартістю виробів.
- ***Мережа VDSL (Very High Bit Rate DSL - високошвидкісна цифрова абонентська лінія)***, що забезпечує швидкості передачі «вниз» від 10 до 50 Мбіт/с при довжині лінії, відповідно 1,5 км і 300 м. Швидкості передачі «вгору» при цьому складають від 1,5 до 2,3 Мбіт/с;

2) Системи на базі пасивних оптичних мереж (Passive Optical Network, PON) - під пасивною оптичною мережею розуміється структура мережі, коли від мережевого обладнання (Optical Line Terminal, OLT) до терміналу абонента (Pptical Network Unit, ONU) не встановлюється активне обладнання, і всі ONU підключені тільки до одного волокну. Тобто між прийомопередаваючим модулем центрального вузла OLT (Optical Line Terminal) і віддаленими абонентськими вузлами ONT (Optical Network Terminal) створюється повністю пасивна оптична мережа, що має топологію дерева. У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери) - компактні пристрої, які не потребують "харчування" і обслуговування. Один приймально-передаваючий модуль OLT дозволяє передавати інформацію безлічі абонентських пристроїв ONT. Число ONT, підключених до одного OLT, може бути настільки великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість приймально-передавальної апаратури (бюджет каналу - розрахунок втрат енергії сигналу, пов'язаних з фізичними процесами, що протікають в пристроях і середовищі поширення; розраховується як різниця в дБ між потужністю сигналу на виході передавача і чутливістю приймача, тобто мінімальною потужністю сигналу на вході приймача, необхідної для його розпізнавання) (в даний час до 64 ONT).

OLT (Optical Line Terminal) - оптичний лінійний термінал. Це обладнання, яке встановлюється на стороні оператора і може мати кілька PON портів (від 4-х і більше). До кожного з PON портів, за допомогою оптичного подільника, може бути підключено дерево, що включає до 64 абонентів.

ONT (Optical Network Terminal) - оптичний мережевий термінал. Це індивідуальне обладнання абонента в пасивної оптичної мережі. Воно встановлюється безпосередньо в приміщенні абонента і до нього може бути підключений ПК,
телевізор і IP телефон.

ONU (Optical Network Unit) - це групове абонентське обладнання. Він має кілька портів для підключення абонентів.

Центральний вузол PON може мати мережеві інтерфейси ATM, SDH (STM-1), Gigabit Ethernet для підключення до магістральних мереж. Абонентський вузол може надавати сервісні інтерфейси 10/100Base-TX, FXS (2, 4, 8 і 16 портів для підключення аналогових ТА), E1, ATM (E3, DS3, STM-1c).

Доступ безлічі ONU до єдиного волокну в системах PON може бути реалізований як на базі часового, так і на базі частотного поділу. До технологій на базі часового поділу відносяться: ATM Passive Optical Network (APON) (G.983), Gigabit PON (GPON) (G.984), Ethernet PON (EPON) (IEEE.802.3h), 10G EPON і ряд різновидів зазначених технологій. Прикладом технології з доступом з частотним поділом є WDM-PON. Зупинимося докладніше на технологіях з часовим поділом.

Оптичний спліттер - це пристрій, здатний розділити сигнал, що поширюється через оптичне волокно, між абонентами. У всіх пасивних оптичних мережах крім WDM PON, спліттер розділяє тільки потужність оптичного сигналу. В результаті на все абонентські пристрої надходить вся інформація (тільки різної потужності), що розповсюджується в мережі. Абонентське ж пристрій (ONT або ONU) відфільтровує і передає абоненту лише необхідні йому дані. Це пасивний, який не потребує обслуговування і харчування пристрій. Спліттер може ділити потужність сигналу між 2-ма, 3-ма і більше абонентами, аж до 64-х.

Для передачі прямого і зворотного каналів використовується одне оптичне волокно, смуга пропускання якого динамічно розподіляється між абонентами, або два волокна в разі резервування. Спадний потік (downstream) від центрального вузла до абонентів йде на довжині хвилі 1490 нм і 1550 нм для відео. Висхідні потоки (upstream) від абонентів йдуть на довжині хвилі 1310 нм з використанням протоколу множинного доступу за часовим поділом (TDMA).

Передача інформації від оператора до абонента організована за принципом кабельного телебачення. OLT передає широкомовний сигнал, який в кінцевому

підсумку потрапляє в усі ONT (ONU). ONT (ONU) на підставі заголовка пропускає до абонента тільки йому призначену інформацію. Причому, якщо інформація є корисною одночасно для декількох абонентів (наприклад, кілька абонентів дивляться один і той же фільм або канал) то вона передається один раз, але надходить до всіх зазначених абонентам.

Зворотний канал (від абонента до оператора) побудований за принципом часового поділу каналів. В цьому випадку, кожному абоненту надається проміжок часу (timeslot) протягом якого його абонентський пристрій активно. ONT другого абонента, що знаходиться в мережі, включається в момент виключення першого, і т.д.

APON (G.983) має швидкість 622 Мбіт/с (в сумі для всіх абонентів) як для спадного, так і для висхідного потоків. Максимальне число абонентських вузлів (ONU), які можна підключити на одне волокно, що йде з центрального вузла (OLT) = 32. Максимальна відстань OLT-ONU = 20 км. Лінійна швидкість висхідного і низхідного потоків для EPON = 1250 Мбіт/с, для GPON = 2488,32 Мбіт/с.

Технологія WDM-PON використовує поділ по довжинах хвиль DWDM для розміщення великої кількості паралельних високошвидкісних каналів поверх однієї інфраструктури PON. Тут кожен ONT передає і приймає дані на певній довжині хвилі. Типова архітектура WDM-PON буде замінювати пасивні сплітери на хвильові селективні фільтри, які часто реалізовані як грати на основі хвилеводів (Arrayed Waveguide Grating, AWG).

Основні переваги WDM-PON: висока швидкість передачі: поточні реалізації надають швидкості 20 Гбіт/с для 16 ONU, а в майбутньому передбачаються реалізації, де буде 64 довжини хвилі, кожна з яких працює на швидкості 10 Гбіт/с; Ви завжди маєте виділену смугу пропускання (немає розподілу на конкурентних засадах); ефективно використовується волокно (до 64 абонентів на волокно, як в GPON); можливе значне збільшення дальності зв'язку (використовуючи AWG з низькими втратами замість неефективних з точки зору втрат спліттеров при

стандартному для GPON бюджеті в 28 дБ, можна підключати абонентів на відстані близько 80 км).

Наприклад, обладнання оператора (OLT) розташовується в центральному офісі. Воно має 8 інтерфейсів (фідерних ліній), кожен з яких підтримує швидкість 40 Гбіт/інтерфейс. Кожна з фідерних ліній під'єднується до оптичного хвильовому спліттеру і ділиться на 32 канали. У кожне абонентський пристрій (ONU) приходить інформація на окремій довжині хвилі зі швидкістю 1,25 Гбіт/сек. ONU в свою чергу, має 4 порти, до яких можуть бути підключені 4 абонента. В цьому випадку, кожен з абонентів отримує інформацію зі швидкістю 300 Мб/сек.

3) Мережі Ethernet - технологія, в якій в якості методу доступу до загальної шини використовувався множинний доступ з контролем несучої і виявленням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD), при якому будь-яка станція отримувала доступ до середовища на першу вимогу, якщо несуча НЕ зайнята передачею інформації від іншої станції. При такому методі доступу до середовища виникали колізії в тому випадку, коли дві або більше станцій намагалися отримати доступ до середовища на певному інтервалі часу. Тут під терміном «певний інтервал часу» мається на увазі проміжок часу, протягом якого несучий сигнал від однієї станції не встигає розповсюдитися по всій шині. Інші станції ще не знають про те, що навколишнє середовище зайнято, і починають займати її самі; в результаті два або більше несучих сигналів конфліктують між собою, тобто відбувається колізія.

Стандартизацією Ethernet займається Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) в рамках спеціальної робочої групи 802.3, що дала назву і самому міжнародному стандарту IEEE 802.3. Стандарти Ethernet визначають дротяні з'єднання і електричні сигнали на фізичному рівні, формат пакетів і протоколи управління доступом до середовища - на канальному рівні моделі OSI.

У стандарті перших версій (Ethernet v1.0 і Ethernet v2.0) вказано, що в якості середовища використовується коаксіальний кабель, надалі з'явилася можливість

використовувати кабель вита пара і кабель оптичний. Метод управління доступом - множинний доступ з контролем несучої і виявленням колізій (CSMA/CD), швидкість передачі даних 10 Мбіт/с, розмір пакету від 72 до 1526 байт, описані методи кодування даних. Кількість вузлів в одному сегменті мережі обмежено граничним значенням в 1024 робочих станції (специфікації фізичного рівня можуть встановлювати жорсткіші обмеження, наприклад, до сегменту тонкого коаксіалу може підключатися не більше 30 робочих станцій, а до сегменту товстого коаксіалу - не більше 100).

Стандарт Ethernet визначає два режими передачі даних: напівдуплексний і повнодуплексний. Повнодуплексний режим може бути реалізований на 4-провідній крученій парі, де одна пара проводів використовується для передачі, інша - для прийому, і на двожильному оптоволокні, де один світловод використовується для передачі, а інший - для прийому.

Технологія Ethernet специфікує три швидкості передачі інформації: 10 Мбіт/с (Ethernet), 100 Мбіт/с (Fast Ethernet), 1000 Мбіт/с (Gigabit Ethernet).

У якості провідного фізичного середовища в мережі Ethernet можуть бути використані коаксіальний кабель, кручена пара, оптоволокно. Залежно від цього існують такі специфікації:

Для швидкості 10 Мбіт / с:

- 10BaseT. Використовується кабель на основі неекранованої крученої пари UTP з топологією типу «зірка» і максимально допустимою відстанню між центральним і кінцевими вузлами - не більше 100 метрів;
- 10BaseF, IEEE 802.3j. Використовується оптоволоконний кабель з топологією типу "зірка" на відстані до 2 кілометрів;
- 10Base2. Використовується «тонкий» коаксіальний кабель діаметром 0,25 дюйма з хвильовим опором - 50 Ом шинною топологією і максимально допустимою довжиною мережевого сегмента - 185 метрів без повторювачів;

- 10Base5. Використовується «товстий» коаксіальний кабель діаметром 0,5 дюйма з хвильовим опором - 50 Ом шинною топологією і максимально допустимою довжиною мережевого сегмента - 500 метрів без повторювачів;

Для швидкості 100 Мбіт / с:

- 100Base-TX. Застосовується двухпарний кабель на неекранованій крученій парі UTP категорії 5, або екранованій крученій парі STP типу 1;
- 100Base-T4. Застосовується чотирьохпарний кабель на неекранованій крученій парі UTP категорії 3 або 5;
- 100Base-FX. Застосовується багатомодовий оптоволоконний кабель. Довжина сегмента від 400 метрів (для гарантованного виявлення колізій) до 2 км в повнодуплексному режимі;

Для швидкості 1000 Мбіт / с:

- 1000Base-LX. Використовується одномодовий оптоволоконний кабель при довжині сегмента до 5000 м і багатомодовий оптоволоконний кабель при довжині сегмента до 550 м і довгохвильові лазери для кампусних магістралей;
- 1000BaseSX. Використовується багатомодовий оптоволоконний кабель при довжині сегмента до 500 м і короткохвильові лазери для коротких магістралей;
- 1000BaseSX. Використовується багатомодовий оптоволоконний кабель при довжині сегмента до 500 м і короткохвильові лазери для коротких магістралей;
- 1000BaseT. Використовується чотирьохпарна неекранована кручена пара 5 категорії з максимально допустимою довжиною сегмента до 100 м.

4) Системи доступу з використанням спеціальних модемів в мережах кабельного телебачення КАТВ (Cable modems) - технологія доступу в Інтернет, що надається операторами в мережах КАТВ. Кабельні модеми, що використовуються для цих цілей за своїми характеристиками перевершують системи ADSL, забезпечуючи на абонентській ділянці швидкості передачі до 3 Мбіт/с в симетричних конфігураціях і до 40 Мбіт/с у прямому і до 10 Мбіт/с у зворотному

напрямках в асиметричних конфігураціях. Крім того, кабельні модеми можуть бути також застосовані для передачі мови через Інтернет (Voice over IP).

5) Комбіновані системи «волокно/коаксіал» (Hybrid Fiber/Coaxial, HFC) - результат еволюції мережі на основі коаксіального кабелю до гібридної інфраструктури абонентського доступу типу HFC із застосуванням коаксіального і волоконно-оптичного кабелю. Застосовується операторами мереж КАТВ для забезпечення широкосмугового доступу. Ці мережі плануються для надання широкого спектра послуг, включаючи ТБ мовлення, високошвидкісний доступ в Інтернет, телефонію (наприклад, при послузі video on demand ділянку між відеосервером і вузлом КТБ - оптоволокно, а між вузлом КТБ і абонентськими терміналами - кабель).

6) Оптоволоконні системи доступу типу FTTH (Fiber-to-the-Home), FTTB (Fiber-to-the-Building), FTTC (Fiber-to-the-Curb) - технологія, яка надає можливість побудови абонентської ділянки повністю на волоконно-оптичному кабелі. У той же час для квартирних користувачів оператори (як правило, альтернативні) починають розгортання бездротових широкосмугових абонентських мереж, що забезпечують інтерактивний режим обміну широкосмугового інформацією.

7) Системи бездротового широкосмугового доступу – рішення на основі використання бездротових технологій, таких як – Wi-Fi, WiMAX, стільникові мережі рухомого зв’язку 2-го і 3-го поколінь.

Системи Wi-Fi. Стандарт Wi-Fi був створений в 1991 році для застосування в локальних бездротових мережах в діапазонах 2,4; 3,6 і 5 ГГц. Стандарт описаний в специфікаціях IEEE 802.11. Сьогодні відома велика кількість систем, описаних у стандарті 802.11a, b, g, h, n, p і ряді варіантів. Стандарт забезпечує швидкість передачі даних до декількох десятків Мбіт/с (11-54).

Основною перевагою технології в порівнянні з дротяними технолгоіями є те, що Wi-Fi дозволяє розгорнути локальну мережу без прокладки кабелю. Це веде до

зменшення вартості розгортання і розширення мережі. Місця, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями і в будівлях, що мають історичну цінність, можуть обслуговуватися бездротовими мережами. Ще одна перевага технології - мережі Wi-Fi підтримують роумінг, тому клієнтська станція може переміщатися в просторі, переходячи від однієї точки доступу до іншої.

До недоліків технології відноситься, перш за все, обмежений радіус дії. Типовий домашній маршрутизатор Wi-Fi стандарту 802.11b або 802.11g має радіус дії 45 м в приміщенні і 90 м зовні. Відстань залежить також від частоти. Система Wi-Fi в діапазоні 2.4 ГГц має радіус покриття більше, ніж система Wi-Fi в діапазоні 5 ГГц, і менше, ніж Wi-Fi на частоті 900 МГц. Стандарт Wi-Fi розглядається як бездротовий аналог технологій для провідних локальних мереж.

Системи WiMAX. Технологія WiMAX розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на відносно великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Технологія базується на стандартах IEEE 802.16. Технологія WiMAX сьогодні розглядається як технологія, що надає високошвидкісний бездротовий доступ, альтернативний виділеним лініям і технології DSL. Технологія WiMAX застосовується при вирішенні таких завдань: з'єднання точок доступу Wi-Fi один з одним і іншими сегментами Інтернету; забезпечення бездротового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і DSL; надання високошвидкісних сервісів передачі даних і телекомунікаційних послуг; створення точок доступу, не прив'язаних до географічного положення.

У стандартах IEEE 802.16 визначені кілька режимів роботи мереж WiMAX, основними з яких є фіксований і мобільний доступ. Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 аналогічна структурі мереж GSM. Базові станції діють на відстанях до десятків кілометрів. Для їх установки допускається монтаж на дахах будинків при дотриманні прямої видимості між станціями.

Технологія WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшою пропускною спроможністю і покриттям, ніж у мережах Wi-Fi. Ці властивості дозволяють використовувати технологію WiMAX для організації магістральної мережі в масштабах міста. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 70 Мбіт/с, при цьому не потрібно забезпечення прямої видимості між базовою станцією і приймачем.

1.2 Сучасні технології транспорту

Транспортний рівень мережі NGN забезпечує створення повноз’єднанної інфраструктури для пакетної передачі даних різного типу, що реалізує підтримку заданої якості обслуговування (QoS).

Транспортний рівень відповідає за прозору передачу інформації користувача різного виду (голос, відео, дані). Причому обмін інформацією між джерелом і пунктом призначення здійснюється за одним і тим же принципом незалежно від виду з'єднання (телефонний виклик, сеанс роботи в мережі Інтернет, передача відео, мережева гра з кількома гравцями або трансляція фільму). При цьому в якості транспортної технології передачі може використовуватися мультиплексування з поділом за часом (TDM), асинхронний режим передачі (ATM) або Інтернет-протокол (IP). Однак ефективність використання смуги пропускання, характерна для мереж з комутацією пакетів, призводить до того, що в мережах нового покоління будуть використовуватися в основному пакетні технології, такі як IP/MPLS.

Фундаментом NGN є мультипротокольна/мультисервісна транспортна мережа зв'язку на основі пакетної передачі даних, що забезпечує перенесення різного виду трафіку з використанням різних протоколів передачі.

На даний момент основними мережними транспортними технологіями є:

1) **Цифрова синхронна ієрархія SDH** - технологія, що базується на принципах часового мультиплексування. Для існуючих систем синхронної транспортної ієрархії SDH стандартизовані швидкості передачі від STM-1 (155 Мбіт/с) до STM-256 (40 Гбіт/с), що збільшуються від рівня до рівня з коефіцієнтом 4. В даний час витісняються:

- на електричному рівні - технологіями Carrier Ethernet (інтерфейси E/FE, GE, 10GE, 40GE і 100GE) і MPLS-Transport Profile. Ці технології забезпечать широкі можливості для створення транспортних мереж з пакетною комутацією операторського класу, орієнтованих на встановлення з'єднань;
- на оптичному рівні - технологіями оптичної транспортної ієрархії OTH (Optical Transport Hierarchy), схожими на SDH, але на відміну від неї забезпечують прозорість передачі і крос-комутації сукупності TDM- і пакетного трафіку в будь-якому поєднанні з подальшою їх передачею по каналах систем з поділом каналів по довжині хвилі оптичного випромінювання систем - WDM (Wavelength Division Multiplexing - спектральне ущільнення каналів).

2) **Оптичні транспортні мережі (Optical Transport Network - OTN)** - будуються з набору оптичних мережевих елементів, з'єднаних оптоволоконними каналами, здатними забезпечити такі функції, як транспорт, мультиплексування, маршрутизація, управління, контроль і живучість каналів, по яких передаються сигнали. Використовує обладнання - мультиплексори вводу-виводу (по TDM), які можуть містити в своєму складі обладнання мультиплексування по довжині хвилі xWDM.

Відмінною характеристикою OTN є її здатність транспортувати будь-який цифровий сигнал незалежно від специфіки клієнта. В OTN, як і в SDH, визначена ієрархія мережі, звана ієрархією оптичної передачі (Optical Transport Hierarchy - OTH).

Оптична транспортна ієрархія (Optical Transport Hierarchy, OTH), як визначено в Рекомендаціях ITU-T G.709, G.798, передбачає методи розміщення,

мультиплексування і управління мережами, що підтримують різні клієнтські сигнали в їх натуральному форматі, незалежно від типів використовуваних протоколів. У стандарті описана єдина структура Optical Data Unit (ODU), в якій можна розмістити кілька існуючих фреймів потоків даних, а потім об'єднати їх з іншими сигналами і далі передавати і управляти в єдиному стилі з єдиною функціональністю, аналогічної тій, що прийнята в системах SDH.

Перша версія OTH була орієнтована переважно на клієнтські сигнали SDH. Тому спочатку в рекомендації G.709 були визначені тільки 3 фіксовані типи ODU-контейнерів: ODU1, що відповідає рівню STM-16 технології SDH, ODU2, що відповідає рівню STM-64 і ODU3, що відповідає рівню STM-256.
В даний час структури OTH розглядаються з урахуванням передачі таких сигналів, як:

Ethernet 1GE, 10GE WAN/LAN, 40GE, 100GE;

OTH 2,5G, 10G, 40G, 100G;

SDH 2,5G, 10G, 40G;

FC 1G, 2G, 4G, 8G (10G).

Технологія OTN може використовуватися для створення конвергентних транспортних платформ, що забезпечують прозорість при передачі трафіку, що відноситься до будь-яких послуг поверх оптичних каналів WDM-систем, так як має власний окремий заголовок, схожий на заголовок в SDH і дає можливість контролювати мережу і керувати нею. Це дозволяє підтримувати прозору спільну передачу сукупності асинхронного (пакетного) і синхронного (TDM) трафіку в будь-яких поєднаннях.

3) Технологія MPLS - «багатопротокольна комутація з використанням міток» (Multiprotocol Label Switching) **-** об'єднує технології комутації другого рівня з технологіями маршрутизації третього рівня (поєднує в собі можливості управління трафіком, властиві технологіям канального рівня, і масштабованість і гнучкість протоколів, характерні для мережевого рівня). Головна особливість технології

MPLS - відокремлення процесу комутації пакета від аналізу IP-адреси в його заголовку, що дозволяє здійснювати комутацію пакетів значно швидше, призводить до зростання продуктивності мережі. MPLS є масштабованим і незалежним від будь-яких протоколів механізмом передачі даних. У мережі, заснованої на MPLS, пакетам даних присвоюються мітки. Рішення про подальшу передачу пакета даних іншого вузла мережі здійснюється тільки на підставі значення присвоєної мітки без необхідності вивчення самого пакета даних. За рахунок цього можливе створення наскрізного віртуального каналу, незалежного від середовища передачі і використовує будь-який протокол передачі даних. Основною перевагою MPLS є незалежність від особливостей технологій канального рівня, таких як ATM, Frame Relay, SONET/SDH або Ethernet, і відсутності необхідності підтримки декількох мереж другого рівня, необхідних для передачі різного роду трафіку. По виду комутації MPLS відноситься до мереж з комутацією пакетів.

4) Технологія Carrier Ethernet - (Інтерфейси E/FE, GE, 10GE, 40GE і 100GE) **-** дозволяє використовувати переваги технології Ethernet в мережах операторського класу (невисока вартість і легка масштабованість.). Підтримується QoS, тунелювання трафіку, передача широкомовних повідомлень. Carrier Ethernet надає наступні три типи стандартизованих сервісів: E - Line: сервіс, що емулює віртуальне виділене з'єднання «точка – точка» через мережу Carrier Ethernet; E - LAN: сервіс, що емулює призначене для користувача LAN з'єднання через Carrier Ethernet мережу; E - Tree: сервіс, що емулює передачу мультикастінгового трафіка.

Для існуючих систем синхронної транспортної ієрархії SDH стандартизовані швидкості передачі від STM-1 (155 Мбіт/с) до STM-256 (40 Гбіт/с), що збільшуються від рівня до рівня з коефіцієнтом 4. Для систем оптичної транспортної ієрархії стандартизовані швидкості передачі від OTU -1 (2,5/2,7 Гбіт/с) до OTU-3 (40/43 Гбіт/с), які також збільшуються від рівня до рівня з коефіцієнтом 4. Швидкість передачі Ethernet (інтерфейси) росла з коефіцієнтом 10 і досягла на сьогоднішній день 100 Гбіт / с. Конвергенція цих технологій почалася зі швидкостей

передачі 10G. Дослідження останніх років показали, що ця конвергенція розвивається в напрямку швидкостей передачі 40 Гбіт/с і 100 Гбіт/с.

Запропоновані спочатку для центрів збору і обробки даних, а також для корпоративних комп'ютерних мереж системи 40GE, цілком ймовірно, будуть широко використовуватися і на рівні транспортних мереж з впровадженням коефіцієнта 4 (40GE по відношенню до 10GE). На магістральному рівні мереж буде реалізована швидкість передачі 100GE/OTN з коефіцієнтом 2,5 по відношенню до впроваджуваного сьогодні рівню 40GE/OTN. Задоволення поставлених сервіс-провайдерами вимог неможливо без освоєння швидкостей передачі даних в діапазоні до 100 Гбіт/с і вище.

Розглянемо модель побудови транспортної мережі NGN відповідно до моделі взаємодії відкритих систем OSI - на різних рівнях працюють різні процеси і використовуються різні технології.

Фізичний рівень представлений волоконно-оптичними системами передачі (ВОСП) на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Поверх нього розміщується обладнання оптичного мультиплексування (WDM/DWDM), вище рівня WDM знаходяться системи оптичної комутації, де за допомогою спеціальних пристроїв оптичний сигнал комутується і надалі поширюється по іншому волокну або в іншому діапазоні хвиль без аналогово-цифрових перетворень, оскільки тут дані передаються безпосередньо у вигляді цифрового сигналу.

Основною технологією фізичного рівня повинні бути ВОСП. Сучасні вимоги щодо передачі парного трафіку орієнтовані на швидкість передачі даних понад 10 Гбіт/с. Таку швидкість передачі може забезпечити тільки оптово-волоконна технологія, тобто ВОСП.

Технологія WDM/DWDM оптимізує використання оптичних кабелів за рахунок системи спектрального мультиплексування, що дозволяє формувати кілька цифрових каналів широкосмугової передачі на одному оптичному волокні. Системи оптичної комутації доповнюють цю систему, забезпечуючи комутацію сигналів з

однієї довжини хвилі на іншу. На фізичному рівні має місце поліваріантність технічних рішень. Оператор в рівній мірі може використовувати тільки системи передачі на основі ВОЛЗ, ВОСП з системами WDM і/або оптичної комутації.

На канальному рівні транспортних мереж застосовуються різні технології, які дозволяють завантажити дані по протоколу IP в ВОСП на фізичному рівні. В якості можливих варіантів можуть застосовуватися технології MPLS, мережі Ethernet і Gigabit Ethernet (GE), вже розгорнуті мережі ATM і Frame Relay, а також стек технологій систем зберігання інформації (SAN), куди входять технології Fiber Channel, FICOX. ESCON. Крім перерахованих технологій допускається і варіант прямого завантаження дейтаграм IP в ВОСП, що представлено на малюнку як вертикальний розріз технологією IP всієї багаторівневої структури.

Всі рішення об'єднуються ***на мережевому рівні***, який включає в себе два підрівні. На нижньому підрівні дані від різних систем канального рівня перетворюються в дейтаграми єдиного формату IP, верхній підрівень об'єднує різні рішення в частині організації маршрутизації отриманих дейтаграм.

Завершує модель ***транспортний рівень***, де дейтаграми IP збираються в кадри TCP або UDP, які власне і передаються по транспортній мережі.

Не існує чіткого поділу технічних рішень за рівнями OSI: деякі технології виконують функції одночасно декількох рівнів, інші - лише окремих рівнів або навіть підрівнів. Можна об'єднати різні варіанти рішень на фізичному і канальному рівні, як рішення підрівні опорних мереж, який включає в себе технології ВОЛЗ, WDM, оптичної комутації та магістрального Ethernet. Вище цього підрівня доцільно ввести підрівень пакетної комутації, до якого належить MPLS. Над ним розмістимо підрівень маршрутизації, а вище виділимо підрівень транспортної мережі, який вже повністю відповідає транспортному рівню моделі OSI.

Таким чином, можна виділити кілька різних методів завантаження даних комутованого IP в ВОСП:

IP → MPLS → WDM → ВОСП

IP → Ethernet → ВОСП;

IP → Ethernet → WDM → ВОСП;

IP → Оптична комутація → WDM → ВОСП;

IP → WDM → ВОСП;

IP → ВОСП.

Можна сформулювати такі вимоги, яким повинна відповідати сучасна транспортна пакетна мережа. Транспортна пакетна мережа - це така мережева архітектура, яка володіє наступними характеристиками:

1) розміщується нижче рівня IP-послуг і вище рівня фізичної середовища передачі оптичної транспортної мережі. Ця архітектура розробляється відповідно до вимог, що пред'являються до корисного навантаження пакетної мережі і до статистичного мультиплексуванню (немає прив'язки тайм-слота до каналу, займається вільний тайм-слот і додається ідентифікатор);

2) ядро мережі дозволяє надавати мультисервісні послуги;

3) забезпечує традиційні переваги оптичної передачі, в тому числі: доступність і відмовостійкість; ефективний механізм управління пропускною спроможністю і трафіком, а також масштабованість;

Проводячи порівняння між мережами, що базуються на технології часового поділу каналів, і мережами з комутацією пакетів, необхідно відзначити наступне.

Традиційні мережі, засновані на синхронної цифрової ієрархії, мають високу вартість, і низьку адаптивність. Висока вартість обладнання SDH і його обслуговування є суттєвими недоліками даної технології. Тим часом, традиційні пакетні мережі, неорієнтовані на з'єднання в змозі гарантувати задану якість деяких послуг. Технологія часового мультиплексування непридатна для надання мультисервісних послуг через її низьку ефективність.

Однак, формування транспортних мереж нового покоління на базі пакетних технологій створюють ряд серйозних проблем. Основою даних проблем є протиріччя між необхідністю дотримання чіткої черговості при передачі потокових повідомлень

і базовим принципом пакетної технології, що складається в недотриманні черговості при отриманні пакетів. Таким чином, стає актуальним вирішення завдання забезпечення передачі даних в мережах з комутацією пакетів з тим же якістю, яке забезпечують мережі цифрового синхронної ієрархії. Це фактично означає необхідність емуляції синхронного комутованого каналу мережею з комутацією пакетів.

2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ УПРАВЛІННЯ ТК МЕРЕЖАМИ

2.1 Концепція TMN

Концепція побудови TMN

Англомовна розшифровка TMN звучить як Telecommunications Management Network. У перекладі на українську мову - Мережа Управління Телекомунікаціями.

TMN - це по суті міжнародний стандарт, що визначає технологію побудови систем управління телекомунікаційними мережами і визначає всі аспекти їх функціонування. Слід зазначити, що TMN - технологія, що прийшла "зверху", тобто вона спочатку була задумана на папері, а вже потім почала реалізовуватися на практиці. Офіційно народженням TMN можна вважати 1988 рік, коли МККТТ (нині ITU) опублікував першу (і основну) рекомендацію M.3010 "Принципи TMN". У 1992 році на додаток до M.3010 була випущена ціла серія рекомендацій (M.3100, M.3200, M.3300, M.3400 та ін), які детально описували основні аспекти TMN, згадані в M.3010. Тому 1992 можна по праву вважати роком народження TMN не тільки як загальної концепції, але як телекомунікаційної технології. До 2000 року МСЕ випускав різні додаткові рекомендації, які все більше деталізували TMN, вносили роз'яснення та поправки до базових документів, згаданих вище.

Склад і призначення основних елементів TMN

Згідно з рекомендаціями ITU M.3010, TMN є самостійною мережею, яка з'єднана з мережею електрозв'язку. Архітектура та принципи побудови TMN забезпечують реалізацію задач по управлінню, оперативному контролю та експлуатації різнорідного телекомунікаційного устаткування і систем електрозв'язку, які виготовлені різними фірмами-виробниками (рис. 2). TMN призначена для управління послугами мереж зв'язку, для експлуатації та технічного обслуговування обладнання, для оперативно-технічного контролю та адміністрування мережевими пристроями з метою забезпечення якості надання послуг зв'язку.Об'єктами

управління TMN є телекомунікаційні ресурси. Телекомунікаційні ресурси управління фізично являють собою реальне обладнання зв'язку - стативи, функціональні блоки, модулі, на певні властивості яких можна здійснювати цілеспрямований управляючийвплив. Наприклад, можна забороняти організацію обхідних напрямків зв'язку через певний вузол зв'язку або підвищувати рівень допустимих втрат у напрямку зв'язку.

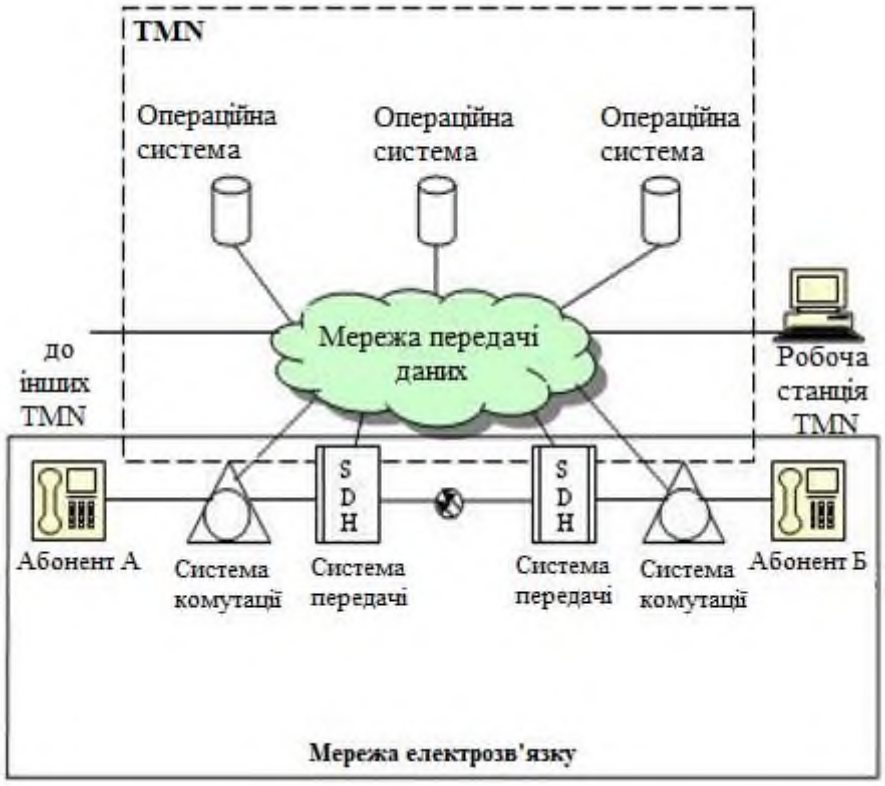


Рис. 2.1 TMN та мережа електрозв'язку

TMN надає оператору зв'язку послуги з управління мережами електрозв'язку (management service). Послуги управління визначаються як компоненти, пропоновані TMN для задоволення потреб оператора в мережевому управлінні. Сама елементарна з цих компонентів, наприклад генерація повідомлень про несправності, визначається як функція управління (management function). TMN надає оператору зв'язку широкий набір функцій управління телекомунікаційними мережами і послугами, забезпечуючи обмін інформацією в процесі управління. Обмін інформацією передбачає, перш за все, видачу команд управління, отримання підтвердження

отримання команд, їх виконання та передачу в систему управління результатів виконання команд.

Обмін командами управління та іншою інформацією між TMN і обладнанням зв'язку здійснюється через опорні точки, які реалізуються у вигляді стандартизованих або нестандартизованих інтерфейсів TMN. Для передачі сигналів і команд управління TMN з'єднується з устаткуванням систем і засобів електрозв'язку за допомогою мережі передачі даних (Data Communication Network, DCN). DCN реалізує транспортні рівні TMN згідно моделі ВОС (моделі взаємозв'язку відкритих систем).

Функції прикладного рівня TMN реалізуються за допомогою однієї або декількох операційних систем (Operations Systems, OS).

В першу чергу, операційні системи забезпечують обробку даних, що надходять від керованої мережі електрозв'язку, в цілях моніторингу та контролю функціонування телекомунікаційного обладнання, а також для забезпечення роботи власне TMN; підтримують інформаційну модель мережі електрозв'язку, яка являє собою опис фізичних об'єктів електрозв'язку з використанням прийнятої інформаційної технології і спеціальних програмних засобів, наприклад систем управління базами даних (СУБД); забезпечують роботу прикладних програмних засобів управління (додаток управління), які, власне, і реалізують більшість послуг і функцій управління системами. Функції управління можуть виконуватися безпосередньо людиною-оператором або в автоматичному режимі. Крім того, OS забезпечує підтримку терміналів користувача, форматування даних.

Деякі функції управління можуть виконуватися кількома операційними системами.

Робочі станції мають графічні людино-машинні інтерфейси. Робоча станція (work station, WS) підтримує мову спілкування "людина-машина" і володіє можливостями обробки даних, засобами ручного й автоматичного введення-виведення інформації. Замість WS може використовуватися термінал управління.

Крім того, на основі DCN дана TMN може взаємодіяти з іншими аналогічними TMN. Ця взаємодія по суті є взаємодією різних операційних систем.

Мінімальні можливості TMN забезпечують одиничне з'єднання між керуючою системою, робочою станцією і окремим пристроєм електрозв'язку. У максимальній конфігурації TMN являє собою технічно складну мережу, яка об'єднує в єдиний комплекс управління значне число різних систем і засобів електрозв'язку, використовуючи при цьому кілька типів керуючих систем, з урахуванням територіальної віддаленості об'єктів управління один від одного. При цьому в TMN враховується, що мережа електрозв'язку складається з багатьох типів аналогового і цифрового устаткування, зокрема, систем передачі SDH, PDH, електронних АТС, сигнальних пунктів системи загальноканальної сигналізації (ЗКС) № 7, обладнання для надання телематичних послуг, серверів доступу в Інтернет, маршрутизаторів і комутаторів мереж передачі даних. За стандартами TMN таке обладнання зазвичай називається елементом мережі, або мережевим елементом (Network Element, NE). При необхідності опис елемента мережі в TMN можна деталізувати до рівня окремої стійки, статива, функціонального блоку, модуля. Елементи мережі надають клієнтам і абонентам послуги електрозв'язку завдяки використанню телекомунікаційних технологій, а також підтримують обмін з OS. При цьому елемент мережі може бути централізованим або розподіленим, у тому числі географічно. В останньому випадку мається на увазі, наприклад, АТС і її виноси, територіально протяжна система передачі і т.п.

Область застосування TMN

Нижче наведені приклади мереж, послуг електрозв'язку, основних типів апаратури і систем, управління якими може здійснюватися по мережі TMN:

• мережі загального і приватного користування, включаючи: вузькосмугову і широкосмугову мережі ЦСІС;

• мережі рухомого зв'язку;

• приватні телефонні мережі;

• віртуальні приватні мережі;

• інтелектуальні мережі, управління самою мережею TMN;

• термінали передачі (мультиплексори, обладнання кросової комутації, апаратура перетворення каналу і т.д.);

• цифрові та аналогові системи передачі (кабельні, волоконно-оптичні, радіо, супутникові і т.д.);

• операційні системи та їх периферія;

• центральні та інтерфейсні процесори, кластерні контролери, файлові процесори та ін;

• цифрові та аналогові системи комутації;

• локальні комп'ютерні мережі (WAN, MAN, LAN);

• мережі з пакетною комутацією;

• термінали та системи сигналізації (STP) та бази даних реального масштабу часу;

• послуги перенесення і електрозв'язку;

• УАТС, доступи УАТС і термінали користувачів (абонентів);

• термінали користувачів мережі ЦСІС;

• програмні засоби, що забезпечуються послугами електрозв'язку;

• прикладне програмне забезпечення в рамках центральних процесорів та ін;

• взаємодіючі допоміжні системи (випробувальні модулі, системи електроживлення, кондиціонери, системи аварійної сигналізації всередині будівлі та ін.).

Крім того, мережа TMN можна використовувати для управління розподіленими об'єктами і послугами, що надаються при об'єднанні вищеперелічених пунктів.

Основні характеристики архітектури TMN

Архітектура TMN володіє рядом характеристик, що відрізняють її від основних конкурентів - SNMP-продуктів і фірмових систем управління, заснованих на приватних стандартах. Найбільш значущими з них є:

• можливість інтеграції різнорідних мереж за рахунок комплексної стандартизації великого числа аспектів поведінки і структури системи управління, а також в силу міжнародного характеру стандартів TMN;

• високий ступінь масштабованості рішень завдяки наявності відповідних властивостей базового протоколу взаємодії агентів і менеджерів - протоколу CMIP;

• наявність в архітектурі спеціальних елементів для побудови великих розподілених систем: проміжної мережі передачі даних, засобів маршрутизації і фільтрації повідомлень між численними менеджерами та агентами, центральної довідкової бази даних, що зберігає інформацію про їх властивості та місцезнаходження, і т.д.;

• захищеність управління за допомогою використання відкритих стандартів безпеки ISO/OSI.

Основні стандарти

Найважливіші документи ITU (International Telecommunication Union), що мають відношення до TMN, згруповані в так зване M-сімейство (рис. 3).

Документ M.3000 "Огляд рекомендацій в області TMN" містить перелік всіх існуючих публікацій ITU TMN та інших стандартів, які мають відношення до управління мережами зв'язку. Тут же дана коротка характеристика концепції TMN і розглянута її взаємозв'язок з іншими телекомунікаційними технологіями.

У стандарті M.3010 викладені загальні принципи побудови та роботи мережі TMN, описані функціональні блоки, компоненти та інтерфейси, ієрархічна архітектура TMN, об'єкти управління і модель "менеджер-агент".

Назва рекомендацій M.3016 "Огляд інформаційної безпеки TMN", що з'явилися в червні 1998 року, говорить саме за себе. Рекомендації M.3020

"Методологія визначення TMN-інтерфейсів" присвячені функціональним можливостям TMN-інтерфейсів і використовуваних ними протоколів.

Документ M.3100 визначає загальну інформаційну модель мережевих елементів. У ньому описані класи адмініструються об'єктів, їх властивості, які можуть служити для обміну інформацією між інтерфейсами, а також застосування об'єктних технологій, наприклад спадкування.

Стандарт M.3200 "Послуги управління TMN" включає в себе короткі описи прикладних сервісів TMN. Крім того, він вводить концепції "Управління телекомунікаціями" і "Область управління".

Конкретні послуги докладно визначаються в наступних документах серії M.32xx: M.3201 (управління трафіком), M.3202 (управління системами сигналізації), M.3203 (управління користувацькими сервісами), M.3207.1 (управління класами Ш-ЦСИО; в більш ранній редакції - M.3205) та ін

У документі M.3300 сформульовані вимоги до організації людино-машинного інтерфейсу (за термінологією TMN-F-інтерфейсу), а в M.3320 - аналогічні вимоги для інтерфейсу між мережами TMN (X-інтерфейсу). Нарешті, стандарт M.3400 визначає функції управління в мережах TMN.

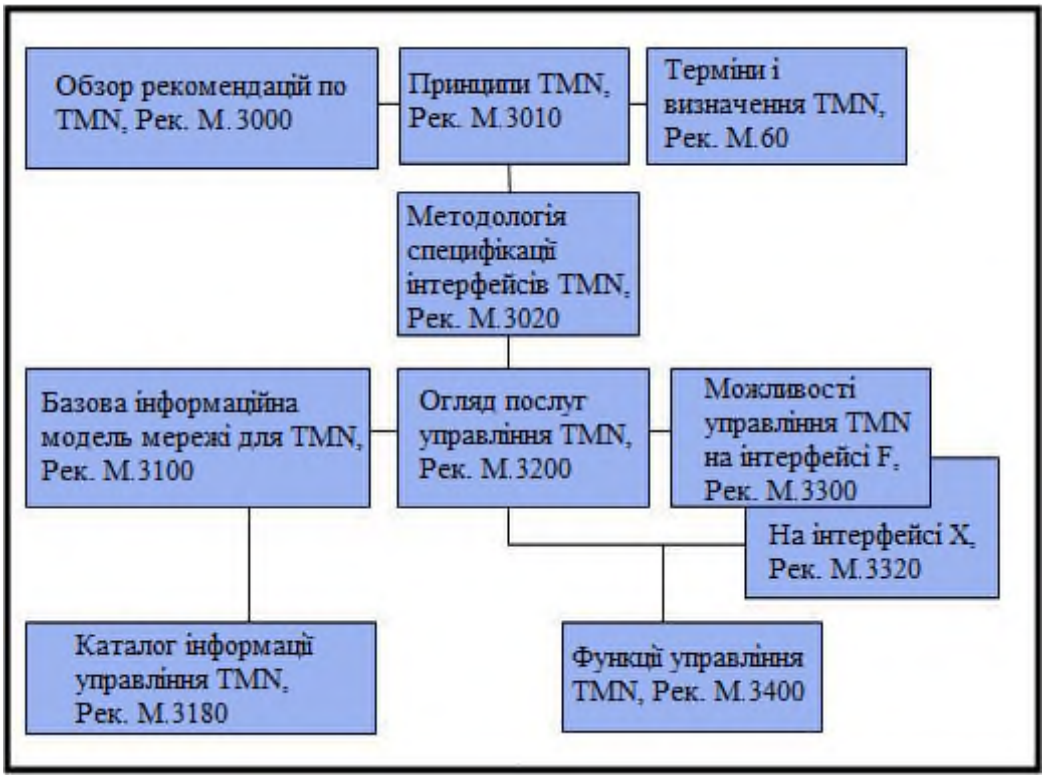


Рис. 2.2 Рекомендації ITU (International Telecommunication Union) по TMN

Названі публікації ITU являють собою частину рекомендацій М-сімейства, що регламентують функціонування мереж TMN (наприклад, терміни та визначення згруповані в документ М.60, а принципи застосування концепції TMN до управління мережами ЦСИО викладені в серії М.36хх). Крім того, окремим аспектам управління мережами зв'язку присвячені стандарти G-, Q-та X-сімейств, які розробляють інші дослідницькі групи в складі МСЕ-Т. Стандартизація, що лежить в основі TMN, дозволяє досягти інтеграції різнорідних мереж, а також обумовлює практично необмежені можливості масштабування рішень.

В даний час ITU продовжує розробку нових і вдосконалення існуючих Рекомендацій в області TMN з метою більш повного охоплення всіх додатків TMN і більш детальної специфікації інтерфейсів і протоколів TMN.

Показники перспективності TMN

Прикладами основних показників перспективності концепції TMN служать наступні аргументи:

• Практично всі провідні розробники платформ управління, а серед них - Hewlett-Packard, Digital, Sun, Cabletron, IBM включили підтримку стандартів TMN в свої продукти.

• З'явилися нові невеликі компанії, які зробили розробку засобів TMN-управління своїм основним бізнесом, а це - вірна ознака хороших перспектив нової для ринку технології (те ж саме сталося, наприклад, з технологією Gigabit Ethernet).

• Велика частина телекомунікаційного обладнання нових технологій SONET / SDH, ATM, ADSL, бездротових мереж і т.п. сьогодні випускається з вбудованою підтримкою інтерфейсу Q - одного з основних елементів архітектури TMN.

Ще одним показником перспективності архітектури TMN може служити інтерес, що проявляється до неї компанією Microsoft, в ринковій інтуїції якої важко засумніватися. Microsoft уклала партнерські угоди про взаємодопомогу при розробці продуктів TMN-управління на базі сервера Windows NT з двома провідними виробниками TMN-платформ - компаніями Hewlett-Packard і Vertel.

До основних недоліків TMN можна віднести наступні:

-Технологія TMN бере свій початок з теорії, а не з практики.

-Технологія TMN з технічної точки зору не опрацьована настільки, щоб вважатися закінченою стандартизованою технологією, яку можна було б реалізувати на практиці у вигляді конкретної закінченої системи.

- Існує більш-менш стандартизована адаптація TMN до застосування на транспортних мережах SDH і мережах абонентського доступу ISDN (рекомендацій серій G і M). Однак для інших важливих телекомунікаційних технологій (наприклад, мережі IP) деталізована адаптація TMN відсутня.

- Рекомендації, які в своїй сукупності повинні давати повне уявлення про TMN, мають досить складну для правильної інтерпретації формальну мову опису з

великою кількістю перехресних посилань, що ускладнює як читання, так і вивчення рекомендацій.

- Всі рекомендації, що мають відношення до TMN, досить складним чином організовані в блоки і серії. Велика розкиданість і фрагментарність інформації роблять їх важкими для розуміння.

- Технічне втілення основних правил TMN регламентується цілими наборами рекомендацій, які не локалізовані в серії М і були розроблені в різні роки різними групами фахівців. З'єднати дані рекомендації в єдине "смислове поле" досить складно, по тій причині, що основні цілі, ступінь деталізації і спрямованість окремих рекомендацій далеко не завжди відповідає проблематиці створення систем управління телекомунікаціями.

- У рекомендаціях МСЕ проблема управління телекомунікаційними мережами з точки зору реальних операторів, виробників і споживачів висвітлюється настільки абстрактно і настільки не відповідає сучасним реаліям, що багатотехнологічні рішення, визначені такою абстракцією, виявляються просто незатребуваними і непотрібними.

- Багатьма експертами реалізація TMN-інтерфейсів розглядається невиправдано складною і дорогою справою. Вважається, що протокольні стеки, регламентовані для Q-інтерфейсу, є занадто "перевантаженими" і "важкими". Також вважається, що верхні рівні моделі OSI для даних протокольних стеків стандартизовані досить слабо, є доволі абстрактними, і крім того сильно ускладнені по структурі і методам взаємодії. Така ситуація призводить до неоднорідності інтерпретації інтерфейсів різними розробниками. Надмірна складність позначається на надійності і ціні програмного забезпечення.-Наявність нових, більш рентабельних, надійних і, що дуже важливо, популярних комерційних технологій, що надають нові засоби реалізації інтерфейсів, однозначно послаблюють позиції TMN.

- Відчутно повільний розвиток, зміна і деталізація TMN відповідно до змін, що відбуваються в області комп'ютерної і телекомунікаційної індустрії.

Незважаючи на зазначені недоліки TMN все ж є найбільш перспективною схемою побудови системи управління телекомунікаційними мережами.

2.2 Концепція Smart TMN

TMForum опублікував перші документи, що стосуються нової технології SMART TMN (Розширена технологія TMN) ("SMART TMN. Technology Integration Map", "Technology Direction Statement" та ін.). Причини необхідності розробки нового підходу на заміну TMN криються:

• в невдалих рішеннях багатьох проблем створення систем управління;

• в появі зовсім нових технологій, таких як, наприклад, CORBA, JAVA та ін.

У згаданих документах з самого початку вказуються три основні причини, що викликали до необхідності розробки SMART TMN:

• Автоматизація повномасштабного управління процесом з моменту його ініціалізації до моменту завершення (наприклад, процесом надання послуги).

• Організація обміну інформацією між підпроцесами для забезпечення прозорості управління.

• Технології, що розробляються, повинні ефективно забезпечувати побудову спеціалізованих систем (систем розрахунку користувачів, систем фінансового та бухгалтерського розрахунку і т.п.) так, щоб програмні додатки різних виробників легко і надійно (за методом "plug and play") поєднувалися в єдиній системі управління. З точки зору управління бізнес-процесами ці програми повинні сприйматися як органічні частини єдиного цілого і їх робота повинна виглядати "прозоро".

SMART TMN складається з наступних частин (рис. № 4)***:***

• Карта Телекомунікаційних операцій TOM (Telecommunication Operations Map), в якій визначаються основні технологічні, управлінські та адміністративні процеси, спільні для більшості операторів.

• Основні інформаційні засоби CIF (Central Information Facility) - це набір інструментів і методик для моделювання процесів і об'єктів в TOM.

• Модель інтеграції технологій TIM (Technology Integration Map/Model), в якій на підставі практичних досліджень і аналізів відбирається група найбільш технічно адекватних і рентабельних технологій для побудови реальних систем управління за концепцією TMN.

• Каталізуючі процеси CP (Catalyzising Processes), через які TMF перевіряє життєздатність своїх технічних стандартів.

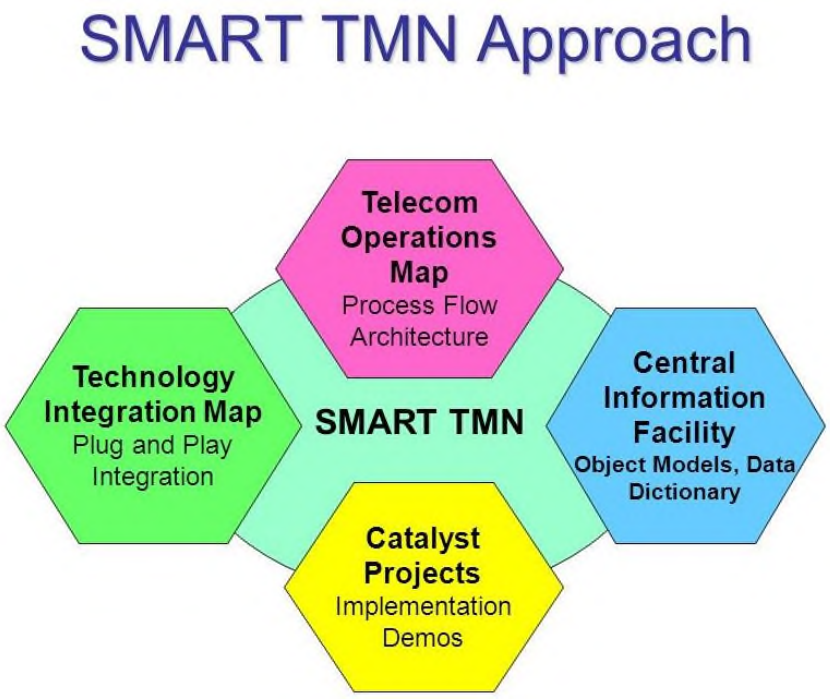


Рис. 2.3 Структура Smart TMN

3 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТК МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЦОНЕПЦІЇ SDN

3.1 Структура Програмно-конфігурованої мережі (на основі протоколу OpenFlow)

Програмно-конфігурованамережа (ПКМ) – мережа передачі даних, в якій рівень керування мережею відділений від рівня передачі даних та реалізується програмно.

Ця концепція є однією з форм віртуалізації обчислювальних ресурсів. Ключовими принципами програмно-керованої мережі є: розділення процесів передачі та керування даними, централізація керування мережею за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізації фізичних мережевих ресурсів [2].

На рис. 3.1 зображено архітектуру програмно-конфігурованої мережі.

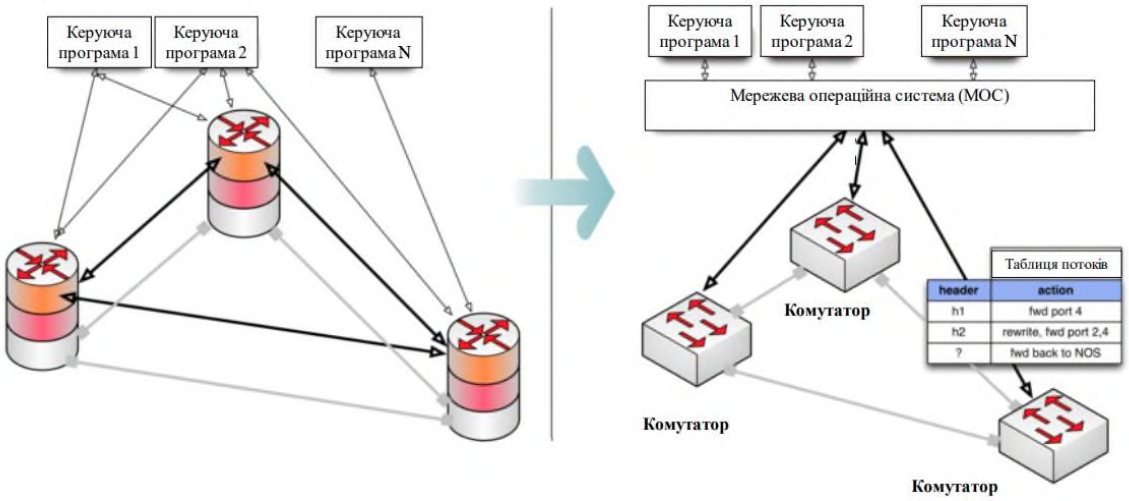


Рис. 3.1 Структура SDN

Основна ідея розвитку SDN-підходу полягає в тому, щоб:

- відділити керування мережевим обладнанням від управління передачею даних за рахунок розроблення спеціального програмного забезпечення, яке може працювати на окремому обладнанні під контролем адміністратора мережі;
- перейти від управління окремими екземплярами мережевого обладнання до керування мережею в цілому;
- створити інтелектуальний програмно-керований інтерфейс між мережним додатком та транспортним середовищем мережі.

У стандартній архітектурі ПКМ виділяють три основних рівні:

1) ***Інфраструктурний рівень (рівень передачі даних)***, на якому функціонують мережеві комутатори та канали передачі даних;

2) ***Рівень керування*** – набір програмних засобів, логічно відділених від рівня передачі даних, що забезпечують реалізацію механізмів керування пристроями інфраструктурного рівня;

3) ***Рівень мережевих додатків*** – неуніфікований та незалежний від виробника рівень для простішого керування мережею і внесення додаткових функцій та елементів, які потрібні саме власнику мережі.

Протокол OpenFlow [2] – це протокол управління процесом обробки даних, що передаються по мережі маршрутизаторами та комутаторами. Використовується для керування мережевими елементами з центрального пристрою – контролера мережі, яким може бути звичайний ПК або сервер. Протокол OpenFlow, що реалізує незалежний від виробника інтерфейс між логічним контролером мережі та мережевим транспортом, є однією з реалізацій концепції програмно-конфігурованої мережі.

Ядром рівня керування програмно-конфігурованої мережі є мережева операційна система – програмний засіб, що забезпечує, з одного боку, інтерфейс засобами рівня передачі даних (наприклад, динамічну зміну таблиць маршрутизації), а з іншого боку – прикладний програмний інтерфейс для рівня мережевих додатків, сформульований в термінах більш високого рівня абстракції (наприклад, «ім’я

користувача», «назва оператора») порівняно з тим, який використовується в параметрах конфігурації мережевих пристроїв (IP- адреса, MAC-адреса, шлюз).

На відміну від традиційного тлумачення МОС (Мережевої Операційної Системи) як операційної системи інтегрованої зі стеком мережевих протоколів, у дослідженні під МОС будемо розуміти програмну систему, що забезпечує моніторинг, доступ, керування ресурсами всієї мережі, а не конкретного вузла. МОС формує дані про стан всіх ресурсів мережі й забезпечує доступ до них для додатків управління. МОС дає змогу створювати додатки як централізовані програми з високорівневими іменами на відміну від розроблення розподілених алгоритмів, що використовують низькорівневі адреси.

Об’єктом керування мережевої операційної системи є один або кілька комутаторів. Контролер забезпечує набір інтерфейсів для створення, редагування, видалення, керування конфігурацією таблиць потоків у комутаторах. Комутатором керує програмний процес, який виконується на контролері.

Контролер повинен володіти інформацією про топологію мережі у будь-який момент часу. Інформація про топологію мережі також містить інформацію про розміщення користувачів та серверів, інших елементів та сервісів мережі, а крім того, прив’язку між іменами та адресами. Тому однією з найважливіших задач, що розв’язуються мережевою операційною системою, є постійний моніторинг мережі та побудова топології або так званої карти мережі.

На сьогодні розроблені такі контролери з відкритим програмним кодом: NOX, POX, Beacon, Ryu, Thema. Крім того, є компанії, що випускають свої власні, проте закриті рішення. Найвідомішою серед таких компаній є CISCO.

Використання стандартизованого відкритого інтерфейсу площини передачі даних дає можливість впроваджувати інновації набагато оперативніше, ніж це відбувається сьогодні. Власники мережі та оператори (також постачальники, дослідники і розробники) можуть додавати нові функціональні можливості й послуги в мережу. Нова функціональність та послуги впроваджуються за допомогою

створення мережевих сервісів на мережевій операційній системі або контролері з використанням стандартизованого API. Це суттєво прискорює розвиток мережі, наприклад, впровадження нових методів контролю доступу.

Постійно актуальною проблемою в ПКМ є створення розподілених контролерів. Існуючі сегменти ПКМ підтримуються за допомогою єдиного контролера, що характеризується низкою проблем, а саме:

- проблема масштабованості контролера, тобто проблема збільшення тривалості встановлення нових потоків для великої мережі;
- проблема надійності, оскільки відмова контролера зумовлює відмову всієї мережі;

Для вирішення зазначених проблем дослідники й розробники в галузі ПКМ дійшли до висновку про необхідність впровадження ***фізично розподіленого рівня управління***.

Комутатор є основною складовою мережі, а тому реалізація площини передавання даних у ПКМ має декілька підходів:

- використання спеціально розробленого комутатора OpenFlow. Таке рішення є найдорожчим, проте забезпечує найкращу реалізацію концепції ПКМ. Комутатори випускаються як з повною підтримкою функцій OpenFlow, так і гібридні, що здатні передавати потоки OpenFlow та здійснювати традиційну комутацію/маршрутизацію пакетів;
- використання вже встановлених комутаторів, які функціонують в існуючій мережі. Для цього необхідною є заміна програмної частини наявних комутаторів за умови, що ці комутатори здатні адаптуватися до потрібних змін. Крім того, зміна прошивки комутатора залежить від виробника обладнання, а тому використання в мережі обладнання різних виробників ускладнює перехід до ПКМ та подальше її функціонування;
- використання ПКМ разом з NFV (Network Functions Virtualization – віртуалізація мережевих ресурсів). Така концепція архітектури мережі пропонує

здійснювати віртуалізацію цілих класів функцій мережевих вузлів у блоки, які можуть бути з’єднані в одну систему, щоб забезпечити послуги зв’язку. У локальних мережах віртуалізація ресурсів забезпечує можливість абстрагуватися від різнорідності обладнання за рахунок встановлення потрібної операційної системи на віртуальній машині. У глобальних мережах віртуалізація здійснюється на основі Hypervisor, що дає змогу не просто створити єдину вертикальну площину, а й поділити мережеві ресурси між операторами, виділивши кожному необхідні ресурси для створення окремого домену.

Програмно-конфігуровані мережі разом з віртуалізацією ресурсів у центрах обробки даних забезпечують можливість поєднати переваги трьох моделей обслуговування, зокрема:

- **Software-as-a-Service** надає можливість клієнту використовувати прикладне програмне забезпечення з різних пристроїв чи за допомогою інтерфейсу програми;
- **Platform-as-a-Service** забезпечує користувачу можливість використання ресурсів центру обробки даних для встановлення базового програмного забезпечення з метою подальшого розміщення на ньому нових або існуючих додатків (власних, розроблених на замовлення);
- **Infrastructure-as-a-Service** надає ресурси для самостійного управління обробкою, зберіганням та процесом передавання даних, а також іншими фундаментальними обчислювальними процесами.

Поєднання описаних моделей за допомогою віртуалізації забезпечить операторам, а також власнику мережі можливість раціональніше використовувати ресурси центрів обробки даних. У свою чергу ПКМ дасть змогу користувачам отримувати доступ до потрібних їм Cloud ресурсів з необхідною якістю обслуговування.

3.2 Комутація пакетів та балансування на основі таблиць потоків

Комутатор OpenFlow зазвичай містить одну або більше таблиць потоків, а також одну групову таблицю. Використовуючи протокол OpenFlow, контролер може маніпулювати таблицями потоків, наприклад, додавати, оновлювати чи видаляти потоки, встановлювати обмеження на максимальну кількість потоків тощо. Кожна таблиця потоків складається з набору потоків, а кожен потік містить правила, лічильники та набір інструкцій. Структурні елементи записів у таблиці потоків зображено на рис.3.2.

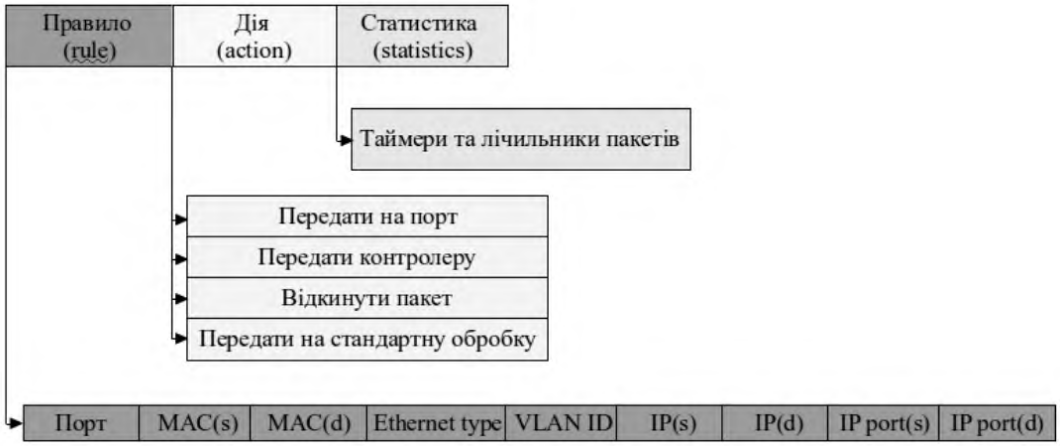


Рис. 3.2 Елементи таблиці потоків

У тому разі, коли на інтерфейс комутатора надходить новий пакет, комутатор відокремлює його заголовок, який утворений протоколами канального, мережевого та транспортного рівнів. Після цього комутатор порівнює ці заголовки з усіма потоками, що записані в таблиці потоків. Якщо відповідний потік знайдено, то комутатор виконує інструкції, що присвоєні цьому потоку та обновлює лічильники статистики. До інструкцій належать: передача пакету на вихідний інтерфейс, модифікація полів заголовку, відкидання, широкомовна розсилка, відправлення на контролер. Всі потоки в таблиці потоків характеризуються пріоритетом. Якщо для одного й того самого пакету знайдено два правила, то комутатор вибирає правило з вищим пріоритетом, і до пакету застосовуються відповідні інструкції. Якщо в

таблиці потоків не знайдено потоку, якому належить цей пакет, то подальші дії залежать від конфігурації комутатора, зокрема: пакет може бути відправлений на контролер, відкинутий, переданий на пошук в іншій таблиці або ж відправлений в ту частину комутатора, яка відповідає за традиційну обробку пакетів. Інструкції, пов'язані з кожним потоком, можуть вказувати комутатору на необхідність пошуку пакету в груповій таблиці або ж ще одній таблиці потоків. Передача пакетів між таблиця потоків від вхідного інтерфейсу до вихідного дає змогу гнучкіше обробляти трафік, а сам принцип організації таблиць називають каскадуванням (рис. 3.3).

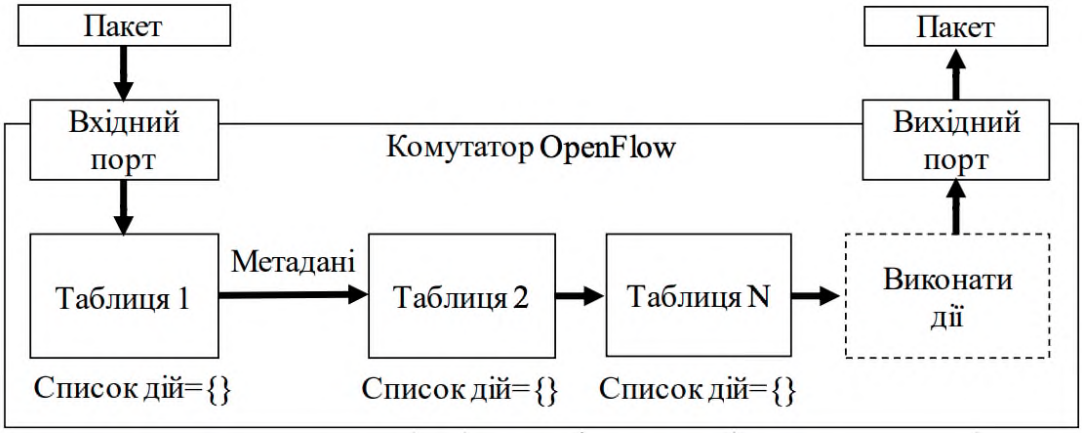


Рис. 3.3 Модель гнучкої обробки пакетів на основі каскадування таблиць потоків

Інструкції каскадної обробки забезпечують комутатору можливість пересилати пакети в наступні таблиці потоків для подальшої обробки. Разом з пакетом між таблицями може передаватися службова інформації у форматі метаданих. Каскадна обробка зупиняється тоді, коли набір інструкцій, пов'язаних з відповідним потоком, не вказує на наступну таблицю. Це означає, що з пакетом виконуються всі необхідні інструкції, і він передається на вихідний інтерфейс. Як правило, ним є фізичний порт, але він також може бути віртуальним портом, визначеним комутатором або зарезервованим віртуальним портом, визначеним специфікацією. Зарезервовані віртуальні порти можуть використовуватися для відправлення на контролер, на всі порти або ж для відправлення з використанням традиційних методів обробки. Порти,

визначені комутатором як віртуальні, можуть створювати групи агрегації каналів. Потоки можуть також вказувати на групову таблицю, що означає додаткову обробку.

Відповідно до принципу каскадування комутатор починає виконувати пошук пакету в першій таблиці потоків. Поля, що використовуються для співставлення, залежать від типу пакета. Пакет відповідає запису таблиці потоків, якщо значення полів у пакеті співпадає з відповідними полями в правилі потоку. Якщо поле в правилі містить значення ANY(«*»), тоді відповідне поле в заголовку пакета може містити довільне значення. Така модель обробки пакета відкриває унікальні можливості. Комутатор може використовуватися в ролі як комутатора, так і маршрутизатора чи мережевого екрану. Вся функціональність закладена в таблиці потоків, приклад якої з правилами для реалізації різних ролей функціонування комутатора представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Приклади реалізації різноманітних спеціалізованих функцій комутатора за допомогою таблиці потоків

	Порт	Eth src	Eth dst	Eth type	VLAN ID	IP src	IP dst	TCP src	TCP dst	Дія
Ethernet комутатор	*	00: 1F	*	*	*	*	*	*	*	Порт №6
Мережевий екран (TCP)	*	*	*	*	*	*	*	*	22	Відки-нути
IP маршрутизатор	*	*	*	*	*	*	192. 168. 0.1	*	*	Порт №1
OpenFlow комутатор	#3	00: 20	00: 1F	0800	1	192. 168. 0.2	192. 168. 0.1	27	80	Порт №4

Групова таблиця містить записи груп, а кожен запис містить також список інструкцій зі специфічною семантикою, що залежить від типу групи. Дії в одній застосовуються для всіх пакетів, що посилаються до цієї групи. Модель комутації з використанням групової таблиці представлено на рис. 3.4

Збір статистики реалізується за допомогою лічильників. Лічильники можуть бути призначені для кожної таблиці, потоку, порту, черги або групи. Табл. 3.2 містить набори лічильників, визначені спеціалізацією OpenFlow. OpenFlow-сумісні лічильники можуть бути реалізовані в програмному забезпеченні. Вони відображають інформацію на основі опитування апаратних лічильників, які мають більш обмежений діапазон значень.

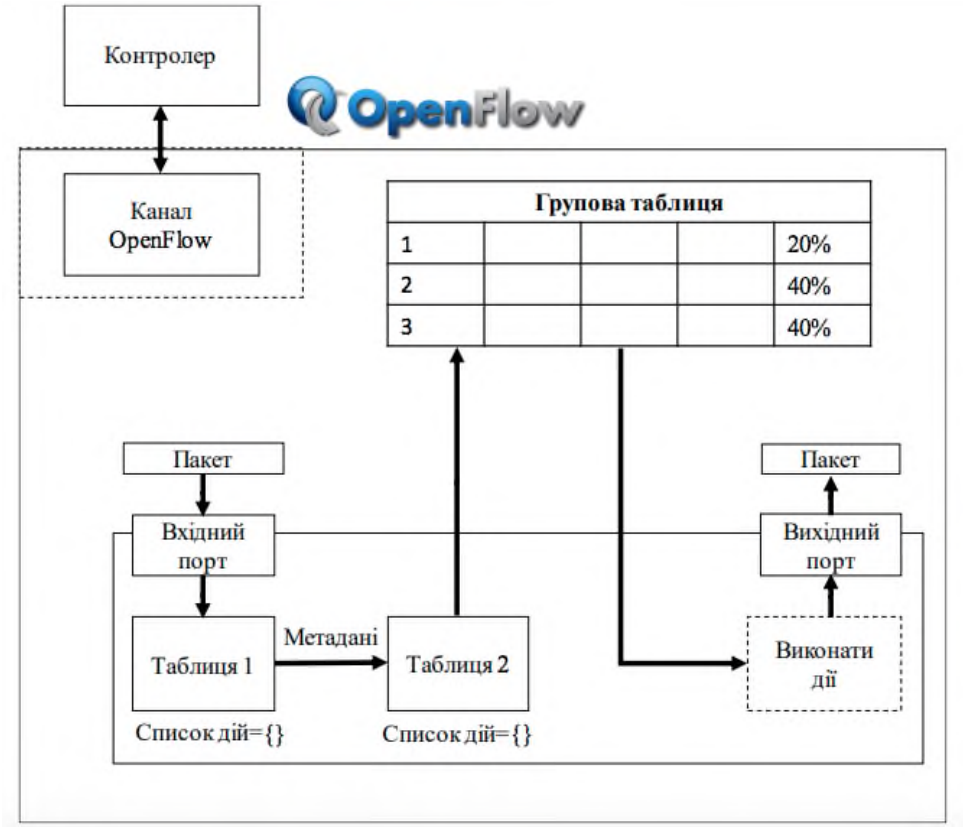


Рис. 3.4 Модель комутації з використанням групової таблиці потоків та реалізація балансування навантаження на основі вагових коефіцієнтів шляхів

Кожен потоковий запис містить набір інструкцій, які виконуються в тому разі, коли пакет відповідає правилу. Всі інструкції можна розділити на такі типи: для негайного виконання, для очищення списку інструкцій, для додавання нової інструкції, для запису метаданих, для переходу до наступної таблиці. Інструкції для негайного виконання дають вказівку застосувати певні дії негайно, без будь-яких змін у наборі дій. Така інструкція може бути використана для модифікації пакета при передачі його до іншої таблиці. Інструкції для очищення видаляють всі інструкції з набору інструкцій для окремого потоку. Інструкції для додавання нової інструкції доповнюють наявний набір інструкцій для окремого правила новими інструкціями. Інструкція переходу до наступної таблиці містить номер таблиці, в яку пакет буде переданий після обробки в поточній таблиці. Номер наступної таблиці обов’язково повинен бути більшим від номера поточної таблиці.

Таблиця 3.2

Список лічильників

Підрахунок	Лічильник	Кількість біт
По таблицях	Підрахунок заголовків	32
	Пакетів-запитів	64
	Пакетів-відповідностей	64
По потоках	Отриманих пакетів	64
	Отриманих байт	64
	Тривалість (в с)	32
	Тривалість (в нс)	32
По портах	Отриманих пакетів	64
	Переданих пакетів	64
	Отриманих байт	64
	Переданих байт	64
	Отриманих частин	64
	Переданих частин	64
	Отриманих помилок	64
	Переданих помилок	64
	Отримання циклічної помилки	64
	Отримання помилки переповнення	64
	Отримання CRC помилки	64
	Колізії	64
По чергах	Переданих пакетів	64
	Переданих байт	64
	Переданих помилок перевантаження	64

Для кожного потоку визначено список інструкцій. Цей список є порожнім за замовчуванням. Надалі список інструкцій для окремого потоку може змінюватися. Набір операцій зберігається між потоком таблиць. Список інструкцій містить максимум одну інструкцію кожного типу. Інструкції в списку застосовуються в порядку, вказаному нижче, незалежно від порядку, в якому вони були додані до списку. Комутатор може підтримувати довільний порядок виконання інструкцій, який визначається реалізацією функцій застосування інструкцій. Стандартний порядок є таким: копіювання зовнішнього TTL, видалення мітки, додавання мітки, копіювання внутрішнього TTL, зниження TTL, застосування всіх дій, застосування

всіх маніпуляцій з QoS, застосування всіх групових дій, пересилання пакета у вказаному напрямку.

3.3 Підходи міграції

Існує два підходи щодо здійснення міграції:

1) Перший підхід зображений на рис. 3.5. Це прямий метод оновлення існуючого мережевого устаткування з OpenFlow Agents (обладнання, яке підтримує програмне забезпечення OpenFlow) і виведення управління в OpenFlow контролер і конфігуратор.

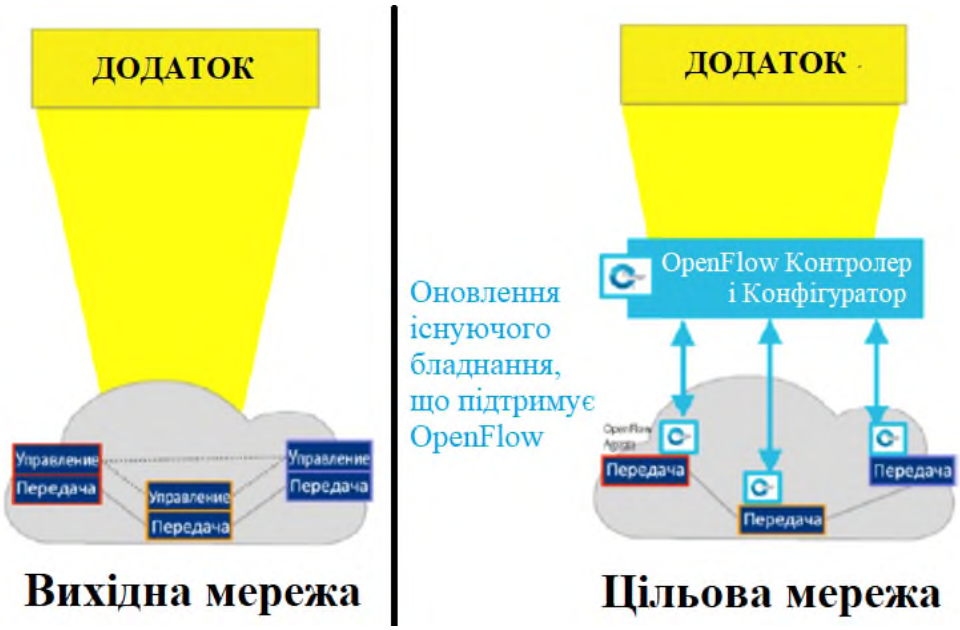


Рис. 3.5 Підхід до міграції (варіант 1)

2) Другий підхід виконується поетапно. Підхід зображений на рис. 3.6, в якому OpenFlow пристрої розгортаються спільно з існуючими мережевими пристроями. Мережеві операції підтримуються і виконуються поточним пристроєм на рівні управління або OpenFlow контролером і конфігуратором.



Рис. 3.6 Підхід до міграції (варіант 2)

3) Також існує частковий метод міграції в рамках мережевих пристроїв, де OpenFlow підтримується між рівнем доступу і метро рівнем, або впровадження програмно комутованої мережі в межах мережі, де є підтримка OpenFlow, але в сусідніх зонах її немає (рис.3.7).

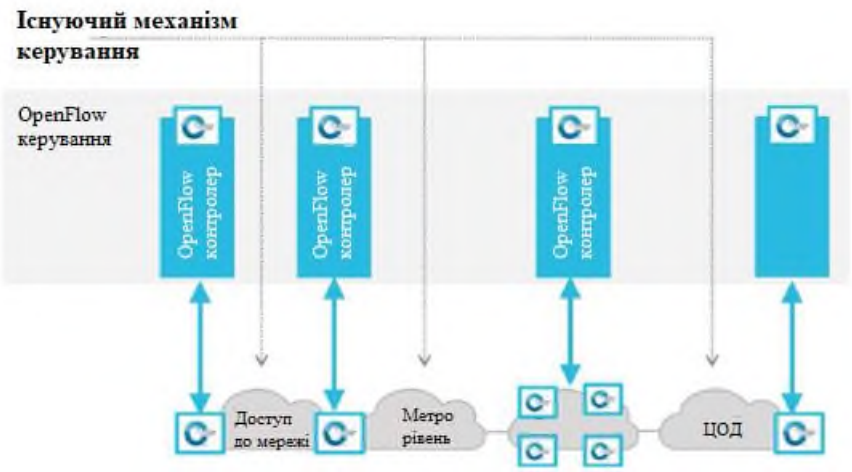


Рис. 3.7 Метод часткової міграції, де сусідні пристрої не підтримують OpenFlow.

Залежно від того, як реалізована мережа, підходи і процес міграції можуть бути різними. Так міграція може включати і прямий метод оновлення пристроїв з OpenFlow агентами, так і поетапний метод - паралельне впровадження OpenFlow пристроїв в існуючу мережу. Також можливе використання спеціальних лабораторій для тестування і розробок технологій програмно-комутованих мереж.

Методи міграції

Мережеві пристрої поділяються на 3 категорії з точки зору OpenFlow рішень:

1) ***Традиційна архітектура*** - мережеві пристрої даної архітектури включають в себе рівень управління і рівень передачі.

2) ***OpenFlow архітектура*** - мережеві пристрої даної архітектури включають в себе тільки рівень передачі, а рівень управління винесено в окремий пристрій.

3) ***Гібридна архітектура*** - мережеві пристрої даної архітектури здатні працювати з OpenFlow пристроями і з мережевими пристроями традиційної архітектури.

Підходи міграції відповідно категорій мережевих пристроїв бувають:

1) ***«Чиста» установка*** - це метод міграції, в якому всі мережеві пристрої або повністю замінюються, або оновлюються. Керуючі пристрої замінюються на OpenFlow контролер.

2) ***Змішана установка*** - це метод міграції, в якому впроваджені OpenFlow пристрої взаємодіють з існуючими в мережі пристроями традиційної архітектури. Ці пристрої повинні обмінюватися маршрутною інформацією один з одним через пристрій управління.

3) ***Гібридна установка*** - це метод впровадження програмно-комутованої мережі, в якому в змішану мережу впроваджуються гібридні пристрої, які підтримують OpenFlow функціональність.

Змішані і гібридні міграції є поетапними міграціями. У більшості випадків перехід до OpenFlow обумовлений наявністю додаткових можливостей. Іншими

словами, використання OpenFlow бажано через наявність end-to- end послуг, щоб використовувати можливості таких послуг, необхідне впровадження OpenFlow контролера з пристроями, що підтримують OpenFlow, в будь-якій з конфігурацій: «чиста», змішана або гібридна.

Міграція end-to-end мережі, може перетинатися з різними варіаціями мережевих сегментів і технологій. Наприклад, сервіс телефонії може перетинатися з різноманіттям мереж і різних технологій. Кожна технологія може бути включена через OpenFlow, але фактично можливий переклад цілком різних технологій.

Мережеві рівні

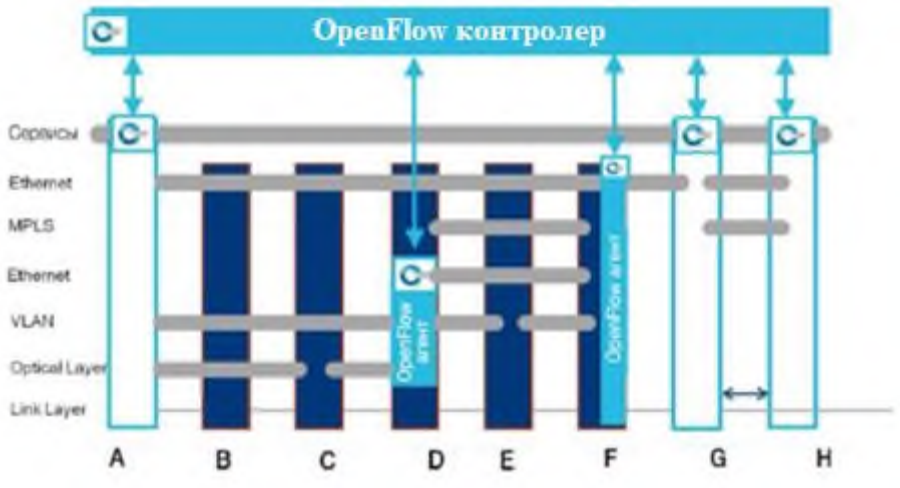


Рис. 3.8 Приклад відмінності шарів(рівнів) при міграції

Рисунок відображає кожний фізично-мережевий пристрій, який бере участь в end-to-end мережі.

Крім поділу на типи мереж, існують ще шари мережі. Спочатку цільова архітектура і можливості OpenFlow були засновані на 2 рівні управління потоком мережевий моделі передачі даних. Однак, OpenFlow еволюціонував і став включати в себе рівні: 0, 1, 2, 2.5, 3, 4; і навіть 7 рівень. Відмінності в рівні передачі (data plane) і рівні управління (control plane) вимагають відповідних рекомендацій по міграції. Варто розглянути розглянуте раніше гібридний пристрій. Це мережеве пристроєм, який може управлятися OpenFlow контролером, але також воно здатне бути самостійним в управлінні (Control Machine).

1) **Устаткування A** забезпечує з'єднання на 0 рівні, але завершує оптичний сигнал вводячи значення в навантажувальну інформацію VLAN/Ethernet в Lambda (багато протокольних комутації в оптичної мережі).

2) **Устаткування B** - це звичайний оптичний комутатор, де сигнали або навантажувальна інформація не закінчуються (наприклад, аналогові технології).

3) **Устаткування C** - це оптико-електричний комутатор (Optical-Electrical), які просто відновлює заголовок VLAN для передачі в інший VLAN.

4) **Устаткування D** є шлюзом широкосмугової мережі. Це пристрій може працювати в різних шарах мережевий моделі. Найчастіше воно діє на перших трьох рівнях всередині мережі та буде підключеним до ядра мережі (часто заснований на MPLS).

5) **Устаткування E** є проміжним комутатором або скоріше MPLS пристроєм, який використовує Label Switched Path (LSP).

6) **Пристрої F і G** є MPLS комутаторами, які або перенаправляють LSP, або закінчують LSP.

7) **Обладнання H** - Ethernet пристрій, який може розпізнати тільки Ethernet фрейми, що приходять на порт.

Сценарії міграції

Три найбільш ймовірні сценарії міграції:

1) **Міграція A - Точка-точка (End-to- end) міграція:** ілюструє точка-точка "чисту" міграцію з усіма пристроями, що працюють на тому ж рівні (рівнях). Всі пристрої замінені на OpenFlow пристрою і управляються через OpenFlow контролер (рис. 3.9).

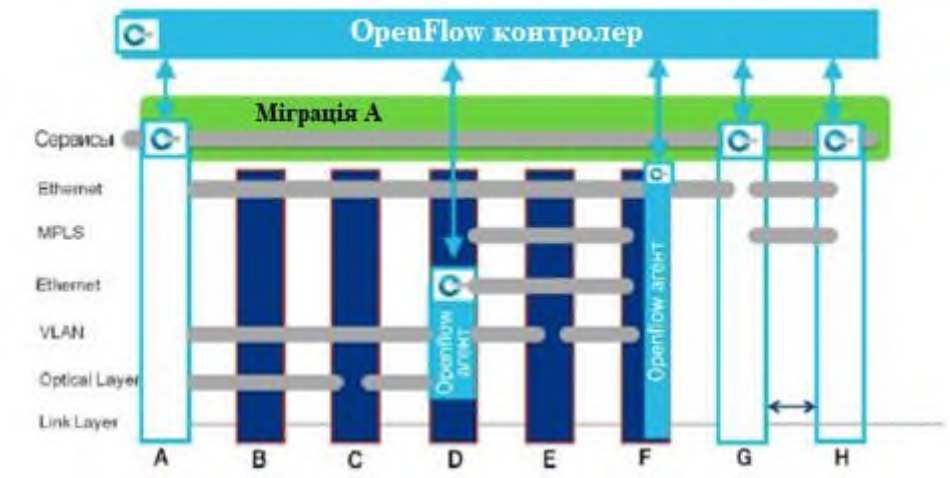


Рис. 3.9 Приклад міграції точка-точка

2) **Міграція B - Міграція з Full-Stack передачею** (рис. 3.10)**.** Устаткування F в цьому прикладі є відображенням гібридного обладнання (як описано вище), тоді як пристрій G - повністю OpenFlow. Пристрій F буде ще обмінюватися інформацією з самоврядним пристроєм, але в той же буде використовувати команди від OpenFlow контролера. Це приклад гібридної міграції.

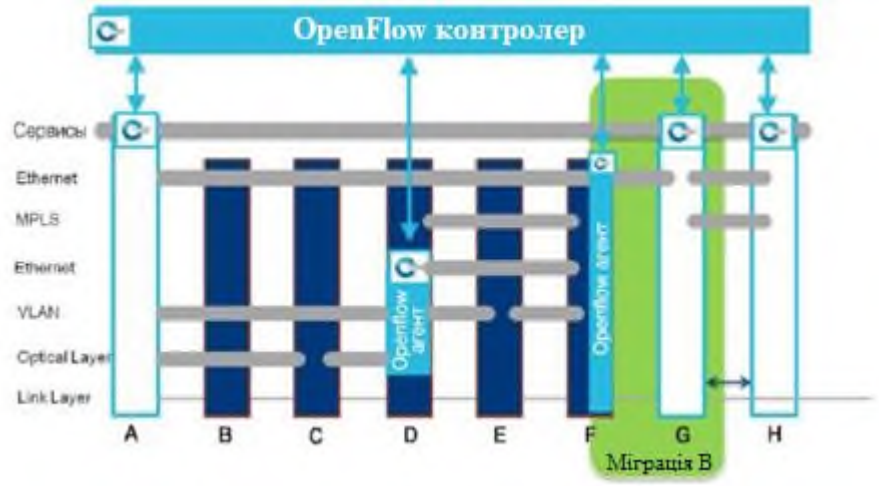


Рис. 3.10 Приклад з Full-Stack передачею

3) **Міграція С - частково-замінна стек** (рис. 3.11)**.** Тільки кілька рівнів мережевий моделі буде перенесено на OpenFlow (Ethernet, VLAN і оптичні рівні), де рівні вище і нижче (MPLS і Ethernet) можуть продовжити використовувати існуючий керований механізм і протоколи, але вибрані рівні будуть замінені OpenFlow.



Рис. 3.11 Приклад використання частково-замінного стека міграції

Безпека

Безпека мереж є критичною ланкою для всіх бізнесів, особливо з огляду на зростання міграції до хмарних обчислень і програмно-комутацією каналів. ПКС забезпечує централізованість і керовану модель, що дозволяє мережі бути більш гнучкою і відбити атаки на мережу. ПКС може управляти мережею на основі аналізу трафіку і статистики і застосовувати різні політики безпеки, а також визначення джерело атак і подальше ізолювання частини мережі.

Один спосіб безпечної міграції до програмно-комутованої мережі:

1) Додати експериментальний шар мережі (наприклад, VLAN).

2) Обмежити цей шар з програмно-комутованої мережі рішеннями з безпеки (наприклад, Security Enhanced Floodlight).

3) Включити OpenFlow і Вашої оселі ПКС на новому шарі мережі (наприклад, VLAN).

4) Поетапно переводити користувачів до нового безпечного шару.

Планування

Успішна міграція можливо при правильному плануванні, де кращими рекомендаціями будуть:

1) Аналіз невідповідностей: детальний аналіз невідповідностей повинен виконуватися для розуміння впливу на існуючі сервіси. Для всіх невідповідностей (проміжків часу) необхідно забезпечити альтернативні варіанти доступності для запобігання можливих помилок, які можуть виникнути протягом міграції.

2) Чек-лист: перед і після міграції необхідно заповнити чек-лист, в якому вказані специфічні особливості.

3) Процедури повернення: детальний опис міграції крок за кроком з описом процедури повернення на попередній етап. Це повинно бути повністю задокументовано для дій в разі непередбачених результатів. Також повернення повинен бути мінімізований для запиту ресурсів продуктивності.

4) Аналіз набору особливостей: детальний аналіз OpenFlow особливостей і бажаних можливостей повинні бути виконані на контролері і OpenFlow комутаторі. Необхідно забезпечити набір особливостей відповідно до вимог.

Процес міграції

Наступні практики є важливими для плавного ходу міграції:

1) Інструменти. Всі необхідні інструменти управління мережею повинні бути резервовані для правильного управління та моніторингу трафіку.

2) Управління контролем версій OpenFlow. Так як є кілька версій OpenFlow, то важливо перевірити сумісність між версіями OpenFlow протоколу в контролері і комутаторах.

3) Оновлення. OpenFlow пристрої повинні бути оновлені для запуску відповідного коду, і проведена апаратна прошивка перед процесом міграції.

4) З'єднання. Канали зв'язку між контролером і OpenFlow комутаторами повинна бути перевірена.

5) Доступність сервісів. У змішаних мережах допоміжні інструменти, такі як VPN, повинні бути створені і перевірені.

6) Пошук помилок. Відповідні кроки з пошуку помилок і проблем, такі як ping, trace, повинні бути перевірені.

4 АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

4.1 Стандартизація програмно-конфігурованих мереж

Розробкою стандартів SDN і дослідженнями в цьому напрямі в даний час займається велике число галузевих об'єднань та міжнародних організацій, в яких беруть участь зацікавлені комерційні компанії – виробники мережного устаткування, оператори мереж зв'язку, розробники ПЗ.

Концепція SDN активно просувається, проте її розуміння ще не устоялося, а ключові стандарти знаходяться на різних стадіях розробки та апробації, тому сьогодні загальноприйняте визначення поняття SDN відсутнє. Так, галузеві стандартизуючи організації: Фонд відкритих мережних технологій (англ. Open Networking Foundation, ONF), Робоча група по інженерних завданнях Інтернет (англ. Internet Engineering Task Force, IETF) та ITU (Сектор стандартизації Міжнародного союзу електрозв'язку (International Telecommunication Union)) – пропонують наступні визначення:

ONF: SDN – динамічна, керована та здатна до адаптації мережна архітектура, в якій розділені рівні управління мережею та передачі даних, що забезпечує програмне управління мережею та абстрагування/ізоляцію (рівня) мережної інфраструктури від (рівня) додатків та мережних послуг/сервісів.

IETF: SDN – підхід до побудови мереж, що забезпечує пряме управління ресурсами та мережами, а також їх розподіл за рахунок додавання власних засобів обробки, адміністрування та програмного управління за допомогою відкритих мережних інтерфейсів і абстракції (абстрагування, ізоляції) рівня мережі.

ITU: SDN – технологія побудови мереж, яка дозволяє реалізувати централізований, програмований рівень управління та ізоляцію (абстракцію) рівня

даних; при цьому рівні управління та даних розділені, завдяки чому оператори мереж зв'язку можуть безпосередньо управляти своїми віртуальними ресурсами і мережами. Програмований рівень управління – рівень управління, який повинен бути програмованим і керованим централізованим чином; ізоляція (абстракція) рівня даних – моделі рівня даних повинні бути абстрактними і спрощеними, а не спеціалізованим апаратним забезпеченням.

Дослідженням загальних питань і стандартизацією SDN займаються ONF, IETF, Дослідницька група інтернет-технологій (англ. Internet Research Task Force, IRTF), Європейський інститут по стандартизації в області телекомунікацій (англ. European Telecommunications Standards Institute, ETSI) та MCE-T. Представники Форуму широкосмугових мереж (англ. Broadband Forum, BBF) вивчають деякі питання побудови та експлуатації мереж SDN. В рамках робочої групи "Інноваційні послуги та ринкові вимоги" (англ. Service Innovation & Market Requirements) виділений проект SD-313 – комерційні вимоги та структура SDN в широкосмугових телекомунікаційних мережах (англ. Business Requirements and Framework for SDN in Telecommunication Broadband Networks). Проект припускає проведення досліджень в області сценаріїв переходу до мереж SDN, включаючи варіанти підтримки SDN частиною устаткування, а також впровадження функціональності SDN в устаткування при оновленні ПЗ.

Приватні питання стосовно SDN розглядаються і учасниками Форуму оптичної міжмережної взаємодії (англ. Optical Internetworking Forum, OIF). Ця некомерційна організація, яка розробляє угоди по реалізації (англ. Implementation Agreement, IA) для устаткування оптичних мереж, оцінює концепцію SDN як перспективну і займається розробкою вимог до SDN в частині транспортних мереж з боку операторів (оптичних) мереж і постачальників послуг, структури SDN та її співвідношення з архітектурою оптичних мереж з автоматичною комутацією (англ. Automatically Switched Optical Network, ASON), а також демонстрацією і тестуванням SDN.

Вимоги OIF до SDN з погляду операторів транспортних мереж включають:

- функції рівня управління транспортної мережі SDN;
- функціональні вимоги до оркестратора, що координує функції та служби на різних рівнях транспортної мережі і з кінця в кінець в суміжних доменах SDN;
- співвідношення рівнів SDN в транспортній мережі – рівня передачі даних, управління, адміністрування та оркестровки.

Апробацією стандартів, що розробляються, та розробкою відкритих рішень SDN займаються декілька організацій:

OpenDaylight – об'єднання галузевих виробників, включаючи IBM, Juniper Networks, Cisco, Red Hat, VMware, Citrix, Ericsson, Microsoft, NEC, Big Switch Networks, Brocade Communications Systems. Метою проекту є створення єдиної відкритої платформи SDN, розробка відкритої структури класів (фреймворка) в якості основа для створення готових продуктів та сервісів різними учасниками ринку;

Open vSwitch – проект з розробки програмного комутатору SDN з відкритим початковим кодом для застосування у віртуалізованому мережному середовищі. У проекті беруть участь компанії Citrix, Red Hat, Canonical, Oracle, FREEBSD Foundation, Nicira;

OpenStack – проект з розробки комплексу безкоштовних відкритих програмних засобів для створення хмарної обчислювальної інфраструктури та сховищ даних, що включає підтримку SDN. У проекті представлені компанії AT&T, AMD, Brocade Communications Systems, Canonical, Cisco, Dell, EMC, Ericsson, Groupe Bull, HP, IBM, Inktank, Intel, NEC, Rackspace Hosting, Red Hat, SUSE Linux, VMware, Yahoo!.

Узагальнена схема основних напрямів стандартизації та розробки представлена на рис. 18, де сірими овалами показані стандартизуючі організації, а білими – об'єднання галузевих виробників та проекти з розробки відкритого ПЗ.

ONF, як родоначальник SDN, ставить за мету формування нової архітектури мережі та устаткування, що припускає відділення площини управління від площини передачі, і докладає значні зусилля до подолання виникаючих проблем, пов’язаних із складнощами міграції від традиційних мереж до SDN і з труднощами стандартизації площини передачі із-за перешкод з боку провідних світових виробників устаткування.

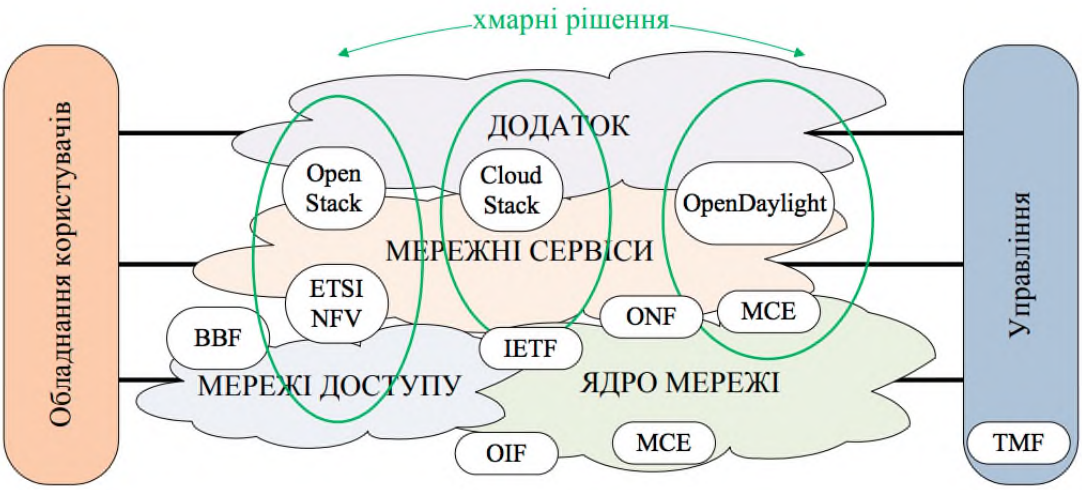


Рис. 4.1 Розподіл організацій, які займаються стандартизацією, за напрямками розробки архітектури SDN

IETF слідує убік SDN іншим шляхом, додаючи властивості відкритих інтерфейсів в існуючу архітектуру та захищаючи, таким чином, вкладені інвестиції. Недоліками при цьому є обмежена відкритість та значне ускладнення мережі, оскільки устаткування повинне підтримувати старі та нові технічно/технологічні рішення.

ETSI, маючи спеціалізовану групу ISG для стандартизації NFV, зосереджує значні зусилля на доказовій базі спроможності концепції. При цьому відома проблема продуктивності функціонування визначає реалізацію мережних функцій на

промислових серверах, хоча створення спеціалізованого устаткування для NFV також актуально.

Метою OpenStack є створення хмарної операційної системи для оркестровки обчислень, зберігання, реалізації мережних функцій. У цьому напрямі досягнутий значний прогрес, проте потрібний час для того, щоб перетворити цю систему на готове, зокрема в комерційному плані, рішення. Таким чином, створення ПКМ дозволить відокремити рівень управління мережним устаткуванням від рівня управління передачі даних, створити програмно-керований інтерфейс між мережними додатками та транспортним середовищем та перейти від управління окремим устаткуванням до управління мережею в цілому.

4.2 Технологія віртуалізації NFV (Network Functions Virtualization - Віртуалізація Мережевих Функцій)

Віртуалізація Мережевих Функцій (Network Function Virtualization - NFV) – технологія віртуалізації фізичних мережевих елементів телекомунікаційної мережі, коли мережеві функції виконуються програмними модулями, що працюють на стандартних серверах і віртуальних машинах (Virtual Machines, VM) в них. Ці програмні модулі можуть взаємодіяти між собою для надання послуг зв'язку, що раніше займалися апаратні платформи.

SDN та NFV, загалом, не залежать один від одного, хоча NFV може в значній мірі доповнювати SDN.

NFV - це спосіб віртуалізації функцій елементів мережі оператора зв'язку. Суть NFV полягає в тому, щоб реалізувати функції управління мережами і надання послуг програмним шляхом, замість того, щоб використовувати спеціалізоване обладнання. Тут можна провести аналогію відмінностей між театром і кіно. У театрі глядачі бачать «апаратну реалізацію» п'єси, яку грають живі актори, використовуються

реальні декорації і «живий оркестр». А в кіно вони бачать «Віртуалізацію» п'єси на кіноплівці, або в мультимедійному цифровому файлі. Суть п'єси при цьому не змінюється, і, загалом, можна сказати, що глядачі (абоненти) отримують ту ж послугу (переживають за героїв п'єси), що і в театрі. Якщо не вдаватися в естетичні відмінності різних видів мистецтва, то економічні переваги кіно перед театром очевидні - квиток в кіно коштує дешевше ніж в театр, і витрати на організацію кіносеансу також набагато менше, вистави в театрі. Таким чином, апаратні мережеві платформи - «театр», а NFV - «кіно».

Архітектура віртуалізації мережевих функцій (NFV), розроблена ETSI (документ ETSI GS NFV-0010 V0.1.7), показана на рис. 19.

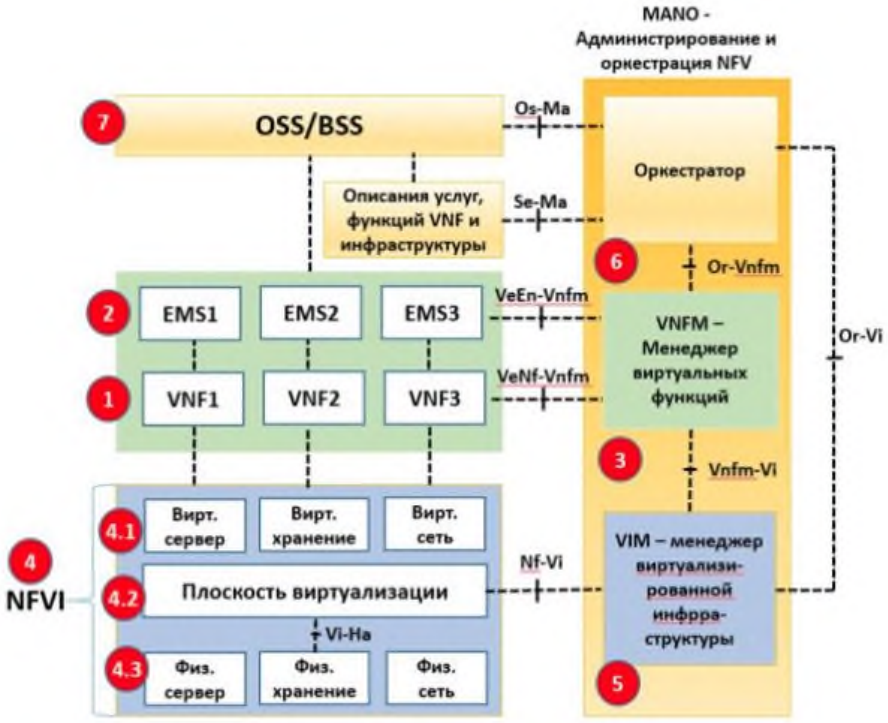


Рис. 4.2 Архітектура NFV для оператора зв’язку

Її основною особливістю є можливість т.зв. «Оркестрації послуг», тобто виділення віртуальних ресурсів тих чи інших послуг за запитом. При цьому досягається найбільш оптимальне використання ресурсів устаткування: серверів, зберігання і мережі. Для цього в архітектурі NFV передбачений компонент

адміністрування і оркестрації MANO (Management and Orchestration), який є найважливішою частиною концепції NFV.

Якщо продовжувати аналогію з кіно, то «оркестрації» послуг буде подібна монтажер фільму, склеювати плівку (або цифрові файли) знятих сцен, формуючи епізоди і фільм в цілому. Сцени можуть бути зняті в довільному порядку, нерідко кінець знімається раніше, ніж початок, так ж і набір віртуальних мережевих функцій VNF може бути довільним.

Розглянемо роботу системи NFV і її окремих елементів докладніше.

1) Блок віртуальної мережевої функції VNF (Virtual Network Function):

Віртуальні мережеві функції VNF - основа архітектури NFV. Це і є віртуалізовані функції мережевих елементів. Наприклад, це може бути маршрутизатор (Router VNF), або базова станція (BS VNF) та ін. VNF може представляти також одну з подфункций мережевого елемента, наприклад, функцію пересилання пакетів (forwarding) в маршрутизаторі. Тоді кілька VNF будуть відповідати одній фізичній мережевого елементу.

Інші елементи телекомунікаційної мережі, наприклад, IMS, GGSN, SGSN і ін., Також можуть бути реалізовані програмно у вигляді VNF.

Слід зазначити різницю між схожими абревіатурами: NFV - це технологія, а VNF – це функція.

2) Система адміністрування елементів EMS (Element Management System):

Система адміністрування елементів EMS керує роботою VNF. Вона відповідає за завданняпараметрів, тобто адміністрування (Management) операцій VNF, точно також, як фізичні мережеві елементи управляються від системи управління мережею NMS (Network Management System). Наприклад, це може бути управління при відмовах (fault management), управління продуктивністю (performance management), і інші функції системи управління мережею.

Управління VNF від EMS здійснюється через закриті (proprietary) інтерфейси, тому «Референсна точка» між ними ніяк не позначена. Швидше за все, в подальших релізах NFV ця точка буде деталізована. Однією VNF може відповідати одна EMS, або одна EMS може керувати кількома VNF. Крім того, сама EMS також може являти собою VNF, керовану від іншої EMS.

3) Менеджер VNFM (VNF Manager):

Менеджер VNFM управляє роботою однієї або декількох VNF. Наприклад, він управляє життєвим циклом функцій VNF, тобто, запускає, обслуговує, і зупиняє роботу VNF. VNFM може виконувати ті ж функції, що і EMS, але через референсну точку, запропоновану ETSI, в архітектурі NFV. Ця референсна точка називається VeNf-Vnfm. Що таке «референсна точка» ("Reference point"), і чим вона відрізняється від інтерфейсу, пояснюється нижче.

4) Інфраструктура NFV (Network Function Virtualization Infrastructure):

Інфраструктура віртуалізації втратити зв'язок із мережею NFVI - це середовище (інфраструктура), в якій працюють VNF. Ця інфраструктура включає ресурси фізичного обладнання, віртуальні ресурси і рівень віртуалізації, які описані нижче.

4.1 Апаратні ресурси: обчислювальні, мережеві і ресурси зберігання:

Це фізична частина інфраструктури NFVI. Віртуальні ресурси NFV запускаються на фізичних ресурсах NFVI. Це може бути будь-який стандартний комутатор, або фізичний сервер, або пристрій зберігання та інші IT-ресурси.

4.2 Площина віртуалізації (Virtualization Layer):

Площина віртуалізації відповідає за абстрагування фізичних ресурсів у вигляді віртуальних ресурсів. На цьому рівні знаходиться спеціальна програмна платформа "Hypervisor", яка виробляє відділення програмних засобів від апаратних, тобто дає можливість запускати програми незалежно від обраного обладнання. наприклад, операційна система може працювати на будь-якому фізичному сервері, який призначається для цієї мети в даний момент.

4.3 Віртуальні ресурси: обчислювальні, мережеві і ресурси зберігання:

Це віртуальна частина інфраструктури NFVI. Фізичні ресурси абстрагуються в віртуальні ресурси, які використовуються для роботи функцій VNF.

Припустимо, що площина віртуалізації відсутня. В принципі, VNF можуть працюватибезпосередньо на виділених матеріальних ресурсах і бути жорстко до них прив'язані. Однак, при цьому ми не можемо називати їх віртуальний мережевий функціями NVF, в такому випадку їх слід назвати PNF (Physical Network Functions). Це теж можливо. Однак, в цьому випадку перенесення віртуальної машини з одного фізичного сервера на інший (що часто буває потрібно, наприклад, при зміні місця розташування користувача віртуальної машини VM) потрібно буде виконувати вручну, а це складно, довго і дорого.

5) ***Менеджер віртуалізованої інфраструктури VIM (Virtualized Infrastructure Manager):***

Менеджер віртуалізованої інфраструктури VIM - це система адміністрування (Management) інфраструктури NFVI. Він відповідає за управління та адміністрування ресурсів NFVI всередині одного домену інфраструктури оператора. Він також відповідає за збір результатів вимірювань продуктивності і подій.

6) Оркестратор NFV (NFV Orchestrator):

Оркестратор NFV генерує, обслуговує і припиняє роботу мережевих сервісів (функцій) VNF, а також ініціює створення закінченої послуги з багатьох VNF.

Оркестратор NFV також відповідає за адміністрування глобальних ресурсів NFVI. Наприклад, він адмініструє ресурси обчислень, зберігання і мережі на кількох менеджерах VIM на мережі. Оркестратор не взаємодіє безпосередньо з VNF, а тільки через VNFM і VIM.

Наприклад, є кілька функцій VNF, з яких створена комплексна послуга. Наприклад, це може бути віртуальна базова станція або віртуальний домен опорної мережі EPC. На мережі ці елементи можуть бути представлені обладнанням або від одного, або від різних вендорів. Тоді потрібно створити комплексну (end to end)

послугу з використанням декількох VNF. При цьому потрібно оркестратор послуг для комунікації з усіма VNF і створення комплексної послуги.

7) Система підтримки операцій і бізнесу OSS/BSS (Operation Support System/Business Support System):

Система підтримки операцій і бізнесу OSS / BSS - це фізична система OSS / BSS оператора. OSS займається управлінням мережею (network management), управлінням при відмовах (fault management), управлінням конфігурацією (configuration management) і управлінням послугами (service management). BSS відповідає за управління клієнтами (customer management), управління продуктами (Product management), управління замовленнями (order management) і ін.

В архітектурі NFV, наявна BSS/OSS оператора може бути інтегрована з системою NFV MANO, за допомогою стандартних інтерфейсів.

Система OSS/BSS включає набір систем і додатків, які оператор використовує для управління та підтримки бізнесу. NFV повинна працювати разом з нею, а не автономно. В принципі, можна управляти функціями VNF і інфраструктурою NFVI від OSS/BSS безпосередньо, розширенням існуючого функціоналу OSS/BSS, але це виливається в необхідність розгортання власних (закритих) реалізацій вендора, що веде до «Вендорозалежності» оператора. Принаймні, інтерфейси між EM і VNF поки не визначені в ETSI. Оскільки NFV являє собою відкриту платформу, то управління об'єктами NFV через відкриті референсні точки (як в MANO) є більш раціональним підходом.

Існуючі OSS/BBS, однак, можуть надати для NFV MANO додаткові функції, якщо вони не підтримуються в конкретної реалізації NFV MANO. таке надання здійснюється через стандартні відкриті інтерфейси (Or-Ma- NFVO) між NFV MANO і існуючими OSS/BSS.

Співвідношення між SDN та NFV.

З приводу співвідношення між SDN та NFV існує багато теорій та тверджень. Іноді між ними мало не ставлять знак рівності. Іноді, навпаки, стверджується, що

між цими технологіями не існує зв'язку взагалі. Часто зустрічається думка, що SDN необхідна для NFV. Жодне з цих твердежнь не є вірним на 100%.

Співвідношення SDN та NFV, а також технологій відкритих протоколів (наприклад, OpenFlow), наведено на рис. 20.



Рис. 4.3 Співвідношення між SDN,NFV та відкритими протоколами

- Цілі NFV можуть бути досягнуті і без використання механізмів SDN, засобами, які вже є в багатьох дата-центрах. Однак, поділ площин управління і пересилання даних використовується в SDN, може збільшити продуктивність, спростити взаємодія між різними платформами, а також операційні та обслуговуючі процедури;
- NFV може забезпечити SDN інфраструктурою, на якій працює програмне забезпечення SDN. Більш того, цілі NFV подібні до цілей SDN в частині використання звичайних стандартних серверів і комутаторів.
- Тому NFV є основною архітектурою для еволюції мобільних мереж, а в деяких сценаріях також може використовуватися і SDN.
-

Переваги використання SDN та NFV для операторів зв’язку.

- Спрощення та централізація управління, адміністрування і обслуговування (OAM), підвищення ефективності бізнесу, зниження операційних витрат.
- Більш швидке розгортання нових послуг, зниження показника TTM (Time-To- Market).
- Створення нових ринків шляхом переходу до хмарним послуг:
  - Перехід операторського бізнесу від надання каналів зв'язку до наданняхмарних послуг.
  - Оператори можуть надавати інфраструктуру дата-центрів як послугу (IaaS) з інтеграцією ресурсів каналів зв'язку і хмарних IT-ресурсів.
- Більш ефективне використання ресурсів телекомунікаційної мережі шляхомцентралізації управління ресурсами, віртуалізації ресурсів дата-центрів.

Як SDN, так і NFV, використовують хмарні та Інтернет-технології для реконструкції мереж операторів зв'язку. SDN дозволяє конфігурувати площину передачі даних програмним шляхом. NFV дозволяє задавати ролі віртуальних мережевих пристроїв також програмним шляхом. В майбутньому, всі мережеві елементи будуть розгортатися в спільно використовуваної хмарної архітектурі дата-центрів. Мережеві сценарії будуть в ній зберігатися і розвиватися відповідно до вимог додатків верхнього рівня. Це дає можливість швидко впроваджувати і розгортати нові телекомунікаційні додатки і бізнеси.

Тому твердження про те, що «бізнес операторів зв'язку йде в хмару» є цілком справедливим.

Проблеми розвитку NFV/SDN

Основною проблемою розвитку NFV/SDN та впровадження цих технологій на мережах операторів і сервіс-провайдерів є великий обсяг інвестицій в інфраструктуру дата-центрів.

За оцінкою компанії Infonetics, до 2018 року витрати на розвиток NFV / SDN будуть поділятися наступним чином:

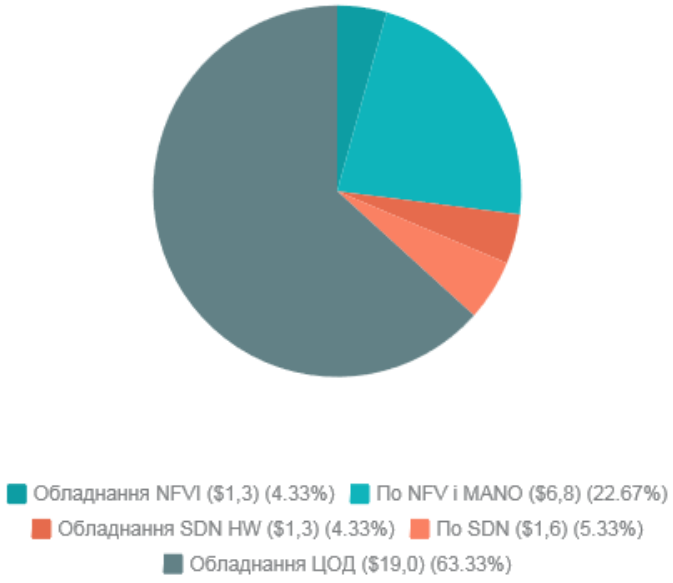


Рис. 4.5 Витрати операторів на обладнання та комплектуючі, ПЗ для NFV і SDN

З рисунка видно, що найбільша частка витрат все одно доводиться на обладнання для дата-центрів і їх інфраструктури. На обладнання і ПЗ безпосередньо для NFV і MANO припадає близько 36% витрат. Однак, якщо піти по шляху розвитку традиційної (апаратної) мережевий інфраструктури (IMS, EPC, OSS / BSS), то витрати будуть значно більше.

Саме тому і впроваджуються технології віртуалізації на основі стандартних (commodity) серверів і систем зберігання, центрів обробки даних, на яких можна віртуалізувати мережеву інфраструктуру, як показано на рис. (вище). Такий підхід дає наступні переваги:

- Стандартизація обладнання. Застосовуються не спеціалізовані пристрої, а стандартні, які при масовому виробництві і використанні коштують значно дешевше.

- Уніфікація процесів обслуговування, що дає значну економію операційних витрат.
- Скорочення термінів введення нових сервісів і додатків від місяців до днів.
- Гнучкість використання ресурсів. Ресурси традиційної (апаратної) мережі IMS/EPC часто бувають або недовантаженими, або перевантаженими, оскільки ситуація на мережі постійно змінюється. З використанням NFV оператор може ініціювати, використати і потім видаляти рівно стільки віртуальних мережевих елементів, скільки йому потрібно в даний момент.

До факторів, який стримує розвиток NFV/SDN, можна віднести наступні:

1) **Стандарти і сумісність.** Стандарти NFV ще не до кінця розроблені, що привносить різнобій в вендорній реалізації, викликає проблеми сумісності реалізацій NFV різних вендорів, а також ризики в стратегіях операторів і сервіс-провайдерів.

2) **Технічна зрілість.** До листопада 2014 року більшість нових NFV-технологій перебували в стані тестування.

3) **Неясність цінності для бізнесу.** Перші комерційні реалізації NFV з'явилися тільки в 2015 році. Цінність для бізнесу від реалізації NFV поки лежить в теоретичній площині і реальних підтверджують кейсів все ще недостатньо.

4) **Проблеми міграції.** Міграція традиційної мережевої інфраструктури до архітектури NFV і / або SDN є складним і багатоступінчастим завданням. В даний час оператори і вендори обладнання поки не мають систематичного досвіду подібних переходів і переконливих «історій успіху».

5) **Проблеми організаційної структури.** На даний момент в структурі практично будь-якого оператора зв'язку, департамент інформаційний технологій (IT) та технічний департамент мережі зв'язку оператора (CT) організаційно розділені. Тим часом, NFV і SDN відносяться саме до сфери IT. Тому, потрібно не тільки трансформація базової мережі оператора, а й його організаційної структури. А це досить нетривіальна і хвороблива завдання. Однак, після її завершення, як внутрішня

корпоративна мережа оператора, так і його базова мережа, матимуть єдину інфраструктуру, що призведе як зниження накладних витрат, так і до підвищення ефективності бізнесу.

4.3 Існуючі рішення ПКМ (Обладнання, що можливе для використання в ПКМ)

Комутатор Open Design Larch Networks Ethernet L2/L3 Switch

Larch Networks - компанія, яка спеціалізується на проектуванні та розробці програмного і апаратного забезпечення для вбудованих мережевих систем. Комутатор OpenDesign Larch Networks Ethernet L2/L3 Switch універсальне рішення, яке орієнтоване на побудову мереж різного розміру і пропускної здатності. Але ніде немає інформації про це комутаторі.

Комутатор NEC ProgrammableFlow PF5240

Представлений компанією NEC в 2011 році. Орієнтований на побудову віртуалізованих мереж. Комутатор NEC ProgrammableFlow PF5240 позиціонується як рішення для створення гнучко настроюються мереж з підтримкою віртуалізації мереж другого і третього рівня. Можливість швидко змінити архітектуру мережі. Отримані мережі мають високу отказоустойчивостью за рахунок швидкого перенастроювання маршрутизації. Для роботи з OpenFlow в NEC пропонується спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє оперативно змінювати параметри мереж.

Комутатор NEC ProgrammableFlow PF5820

Крім NEC ProgrammableFlow PF5240 компанія NEC в даний час пропонує комутатор NEC ProgrammableFlow UNIVERGE PF5820. Головною перевагою обох комутаторів є гнучкість настройки та розгортання мереж за рахунок програмування по протоколу OpenFlow.

Головна відмінність цього комутатора полягає в підвищених швидкостях інтерфейсів і загальна пропускна здатність.

Серія комутаторів Cisco Catalyst 3750

Серія комутаторів Cisco Catalyst 3750 включає в себе більше 10 різних модифікацій пристрою, які містять 24 або 48 портів. В оригіналі ці пристрої не підтримують стандарт OpenFlow, але в 2012 році компанія почала вводити стандарт OpenFlow 1.0.0 в серії комутаторів Cisco Catalyst 3750-X і Cisco Catalyst 35600-X.

На даний момент, Cisco Catalyst 3750 є єдиним комутатором від Cisco, який підтримує стандарт OpenFlow.Так ж компанія веде активні розробки в області побудови програмно-комутованих мереж в закритих дослідженнях.

Комутатор IBM RackSwitch G8264

Даний комутатор був представлений на виставці Interop 2011. Він призначається для реалізації обчислювальних мереж високої пропускної здатності, може виступати в ролі моста між звичайної мережею і мережею OpenFlow. Виробник виділяє високу пропускну здатність комутатора, що дозволяє будувати на його базі одночасно безліч віртуальних мереж.

Комутаційні пристрої Intel ® Ethernet FM4000

Сімейство комутаційних пристроїв Intel ® Ethernet FM4000 представляє собою інтегроване рішення для побудови комутаторів з кількістю портів Ethernet від 12 до 25 штук. В цьому пункті ми розглянемо тільки чіп, який призначений для побудови на його базі комутаційних пристроїв. Дане сімейство комутаторів призначене для побудови продуктивних комутаторів з метою організації корпоративних мереж, а чіп забезпечує маршрутизацію третього рівня.

Підтримка стандарту OpenFlow не проводиться.

Чіп Intel ® Ethernet Switch FM6000

Чіп Intel ® Ethernet Switch FM6000 є більш продуктивним, ніж чіп для сімейства комутаторів Intel ® Ethernet Switch FM4000, і являє собою приклад компонента для гібридного пристрою, який створено для переходу від класичної мережі до мережі, яка базується на протоколі OpenFlow. Чіп містить програмований

парсер, що дозволяє аналізувати вхідний трафік і визначати, в класичну або OpenFlow мережу він повинен бути спрямований.

Референсна платформа Seacliff Trail

Платформа була представлена компанією Intel на виставці IDF 2012.Основним акцентом виробника була можливість підтримки програмно-комутованих мереж по протоколу OpenFlow. Дана платформа призначена для побудови програмно-комутованих мереж рівня top of rack. Платформа включає в себе чіп Intel Ethernet Switch FM6000, процесор Intel Xeon® Processor E3-1105C і базується на чіпсеті Intel Communications Chipset 8920. Крім протоколу OpenFlow, комутатор підтримує технологію Intel SDN framework.

Сімейство комутаторів Pica8 P-3xxx

Основна особливість даних комутаторів в тому, що вони спочатку позиціонуються як перехідна ланка між класичними мережевими архітектурами та ПКМ. Для роботи даних комутаторів використовується відкрита операційна система PicOS, яка дозволяє реалізувати стандартні протоколи маршрутизації в парі з протоколом OpenFlow.

Особливістю даної серії комутаторів є незалежність операційної системи від апаратної частини, що дозволяє використовувати універсальні для будь-яких комутаторів Pica8 збірка ОС. В даний час, незважаючи на відкритість операційної системи, дана серія комутаторів підтримує версію стандарту OpenFlow 1.0.0. Існують три різних реалізації даного протоколу для Pica8. В даний час йде робота над реалізацією протоколів версії 1.2 і 1.3, дати завершення готівка протоколами поки не вказані.

Серія комутаторів HP 5400 zl

Компанія HP веде активні розробки в області програмно комутованих мереж і має найбільш широкий спектр рішення для їх побудови, зокрема комутатори серії

ProCurve. Партнерство між Стенфордом, HP Labs і підрозділом ProCurve дозволило реалізувати протокол OpenFlow в якості експериментальної функції в серіях апаратури ProCurve.

Серія комутаторів HP 5400 zl містить в собі 6 моделей комутаторів, які побудовані на базі єдиної платформи, але володіють різними параметрами. Основою цієї серії комутаторів є спеціалізована програмована інтегральна схема ProVision ASIC, яка підтримує інтерфейси 10/100/1000 Ethernet і 10 Gigabit Ethernet; інтегровані функції маршрутизації 3 рівня. Основний акцент виробник ставить на високу гнучкість, масштабованість, простоту розгортання, функціонування та технічного обслуговування даних.

При цьому особливо виділяють функції програмно-комутованого мережевого обладнання - підтримка технології OpenFlow 1.0.0.

Реалізація OpenFlow для даного комутатора передбачає маршрутизацію як на апаратному, так і на програмному рівні, так як в даний час в стандарті OpenFlow не всі правила можуть бути реалізовані виключно на апаратному рівні. Апаратна маршрутизація в серії комутаторів від HP організовується на базі технології TCAM: частина записів таблиці потоків OpenFlow визначається в TCAM, потім пакети проглядаються і з ними проводяться дії, які відповідають обраної записи. При цьому TCAM захоплює все пакети, що не підійшли іншим записам в TCAM, і відправляє їх на обробку в модуль програмної маршрутизації. У програмній маршрутизації використовується весь набір правил OpenFlow для обробки і пересилання пакетів, якщо ж правила для обробки даного пакета не знаходиться і там, то він відправляється на контролер OpenFlow.

Комутатори Juniper MX series

Лінійка комутаторів Juniper MX series 3D, яка складається з комутаторів MX5, MX10, MX40, MX80, MX240, MX480, MX960, MX2000, є спеціальною серією комутаторів від компанії Juniper, основною відмінністю якої є орієнтованість на роботу в програмно комутованих мережах. Дані комутатори працюють на

спеціалізованій операційної системі Junos і побудовані на базі чіпсетів Jumos Tria. Залежно від модифікації дані пристрої дозволяють домогтися пропускної здатності до 17,2 Tbps.

Підтримка протоколу OpenFlow 1.0 введена в версії операційної системи JunOS 12.3 в лютому 2013. Але конкретних даних про розміри таблиць потоків і маршрутизації в відкритому доступі не наводиться.

Geni rack

Geni rack - це різні набори обчислювальних компонентів і систем зберігання даних, які призначені для побудови системи GENI.

В даний час дані системи стрімко розвиваються, geni rack застарівають всього за кілька місяців.

Існуючі на сьогоднішній день проекти по розробці GENI Racks можуть бути класифіковані в такий спосіб:

1) Starter racks - ранні і low-end проекти.

2) InstaGENI - проекти середнього цінового діапазону, які можуть бути поширені для реалізації доступу до мережевих хмарним додаткам в великих кампусах. При цьому дані проекти повинні повністю підтримувати віртуалізацію мереж і протокол OpenFlow.

3) ExoGENI - найбільш дорогі рішення, які підтримують гнучкі віртуальні мережеві топології і орієнтовані на використання протоколу OpenFlow.

Всі проекти створення GENI Racks орієнтовані на підтримку з'єднань третього рівня з мережею інтернет і з'єднання другого рівня з основними мережами системи GENI, такими як NLR і Internet2.

Комутатори, які використовуються в Geni racks.

1) Як OpenFlow- комутатора в даних проектах пропонується використовувати комутатори серії HP Procurve.

2) Комутатори, використовувані в InstaGeni racks.

3) Для реалізації проектів InstaGENI Racks пропонується використовувати комутатор HP ProCurve 2610 і HP ProCurve 6600. Отже, можна зробити висновок про те, що для підключення до мережі GENI достатньо можливостей комутаторів з пропускною спроможністю від 1 Гб / с до 10 Гб / с.

4) Комутатори, використовувані в ExoGeni rack.

Для реалізації проектів вищої цінової категорії пропонується використовувати комутатор IBM G8264R. Таким чином, можна зробити висновок про те, що для побудови даного виду проектів необхідно, щоб була забезпечена підтримка швидкостей доступу від 10 Гб/с до 40 Гб/с.

Реалізація ПКМ

Google Inter-Datacenter WAN

Google пропонує безліч різних послуг - Google Web Search, Google+, Gmail, YouTube, Google Maps - які є ключовими елементами Google, щоб зробити інформацію всебічно доступною і корисною. Для того щоб бути глобальною користувальницькою базою з високою швидкістю і доступністю, великі обсяги даних повинні бути переміщені з одного регіону в інший.

У 2010 році компанія Google розпочала впровадження технології програмно-комутованої мережі з підтримкою протоколу OpenFlow в WAN, що з'єднує дванадцять ЦОД (так звана мережа G-скелі). Оскільки на той момент не було жодного доступного мережного пристрою з підтримкою протоколу OpenFlow, який би задовольняв вимогам високої продуктивності, Google разробилаа свій власний комутатор з продуктивністю 10Гбіт/с і відкритий стек маршрутизації з підтримкою протоколу протоколу OpenFlow 1.0. Набір функцій розробленого комутатора був мінімальним, але достатнім для використання (крім OpenFlow цей комутатор підтримував тільки протоколи BGP і IS-IS).



Рис. 4.6 Розподілена мережа Google

Для забезпечення масштабованості і стійкості до помилок для кожного сервісу, що надається Google, було встановлено безліч комутаторів. Безліч контролерів взаємодіяли з комутаторами за допомогою протоколу OpenFlow. Використання великої кількості контролерів дозволяло забезпечувати відсутність єдиної точки потенційного збою.

Також в WAN компанії Google було розгорнуто централізований сервіс моніторингу і управління трафіком, що збирає в режимі реального часу дані про топологію мережі і показники її завантаженості, а також вимоги пропускної здатності для додатків і серверів. Використовуючи ці дані, сервіс обчислює і призначає шляхи для потоків трафіку, а потім відсилає отримані дані в комутатори OpenFlow.

На початку 2012 року проект був впроваджений. Мережа, що з'єднує безліч ЦОД Google, є найбільшою в світі і через неї проходить більше 10% світового трафіку. На даний момент ця мережа повністю працює на технології програмно-комутованої мережі.

За даними Google використання пропускної здатності мережевої інфраструктури ЦОД склало 95%, що до цього часу вважалося недосяжним показником в індустрії, а час виявлення несправної ділянки і вибору альтернативного шляху скоротилося в 9 разів (з дев'яти секунд до однієї секунди).

Компанія Google планує застосування протоколу OpenFlow в IT-мережах кожного її ЦОД.

ЦОДи Google успішно працюють на SDN та OpenFlow. Це найбільша виробнича мережа в Google. SDN та OpenFlow поліпшили керованість, продуктивність, використання і рентабельність в глобальній мережі.

5. РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЗАТРИМКИ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

При обслуговуванні користувачів часто виникає необхідність у наданні певним категоріям системи послуг за пріоритетами. Цей фактор найбільш важливий при проектуванні інфокомунікаційних мереж. Класи пріоритетів вводяться для різних послуг і різних категорій абонентів. Необхідність вищіх пріоритетів - це забезпечення команд і службових повідомлень, що застосовуються для управління процесами взаємодії елементів мережі, а також при управлінні мережею.

Розглянемо як приклад мережу каналів передачі даних зі швидкістю 9600біт/с. Будемо відмічати пакети даних індексом - *2*, а управляючі пакети (як правило меншої довжини) індексом - *1*.

Середня довжина пакетів даних 960 біт, тобто $1/\mu_2 = 0{,}1c$, а дисперсія $\sigma_2^2 = 2(1/\mu_2)^2$, або $E(\tau^2) = 3(1/\mu_2)^2$. З іншого боку всі керуючі пакети мають довжину 48 біт, отже, $1/\mu_1 = 5мс$. У прикладі з фіксованою довжиною пакетів $\sigma^2_1 = 0$. Розглянемо систему обслуговування в порядку надходження з однією чергою, яка представляє початковий канал передачі даних. Нехай *20%* загального навантаження створюється короткими управляючими пакетами, а *80%* -набагато довшими пакетами даних. Таким чином, маємо $\lambda_1 = 0{,}2\lambda$ та $\lambda_2 = 0{,}8\lambda$, де λ - загальна швидкість надходжень вхідного потоку в пакетах/секунду. Очевидно, що без пріоритетів робота системи обслуговування з комбінованим вхідним потоком

може бути описана моделлю *M/G/1*. Інтенсивність комбінованого навантаження - $\rho = \rho_1 + \rho_2$. Оскільки пакети обох класів поступають випадково з інтенсивністю відповідно λ_1 і λ_2, другий момент комбінованого потоку зваженою сумою других моментів:

$$E(\tau^2) = \frac{\lambda_1}{\lambda} E(\tau_1^2) + \frac{\lambda_2}{\lambda} E(\tau_2^2).$$

Нехай для визначеності ефективне значення ρ дорівнює *0,2*. Тоді загальна інтенсивність надходжень становить $\lambda = 6,17$ пакетів/секунду, і досить просто визначається середній час очікування для пакету будь-якого типу - *148* мс. Управляючі пакети довжиною *48* біт, які потребують для передачі *5* мс, часто можуть виявитися в черзі набагато довшими за довжиною *100*-мілісекундними інформаційними пакетами і повинні чекати передачі, в середньому *148* мс. Очевидним рішенням є надання управляючим пакетам вищого пріоритету, що дозволяє їм обійти при надходженні інформаційні пакети більш низького пріоритету і безпосередньо бути першими в черзі.

Звичайно використовуються два типи пріоритетів: відносний і абсолютний. У першому випадку користувачі (пакети або виклики послуг) вищого пріоритету стають попереду користувачів (пакетів) нижчого пріоритету в черзі, але не витісняють їх. У разі абсолютного пріоритету, обслуговування користувачів з

нижчим пріоритетом припиняється і продовжується лише після того, коли всі користувачі, що надійшли з вищим пріоритетом будуть обслужені. В данному випадку розглядається тільки відносні пріоритети.

Повертаючись до щойно розглянутого прикладу коротких і довгих управляючих пакетів, покажемо, що надання відносного пріоритету управляючим пакетам в середньому скорочує їх час очікування вдвічі до *47,5* мс, збільшуючи при цьому час очікування інформаційних пакетів на незначну величину. Якщо це зменшення в реальних випадках виявиться недостатнім, може бути використаний абсолютний пріоритет. Проте, необхідно зазначити, що користувачі, обслуговування яких було перерване, повинні бути позначеними. Це викликає необхідність додаткової обробки, яка може привести до зменшення теоретичної ефективності, очікуваного від введення пріоритету.

Для більшого узагальнення передбачимо, що в черзі чекають обслуговування *2r* класи користувачів. Інтенсивність потоків, що створюються ними - λ_1, λ_2, ..., λ_r, причому кожний з цих потоків - пуассонівський. Середній час обслуговування для *k*-того класу, $k = 1,2,..., r$, дорівнює $1/\mu k$.

Будемо вважати, що вищим пріоритетом володіє клас *1*, нижчим - клас *r* зі спаданням пріоритетів у послідовності зростання номера. Представимо розрахунок середнього часу очікування для будь-якого класу в припущенні, що пріоритети є відносними. Візьмемо для прикладу клас $\rho(1 \le \rho \le k)$. Нехай типовий

користувач цього класу поступає в довільний момент часу t_0. Його випадковий час очікування W_p, що вимірюється від моменту надходження до початку обслуговування, залежить від трьох параметрів. Користувач, який поступив повинен чекати протягом випадкового проміжку часу T_0, поки закінчитися поточний час обслуговування користувача. Крім того, він повинен чекати випадкове число $T_к$ одиниць часу, поки закінчитися обслуговування всіх користувачів класу k, вищого або рівного класу p, які вже знаходилися в черзі в момент часу t_0. Нарешті, він повинен чекати випадковий час $T_к$ обслуговування користувачів кожного класу k, який вищій за клас p і надійшли протягом часу очікування W_p.

Об'єднуючи разом ці параметри, отримаємо:

$$Wp = T_0 + \sum_{k=1}^{P} T_k + \sum_{k=1}^{p-1} T'k \,. \tag{5.1}$$

Для визначення середнього часу очікування:

$$E(Wp) = E(T_0) + \sum_{k=1}^{p} E(T_k) + \sum_{k=1}^{p-1} E(T'k) \,. \tag{5.2}$$

Для того, щоб знайти три середніх значення часу в рівності (2.53) зазначимо, що $E(T_k)$ виникає за рахунок середнього числа $E(mk)$ користувачів класу k, котрі очекують в системі. Кожний з них потребує, в середньому, $1/мk$ одиниць часу, тому безпосередньо одержимо:

$$E(T_k) = E(mk) / \mu k \ . \tag{5.3}$$

Але на основі формули Літтла величина *E(mk)* пов'язана з середнім очікуванням *E(Wk*), а саме

$$\mathrm{E(mk)} = \lambda_{\mathrm{k}} \mathrm{E(Wk)} \, . \tag{5.4}$$

Об'єднуючи рівняння (2.54) і (2.55), отримаємо:

$$E(T_k) = \rho_k E(Wk), \quad \rho_k \equiv \lambda_k / \mu_k \, . \tag{5.6}$$

Розглянемо тепер параметр $E(T_k)$, який одержали за рахунок надходження, в середньому *E(mk)* користувачів класу *k* протягом проміжку часу *E(Wp).*

Оскільки інтенсивність надходжень рівна λk і кожний користувач потребує в середньому $1/\lambda k$ одиниць часу обслуговування, безпосередньо отримаємо:

$$E(T_k) = \lambda k E(Wp) / \mu k = \rho k E(Wp) \, . \tag{5.7}$$

Отже, що $E(T_0)$ - це залишковий час обслуговування користувача, який знаходиться на обслуговуючій лінії.

Для системи обслуговування з відносними пріоритетами, які зберігають функціонування (тобто, коли обслуговуюча лінія знаходиться в режимі нормальної роботи, а користувач чекає обслуговування), вказаний час не залежить від дисципліни обслуговування. Воно повинне бути одним і тим же, якщо користувачі всіх *k* класів обслуговуються з однаковим пріоритетом за надходженням. Для середнього часу очікування в системі *M/G/1*, знаходимо:

$$E(T_0) = \lambda E(\tau^2)/2 = \sum_{k=1}^{r} \lambda_k E(\tau_k^2)/2 . \quad (5.8)$$

Це узагальнює описаний вище приклад з двома пріоритетними класами.

Зазначимо особливість систем з пріоритетами, яка полягає в тому, що деякі класи пріоритетів (високі) поліпшують характеристики, інші - навпаки. Цікаво, що тут має місце закон збереження. Можна показати, що зважена сума часів очікування завжди зберігає своє значення.

Зокрема:

$$\sum_{k=1}^{r} \rho_k E(Wk) = \rho E(W), \quad (5.9)$$

де *E(W*) - час очікування в системі *M/G/1(* обслуговуючій чергу за надходженням).

При зменшенні деяких часів очікування інші в порядку компенсації повинні збільшитися. Цей закон збереження є окремим випадком більш загального закону для систем із збереженням функціонування, який уперше був відкритий Клейнроком.

Скориставшись результатами теорії масового обслуговування і теоремою Літтла, можна обчислити середню затримку проходження інформації в мережі.

Наприклад, середня затримка виклику в системі:

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{P_Q}{m\mu - \lambda}, \quad (5.10)$$

де μ - швидкість обслуговування (даний параметр показує з якою швидкістю працює обслуговуючий прилад, тобто число викликів, що обслуговуються в одиницю часу, коли він зайнятий); P_Q - імовірність події: вимога, яка надійшла, визначає, що в системі всі обслуговуючі прилади зайняті, і буде поставлена у чергу для очікування (визначається за формулою Ерланга);

m – кількість обслуговуючих пристроїв.

Застосовуючи теорему Літтла, знаходимо середнє число вимог у системі:

$$N = T\lambda = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda P_Q}{m\mu - \lambda} \ . \qquad (5.11)$$

Аналогічно за допомогою відомих співвідношень у теорії масового обслуговування визначається середній час проходження управляючої інформації телекомунікаційною мережею в залежності від різних умов.

Розрахунок затримки інформації управління в вузлах ІКМ дозволяє кількісно оцінити якість структурної схеми, визначити оптимальну структуру мережі передачі інформації для різної кількості абонентів та спектра послуг, які надаються.

Розроблене програмне забезпечення призначено для отримання даних щодо часу затримки інформації управління в різних умовах і надає можливість зробити висновки про оптимальність структури інфокомунікаційной мережі.

Залежність затримки від інтенсивності надходження команд управління (вимог) представлена на рис.2.6.

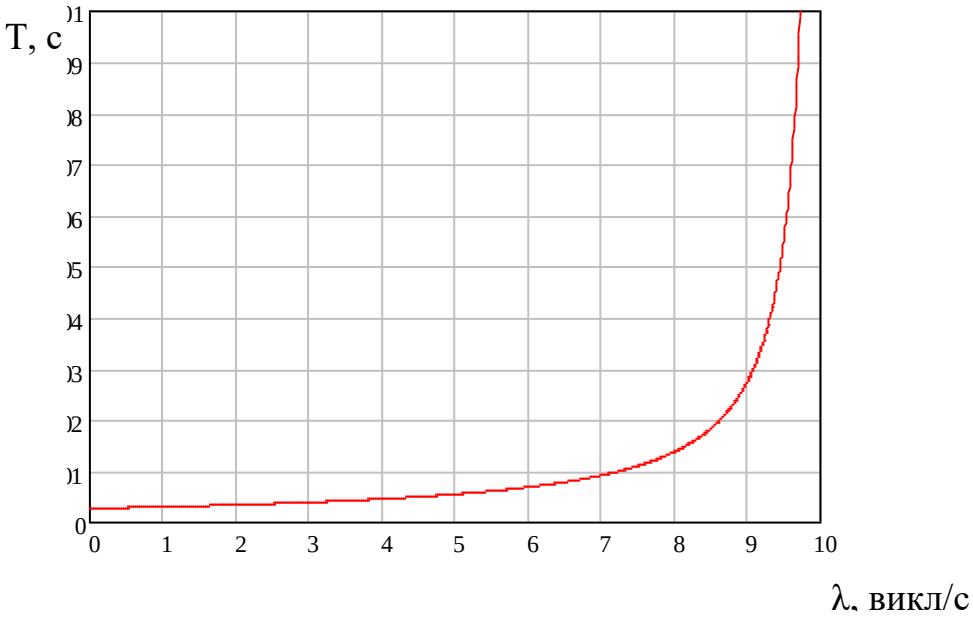


Рис. 5.1 Залежність затримки від інтенсивності надходжень вимог

Як і передбачалось, на рисунку видно, що затримка збільшується пропорційно інтенсивності. Як наслідок, для забезпечення її величини ,яка не перевищує заданої, необхідно при збільшенні інтенсивності команд інфокомунікаційной мережі збільшити продуктивність комутаційних вузлів.

На рис. 5.2 (а,б) представлено залежність затримки інформації від продуктивності вузла комутації при різній інтенсивності надходження вимог.

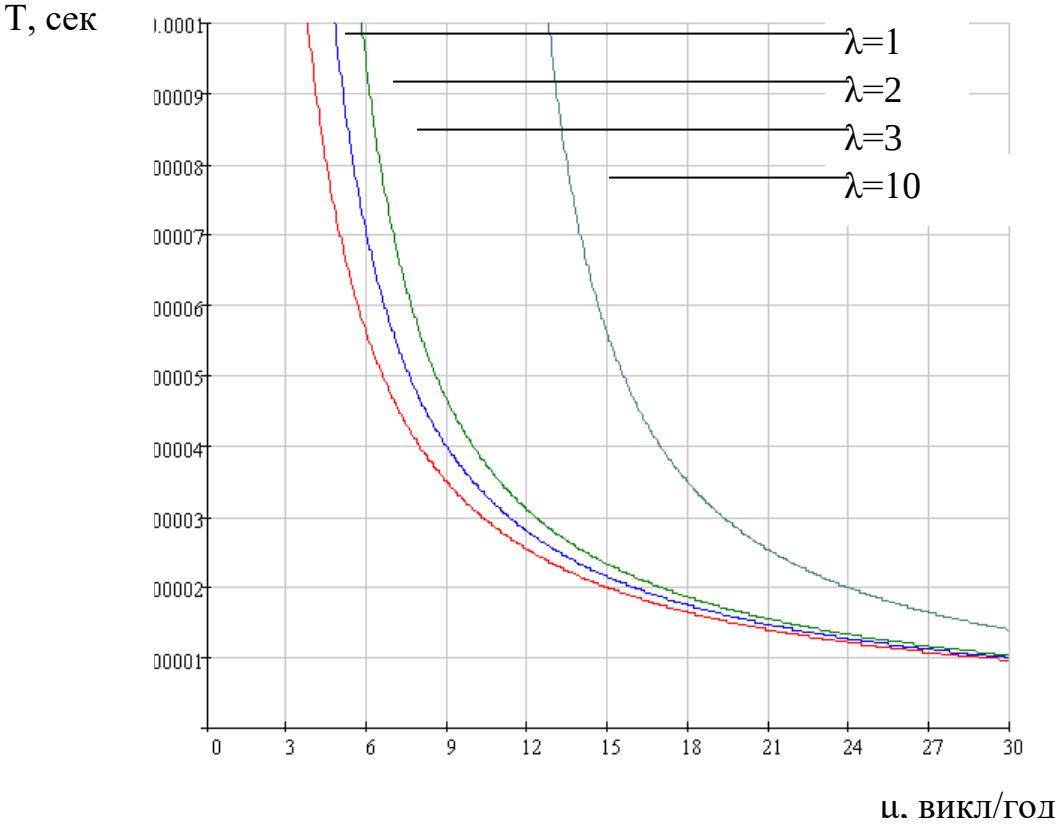


Рис. 5.2 а Залежність затримки інформації від продуктивності вузла комутації, модель M/M/1

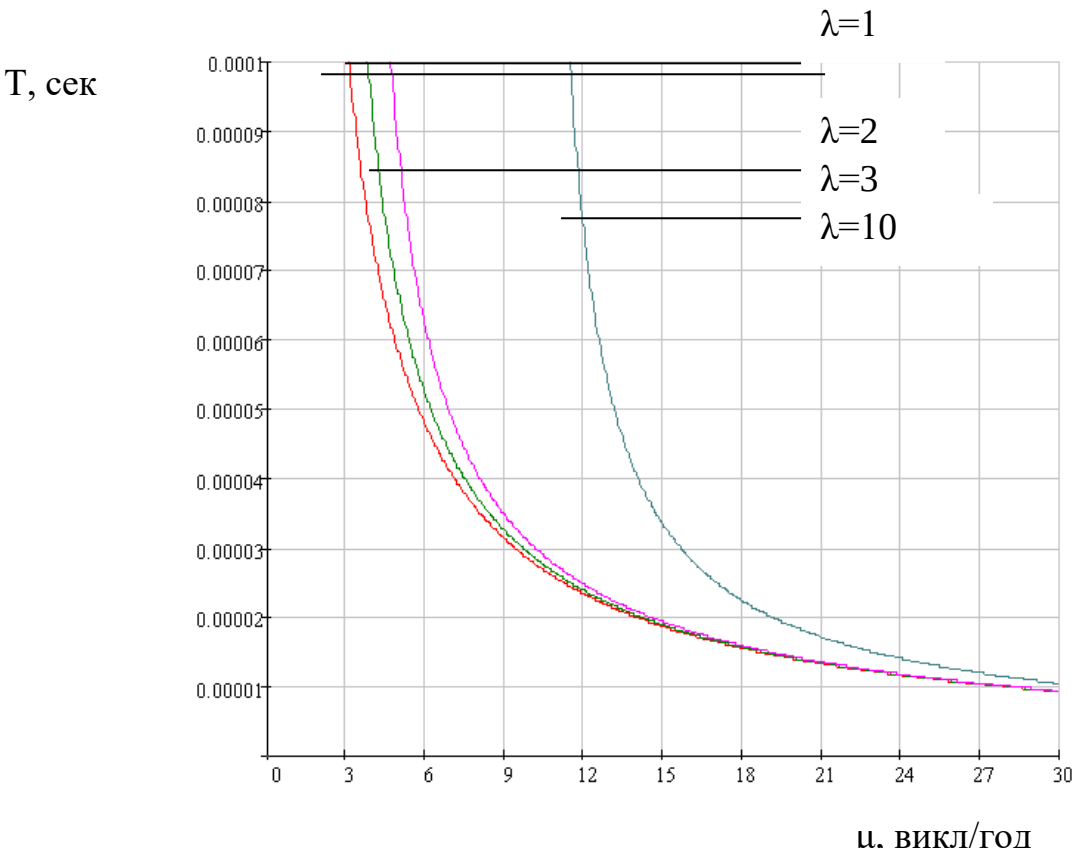


Рис. 5.2 б Залежність затримки інформації від продуктивності вузла комутації, модель M/M/2

Можна зробити висновок, що при проектуванні ІКМ необхідно враховувати фактор, що при підвищенні продуктивності вузла комутації до певного рівня затримка несуттєво залежить від інтенсивності надходження пакетів. Тому найефективнішим способом зменшення затримки є підвищення продуктивності комутаційних вузлів, а не зниження навантаження на комутаційний вузол.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаійній роботі розв’язано наукове завдання розроблення методів та моделей управління процесами передачі даних у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах для більш ефективного використання мережевих ресурсів та підвищення якості обслуговування користувачів.

Проведено аналіз існуючих технологій транспорту і доступу, що використовуються у так званих мережах майбутнього (NGN), переваги і недоліки їх використання при сучасній потребі користувачів. Розглянуті сучасні концепції управління телекомунікаційними мережами та проаналізована їх ефективність.

Проведено порівняльний аналіз принципів побудови, архітектури та процесів функціонування традиційних та програмно-конфігурованих мереж. В архітектурі програмно-конфігурованих мереж функції управління та передачі даних розділені на два окремих рівні, які реалізуються на окремих фізичних пристроях. Рівень керування представлений контролером, що використовує протокол OpenFlow для управління комутаторами, які представляють рівень передачі даних. Завдяки північному та південному інтерфейсу, а також можливості програмувати функції площини передачі даних контролер утворює мережеву операційну систему, на яку є можливість встановлювати різноманітні додатки для інтелектуального управління мережею та забезпечення якісних параметрів мережі, зокрема таких: якість обслуговування потоків, адаптивність, надійність, стійкість, доступність та ефективність. Визначено, що рівень забезпечення зазначених характеристик залежить від реалізації програмних додатків, встановлених на контролер, а також архітектури самого контролера.

Аналіз розроблених методів та моделей управління програмно-конфігурованими мережами показав, що проблема забезпечення якості обслуговування займає важливе місце в наукових працях закордонних та вітчизняних дослідників. Зокрема, увага науковців прикута до адаптивності програмно-конфігурованої мережі в умовах обслуговування мультисервісного

трафіку, яка реалізується завдяки можливостям протоколу OpenFlow здійснювати оперативний моніторинг структурно-функціональних параметрів пристроїв передачі даних та динамічно їх програмувати.

В рамках аналізу складових елементів системи управління, що забезпечують якість обслуговування потоків в програмно-конфігурованих мережах, встановлено, що перехід від існуючої архітектури телекомунікаційних мереж до програмно-конфігурованих не такий вже і простий у реалізації, в першу чергу, через високою вартістю нового обладнання, також невелику кількість існуючого обладнання, що підтримує протокол OpenFlow, а це в свою чергу не гарантує перехід у наближчий час.

На основі досліджень, проведених в роботі, представлено спосіб підвищення ефективності телекомунікаційних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Книги

1. Щербаков В.Б. Безопасность беспроводных сетей стандарт IEEE 802.11 / Щербаков В.Б., Єрмаков С.А; під ред. РадіоСофт, 2010.

2. Бакланов І.Г. NGN. Принципы построения и организации / Бакланов І.Г.; під. ред. Эко-Трендз, 2008.

3. Лурджан, М.Б. Исследование возможностей внедрения алгоритмов маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях (SDN) / М.Б. Лурджан, А.А. Воропаева, Г.В. Ступак // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Красноармійськ, ДонНТУ, 2015. Випуск 1 (28). – 81 – 89 с.

4. Лурджан, М.Б. ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ / М.Б. Лурджан, А.А. Воропаева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Красноармійськ, ДонНТУ, 2016. Випуск 1 (28). – 87 – 95 с.

Статті, конференції, семінари

1. Коваль Б.В. Дослідження площини управління програмно-конфігурованих мереж на основі розподіленої системи функцій віртуалізації / Б.В.Коваль, М.О.Селюченко, Г.В.Мельник, А.В.Ковальчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» "Радіоелектроніка та телекомунікації". – Львів, 2014. – №796. – 164-175 с. (Index Copernicus, Google scholar).

2. Міночкін Д.А. Використання програмно-визначених мереж для модернізації IT-інфраструктури мобільного зв'язку / Міночкін Д.А. // Десята міжнародна науково-

технічна конференція “ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ” – Київ,Україна, 2016. – 158 – 161 с.

3. Семенко А.І. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SDN ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОВАЙДЕРСЬКОГО ЯДРА СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ’ЯЗКУ 5G МАЙБУТНЬОГО ПОКОЛІННЯ / Семенко А.І., Лунтовський А. О. // У фокусі уваги,– Київ, 2014. – ЗВ’ЯЗОК, Випуск 3. – 13-19 с.

4. Куклов В.М. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНО КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАДАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПОСЛУГ / Куклов В.М., Василенко В.В. // Системи управління, навігації та зв'язку, 2015, випуск 2(34) Інформаційні технології. – 77-79 с.

Електронні ресурси

1. SDN технологія: можливості та реалії [Електронний ресурс] // ARCCN NEWS. - 2013. - Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=cOmDmT-xhM0 (11.11.2017).

2. OpenFlow Switch Specification [Електронний ресурс] // ONF. – 2014. – Режим доступу: https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdnresources/onf-specifications/openflow/openflow-switch-v1.5.0.noipr.pdf (15.12.2017).

3. Big Switch Networks, Inc. (2018). *SDN Technology*. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.bigswitch.com/company/sdn-technology (25.12.2017).

4. SearchSDN. (2018). *What is software-defined networking (SDN)? - Definition from WhatIs.com*. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://searchsdn.techtarget.com/definition/software-defined-networking-SDN (15.01.2018).

5. Лекция: Что такое SDN? [Електронний ресурс] // CienaCorp. – 2016. – Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=S_FbuV9siN8 (15.01.2018).

6. Гинсбург Д. SDN: революция или эволюция? Семинар в Яндексе [Електронний ресурс] / Даниил Гинсбург // Яндекс. – 2014. – Режим доступу: https://habr.com/company/yandex/blog/227061/ (10.02.2018).

7. Решения SDN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rusteletech.ru/resheniya-sdn (15.04.2018).

8. Смелянский Р. Программно-конфигурируемые сети [Електронний ресурс] / Руслан Смелянский. – 2012. – Режим доступу: https://www.osp.ru/os/2012/09/13032491/ (15.02.2018).

9. SDN 101: Программно определяемые сети — введение [Електронний ресурс] // citrix.ru. – 2014. – Режим доступу: https://www.citrix.com/content/dam/citrix/en_us/documents/oth/sdn-101-an-introduction-to-software-defined-networking-ru.pdf (11.03.2018).

10. Кронбергер Д. SDN – программно-определяемые сети [Електронний ресурс] / Дейв Кронбергер // ЭЙ ЭМ СИ УКРАИНА. – 2014. – Режим доступу: http://ua.automation.com/content/sdn-programmno-opredeljaemye-seti (20.03.2018).

11. Программно определяемые сети (Software Defined Networks): настоящее и будущее [Електронний ресурс] // Блог компании Hewlett Packard Enterprise. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://habr.com/company/hpe/blog/160531/ (15.04.2018).

12. Похабова І. Е. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ МЕРЕЖІ SDN ТА ЇЇ ПЕРЕВАГИ [Електронний ресурс] / Ірина Едуардівна Похабова. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://prezi.com/pmmqvi9yumth/sdn/ (15.04.2018).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

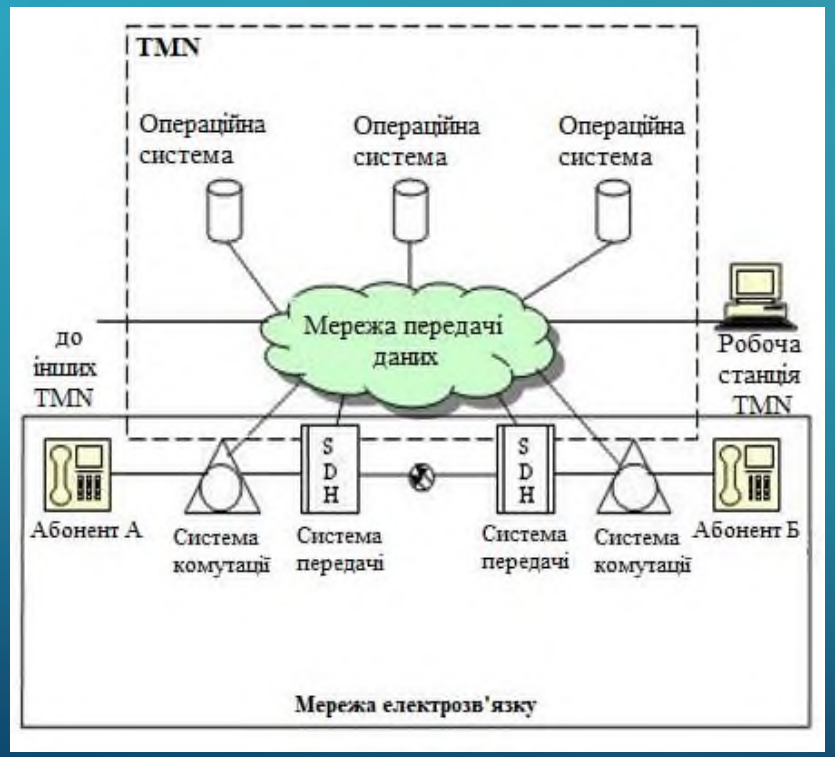
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТУПУ ТА ТРАНСПОРТУ. АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ NGN

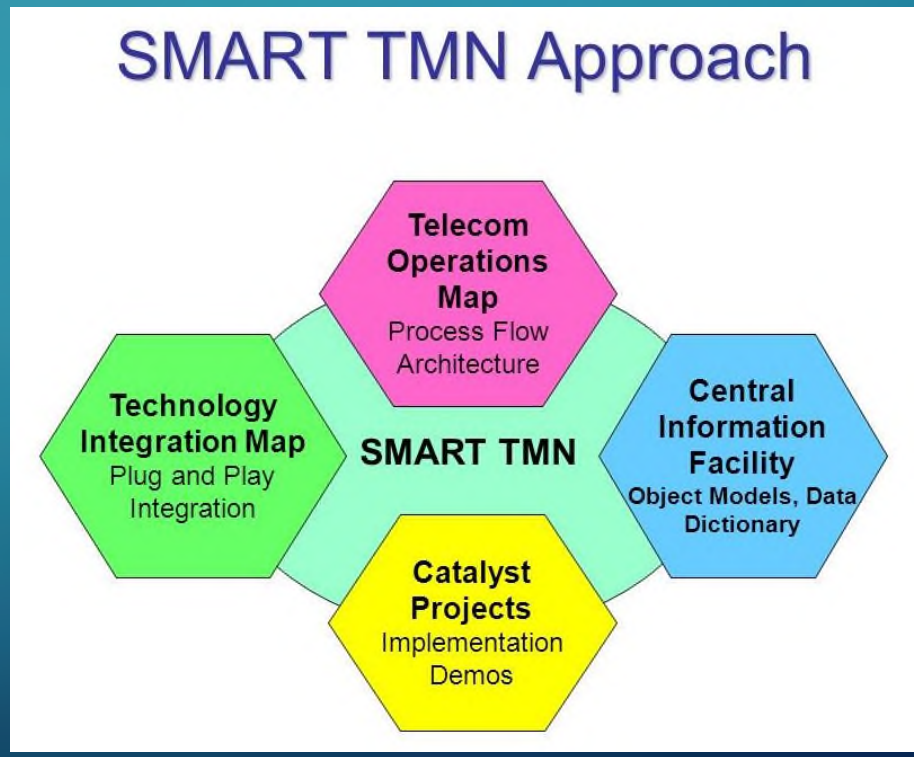


Чотирьохрівнева архітектура NGN

СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

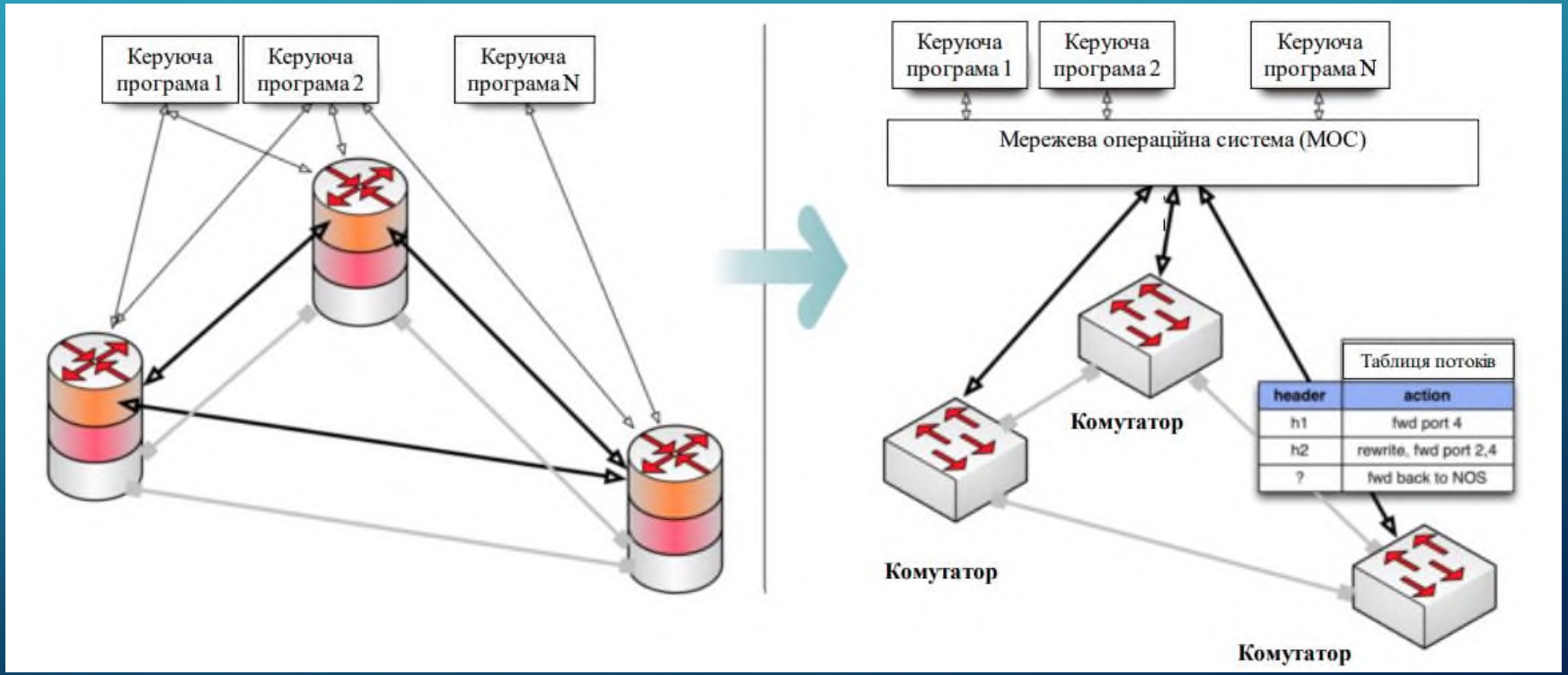


TMN та мережа електрозв'язку



Підходи до SMART TMN

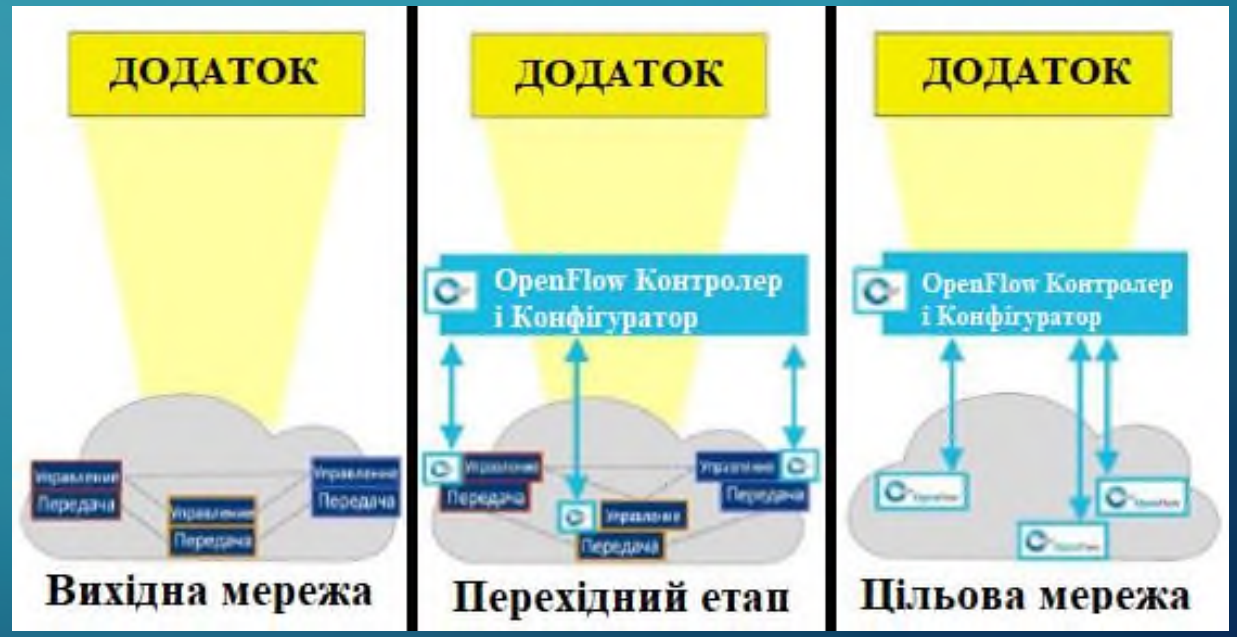
СТРУКТУРА ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОЇ МЕРЕЖІ (НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ OPENFLOW)



ПІДХОДИ, МЕТОДИ ТА ПРОЦЕС МІГРАЦІЇ

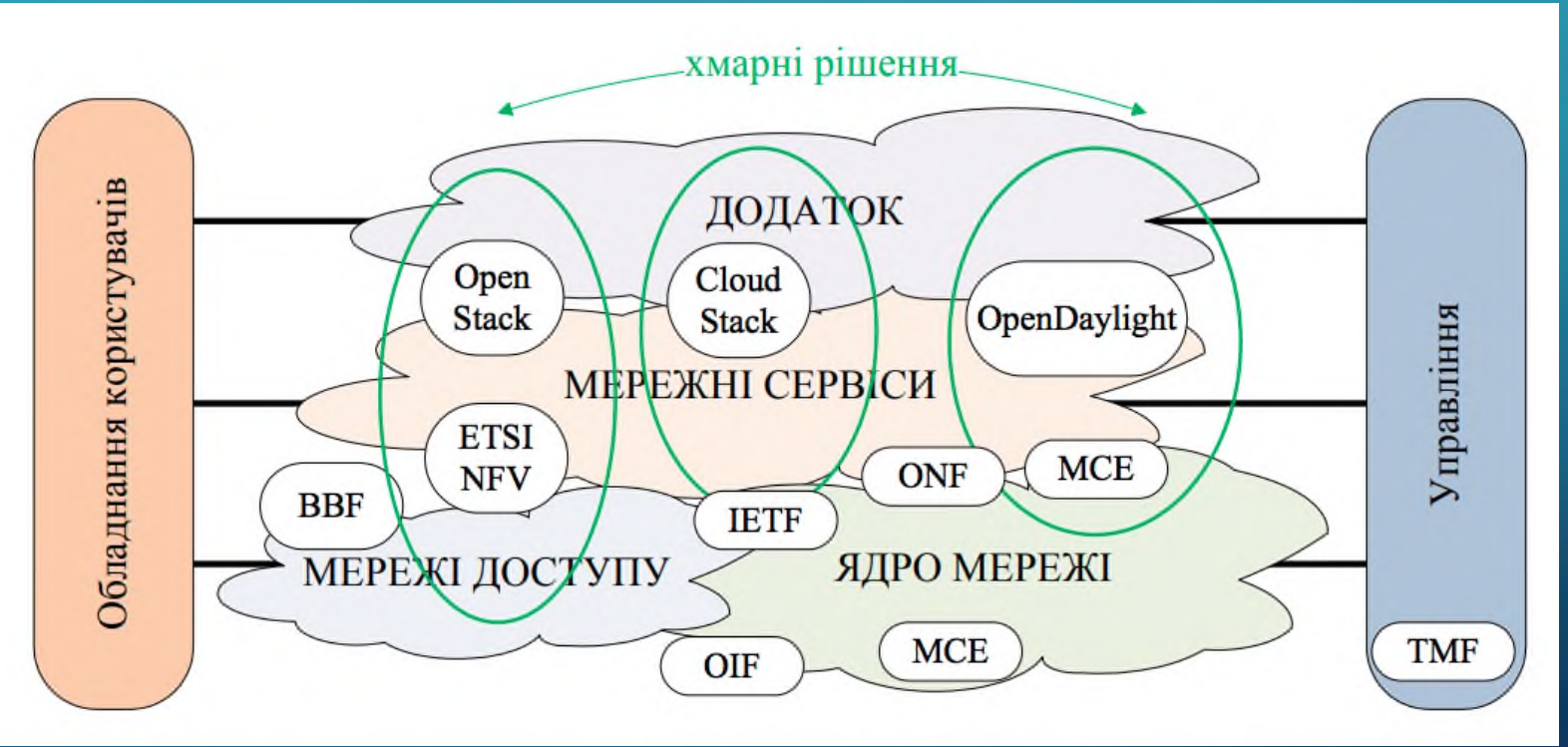


Підхід до міграції (варіант 1)



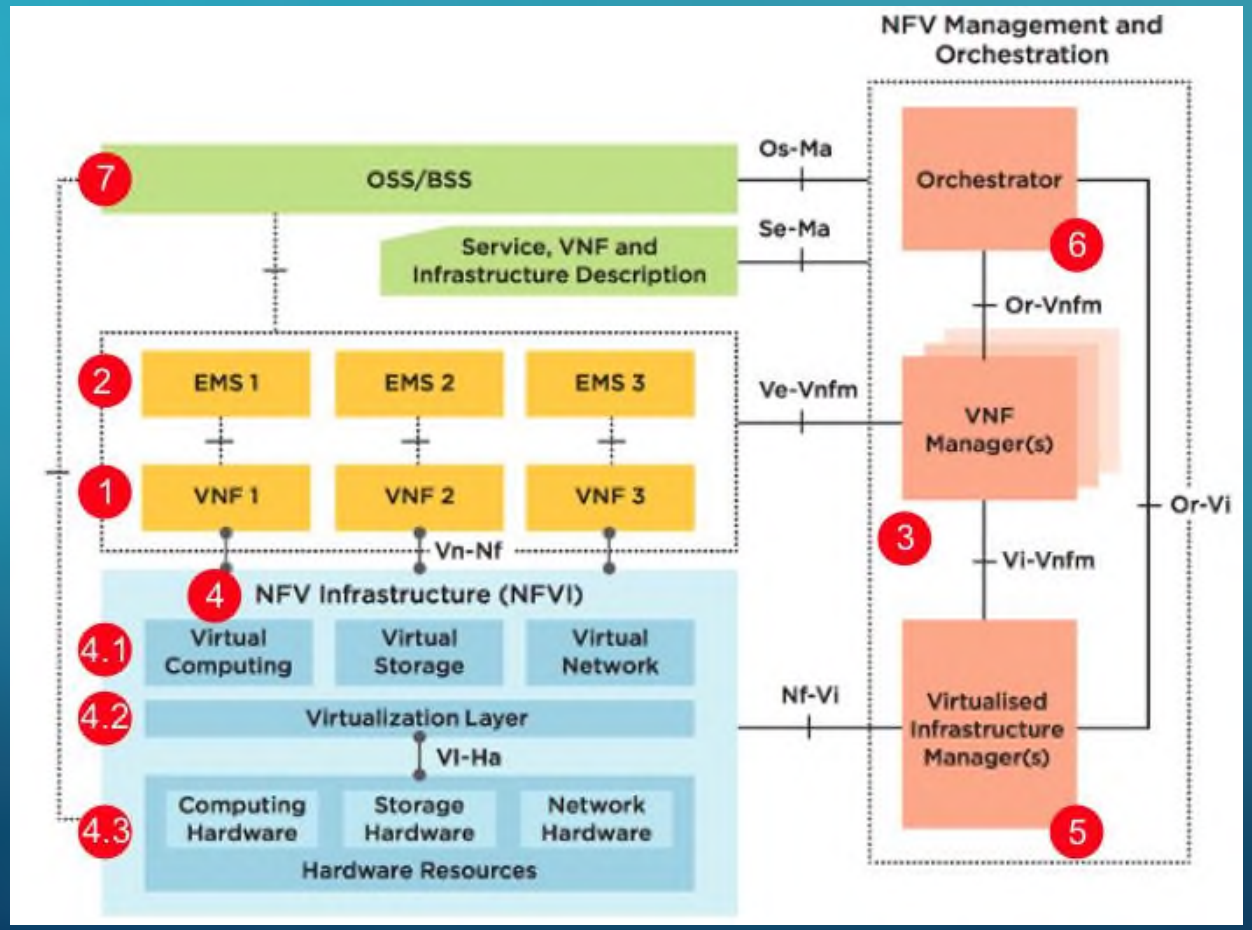
Підхід до міграції (варіант 2)

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ



Узагальнена схема основних напрямів стандартизації та розробки представлена на данному рисунку, де сірими овалами показані стандартизуючі організації, а білими – об’єднання галузевих виробників та проекти з розробки відкритого ПЗ.

АРХІТЕКТУРА **NFV** (NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION)



Архітектура NFV для оператора зв'язку

1) Віртуальні мережеві функції VNF - основа архітектури NFV. Це і є віртуалізовані функції мережевих елементів. Наприклад, це може бути маршрутизатор (Router VNF), або базова станція (BS VNF) та ін. VNF може представляти також одну з підфункцій мережевого елемента, наприклад, функцію пересилання пакетів в маршрутизаторі. Тоді кілька VNF будуть відповідати одному фізичному мережевому елементу. Слід зазначити різницю між схожими абревіатурами: NFV - це технологія, а VNF – це функція.

2) Система адміністрування елементів EMS керує роботою VNF. Вона відповідає за задання параметрів, тобто адміністрування (Management) операцій VNF. Наприклад, це може бути управління при відмовах, управління продуктивністю і інші функції системи управління мережею.
Однією VNF може відповідати одна EMS, або одна EMS може керувати кількома VNF. Крім того, сама EMS також може являти собою VNF, керовану від іншої EMS.

3) Менеджер VNFM управляє роботою однієї або декількох VNF. Наприклад, він управляє життєвим циклом функцій VNF, тобто, запускає, обслуговує, і зупиняє роботу VNF.

4) Ця інфраструктура включає ресурси фізичного обладнання, віртуальні ресурси і рівень віртуалізації.

5) Менеджер віртуалізованої інфраструктури VIM - це система адміністрування (Management) інфраструктури NFVI.

6) Оркестратор NFV генерує, обслуговує і припиняє роботу мережевих сервісів (функцій) VNF, також відповідає за адміністрування глобальних ресурсів NFVI.

7) Система підтримки операцій і бізнесу OSS / BSS - це фізична система OSS/BSS оператора. OSS займається управлінням мережею, управлінням при відмовах, управлінням конфігурацією і управлінням послугами. BSS відповідає за управління клієнтами, управління продуктами, управління замовленнями і ін.

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ **SDN** ТА **NFV**, А ТАКОЖ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДКРИТИХ ПРОТОКОЛІВ



- Цілі NFV можуть бути досягнуті і без використання механізмів SDN, засобами, які вже є в багатьох дата-центрах. Однак, поділ площин управління і пересилання даних використовується в SDN, може збільшити продуктивність, спростити взаємодію між різними платформами, а також операційні та обслуговуючі процедури;
- NFV може забезпечити SDN інфраструктурою, на якій працює програмне забезпечення SDN. Більш того, цілі NFV подібні до цілей SDN в частині використання звичайних стандартних серверів і комутаторів.
- Тому NFV є основною архітектурою для еволюції мобільних мереж, а в деяких сценаріях також може використовуватися і SDN.

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ НА ПРИКЛАДІ КОМПАНІЇ GOOGLE



Розподілена мережа Google

ВИСНОВКИ

- У роботі розв'язано наукове завдання розроблення методів та моделей управління процесами передачі даних у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах для більш ефективного використання мережевих ресурсів та підвищення якості обслуговування користувачів.
- Проведено аналіз існуючих технологій транспорту і доступу, що використовуються у мережах NGN, переваги і недоліки їх використання при сучасній потребі користувачів. Розглянуті сучасні концепції управління телекомунікаційними мережами та проаналізована їх ефективність.
- Проведено порівняльний аналіз принципів побудови, архітектури та процесів функціонування традиційних та ПКМ мереж. В архітектурі ПКМ функції управління та передачі даних розділені на два окремих рівні, які реалізуються на окремих фізичних пристроях. Рівень керування представлений контролером, що використовує протокол OpenFlow для управління комутаторами, які представляють рівень передачі даних. Завдяки північному та південному інтерфейсу, а також можливості програмувати функції площини передачі даних контролер утворює мережеву операційну систему, на яку є можливість встановлювати різноманітні додатки для інтелектуального управління мережею та забезпечення якісних параметрів мережі, зокрема таких: якість обслуговування потоків, адаптивність, надійність, стійкість, доступність та ефективність.
- Аналіз розроблених методів та моделей управління ПКМ показав, що проблема забезпечення якості обслуговування займає важливе місце в наукових працях закордонних та вітчизняних дослідників. Зокрема, увага науковців прикута до адаптивності ПКМ в умовах обслуговування мультисервісного трафіку, яка реалізується завдяки можливостям протоколу OpenFlow здійснювати оперативний моніторинг структурно-функціональних параметрів пристроїв передачі даних та динамічно їх програмувати.
- В рамках аналізу складових елементів системи управління, що забезпечують якість обслуговування потоків в програмно-конфігурованих мережах, встановлено, що перехід від існуючої архітектури телекомунікаційних мереж до програмно-конфігурованих не такий вже і простий у реалізації, в першу чергу, через високою вартістю нового обладнання, також невелику кількість існуючого обладнання, що підтримує протокол OpenFlow, а це в свою чергу не гарантує перехід у наближчий час.
- На основі досліджень, проведених в роботі, представлено спосіб підвищення ефективності телекомунікаційних систем.