

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ..... | 9 |
| ВСТУП..... | 10 |
| 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SDN ТА NFV БІЛІНГОВИМИ СИСТЕМАМИ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ | 11 |
| 1.1. Принципи функціонування програмно-конфігурованих мереж на базі технології SDN | 11 |
| 1.2. Особливості організації архітектури SDN | 13 |
| 1.3.Визначення підходів до способів організації архітектури мережі на основі віртуалізації мережевих функцій | 17 |
| 1.4. Аналіз особливостей технології віртуалізації NFV у площині специфіки функціонування білінгових систем | 20 |
| 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ЯДРА МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ NFV | 25 |
| 2.1. Аналіз можливостей використання технології віртуалізації мережевих функцій NFV у контексті функціонування білінгової системи | 25 |
| 2.2. Підходи до віртуалізації функцій мереж зв'язку..... | 27 |
| 2.3. Особливості віртуалізації мережевих функцій мобільної мережі | 28 |
| 3. МЕТОД ОРГАНІЗАЦІЇ РЕСУРСІВ ВІРТУАЛІЗОВАНИХ МЕРЕЖЕВИХ ФУНКЦІЙ EPC..... | 33 |
| 3.1. Підходи до віртуалізації EPC | 33 |
| 3.2. Особливості організації EPC | 39 |
| 3.3. Організація функціональних вузлів мережі LTE..... | 42 |
| 3.3. Передача повідомлень управління при віртуалізації EPC | 45 |
| 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВОЇ АРХІТЕКТУРИ НА ОСНОВІ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ЯДРА МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ..... | 48 |
| 4.1. Модель тривалості обслуговування з'єднання абонента вузлами ядра мобільної мережі | 48 |
| 4.2. Аналіз результатів моделювання тривалості обслуговування з'єднання абонента вузлами EPC | 51 |
| 5. ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМИ IMS НА МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ NFV | 52 |
| 5.1. Особливості організації архітектури IMS. | 52 |
| 5.2. Аналіз особливостей функціонування компонентів ядра мережі IMS та серверів додатків з використанням технології NFV. | 54 |
| 5.3. Особливості впровадження послуги VoLTE на мережі операторів зв'язку із використанням концепції IMS | 57 |
| 5.4. Особливості впровадження послуги VoWiFi на мережі операторів зв'язку із використанням концепції IMS | 59 |

| | |
|--------------------------------|----|
| ВИСНОВКИ | 69 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 70 |
| ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ | 72 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

| | |
|------|---|
| CSCF | Функція управління викликом |
| DPI | Детальна перевірка пакетів |
| EPC | Покращене пакетне ядро |
| ETSI | Європейський інститут телекомунікаційних стандартів |
| HSS | Домашній абоненський сервер |
| IMS | Мультимедійна IP-підсистема |
| MME | Вузол управління мобільністю |
| NFV | Віртуалізація мережевих функцій |
| SDN | Програмно-конфігурована мережа |

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сьогодні мобільний зв'язок – найбільш динамічно розвинений сегмент телекомунікаційного ринку. Забезпечення розширення спектру послуг, покращення процесу розподілу мережевих ресурсів, надання можливості інтегрувати нові сервіси з мінімізацією витрат на обладнання виступають сьогодні основними потребами операторів мобільного зв'язку. В тому числі – як і оптимальне використання ресурсів білінгових систем.

NFV (Network Functions Virtualization) – такий підхід до віртуалізації мережевих функцій, котрий дозволяє знизити сукупну вартість володіння для мобільних мереж, значно збільшити ефективність використання ресурсів, зробити мережу керованою разом з інтеграцією Evolved Packet Core (EPC) та IP Multimedia Subsystem (IMS).

Головний недолік сучасних білінгових систем – базування на застарілих фізичних ресурсах, котрі не дозволяють раціонально перерозподіляти серверні ресурси в залежності від потреб операторів та користувачів.

Таким чином, перед мобільними операторами виникає задача організувати білінгові системи та платформи тарифікації таким чином, щоб зменшити збитки та ризики на мережі з можливістю раціонального перерозподілу існуючих ресурсів.

Публікації. Основні результати магістерської роботи опубліковано в:

1.1 VIII Міжнародній науково-технічній конференції студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікацій, - 2019 – 58 ст.»

1.2 IV Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій, - 2019 – 246 ст.»

1.3 III Міжнародній науково-практичній конференції «Пріоритети сучасної науки, - 2019 – 40 ст.».

1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SDN ТА NFV БЛІНГОВИМИ СИСТЕМАМИ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ

1.1. Принципи функціонування програмно-конфігурованих мереж на базі технології SDN

Різке підвищення обсягів використаного трафіку і зміна його структури, вимоги до максимальної масштабованості, можливості надання якісних сервісів та послуг великій кількості мобільних користувачів, генерація, використання великої кількості даних стали рішучими вимогами при створенні мережевих середовищ.

На відміну від традиційних мереж, котрі не відповідають динаміці, властивій для сучасних процесів обміну даними, віртуалізація дозволяє забезпечити інформаційні потреби користувачів із економією фізичної складової. Сьогодні додатки розподілені між безліччю віртуальних машин, які інтенсивно обмінюються даними (в результаті – спостерігається збільшення трафіку і домінування над традиційним для архітектур клієнт-сервер трафіком північ-південь). В якості оптимізації завантаження серверів віртуальні машини виконують міграцію і змінюють точки прив'язки. Ефективність традиційних схем адресацій, правил обробки інформації в даному випадку втрачаються.

Подібні складнощі виникають і при реконфігурації механізмів Quality of Service (QoS), а саме - при додаванні в мультисервісну мережу нового додатка, наприклад відеозв'язку. Процедури зі зміни параметрів захисту, що не дозволяють оперативно реагувати на виникаючі загрози, забирають занадто багато часу.

Інтеграція технологій програмно-конфігурованих мереж та віртуалізації мережевих функцій може стати рішучим фактором для зміни процесу експлуатації, керування мережею.

Під визначенням програмно-конфігурована мережа (SDN, Software-defined) визначають мережу передачі даних, в котрій рівень управління є відділеним від пристроїв передачі даних і реалізація відбувається програмно.

Передача даних відбувається відповідно до таблиць маршрутизації, що

зберігаються на апаратних системах. Таблиці керуються віддаленою системою і мають бути піддатні до динамічних змін. В ідеальному випадку всі мережеві компоненти повинні управлятися і налаштовуватися в ході однієї операції. Спільна робота компонентів програмно обумовленої мережі може бути заснована на стандарті OpenFlow.

Основні принципи SDN — розподіл процесів передачі та управління даними, централізація управління мережею, віртуалізація фізичних мережевих ресурсів. Функції передачі трафіку є віддаленими від функцій управління і керується окремо, протоколами з відкритою архітектурою. На рис. 1.1 схематична концепція SDN, вся логіка управління котрої представлена у вигляді контролерів, здатних моніторити, перевіряти всю мережу.

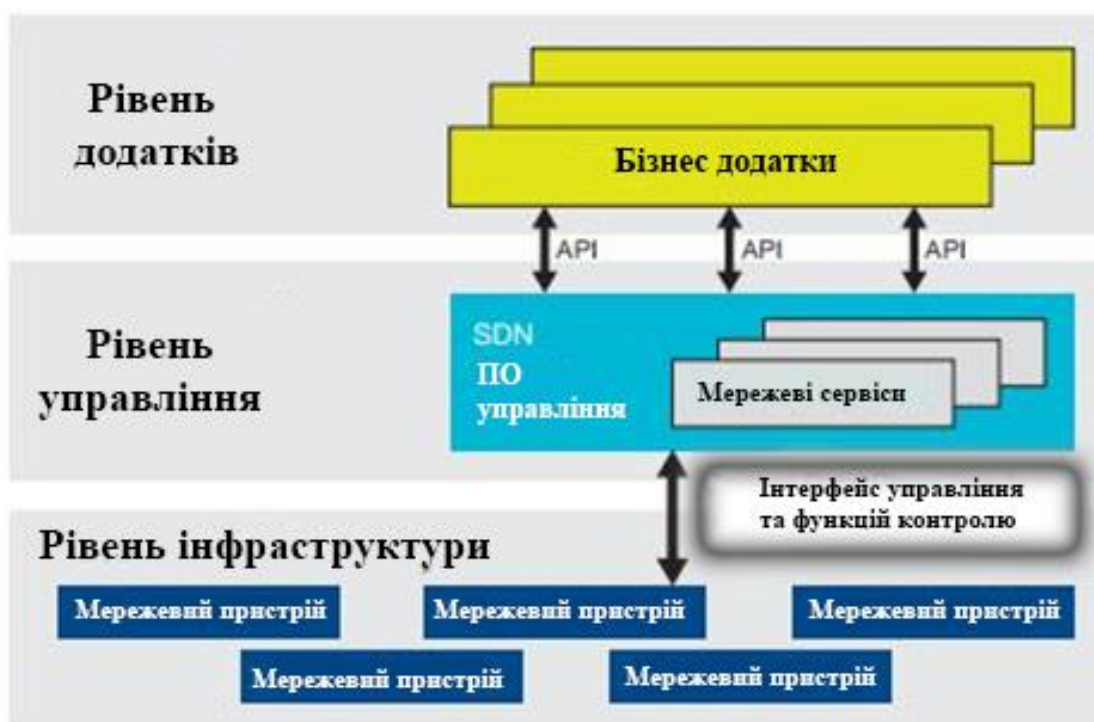


Рисунок 1.1. Концепція технології програмно-конфігурованих мереж

На практиці реалізація концепції SDN дозволить операторам зв'язку отримати повний контроль над мережею централізовано, без прив'язки до вендора. В тому числі, процедура конфігурування мережі буде спрощеною, без необхідності написання додаткової маршрутизації.

Основним елементом концепції SDN є протокол OpenFlow, котрий забезпечує взаємодію контролера з мережевими пристроями. Завдяки відкритому API-кому інтерфейсу процес інтеграції нових сервісів не потребує великих зусиль та витрат, а розробник додатку може бути і не обізнаний у детальному принципі функціонування первних компонентів мережі.

Тобто, впровадження технології SDN в мобільних мережах дозволяє переглянути мережеву архітектуру, відділити управління від передачі даних і автоматизувати процес адміністрування мережевого обладнання.

1.2. Особливості організації архітектури SDN

Протокол OpenFlow – є базовою частиною та основною керуючою силою концепції програмно конфігурованих мереж, використовується при ідентифікації трафіку і оперуванні поняттям потоку даних. Основним елементом комутатора, котрий підтримує даний протокол, виступає таблиця потоків (Flow Table). Стовпці в лівій частині таблиці формують поля відповідності із вказанням характеристик потоків: таких параметрів як Medium Access Control (MAC) адреси і Internet Protocol (IP), адреси отримувача і відправника, ідентифікатор Virtual Local Area Network (VLAN), номери протокольних портів Transmission Control Protocol (TCP) і User Datagram Protocol (UDP), в тому числі може вказуватись і додаткова інформація, як наведено на рис. 1.2. За допомогою протоколу OpenFlow ці дані записуються в таблицю комутатора, сам контролер вже відповідає за визначення пріоритету розподілу потоків: чим вище пріоритет, тим більшим буде відповідний запис у вихідних потоках.

Реалізація OpenFlow відбувається на вхідному і вихідному портах інтерфейсу пристроями мережевої архітектури. Для ідентифікації трафіку використовується концепція потоків на базі завчасно визначених збігів (визначених динамічно або статично).

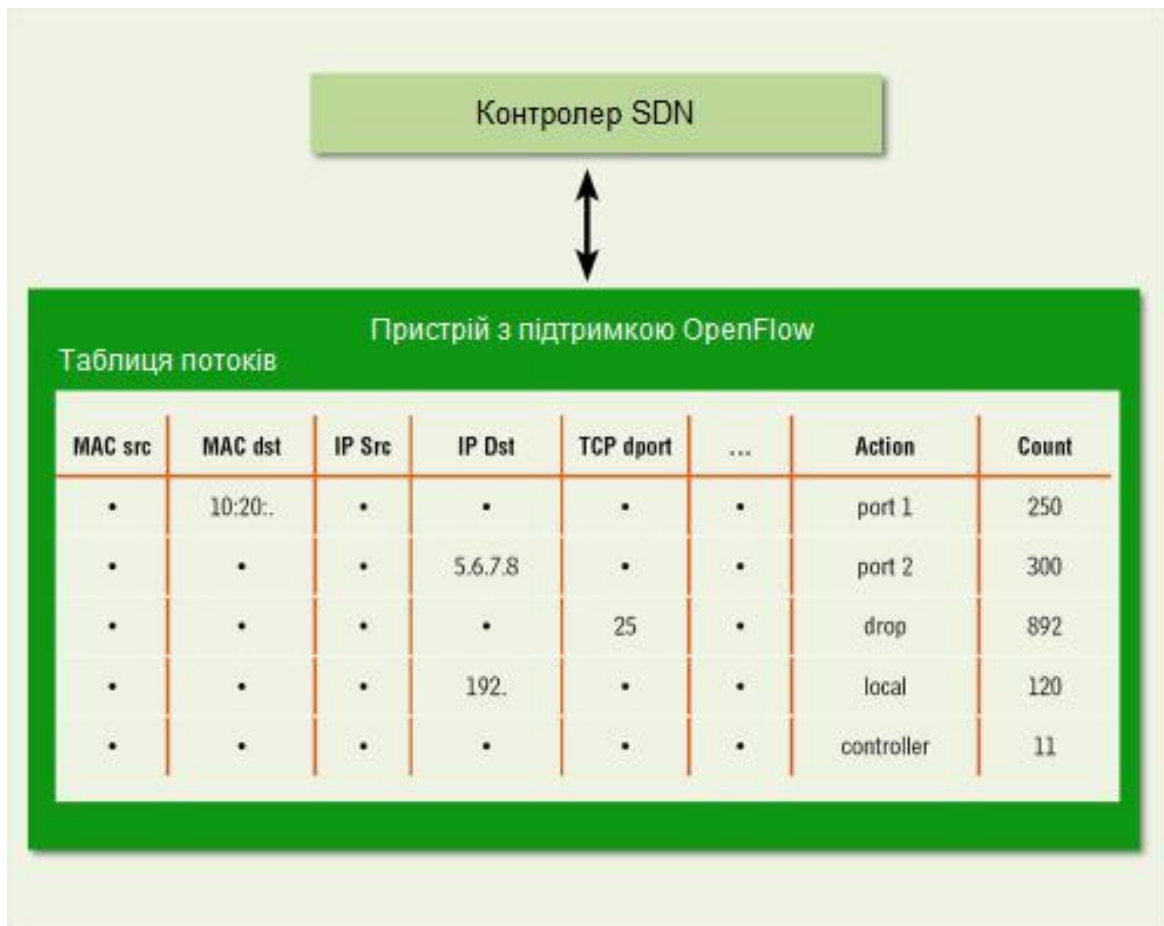


Рисунок 1.2. Приклад таблиці потоків комутатора

Перевірка пакетів на відповідність виконується згідно зазначених у таблиці параметрів. Коли перша відповідність є визначеною – застосовується наступна дія згідно з сусіднім стовпцем, типовою є дія по пересиланню пакетів на вихідні порти. Крім того, може змінюватись вміст службових полів пакету і логіка їх подальшої маршрутизації. Якщо відповідність буде відсутня, пакет буде відкинуто або повернено до контролера, котрий вже додасть до полів повторні заголовки і повторно надішле у наступні пункти. Число пакетів, байтів, що розміщуються у полях, називають статистикою по трафіку.

Завдяки використанню протоколу OpenFlow, контролер вносить різноманітні зміни до записів у таблиці потоків. Можуть надсилатись додаткові запити для збору додаткових характеристик, статистики, конфігурації обладнання та окремих портів.

Також OpenFlow поділяє по функціоналу між собою трак управління і даних,

котрі, зазвичай, реалізуються комутаторами (рис. 1.3).

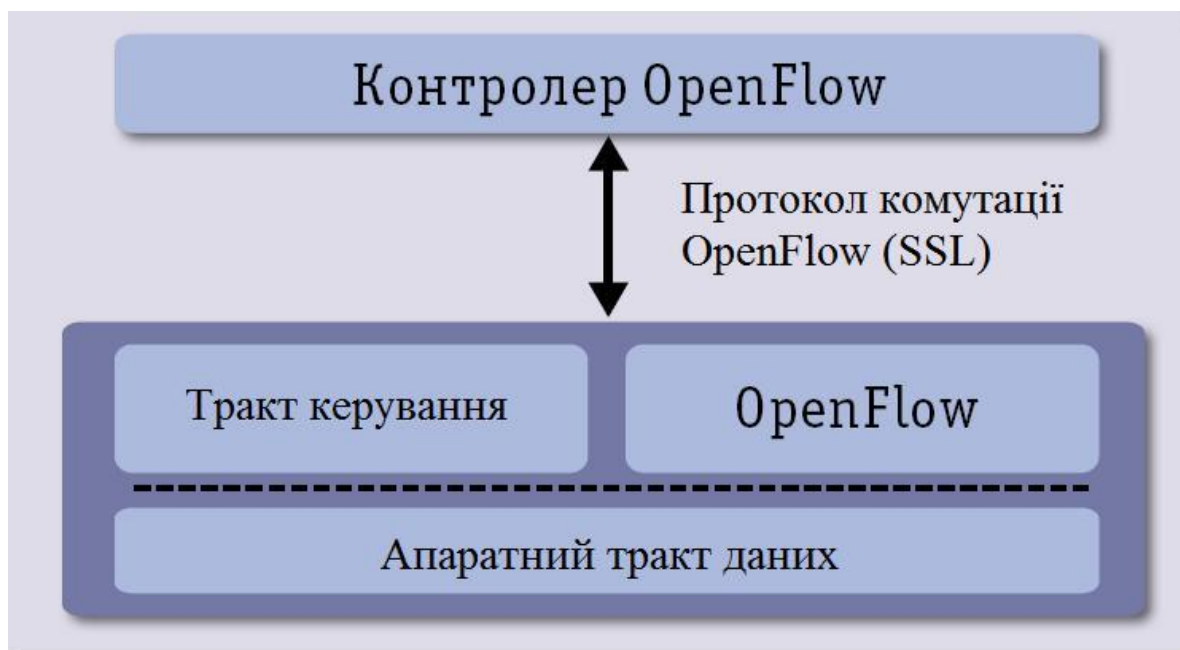


Рисунок 1.3. Зображення принципу роботи протоколу OpenFlow

Функціонал, відповідальний до тракту даних, є реалізованим на комутаторі, а логіка і прийняття рішень про подальшу маршрутизацію в OpenFlow відповідає контролер, ґрунтований на базі стандартного сервера. Взаємодія комутатора і контролера відбувається по протоколу OpenFlow Switching Protocol. Зміни до потоків мережевого трафіку реалізується контролеом по першій команді.

Завдяки OpenFlow надається єдиний інтерфейс API, за допомогою котрого адміністратори можуть віддалено програмувати роботу мережі, встановлювати основні правила маршрутизації пакетів, розбалансування навантаження та управління доступом. До API зазвичай входять два основні компоненти: програмний інтерфейс контролю пересилки пакетів впродовж мережевих комутаторів і набіру глобальних інтерфейсів, на основі котрих можливо реалізовувати високорозвинені інструменти управління.

Технічна реалізація протоколу OpenFlow надає можливість отримати важливі переваги. Наприклад, завдяки зняттю навантаження з обладнання по обробці тракту управління, OpenFlow надає можливість цим пристроям направити всі свої ресурси на прискорення транспортування трафіку мережею. Завдяки віртуалізації

систем керування OpenFlow мінімізує витрати на розширення та експлуатацію мережі.

Адміністратори концепції OpenFlow мають можливість впроваджувати новий функціонал до чинної інфраструктури із використанням багатоплатформового рішення – без необхідності безпосереднього втручання постачальника або третіх осіб.

Відкрита можливість створення віртуалізованих мережових топологій – при необхідності розширення мережі (при ізкому збільшенні трафіку або включені додаткових сервісів) будуть підніматись в роботу нові віртуальні машини без внесення змін до існуючого середовища. Для цього необхідна можливість створення централізованого центру управління, з підтримкою функцій мережевого адміністрування. Це особливо корисно при управлінні центром обробки даних і організації віртуалізованих ресурсів.

Ця технологія при коректній реалізації здатна забезпечити достатній «хмарним» сервісам рівень логіки для мережі, в тому числі – для організації спільної роботи груп комутаторів (оркестрування).

На жаль, сьогодні практично відсутні практично реалізовані повністю автоматизовані інструменти віртуалізації з можливістю оперативного виділення мережових сегментів, хмарних платформ. Це провокує та викликає у телекомунікаційних компаній ще більший інтерес до технології SDN.

Сьогодні особливо акцентується увага на додатках, здатних технічно у прискорені терміни запуснути у комерцію нові сервіси. Спрощення даної технології – ключове завдання сучасних вендорів та постачальників обладнання.

Додатковою важливою перевагою віртуалізації мереж виступає витрат на мережеву інфраструктуру, що спровоковано високою вартістю та експлуатацією сучасного телекомунікаційного обладнання. Значна частина їх ціни припадає на програмне забезпечення зі спектром надлишкових, зазвичай, непотрібних функцій. При виборі підходу перенесення функцій управління на рівень центрального контролера, корпорації мають можливість купувати недороге обладнання з мінімальною логічною складовою, спростити процедуру управління ним

уніфікованими, централізованими системами та впроваджувати нове обладнання по загальноприйнятим протоколам без будь-яких складнощів.

1.3.Визначення підходів до способів організації архітектури мережі на основі віртуалізації мережевих функцій

З переходом до програмного управління мережею збільшилась зацікавленість не тільки до SDN, але й до технології віртуалізації мережевих функцій NFV. Ці концепції є взаємодоповнюваними, так як використовуються в комплексі програмно-керованого рішення. SDN підвищує гнучкість, масштабованість мережі за допомогою цілісного управління мережею із можливістю швидкої інтеграції інновації і зниженні витрат на експлуатаційні роботи. NFV створювалась для того, щоб оператори могли зменшити витрати Capital Expenditure (CAPEX) і Operational Expenditure (OPEX) за рахунок зниження плати за обладнання та зниження викоистання електроенергії.

Мережа завдяки NFV стає простішою у розгортанні, управління централізується і впровадження нових сервісів прискорюється в декілька разів, незважаючи на вже інтегроване обладнання коли наявні уніфіковані інтерфейси взаємодії.

Віртуалізація мережевих функцій — спосіб організації мережевої архітектури, котрий пропонує використовувати віртуалізацію для перенесення класів функцій вузлів у хмарне середовище, зберігаючи функціонал окремих складових елементів, котрі можуть бути з'єднані разом або пов'язані в ланцюг для інтеграції телекомунікаційних послуг (сервісів).

На відмінну від традиційних способів віртуалізації, NFV розгортається простіше, масштабується відповідно до вимог компанії. Функція мережі, котра віртуалізується (virtualized network function, VNF) може включати в себе спектр віртуальних машин із різнотипним програмним забезпеченням, включаючи високоінтелектуальні стандарти такі як комутатори, великі сховища даних, платформи з можливістю хмарних обчислень як для системи в цілому, так і для

окремих функціональних елементів.

Головна ідея віртуалізація мережевих функцій визначається як створення єдиного, стандартизованого середовища, при якому в однакових умовах будуть працювати різнотипні програмні додатки та сервіси.

Згідно із цієї ідеї, віртуалізація надає можливість операторам розгорнути мережеві рішення (Deep Packet Inspection (DPI), Network Address Translation (NAT), вогняну стіну) в якості програмних додатків, а не як окремі мережеві елементи. Функціонал NFV можливо розгорнути та використовувати на високопродуктивних мережевих платформах і серверах, розташованих у спеціалізованих центрах обробки даних, мережевих вузлах і на власності, обладнанні клієнтів. Перевагою стрімкого розвитку NFV є практично повна відсутність прив'язки оператора від вузькопрофільного мережевого обладнання на користь універсальних програмних інструментів, що в кінцевому випадку значно знижує грошові витрати на технічний супровід протягом всього життєвого циклу.

Взаємозв'язок з технологією SDN полягає у тому, що загальним трендом обох концепцій у галузі телекомунікацій є спрямованість на віртуалізацію мережі і використання нових технологій, на основі програмного керування. Головною відмінністю NFV від SDN є кінцева мета концепції.

Якщо в NFV обираються конкретні мережеві функції і реалізуються програмно, а потім керуються спеціально визначеними логічними елементами, то SDN — це ідеологія роботи всієї мережі цілісно, де все управління і відповідальність за прийняття рішень (маршрутизація, комутація і т.д.) винесені на окремий централізований рівень. Тобто, NFV — це конкретні, визначені програмні компоненти, що реалізують певні мережеві функції, а SDN — логіка роботи всієї мережі загалом і взаємодія її функціональних рівнів.

Основні архітектурні складові реалізації NFV (Architectural Framework) це:

- Інфраструктура віртуалізації мережевих функцій (NFVI, Network Functions Virtualisation Infrastructure), яка забезпечує віртуальні ресурси, необхідні для підтримки виконання віртуалізованих мережевих функцій (VNF). Вона включає в себе апаратне забезпечення COTS (Commercial-Off-The-Shelf),

компоненти прискорення в разі необхідності, і програмний шар, який віртуалізує базове устаткування.

- Віртуалізована мережева функція (VNF, Virtualised Network Function)

— це логічна, програмна реалізація віртуалізації мережної функції, що працює на NFVI. Вона має можливість адмініструватись системою управління елементами (Element Management System, EMS), стільки часу, поки застосовується конкретна функція (незалежно від того, функціонує вона самостійно або в якості комплексу додаткових функцій). VNF — це об'єкт, котрий відповідає мережевим вузлам звичної для нас архітектури, реалізуваний безпосередньо в програмному середовищі вільно від апаратної складової.

NFV M&O (Management and Orchestration, Керування та оркестрація) включає адміністрування та керування життєвим циклом фізичних та логічних засобів, що підтримують послуги віртуалізації і управління життєвим циклом функцій VNF.

NFV M&O орієнтується на конкретні завдання керування віртуалізацією в рамках існуючої реалізації NFV. NFV M&O взаємодіє із зовнішніми пристроями по відношенню до NFV, завдяки чому інтеграція NFV у вже існуючі архітектури управління в масштабах цілої мережі є спрощеним процесом.

Проект ETSI (European Telecommunications Standards Institute) надає пропозиції по конкретному баченню концепцій адміністрування NFV – як цілісної архітектури управління віртуалізованими ресурсами, використовуючи хмарні платформи та сервіси. На меті – надання операторам можливість об'єднувати та обслуговувати власну мережу як цілісну систему без зайвих витрат та клопотів. Даний проект вже встиг охопити питання вимог, архітектур і сценаріїв використання NFV.

Ядро архітектури MANO (рис. 1.4) включає в себе такі функціональні блоки: NFV Orchestrator, VNF Manager, Virtualised Infrastructure Manager (VIM).

NFV Orchestrator відповідає за наступні функції:

- управління життєвим циклом сервісів (від налаштування до фактичної експлуатації);

- високорівневе логічне управління ресурсами, валідація та контроль запитів до віртуальних платформ.

VNF Manager дозволяє:

- підтверджувати віртуальну взаємодію.

VIM забезпечує:

- контроль управління віртуальною інфраструктурою;
- визначення ефективних способів нагляду за продуктивністю і моніторинг подій.

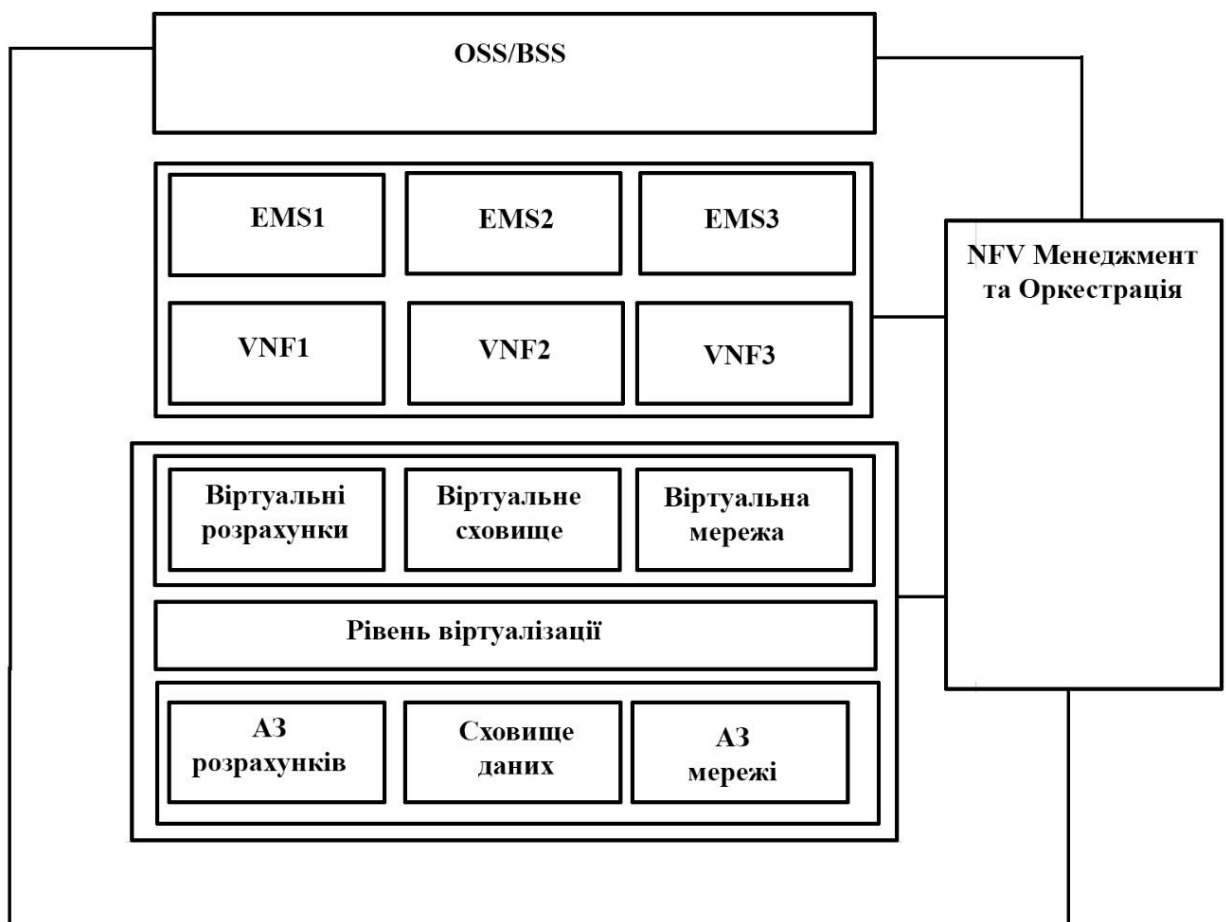


Рисунок 1.4. Схематичне зображення ядра архітектури запропонованої проектом ETSI

1.4. Аналіз особливостей технології віртуалізації NFV у площині

специфіки функціонування білінгових систем

Головною метою віртуалізації мережевих функцій є оптимізація робочого середовища оператора.

Перш за все – це спрощення інфраструктури, обслуговування існуючих сервісів й провадження нових послуг більш не потребує щільної залежності від фізичного середовища, зусилля кваліфікаційних спеціалістів мінімізуються. При впровадженні автоматизації та оркестрації, ці процеси стануть більш організованими, простішими у використанні, а сервіси - більш гнучкими, витрати зменшаться. Обираючи технологію віртуалізації, потрібно звертати увагу на те, чи спростять вони існуючі мережеві операції загалом, чи ж вони просто перенесуть існуючі проблеми в інші сфери.

В залежності від об'єкту віртуалізації зміниться і рівень її впливу. Більшість областей фінансово вигідно переносити на віртуалізовані платформи і централізовані сервери. Перше, про що думаєш у контексті архітектури оператора зв'язку — це мережеві функції, реалізація котрих не можлива без потужних обчислювальних ресурсів, котрі не сильно залежать від затримок, швидкостей передачі даних, загальної прогнозованості мережі.

Як приклад – адміністрування процедури передачі даних по IP-мережам та іншим підсистемам, включаючи функції мережевого управління - Domain Name System (DNS) сервери. Деякі мережеві функції не мають сеансів і віртуалізація є нерациональним рішенням. Зокрема, комутація Центрів обробки даних (ЦОД) і маршрутизація Wide Area Networks (WAN) по магістральним напрямкам. Для них не потрібні великі обчислювальні потужності, але обов'язкове швидке та стійке мережеве підключення.

Ключовим питанням є спосіб розміщення віртуалізованих функцій, від котрого залежить рівень ефективності. Стримуючим фактором є необхідність підтримуват вказаний рівень продуктивності та якості обслуговування (QoS). Можливо впроваджувати віртуалізацію й на базі стандартних, раніше визначених платформ, значно скоротивши витрати. На зручність це ніяк не впливає, якщо

рівень задоволення користувачів не змінюється.

Вибір місця для розміщення залежить від багатьох чинників: вартість витрат на транспортування та обслуговування сервісів, складність та специфіка масштабування, достатня гнучкість інфраструктури, щоб реагувати на зміну ринкової кон'юнктури.

Розташування віртуалізованих функцій може бути різним: в централізованих або розподілених ЦОД, в точках входу в мережу або в головних офісах компаній (як правило у провайдерів вже існує централізована інфраструктура, так що вони можуть перетворюватись в невеликі ЦОД). Врешті-решт, якщо необхідно забезпечити максимальну зручність, розмістити ці функції можливо безпосередньо у користувача.

Якщо інфраструктура мережі надає можливість з легкістю переносити віртуалізовані функції з одного місця на інше, це може бути важливо ще в тому відношенні, що надає можливість швидко запустити новий сервіс в єдиному ЦОД, а коли він досягне достатньо високого рівня і йому знадобиться покращена продуктивність, перенести його на більш продуктивну платформу.

Віртуалізовані функції можливо розгортати на загальних серверах різними способами, таких як сервера з технологією x86 в ЦОД, або сервера x86 в слотах комутатора, маршрутизатора. Їх можливо встановлювати на серверах x86 поряд з маршрутизаторами і комутаторами на центральних станціях, в точках входу в мережу й на території споживача. Для успішної та продуктивної віртуалізації та збільшеної ефективності, мережеву архітектуру корисно перш за все проаналізувати, визначити витрати і продуктивність при різних варіантах розміщення віртуалізованих функцій.

В професійних дослідженнях ACG Research відображено, що при існуючому темпі збільшення потреб та вимог традиційні підходи до планування продуктивності є неекономічними та неефективними. Це призводить до втрати можливостей, замовників, прибутків або нераціонального використання вкладених інвестицій. Таким чином, з'являється ще одна причина для впровадження для оптимізації. Мова йде про перегляд моделі планування продуктивності.

Операторам необхідна гнучка інфраструктура, котра підтримує деталізоване конфігурування і здатна задовольнити непередбачені сплески потреб в потужності.

Інфраструктура має легко адаптувати існуючі ресурси і продуктивність до потреб сервісів і перепадів активності користувачів. Якщо ж віртуалізація використовується правильно, інфраструктура може більш точно реагувати на зміни попиту: одиницею масштабування стає сервер. Є і ще одна перевага віртуалізації: якщо якісь апаратні системи не потрібні для задоволення попиту, їх можна швидко відімкнути, задля заощадження на енергопостачання і охолодження.

Сьогодні більшість сервісів потребують декілька функцій. Якщо вони віртуалізовані, то для оптимізації мережі необхідно примусити їх працювати разом найпростіше. Це складно реалізувати без засобів оркестрації, що технічно підтримують технологію NFV. У відповідь на потреби додатків і сервісів сбалансована система оркестрації автоматично адаптує функціонал, обираючи порядок їх застосування, центральні процесори, сховище для даних, основну конфігурацію продуктивностей додатково оптимальне розміщення. Користуючись сервісними профілями, методами пошуку і каталогізації, система оркестрації може визначати, як саме і де віртуалізовані функції можуть знадобитись саме зараз. Час від часу вона транспортується, включає або вимикає функції, адаптується до вимог користувачів. Система оркестрації допомагає оптимально інтегрувати і використовувати мережеві функції.

Інша мета, яку можна досягти впровадженням віртуалізації мережевих функцій — це значне скорочення капітальних витрат завдяки багаторазовому, різноплановому, використанню ресурсів. Це ще одна перевага віртуалізованих ресурсів, різнотипної інфраструктури і програмованих мереж. На сьогодні оператори на свої мережах використовують спеціалізовану інфраструктуру, котру складно вводити в експлуатацію та виводити із комерції. Переходячи на стандартні серверні платформи і більш повно використовуючи мережеві ресурси за допомогою засобів аналізу, віртуалізації та автоматизації, оператори мають змогу оптимізувати свої капітальні витрати.

Для віртуалізованої інфраструктури це відіграє наступну роль: вона повинна

гнучко та швидко підтримувати будь-які сервіси, додатки, зміну продуктивності мережі та деталізацію споживаних ресурсів. Повинна підтримувати розгортання віртуалізації на різних точках мережі і дозволяти прискорено переміщувати свої функції в залежності від зміни потреб оператора або споживача. Окрім того, вона має взаємодіяти з додатками і системами управління для швидкого підключення ресурсів при збільшенні попиту і відключенні при відсутності необхідності.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ЯДРА МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ NFV

2.1. Аналіз можливостей використання технології віртуалізації мережевих функцій NFV у контексті функціонування білінгової системи

Трафік від мобільних пристроїв істотно зростає під впливом підвищення попиту, з врахуванням того, що достатньо складно розрахувати середню виручку з одного користувача (Average revenue per user, ARPU) підвищити сьогодні важко. Нещодавно виконаний вибір стільникової мережевої системи 3GPP LTE спровокований попитом на підвищення швидкості передачі даних та якості наданих послуг, зменшення архітектурної складності та тривале зниження вартості будівництва мережі радіодоступу та пакетного ядра (Packet Core). LTE може й розглядається як основна складова радіодоступу для EPS (Evolved Packet System), яка необхідна для задоволення хоча б мінімального попиту високої спектральної ефективності (це -відношення швидкості передачі даних до смуги пропускання радіоканалу, що використовується), пікових швидкостей даних, короткого проміжку часу між відправленням запиту й одержанням на нього відповіді (Round Trip Time), гнучкості системи частот в мережі радіодоступу (Radio Access Network, RAN). При врахуванні на сукупну вартість володіння обладнанням і об'ємів споживання енергії, на RAN вузли доводиться найбільша частина фінансових витрат. Велика кількість RAN вузлів, таких як eNodeB, працюють на закритих патентованих платформах й знаходяться під впливом тривалих циклів при розробці, впровадженні та операційній діяльності.

Виходячи з цього, додатковим напрямом для віртуалізації у сфері мобільних мереж відзначається підхід при застосування технології NFV у площині базових станцій.

Віртуалізації по відношенню до мобільних базових станцій за аналогією з віртуалізацією інформаційної інфраструктури, територіально розміщує як мінімум

малу частину RAN вузлів на стандартизованих серверах, мережевих пристроях та пристроях зберігання даних. В великих, розвинених мережах мобільних операторів зв'язку численні RAN вузли різних постачальників зазвичай працюють з різнотипними мобільними мережевими системами (3G, LTE і WiMAX) в одній локації. Ці платформи можуть бути об'єднані з використанням технології віртуалізації і стандартизованого програмного середовища в одну базову станцію.

Навантаження на RAN вузлах як правило є нижчим, ніж прийнята максимальна потужність, так як система збудована таким чином, щоб забезпечити якісне обслуговування навіть у випадках особливого навантаження без необхідності використання додаткових мережевих ресурсів. Віртуалізація БС надає можливість досягти розподілу ресурсів серед різних логічних RAN вузлів різнотипних систем, динамічно розподіляючи ресурси і скорочуючи об'єми спожитої електроенергії. Централізована RAN (C-RAN) з впровадженою віртуалізацією на практиці реалізує більш високу загальну утилізацію ресурсів серед різних фізичних БС (приклад на рис 2.3).

В LTE ж БС перебуває у реалізації функцій Physical layer (PHY), MAC, Radio Link Control (RLC), Radio Resource Control (RRC) і PDCP (Packet Data Convergence Protocol). PHY відповідальна за найбільш складні обчислювальні завдання, такі як кодування/ декодування каналу зв'язку, Fast Fourier transformation/ Inverse.

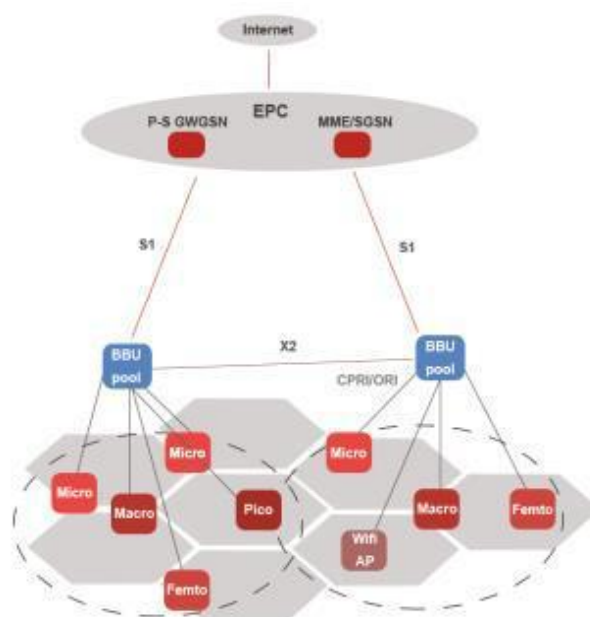


Рисунок 2.1. Схема централізованої RAN з технологією віртуалізацією

Технологія віртуалізації базових станцій потребує задіяння технології baseband radio обробки з використанням технологій віртуалізації на основі хмарних обчислень - високопродуктивних процесорах і віртуальних обробок в реальному часі, щоб надати необхідну, високу потужність обробки сигналу.

Окрім того, віртуалізація БС для C-RAN потребує надання спеціальної вимоги - створення ресурсу обробки — Base Band Unit (BBU) пулу для підбору ресурсів в централізоване, раніше визначене віртуальне середовище, таке як дата-центр або хмарна платформа.

Звичайно, для ефективної взаємодії елементів схеми повинні бути забезпечені висока пропускна здатність і низькі затримки при з'єднаннях у віртуальному середовищі.

2.2. Підходи до віртуалізації функцій мереж зв'язку

Сьогодні багато передових телекомунікаційних компаній займаються пошуком способів розвитку у сфері віртуалізації мережевих функцій. Щоб визначити, в якій сфері розвиток є доцільнішим і причини відсутності комплексного підходу до розгортання технології віртуалізації розглянемо існуючі погляди операторів до данного питання.

Компанія Cisco створила платформу ESP (Evolved Services Platform), яка представляє з себе платформу для програмного, логічного забезпечення віртуалізації і технології оркестрації для операторів зв'язку, завдяки чому процедура надання послуг стає автоматизованою, охоплює мережеві функції, обчислювальні ресурси у режимі реального часу. Головна відмінність у тому, що вона не тільки віртуалізує конкретну функцію мережі, але й структурує існуючу інфраструктуру – включаючи відео, хмарні послуги, провідні і мобільні мережі.

Компанія Hewlett-Packard в свою чергу створила архітектуру під назвою OpenNFV, котра була заснована на відкритих, доступних стандартах, яка використовує її розробки Virtual Services Router і SDN Controller. OpenNFV

включає повну архітектуру NFV з включенням серверів та мережевого обладнання, котре може знизити витрати постачальників послуг і збільшити власний прибуток.

Корпорація Dell в партнерстві з Red Hat вже відкрито заявляє про створення NFV- рішення на базі OpenStack. Метою виступає відкрита платформа NFV, яка надасть операторам можливість керувати роботою всієї мережі загалом безпосередньо з ЦОД, не використовуючи обладнання від інших постачальників.

Broadcom розширила свій спектр рішень з даної теми, представивши вільну платформу Open NFV, яка дозволить операторам впроваджувати додатки NFV з включенням різних одномодульних систем. OEM-виробники та інші постачальники можуть використовувати Open NFV, щоб спростити міграцію віртуалізованих функцій між платформами побудованими на рішеннях різних вендорів.

Huawei надає пропозиції по ряду рішень в області NFV, включаючи платформу CloudEdge для широкосмугових мереж мобільного зв'язку. CloudEdge надасть операторам можливість автоматизувати функції адміністрування мережею і швидше виводити на ринок нові способи міжмашинних комунікацій, мобільного відео та корпоративні мобільні додатки.

Компанія Alcatel-Lucent створила набір додатків для мобільних мереж, включаючи EPC, IMS і RAN. Рішення, що пропонується компанією, має на меті допомогти операторам автоматизувати процедури аутентифікацію і адміністрування абонентами, використовуваних ними послуг, а IMS надасть можливість прискорити доставку мультимедійних послуг по IP-мережі. Технологія RAN включає в свій склад віртуалізовані 3G Radio Network Controller (RNC) і пробну версію Radio Access Network для мереж LTE і LTE-Advanced.

Визначною особливістю рішень, що пропонуються, є модульність підходу, що є корисним для поступового, поетапного впровадження вказаних технологій, але не формує методів організації мереж в цілому.

2.3. Особливості віртуалізації мережевих функцій мобільної мережі

В мобільних мережах має високу популярність розмаїття закритого патентованого обладнання стандартних постачальників. Віртуалізація мережевих функцій має на меті скоротити складність мережі і операційних проблеми, використовуючи стандартизовані методи віртуалізації на стандартних серверах, пристроях зберігання даних, маршрутизаторах тощо в точках присутності віртуалізації мережевої інфраструктури (Network Functions Virtualization Infrastructure Points of Presence). Подібне об'єднання значно скорочує загальну вартість обладнання. Масштабоване розміщення мережевих функцій в подібному пулі апаратних ресурсів сильно значно підвищує ефективність використання мережі у щоденній операційній діяльності.

Саме це надає можливість підвищити попит на виділені сервіси без простого обмеження на дзвінки. До переваг віртуалізації базової мобільної мережі входять такі фактори:

1. Зменшення спільної вартості володіння інфраструктурою.
2. Підвищення ефективності користування мережею за рахунок гнучкого розміщенню різноманітних мережевих функцій в переліку різних апаратних ресурсів.
3. Покращення надійності та якості наданих кінцевим користувачам послуг за рахунок технології віртуалізації і можливості динамічно змінювати конфігурацію мережі.
4. Масштабованість: виділені потужності можуть змінюватись в залежності від існуючого рівня завантаженості.
5. Гнучка модифікація топологія для швидкого та ефективного покращення оптимізації продуктивності.

В архітектурі EPC, яка є останньою архітектурою базової мережі для стільникової системи, приклади мережевих функцій, що можуть бути віртуалізовані, включають Mobility Management Entity (MME), Serving/Packet Gateway (S/P-GW) та інші

В мультимедійній IP підсистемі (IMS), яка є архітектурою контролю сесій для підтримки постачання мультимедійних сервісів через EPC і інші мережі на

основі IP, приклади мережевих функцій включають Proxy Call Session Control Function (P-CSCF), Serving Call Session Control Function (S-CSCF) та інші. Home Subscriber Server (HSS) і Policy and Charging Rules Function (PCRF) — інші мережеві функції, які необхідні для повноцінної архітектури, щоб працювати у зв'язці з EPC і IMS для надання повноцінного сервісу, також можуть бути віртуалізовані. Аналогічним чином, об'єктами технології NFV можуть бути онлайн та офлайн системи тарифікації Online charging system (OCS) і Offline Charging System (OFCS) — системи, які охоплюють записи про тарифікації як частину управління сесією зв'язку.

На рис 2.1 зображено типову схему організації ресурсів при віртуалізації базової мобільної мережі.



Рисунок 2.2. Приклад організації логічних ресурсів при віртуалізації базової мобільної мережі

Таким чином, віртуальні мережеві функції мають можливість масштабуватися незалежно у відповідності зі своїми власними потребами чи відсутністю в ресурсах, наприклад, може виникнути ситуація, коли необхідно

збільшити ресурси в площині користувача не зачіпаючи ресурсів на рівні контролю й навпаки. Різні сценарії залежать від того, що саме віртуалізується в конкретному випадку. В тому числі – чи буде віртуалізована вся мережа загалом, чи тільки окрема її складова.

Для забезпечення операторами бажаного рівня безперервності і надійності сервісу, надійність і достатнього рівня контролю передача даних має бути гарантованою. Так як віртуалізація мережевих функцій має на меті обмеження певного функціоналу від рівня обладнання, що лежить в підґрунті мережі, то розробка нових схем відмовостійкості стає можливою тільки з використанням портативності варіантів віртуальної мережевої функції, без необхідності зайвий час переносити, створювати дублікати активних сесій та віртуальних машин. На рис 2.3 показано віртуалізовані EPC і IMS, де віртуалізовані P-GW і IMS взаємодіють за допомогою Packet Data Network (PDN) зв'язок і IMS сесію, відповідно.

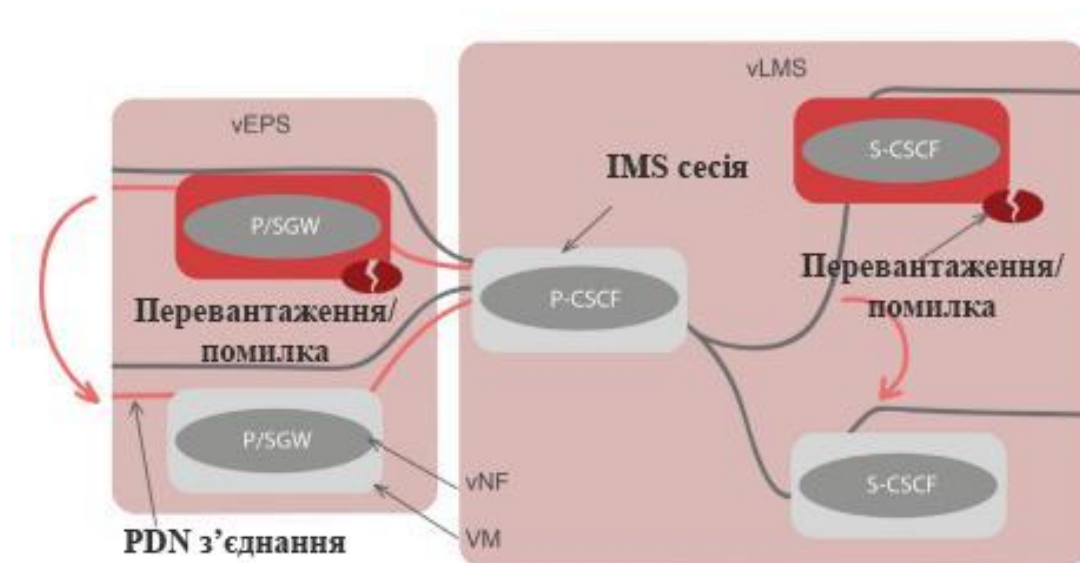


Рисунок 2.3. Схема динамічної реконфігурації мережі

В тому випадку, коли різка, динамічна зміна конфігурації віртуального мережевого середовища виникла по причині перезавантаження в атоматичному чи ручному режимі, повино мати бути забезпечене збереження сервісу в повній чи частковій формі. Так як відсутність механізмів керування активних голосових з'єднань може стати причиною для різкого зменшення попиту на послуги з боку

користувачів. А саме цей фактор безпосередньо впливає на рівень прибутків операторів зв'язку.

3. МЕТОД ОРГАНІЗАЦІЇ РЕСУРСІВ ВІРТУАЛІЗОВАНИХ МЕРЕЖЕВИХ ФУНКЦІЙ ЕРС

3.1. Підходи до віртуалізації ЕРС

При віртуалізації архітектури ЕРС, функції IP Mobile Core можуть бути декомпоновані на віртуалізовані підфункції, які розміщуються на окремих віртуальних машинах. Різні типи віртуальних машин використовуються для виконання різних завдань віртуальних підфункцій.

Підхід до віртуалізації ЕРС архітектури повинен забезпечувати різноманітні аспекти, серед яких можна виділити наступні:

1. Мережеві функції ЕРС повинні мати хмарно-оптимізовану архітектуру, що дасть можливість найбільш повно реалізувати переваги архітектур NFV/SDN.
2. Масштабованість для забезпечення максимальної операційної гнучкості при розгортанні віртуалізованих функцій ЕРС у необхідному масштабі.
3. Підтримка потенціалу для послуг мобільного широкосмугового доступу для забезпечення ствольного рівня продуктивності для задоволення кінцевих потреб користувачів.
4. Підтримка кращої доступності і надійності у порівнянні з існуючим пакетного ядра мережі завдяки новим схемам захисту;
5. Підтримка загальних операцій управління мережевими функціями у всій віртуалізованій і фізичній площині ЕРС.

При цьому серед очікувані переваг від віртуалізації для мобільного ядра можна виділити наступні:

1. Покращена операційна ефективність: NFV інфраструктура буде збільшувати ефективність операційних процедур за рахунок зниження мережеских витрат і спрощених операцій.
2. Оптимізована конфігурація та/або топологія мережі за допомогою моніторингу продуктивності: автоматизоване підключення віртуальної

машини і оптимізація можуть бути забезпечена використанням політики маршрутизації.

3. Підтримка так званої мульти-оренди: кілька мережевих функції можуть бути сконфігуровані на базі однієї й тієї ж NFV інфраструктури.
4. Скорочення часу виходу на ринок нових послуг: «хмарна» автоматизація дозволяє прискорити впровадження нових сервісів.
5. Введення цільових сервісів на основі географії або місцезнаходження клієнта.

В першу чергу, віртуалізоване ядро EPC, як правило, повинно бути розгорнуто паралельно основному EPC і бути зосередженим на сервісах типу машина-машина та налаштованих сервісах рівня підприємства. Ці види послуг можуть мати певні профілі трафіку, які можуть надати бажані переваги з використанням конкретної конфігурації EPC (і, зокрема, конфігурації віртуального вузла PGW), і звісно ж таки надати можливість для операторів експериментувати з віртуальним ядром перед впровадженням технології до масового ринку послуг.

Як вже зазначалося вище, розгортання віртуалізованого EPC і пов'язаного з ним надання послуг потребує забезпечення складного оркестрування віртуальних ресурсів як усередині ЦОД, так і у фізичній мобільній транзитній мережі.

З точки зору організації елементів мережі, а зокрема елементів ядра, мережевий сервіс, що забезпечується роботою певного функціонального вузла (або групою вузлів) можна розглядати як граф передачі мережевих функцій (Network Functions, NFs), з'єднаних між собою за допомогою мережевої інфраструктури. Ці мережеві функції можуть бути реалізовані в одній мережі оператора або у взаємодії між різними мережами оператора. Логіка функціонування базової функції мережі обумовлює логіку функціонування сервісу вищого рівня. Отже, функціонування мережевого сервісу в цілому може бути представлене як поєднання логік функціонування блоків, що входять до її складу, які в свою чергу можуть включати окремі мережеві функції, набори мережевих функцій та/або мережеву інфраструктуру.

Рисунок 3.1 відображає основну схему цього підходу.

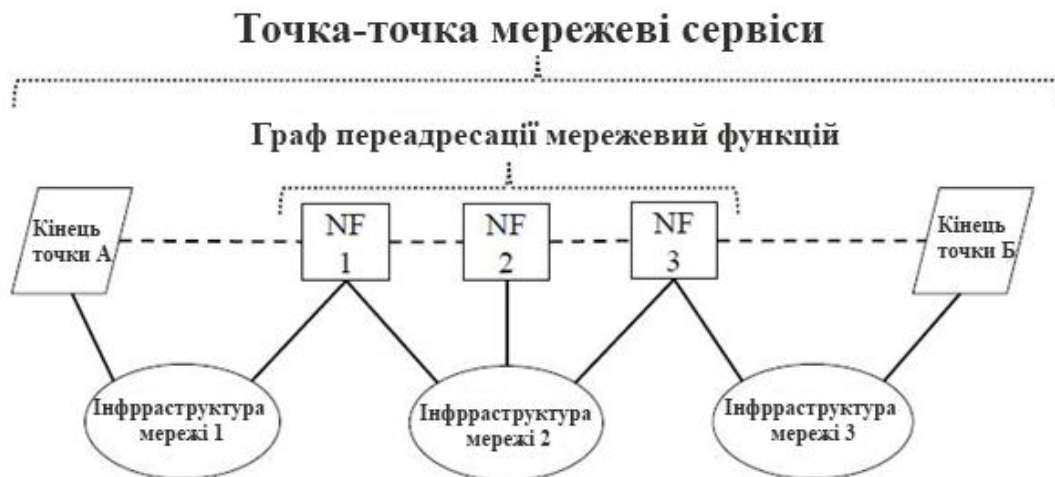


Рисунок 3.1. Граф передачі мережевих функцій

Сьогодні, більшість сервісів потребує використання декількох мережевих функцій. Оркестрування допомагає інтегрувати і використовувати віртуалізовані мережеві функції найбільш зручним і ефективним чином. Система використовує шаблони оркестрування сервісів, які визначають технологічний процес автоматизації для різних функціональних процесів. Окрім цього, архітектура NFV також може забезпечувати формування нового набору вимог до управління операціями в області оркестрування.

Головне питання в полягає у віртуалізації ядра мобільних мереж полягає в тому, якого рівня ефективності вдасться досягти, яка в свою чергу залежить від одного фактора — де будуть розміщені віртуалізовані функції.

Впровадження віртуалізації в EPS в цілому повинно бути спрямовано на завдання підтримки необхідного рівня продуктивності та якості обслуговування QoS.

Віртуалізація EPS передбачає, що архітектура NFV буде реалізовувати одну або декілька віртуалізованих мережевих функцій (VNFs), а це означає віртуалізацію мережевої функції в області базової мережі без віртуалізації.

Хмарна інфраструктура передбачає використання віртуальних машин (Virtual Machine) для організації ресурсів віртуалізованих функцій, що дозволить застосувати методи для підвищення доступності ресурсів за допомогою механізмів

управління, що автоматично застосовуються до екземплярів віртуальних сутностей в хмарній інфраструктурі шляхом використання найбільш ефективного ядра процесора, пам'яті та інтерфейсів, повторної ініціалізації та міграції віртуальних машин. Оскільки кожна віртуальна машина в контексті фізичних ресурсів працює відокремлено, а отже не залежить від інших віртуальних машин і не впливає на їх продуктивність. Ця особливість дає змогу за допомогою обраних інтерфейсів динамічно сконфігурувати ресурси ядра мережі (посилання, топологію мережі і т.д.), виходячи з факторів необхідної потужності і необхідних транспортних моделей.

Основна ідея, яка пропонується у підході до віртуалізації EPC — це використання декількох менеджерів VNF для забезпечення оперативного контролю в точці розподілу віртуальних функцій в рамках загальної схеми. Зрозуміло, що, в такому випадку, для автоматизації оркестрування, всі операції налаштування, які було передбачено виконувати вручну тепер повинні бути розроблені з урахуванням підтримки машинних форматів опису. Хмарна інфраструктура використовує описи для організації віртуальної мережі, для цього менеджерів VNF здійснюють моніторинг ресурсів в усіх областях і шарах функціональності.

Вище було описано формальний підхід, який пропонується використовувати при віртуалізації ядра мобільної мережі. Для ефективного впровадження віртуалізації необхідно визначити, які функції доцільно віртуалізувати при запропонованому підході. Для цього розглянемо схему організації функціональних вузлів ядра мережі LTE (рис. 3.2) та призначення елементів

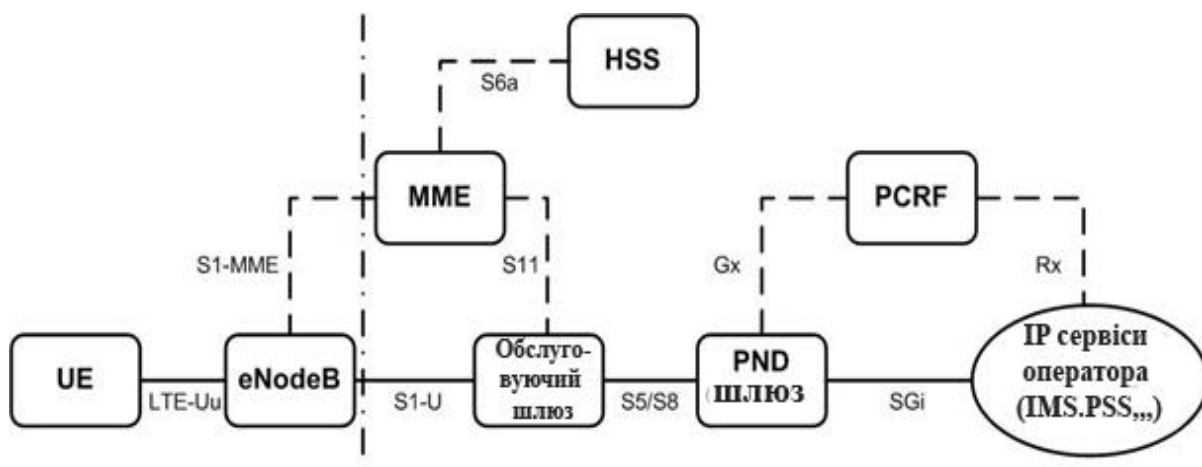


Рисунок 3.2. Схема функціональних вузлів EPC

Базова станція (EnodeB) в мережі LTE виконує наступні функції: управління радіоресурсами (Radio Resource Management, RRM), вибір блоку управління мобільністю (MME) при включенні в мережу користувачького терміналу, маршрутизація в площині користувача пакетів даних у напрямку до обслуговуючого шлюзу (SGW), диспетчеризація і передача інформації виклику і мовної інформації, отриманої від блоку управління мобільністю, диспетчеризація і передача повідомлень PWS (Public Warning System, система тривожного сповіщення), отриманих від MME.

MME — це основний елемент керування в мережі LTE. Він здійснює лише функції управління і не працює з даними користувачів. Має безпосередній зв'язок з терміналом користувача (User Entity, UE) через протокол сигналізації поза рівнем доступу (Non Access Stratum, NAS).

Функції, що виконуються MME, можна розділити на наступні два набори: управління потоком (на пред'явника управління) та управління підключеннями (управління з'єднання).

Загалом же до функціоналу MME відноситься сигналізація між мережею EPC і UE, сигналізація хендоверу між різними мережами, вибір PGW і SGW, аутентифікація при реєстрації UE в мережі, управління каналами на інтерфейсах до інших елементів мережі.

SGW призначений для обробки і маршрутизації пакетних даних, що надходять з/в підсистему базових станцій.

SGW маршрутизує і направляє пакети з даними користувачів, в той же час виконуючи роль вузла управління мобільністю (mobility anchor) для користувачьких даних при хендовері між базовими станціями, а також вузла управління мобільністю між мережею LTE і мережами з іншими технологіями 3GPP. Коли UE вільний і не зайнятий викликом, SGW підключає спадний канал даних (DownLink, DL) і виконує пейджинг, якщо потрібно передати дані по DL в напрямку UE. Він керує і зберігає стан UE (наприклад вимоги по пропускній

здатності для IP-сервісів, внутрішню інформацію щодо мережевої маршрутизації).

PGW забезпечує з'єднання від UE до зовнішніх пакетних мереж даних, будучи точкою входу і виходу трафіку для UE. UE може мати одночасно з'єднання з більш ніж одним PGW для підключення до декількох мереж. PGW виконує функції захисту, фільтрації пакетів для кожного користувача, підтримку білінгу, узаконеного перехоплення і сортування пакетів.

Виходя з типу функціонал вузлів сервісного і пакетного шлюзів може бути розділений на дві частини: площину управління і площину даних. Таке розділення дозволяє перемістити функції площини управління (SGW-Control та PGW-Control) до централізованої хмарної платформи. При цьому VNF менеджери будуть обслуговувати віртуалізовані функції SGW та PGW, що працюють на відокремлених віртуальних машинах, і відповідати за оркестрацію життєвого циклу VNF. Рисунок 3.3 схематично ілюструє підхід до організації EPC, що пропонується.

Підхід до організації EPC, який пропонується, передбачає, що робота мережі в цілому буде ґрунтуватися на декількох серверах або центрах обробки даних. При цьому, пропонується організувати SGW/PGW і MME функції на спільно на відособлених комплексах центрів обробки даних.

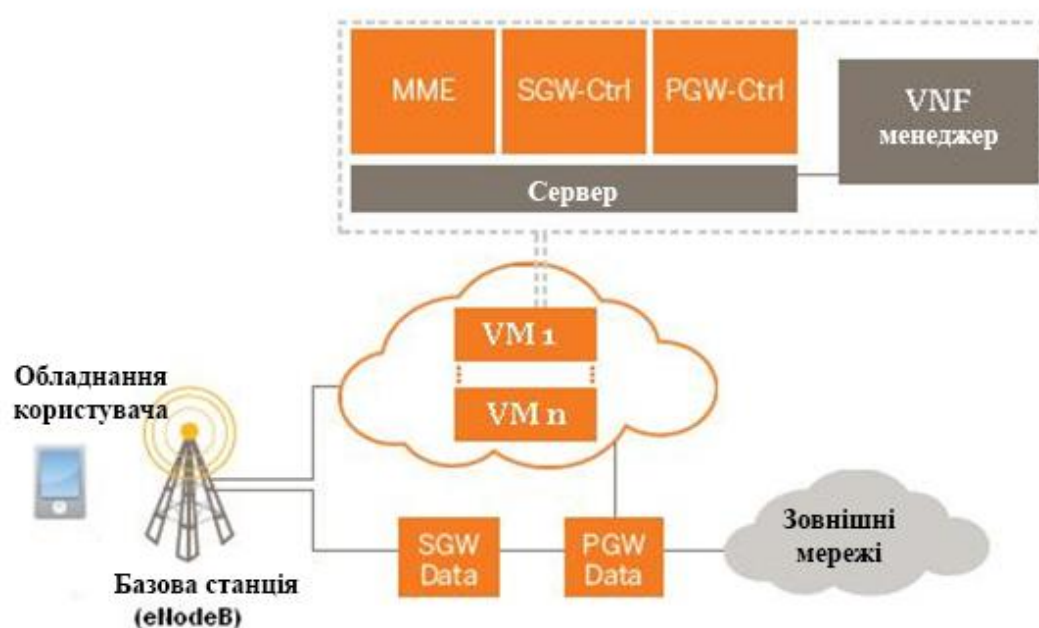


Рисунок 3.3. Підхід до організації EPC з виділенням функціоналу SGW-Ctrl

та PGW

Взаємодія вузлів мережевих функцій забезпечується інкапсульовано стандартними інтерфейсами (s6s для взаємодії MME-HSS, s11 для MME-S/P-GW і s5 для окремих S/P-GW вузлів).

Це ефективно, коли, наприклад, може виникнути необхідність збільшити обсяг ресурсів у площині користувача, не впливаючи на рівень управління, і навпаки.

Також зазначимо, що при динамічній реконфігурації віртуальної функції мережі унаслідок збою або перевантаження з автоматичним або ручним режимом управління, сеанси та/або сесії управління повинні бути оброблені відповідним чином для досягнення необхідної надійності послуг.

3.2. Особливості організації EPC

Архітектура мережі LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку мобільністю, мінімізацією затримок доставки пакетів та високим показником якості обслуговування. Мобільність як функція мережі забезпечується двома способами: дискретно (роумінг), неперервно (хендовер). Так як обидві функції мають підтримуватись абоненським обладнанням, покриття має бути достатнім для якісного безпроводного широкополосного доступу. На відмінну від технологій попереднього покоління, де спостерігається висока різнотипність та ієрархічність мережевих вузлів, LTE має більш пласку архітектуру з мінімізацією кількості вузлів.

LTE забезпечує підвищені технічні характеристики – передбачає полосу пропускання від 1,4 до 20 МГц, підтримку більше 200 активних з'єднань на 5 МГц одиницю і швидкість до 100 Мбіт\секунду. При цьому повинна підтримуватись вимога до надання послуг абонентам, що рухаються зі швидкістю до 350 км\годину, а зона територіального пориття для однієї базової станції має відповідати 30 км.

LTE базується на трьох основних технологіях: покращеному пакетному ядрі,

нових типах мультиплексування та багатоантенних систем.

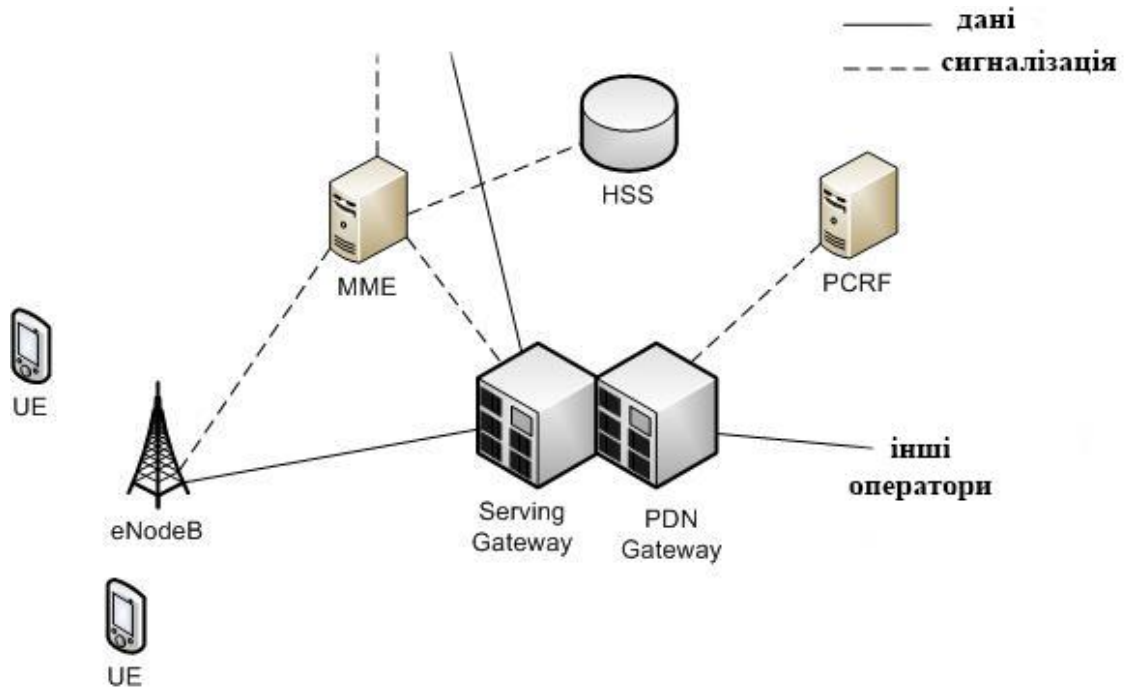


Рисунок 3.4 Загальна архітектура мережі LTE

В загальному випадку до основних елементів стандарту LTE належать:

1. SWG (Serving Gateway) – обслуговуючий шлюз LTE. Призначений для обробки та маршрутизації пакетних даних, котрі поступають або надходять з\на підсистем базових станцій. Має прямий коннект з мережами другого та третього покоління, що спрощує передачу сесій при різкому погіршенні радіоумов чи перегрузів. Вся інформація, включаючи голос, передається за допомогою пакетів;
2. PDW (Public Data Network Gateway) – шлюз до мереж передачі даних інших операторів та мереж, таких як GSM, UMTS та Інтернет;
3. MME (Mobility Management Entity) – вузол управління мобільністю, призначений для обробки сигналізації пріоритетно пов'язаною з керуванням мобільністю абонентів в мережі;
4. HSS (Home Subscriber Server) – сервер абоненський даних мобільної мережі, що представляє з себе сховище даних про абонентів. Крім того, генерує інформацію, необхідну для виконання процедури шифрування,

аутентифікації тощо. Кількість HSS залежить від географічної структури мережі.

5. PCRF (Policy and Charging Rules Function) – мережевий елемент, котрий відповідає за нарахування вартості за надані послуги, якість з'єднання відповідно від існуючих послуг.

Для того, щоб дані могли бути транспортовані через інтерфейси LTE, використовуються різноманітні канали для можливості передачі через мережу доступу різні типи даних найбільш ефективно.

Логічні канали – надають послуги середнього рівня управління доступом MAC (Medium Access Control). По типу передаваної інформації діляться на канали управління та трафіку – відповідно для передачі сигналізації, інформаційних повідомлень та даних користувачів.

Транспортні канали – пропонують передачу інформації в MAC та вище. Визначає як та з якими характеристиками буде відбуватись передача інформації по радіоінтерфейсу у фізичних каналах.

Фізичні канали – канали передачі, котрі переносять дані користувачів і управління повідомленнями. Вони змінюються між вхідними та вихідними потоками.

Особливу увагу варто більш детально розглянути інтерфейси, котрі використовуються для взаємодії між мережевими елементами мережі LTE (рисунок 3.5).

Виділяють такі основні інтерфейси:

1. X2 – інтерфейс між базовими станціями eNodeB;
2. S1 – пов'язує підсистему базових станцій із MME, передає дані управління;
3. S1-U, I4 – інтерфейс по котрому передаються дані користувачів;
4. S2 – використовується для організації з'єднання між PDW і мережами доступу, котрі не розроблялись в рамках 3GPP;
5. S3 – інтерфейс, що представляє пряме з'єднання SGSN та MME. Використовується для передачі даних управління для забезпечення мобільності;

6. S6 – використовується між MME та HSS для передачі абонентського профілю, а також – задіяний при виконанні процедури аутентифікації;
7. Gx – інтерфейс між PDW та PCRF. Призначений для передачі правил тарифікації;
8. SGi - інтерфейс між PDW та зовнішніми мережами.

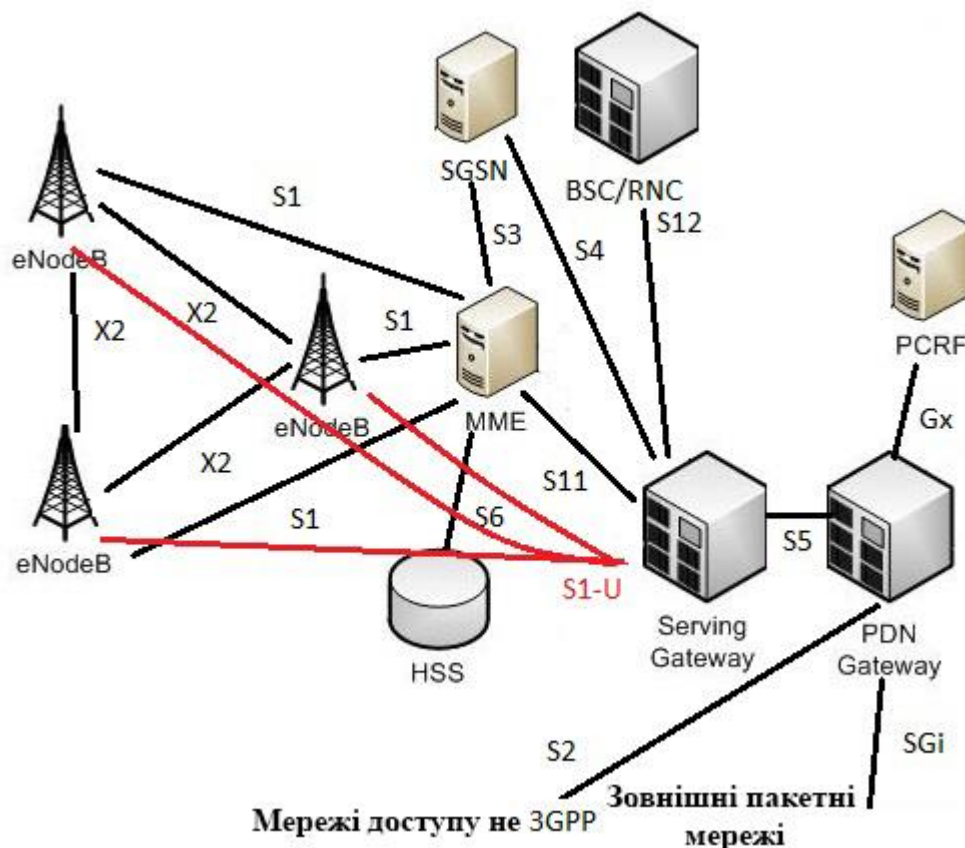


Рисунок 3.5 Інтерфейси мережі LTE

3.3. Організація функціональних вузлів мережі LTE

Функціональним елементом на мережах операторів зв'язку, котрий рекомендують 3GPP виступає PCRF, саме він впроваджує політику обслуговування абонентів – забороняє або дозволяє користуватись сервісами, застосовувати логіку та політику до інформаційного потоку. А також – відповідає за тарифікацію, внесення змін до профайлів абонентів (геолокація, час, обсяг загального викори та доступного станого трафіку в тому числі)

Сьогодні функції PCRF представляють із себе логічні елементи, реалізовані на програмно-апаратному забезпеченні, обмежені можливостями його

масштабування. Інформаційні ж потоки в данному випадку є прив'язаними до топології мережі оператора, у зв'язку з тим, що необхідно вимірювати та контролювати використаний трафік і взаємодіяти з іншими функціональними блоками. По цій причині після появи програмно-керованих мереж і віртуалізації мережевих функцій, вдалось використовувати та імплементувати дані технології для покращення та удосконалення роботи блоку PCRF в рамках архітектури EPC.

Даний метод потрібен в першу чергу для того, щоб повністю віртуалізувати окремий функціонал PCRF, а також слід розглянути підхід, що ґрунтується в першу чергу на використанні хмарних технологій. Завдяки ньому покращується масштабування мережі без необхідності інтеграції нового програмного та апаратного забезпечення, використовуючи лише наявні ресурси.

Забезпечення організації взаємодії віртуалізованих машин PCRF з переліком вузлів мережі – виступає ключовою метою, як і забезпечення пропуску інформаційного потоку через всі елементи системи 3GPP.

Всі сегменти мережі обслуговуються окремими функціональними вузлами, з якими взаємодіє PCRF, з чого випливає, що кожен елемент, що відповідає за певний функціонал, має бути розгорнутий на окремому хмарному сервері для оптимізації взаємодії. В якості оптимізації адміністрування функціональні вузли, що керують різними сегментами мережі, мають бути організовані на окремих віртуальних машинах. Саме ці складові елементи PCRF будуть виконувати взаємодію з іншими елементами архітектури мережі оператора.

Нижче розглянуто більш детально функціональні елементи і інтерфейси, з якими взаємодіє PCRF. Перший в переліку елемент, Policy and Charging Enforcement Function (PCEF) — компонент, описаний в специфікації 3GPP, котрий використовується на мережах зв'язку, здійснює застосування Policy and Charging Control (PCC)-правил, отриманих від PCRF, до інформаційного потоку, що проходить через нього. Здійснює тарифікацію та облік даних в системі тарифікації оператора зв'язку.

Даний компонент в якості функціонального блоку PGW виноситься в хмарну інфраструктуру. Взаємодія хмарного компонента PCEF у складі PGW-Control з

PCRF здійснюватиметься за Gx-інтерфейсом, який використовує протокол Diameter і призначений для надання службових даних по реалізації Flow Based Charging — FBC правил білінгових розрахунків з абонентами. По цьому інтерфейсу PCEF передає на PCRF інформацію, необхідну для прийняття PCC-рішень: ідентифікатор абонента, інформацію щодо місцезнаходження і часового пояса, в якому знаходиться абонент, IP-адресу пристрою, з якої здійснюється доступ, параметри каналу, та інші.

На реальному фізичному обладнанні буде працювати варіант «тонкого клієнта» PGW — PGW-Data, завдання якого полягає у фільтрації трафіку і застосуванні правил в залежності від інструкцій, одержуваних від PGW-Control. Взаємодія клієнта і хмарної реалізації PGW здійснюється за допомогою інтерфейсу s5.

Наступний елемент, який буде віртуалізовано — Bearer Binding and Event Reporting Function (BBERF). Це функціональний елемент в 3GPP мережах зв'язку, який здійснює нотифікацію PCRF про встановлення сесії з посилкою ідентифікатора абонента і додаткових параметрів для коректного визначення QoS-правил обслуговування. Функціонал даного компонента буде винесено в хмарну інфраструктуру в якості функціоналу вузла SGW-Control.

«Тонкий клієнт» SGW-Data буде виконувати наступні функції: базову маршрутизацію пакетного трафіку і перехоплення пакетного трафіку (F3), а також функціонал "якірної" точки (точки об'єднання трафіку) для хендовера між базовими станціями NodeB всередині однієї мережі доступу в зоні обслуговування базових станцій згідно набору правил та інструкцій (F4), що надходять від хмарної «серверної» частини SGW-Control.

Елемент SGW-Control в свою чергу забезпечує виконання таких функцій: "якірна" точка для хендовера між різними мережами доступу стандартів LTE/LTE і LTE/UMTS (F4), і обробка функціоналу BBERF (F5).

Взаємодія з PCRF здійснюється вузлом SGW-Control (також як і у випадку з PGW-Control), але по інтерфейсу Gxx. Взаємодія міжкомпонентами SGW-Control і SGW-Data здійснюється по інтерфейсу s5. Існує, також, ряд вузлів,

функціонал яких пропонується розміщувати в Хмарній інфраструктурі (з поділом сервером за сегментами мережі). Серед них можна виділити:

1. Traffic Detection Function (TDF, F6) — елемент, описаний в 3GPP і використовуваний на мережах зв'язку, який здійснює визначення трафіку певними додатками і нотифікацією для PCRF. В залежності від отриманих правил виконується пропуск трафіку абоненту, кінцевому споживачу, перемаршрутизація і обмеження швидкості. Взаємодіє з PCRF по інтерфейсу Sd, який використовується для встановлення Application Detection and Control (ADC) правил керування параметрами трафіку конкретних програм.
2. User Data Repository (UDR, F7) — забезпечує функцію збереження даних користувачів. Взаємодіє з PCRF по інтерфейсу Ud, котрий використовується для отримання/зміни профілів, в яких зберігається інформація про сервіси, що доступні абоненту, параметрах QoS та інших, необхідних для прийняття PCC-рішень. Також інтерфейс Ud використовується для організації передплати та отримання нотифікацій про зміни у профілях абонентів

3.3. Передача повідомлень управління при віртуалізації EPC

У ході взаємодії компонентів мережі LTE мова йде про логічні канали, які надають послуги середнього рівня управління доступом в межах структури протоколу LTE. Логічні канали по типу інформації, що передається, діляться на логічні канали управління та логічні канали трафіку. Логічні канали управління використовуються для передачі різних сигнальних та інформаційних повідомлень. По логічним каналам трафіку передаються дані користувачів.

Підхід до віртуалізації EPC, що розглядається, дає можливість: по-перше, спростити організацію логічних каналів, так як при даному варіанті організації, по суті, існують тільки логічний канал трафіку UE-Base station- SGW-Data-PGW-Data з виходом на пакетні мережі для обміну даними між різними ділянками мережі і аналогічний логічний канал управління, який використовує вихід на пакетні мережі для організації взаємодії з хмарною віртуалізованою архітектурою; по-друге,

Diameter CCR (Credit-Control-Request) запиту з інформацією про абонента і запитуваних послугах.

2. PCRF здійснює запит профілю абонента по інтерфейсу Ud.
3. Отримує профіль з параметрами послуг абонента.
4. Здійснює підписку на нотифікацію про зміни профілю.
5. PCRF приймає PCC-рішення про можливість надання послуг абоненту і з якими параметрами якості. Формує PCC-правила, які відправляє на PCEF по інтерфейсу Gx. Це полягає у формуванні Diameter CCA (Credit-Control-Answer) відповіді з включеним набором PCC-правил.
6. При отриманні відповіді PCEF встановлює сесію кредитного контролю з OCS по інтерфейсу Gy за допомогою обміну повідомленнями
7. PCEF дозволяє встановлення IP-CAN сесії і передає відповідні повідомлення на SGW-Control і PGW-Control.
8. SGW-контроль надсилає повідомлення Initial Context Setup на PGW-Data і Session Response (відповідь сесії) на SGW-Data.
9. Потік трафіку (Service Data Flow) починає проходити між пристроєм абонента і зовнішніми мережами зв'язку.
10. Через деякий час абонент завершує сесію передачі даних і BBERF посиляє на PCEF запит на розрив IP-CAN сесії.
11. PCEF здійснює завершення Diameter сесій на PCRF по інтерфейсу Gx. Завершення сесій полягає також в обміні повідомленнями Diameter CCR/CCA.

PCEF здійснює завершення Diameter сесій на OCS по інтерфейсу Gy.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВОЇ АРХІТЕКТУРИ НА ОСНОВІ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ЯДРА МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ

4.1. Модель тривалості обслуговування з'єднання абонента вузлами ядра мобільної мережі

Ефективність використання LTE для абонентів в першу чергу залежить від якості наданих послуг і механізмів, за допомогою котрих вона реалізується – маркування пакетів, керування чергами та потоками тощо... Надійність мережі і ефективність адміністрування взаємопов'язані також і з можливістю операторами здійснювати оперативний контроль за усуненням аварійних ситуацій. В випадку мережі радіодоступу критичними є наступні фактори:

- функціонал механізмів перешоджанню виникненню помилок, збоїв з можливістю оперативного вирішення аварії;
- технічна експлуатація, специфіка адміністрування та обслуговування мережі операторів зв'язку;
- синхронізація;
- поділ трафіку.

Щоб визначити додаткові фактори, що стосуються обладнання і впливають на якість надання послуг, мережу можливо розділити на наступні складові::

- базові станції;
- вузли опорної мережі;
- мережа радіодоступу;

До переліку характеристик мережевих вузлів, кількісне значення яких впливають на показники якості послуг, входять:

- швидкість передачі даних.
- ємність.
- Довжина черги.

Ключовим фактором в опорній мережі, які кількісно впливають на якість наданих послуг, є:

- ширина смуги пропускання;

- сумарний обсяг переданої інформації;
- пікове навантаження;
- середнє значення навантаження;
- загальна кількість каналів;
- швидкість передачі даних по кожному каналу;
- середній розмір пакета.

Ключовою особливістю мереж зв'язку нового покоління виступає технічна практична реалізація одночасної підтримки додатків з різними вимогами до QoS. В LTE класифікація послуг, котрі надаються користувачам, параметри і значення QoS встановлюються на рівні логічного з'єднання EPS. EPS з'єднання представляє з себе потік IP пакетів, котрий транспортується між мережним шлюзом (PGW) і кінцевим пристроєм користувача UE або MS (Mobile Station) з певними параметрами якості обслуговування даного активного голосового з'єднання. Кожному логічному з'єднанню надається деяке кількісне значення - ідентифікатор класу QoS QCI (QoS Class Identifier). Кожен з них визначає, до якого класу QoS відноситься активний на даний момент сеанс зв'язку в залежності від його пріоритету обслуговування, затримки і кількості втрачених під час передачі і отримання пакетів. Розрізняють два типи EPS з'єднань: з гарантованою побітовою швидкістю передачі Guaranteed Bit Rate (GBR) і без гарантій по швидкості передачі Non-Guaranteed Bit Rate (Non-GBR).

GBR з'єднання відрізняються фіксованим значенням мінімальної швидкості передачі. Однак, за наявності вільних ресурсів в мережі можлива передача даних зі швидкістю більшою, ніж мінімально встановлена - максимальною побітовою швидкістю MBR (Maximum Bit Rate) й чітко обмежується існуючими ресурсами мережі або іншими додатковими зовнішніми або внутрішніми умовами. Згідно цього, MBR може бути або рівною, або більшою за GBR.

При активації з'єднань типу Non-GBR відсутня гарантія хоча б мінімальної швидкості передачі даних, то ж у випадку перезавантажень частина пакетів може бути втрачена. Керування ресурсами мережі в даному випадку здійснюється за допомогою підключення сумарної максимальної швидкості передачі даних AMBR

(Aggregate MBR), завдяки чому дозволяється вирізняти послуги по пріоритету в обслуговуванні. А ще однією з найважливіших характеристик логічного з'єднання виступає пріоритет в обслуговуванні ARP (Allocation and Retention Priority). Цей параметр є відповідальним за прийняття або відхилення запиту на встановлення з'єднання, керування перевантаженням мережі за допомогою витіснення з'єднань з найменшим пріоритетом.

Таким чином, для диференціювання послуг, що надаються користувачам, мережею LTE з урахуванням різних пріоритетів і типів логічних з'єднань виділяються дев'ять QCI класів. Всі значення параметрів QoS, що відносяться до кожного з дев'яти QCI класів, визначені в стандарті, це дозволяє забезпечити однакову обробку запитів на встановлення з'єднань обладнанням різних виробників. Для того щоб забезпечити дотримання вимог QoS для різних послуг, що надаються користувачеві, виникає завдання розрахунку основних показників якості обслуговування.

Головними ресурсами системи, які використовуються при обслуговуванні активного з'єднання користувача, для визначення ефективності запропонованого методу, буде розглянуто наступні:

- оперативна пам'ять;
- процесорний час;
- мережевий ресурс.

Додатково варто вказати, що в залежності від типу послуги буде генеруватися трафік, обслуговування якого потребує певної кількості кожного ресурсу для обробки повідомлень керування/запитів на обслуговування, причому ця кількість неоднакова для різних типів.

Обслуговування трафіку в системі складається з виконання деякої послідовності операцій або обробки запитів на обслуговування. Будемо розглядати дані операції як виконання функціоналу вузлами EPC, які були описані у попередньому розділі (функції F1-F10). При цьому у рамках моделі виконання полягає в тому, що певна кількість ресурсів вузлів, які відповідають за виконання конкретної функції, займається на певний проміжок часу.

Вважатимемо, що процедура обслуговування трафіку користувача починається з моменту першого надходження повідомлень управління на перший вузол взаємодії до того моменту, коли ні один із вузлів не буде задієм.

4.2. Аналіз результатів моделювання тривалості обслуговування з'єднання абонента вузлами ЕРС

Задля створення моделювання задамо модельний час виконання в значенні виконання - 10^5 одиниць. Хай 1 модельна одиниця відповідає 1 мс.

При базовому методі організації ресурсів отримано значення математичного очікування періоду тривалості обслуговування активного голосового з'єднання – 414,883 мс, а стандартне відхилення при цьому – 135,928 мс.

На рис. 4.1 вказаний приклад частини звіту в стандартизованому середовищі GPSS World, котрий відображає навантаженість та порядок обслуговування активного голосового з'єднання проміжними вузлами.

| USER CHAIN | SIZE | RETRY | AVE. CONT | ENTRIES | MAX | AVE. TIME |
|--------------|------|-------|-----------|---------|-----|-----------|
| LIST_FUNC_1 | 0 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| LIST_FUNC_2 | 0 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| LIST_FUNC_3 | 0 | 0 | 0.035 | 422 | 7 | 8.403 |
| LIST_FUNC_4 | 0 | 0 | 0.002 | 28 | 3 | 6.466 |
| LIST_FUNC_5 | 0 | 0 | 0.119 | 1541 | 9 | 7.695 |
| LIST_FUNC_6 | 3 | 0 | 0.017 | 360 | 7 | 4.651 |
| LIST_FUNC_7 | 0 | 0 | 0.114 | 1420 | 9 | 8.040 |
| LIST_FUNC_8 | 0 | 0 | 2.635 | 9657 | 33 | 27.286 |
| LIST_FUNC_9 | 0 | 0 | 0.119 | 1470 | 11 | 8.090 |
| LIST_FUNC_10 | 0 | 0 | 0.027 | 512 | 7 | 5.328 |

Рисунок 4.1. Статистика черг на обслуговування активного голосового з'єднання

При моделюванні по раніше вказаному методу віртуалізації ресурсів вихідне значення математичного очікування буде дорівнювати 400,177 мс, стандартне відхилення = 127 мс.

5. ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМИ IMS НА МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ NFV

5.1. Особливості організації архітектури IMS.

Технологія IMS (IP Multimedia Subsystem) за останні 5 років набула особливої популярності серед операторів мобільного та фіксованого зв'язку. Концепція визначає архітектуру надання сервісів із забезпеченням мультимедійних послуг в рамках однієї SIP-сесії (в тому числі – передачі мови, даних, відео...). Важливо, що послуги можуть надаватись в даному випадку різними провайдерами и надаватись користувачам до різних мережам доступу.

В мережі IMS користувач має можливість підписатись на пакет послуг, зареєстрував їх для отримання декількох терміналів з різними характеристиками, адресами і типами підключень. Це може бути як домашній ПК, підключених до мережі інтернет через лінію DSL чи Ethernet, мобільний телефон, ноутбук, планшет чи інший гаджет. Кожен з терміналів реєструється окремо, але всі асоціюються з одним користувачем.

Переваги технології IMS:

1. Незалежність від специфіки архітектури мережі, мережевого транспорту і каналів доступу;
2. Спрощена процедура інтеграції компонентів концепції IMS із функціональними елементами мережі оператора по протоколу SIP;
3. Покращена масштабованість;
4. Підтримка мультимедійного персонального обміну інформацією в режимі реального часу (наприклад, передача мови, відеотелефонія) і аналоговому обміні між людиною та машиною;
5. Можливість надання користувачам спектр послугв одному сеансі зв'язку;
6. Підтримка декількох одночасних синхронізованих сеансів.

На рисунку 5.1. вказана спрощена архітектура IMS.

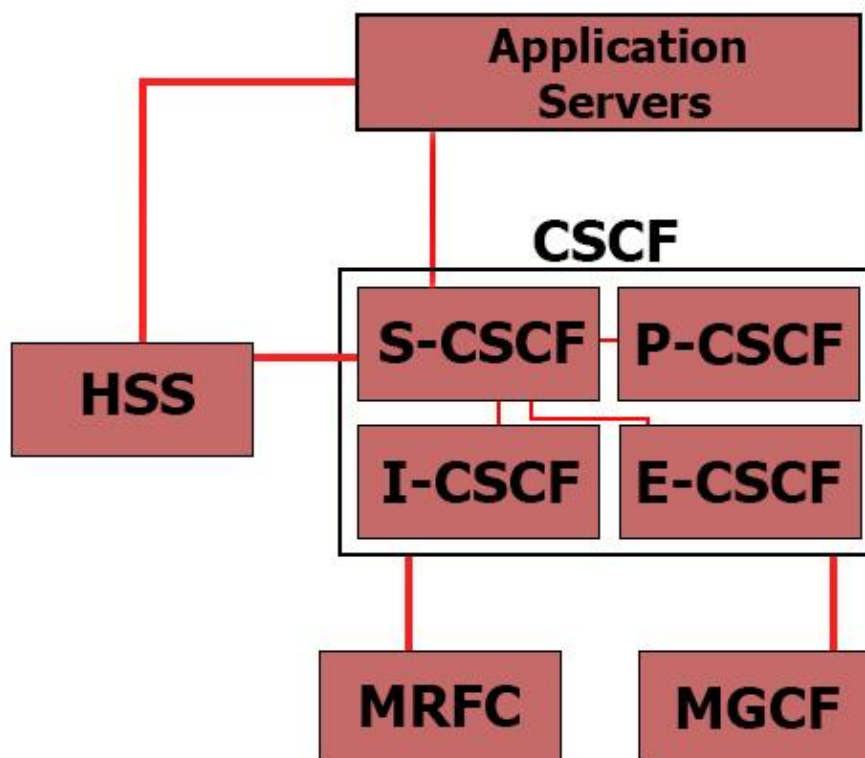


Рисунок 5.1. Спрощена архітектура IMS

До основних функціональних елементів системи IMS відносять:

1. CSCF (Call Session Control Function) – елемент з функціями управління сеансами зв'язку і маршрутизацією викликів.
2. HSS (Home Subscriber Server) – сховище абоненських даних та послуг користувачів, виступає репозиторієм для інформації, необхідної для обробки білінговими мережами;
3. BGCF (Breakout Gateway Control Function) – функціональний елемент, що відповідає за пересилку викликів між мережею IMS та мережею з комутацією пакетів;
4. MGCF (Media Gateway Control Function) та MRFC (Multimedia Resource Function Controller) – транскодують медіа-потік, відповідають на розподіл медіа-ресурсів під час встановлення голосової сесії та підключення додаткових послуг.

Також, для інтеграції нових послуг використовуються сервери додатків (AS – Application Servers), таких як – конференц-зв'язок, передача відео, зображень, транслявання запитів на групу номерів тощо.

5.2. Аналіз особливостей функціонування компонентів ядра мережі IMS та серверів додатків з використанням технології NFV.

Головний принцип функціонування мережі IMS – відсутність прив'язки з існуючою комунікаційною інфраструктурою операторів зв'язку, що дозволяє останнім значно спростити процедуру інтеграції системи з існуючою мережею.

CSCF – виконує функції ядра IMS, залучається при реєстрації абоненського обладнання в мережі, обробці запитів на встановлення, завершення сеансів зв'язку, замовленні додаткових послуг під час активної голосової або відеосесії. Складається з 4 основних елементів:

1. S-CSCF (Serving CSCF) – центральний компонент, при отриманні запитів від користувачів на можливість реєстрації в мережі, перенадсилає реквести у HSS для перевірки облікових даних, виступає головною точкою взаємодії при встановленні голосового сеансу та отриманні запитів на підключення додаткових послуг до існуючої SIP-сесії. Безпосередньо взаємодіє із сервісними платформами та виступає в ролі user-агента;
2. I-CSCF (Interrogating CSCF) – ключова точка пропуску трафіку (запитів) від власних абонентів до мережі IMS. На відмінну від Serving CSCF, взаємодіє тільки з елементами IMS, прозора пропускає запити від та на S-CSCF.
3. P-CSCF (Proxy CSCF) – перша точка взаємодії абоненських терміналів із мережею IMS. Забезпечує збереження передачі клієнських даних, компресії заголовків при перевищенні розмірів по бінарному протоколу, керує NAT. Також – запобігає виникненню «заиклинності повідомлень», додаючи до них спеціальні заголовки.

4. E-CSCF (Emergency CSCF) – окремий функціональний елемент, котрий використовується для екстрених викликів. Повинен своєчасно знаходити необхідний пункт обробки екстрених номерів при першому запиті.

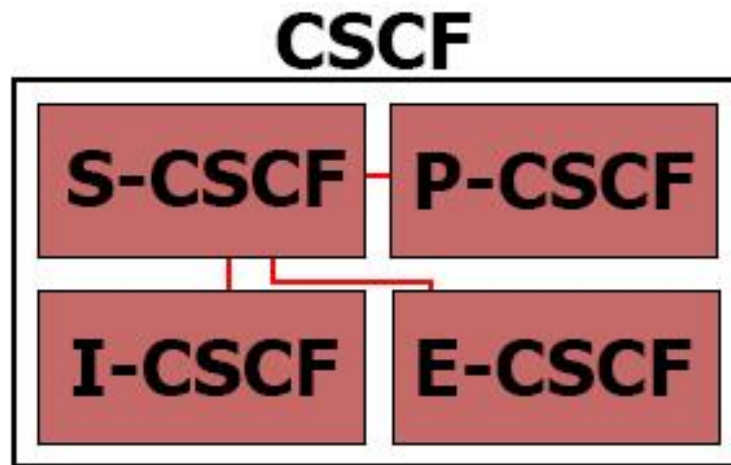


Рисунок 5.2. Спрощена структура функціонального блоку CSCF

Фізично всі складові ядра IMS представляють з себе логічні, віртуалізовані елементи, котрі розгортаються на віртуальних машинах на кшталт Cisco Virtualized Packet Core, передбачаючи процедуру резервування мережевих функцій – 2 або більше сайтове рішення, коли існуюча система дублюється і використовується або як допоміжна (при рівномірному розподілі ресурсів) або повністю як резервна. Зазвичай, територіально дані системи розміщені в різних містах та областях.

Ключовими елементами мережі IMS також виступають сервери додатків. Основною метою application servers є обслуговування та модифікування SIP-сеансів, створення запитів, передачі інформації про тарифікацію та інше. В зв'язності від технічних вимог операторів зв'язку, на мережі можуть бути реалізовані такі додатки:

1. MMTel (Multimedia Telephony) – реалізує конвергенцію мобільного та фіксованого зв'язку з можливістю підключення та видалення послуг за першою вимогою;
2. IP-SM-GW (IP Short Messaging Gateway) – надає можливість реалізувати послугу IPSMS (передачі коротких повідомлень з текстовим та медіа складовим через мережі VoLTE, VoWiFi).

3. SCC-AS (Service Centralization and Continuity Application Server) – сервер додатків, котрий виконує роль забезпечення передачі активного голосового з'єднання із мережі LTE в мережу з комутацією пакетів у випадку погіршення радіоумов.
4. IM-SSF (IP Multimedia – Service Switching Function) – забезпечує інтеграцію IMS з послугами CAMEL.

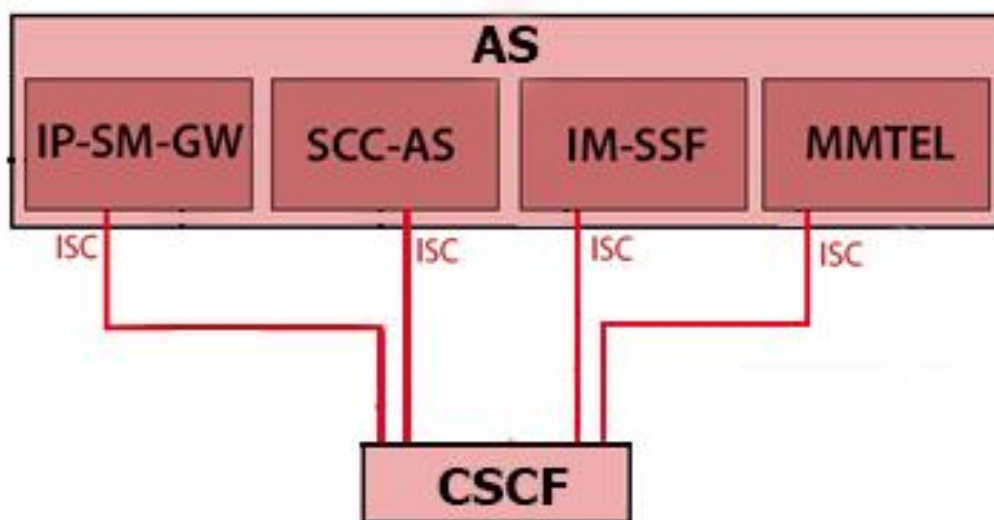


Рисунок 5.3. Спрощена схема взаємодії AS із CSCF

Саме завдяки віртуалізації мережесих функцій оператори мобільного зв'язку мають можливість спростити процедуру інтеграції нових послуг та сервісів з існуючим обладнанням без необхідності користуватись послугами тільки одного-двох вендорів. Розгортання мережі виконується на віртуальних машинах останнього покоління з можливістю зручного та швидкого адміністрування. Відкриті, уніфіковані інтерфейси взаємодії мережевого обладнання також надають можливість спростити процедуру підключення нового мережевого обладнання без ризиків та впливу на існуючу інфраструктуру.

5.3. Особливості впровадження послуги VoLTE на мережі операторів зв'язку із використанням концепції IMS

VoLTE (Voice over LTE) – технологія, котра дозволяє передавати потік даних голосового зв'язку по каналу LTE (Long-Term Evolution – довготривалий розвиток, технологія зв'язку 4-го покоління), реалізується за допомогою використання концепції IMS. Таким чином, звук передається у вигляді мультимедійної складової на основі протоколу IP. Вперше технологія була продемонстрована сингапурською компанією SigTel в 2014 році і з цього часу набула особливої популярності в Північній Америці, країнах Європи та Азії.

Основні переваги технології VoLTE:

1. Покращена швидкість з'єднання та якість звуку;
2. Можливість одночасно користуватись одночасно мобільним зв'язком та інтернетом одночасно;
3. Передбачена можливість використовувати не похвилинну тарифікацію, а оплату згідно кількості використаного об'єму даних.

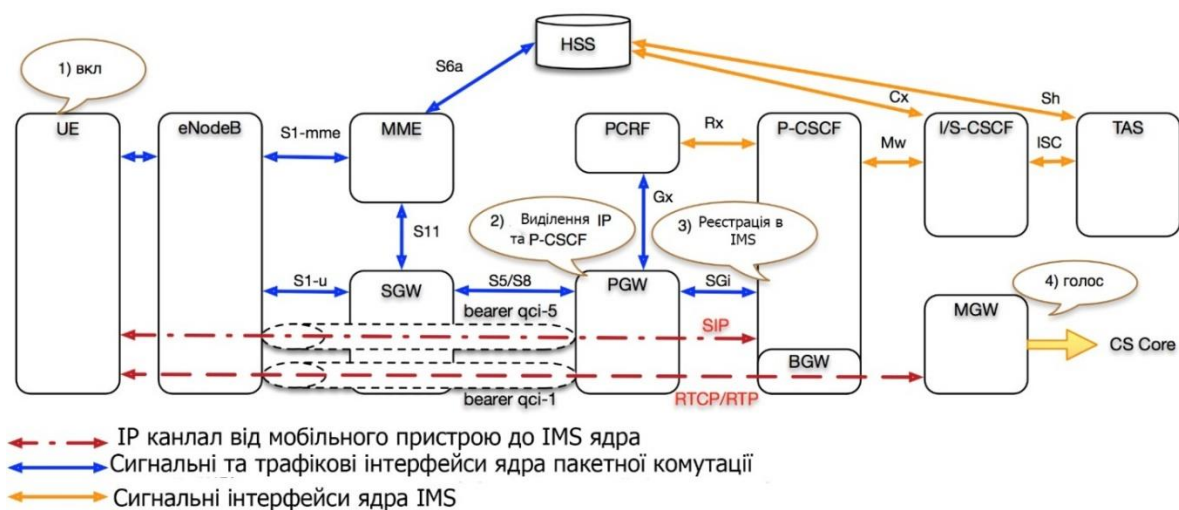


Рисунок 5.4. Приклад реєстрації VoLTE абонента в мережі та виконання вихідного виклику

Початкова реєстрація виникає при увімкненні пристрою в зоні дії мережі LTE. Термінал користувача формує та надсилає повідомлення REGISTER в напрям

P-CSCF домашньої мережі, адреса котрого завідома йому відома. Повідомлення передаються у відкритому вигляді і мають формат:

```
REGISTER sip: 3802222222@ims.mnc410.mcc310.3gppnetwork.org SIP/2.0
Via: SIP/2.0/TCP
[fd00:183:1:1:188655:9040:8605:32bav8]:5060;branch=z9hG4bKVT3F3PbXtxKWEdp;r
port5060
Max-Forwards: 70
Expires: 610000
P-Access-Network-Info: 3GPP-E-UTRAN-FDD;utran-cell-id-3gpp=3802222222
From: <3802222222@ims.mnc410.mcc310.3gppnetwork.org>;tag=cVKbrkhG0L
To: <3802222222@ims.mnc410.mcc310.3gppnetwork.org>
Call-ID: 5PC5dBCGDQ0csFmFPQXQjE57
Supported: 100rel,path,replaces
```

Ім'я домену домашньої мережі обирається згідно IMSI, заголовок Via містить мережеву адресу користувача, на котру мають маршрутизуватись відповіді на даний запит. Заголовок From включає публічний ідентифікатор користувача, згенероване відправником випадковим способом і використовується для цільової ідентифікації. Заголовок To містить публічний ідентифікатор користувача, котрий виконує спробу реєстрації.

Отримавши від обладнання користувача від користувача запит REGISTER, P-CSCF виконує пошук наступного вузла мережі шляхом резолвінгу через DNS запит імені домашньої мережі. Додається поле Via, котре містить список всіх елементів мережі, через котрі проходив запит, і необхідне для запобігання зациклювання повідомлень. Також, додається поле перевірки контролю цілісності даних і виклик направляється на I-CSCF.

Процедура перевірки ключів доступу, запитів на авторизацію перевіряються HSS, включаючи: випадкове число, очікуваний результат, маркер аутентифікації мережі, ключ контролю цілісності даних, ключ шифрування, схему аутентифікації.

Відбувається обмін ключами шифрування та після отримання підтвердження на запит «401 (Unauthorized)» встановлюється IPsec з'єднання та надсилається повторний запит REGISTER, включаючий дані авторизації. S-CSCF в свою чергу,

при повній відповідності даних, надсилає відповідь 200 ОК.

SIP/2.0/TCP 200 ОК

[fd00:183:1:1:188655:9040:8605:32bav8]:5060;branch=z9hG4bKVT3F3PbXtxKWEdp
;rport5060

Max-Forwards: 70

Expires: 610000

P-Access-Network-Info: 3GPP-E-UTRAN-FDD;utran-cell-id-3gpp=3802222222

From: <3802222222@ims.mnc410.mcc310.3gppnetwork.org>;tag=cVKbrkhG0L

To: <3802222222@ims.mnc410.mcc310.3gppnetwork.org>

Call-ID: 5PC5dBCGDQ0csFmFPQXQjE57

Supported: 100rel,path,replaces

User-Agent: iPhone

Content-Length: 0

З'єднання встановилось. На рисунку 5.5. вказаний приклад обміну між двома абонентами, одночасно зареєстрованих в мережі IMS

5.4. Особливості впровадження послуги VoWiFi на мережі операторів зв'язку із використанням концепції IMS

VoWiFi (Voice over WiFi) – інноваційний сервіс, також відомий як WiFi Calling, котрий дозволяє абонентам виконувати голосові та відеовиклики з будь-якої точки світу, маючи тільки доступ до точки доступу Інтернет. В якості ядра, як і у випадку VoLTE, використовується IMS.

До основних переваг послуги VoWiFi відносяться: можливість виконувати виклики завжди і будь-де, де є вихід до мережі Інтернет, підключення до послуги з будь-якого пристрою, покращена якість зв'язку.

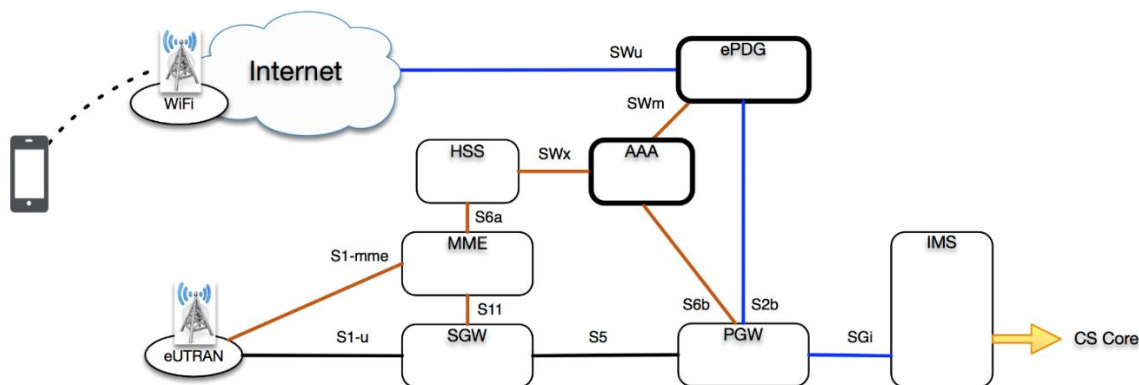


Рисунок 5.5. Узагальнена схема мережі з підтримкою послуги VoWiFi

Принциповою відмінністю структури мережі IMS виступає поява двох структурних блоків – AAA та ePDG.

При будівництві та експлуатації мережі важливо забезпечити контроль над тим, хто має до неї доступ. Тому важливо забезпечити чіткі правила доступу із можливістю запобігти несанкційному доступу до мережі. AAA (Triple-A, Authentication, Authorization and Accounting) – ключовий функціональний елемент, на меті якого дві основні функції: адміністрування мережевих функцій та керування доступом.

Аутентифікація – визначення особистості того, хто намагається підключитись до мережі.

Авторизація – перевірка прав доступу. Наприклад – тільки право на читання існуючої конфігурації обладнання, або – й на модифікацію.

Облік – паралельна процедура з аутентифікацією та авторизацією. Запис всіх вхідних, вихідних запитів.

На практиці процедура AAA-процесу виглядає наступним чином:

1. Абонент підключається до пристрою доступу і вводить свої облікові дані;
2. Шлюз, к котрому відбувалось підключення, формує та посилає запит на аутентифікацію до AAA-серверу та очікує на відповідь;
3. AAA-сервер формує та надсилає відповідь на шлюз;
4. Якщо аутентифікація була вдало пройдена, то пропуск до мережі абоненту буде надано, якщо ні – заборонено;

5. В наступних засобах всі запити від абонента будуть транслюватись до мережі IMS через AAA-сервер, в тому числі – і дані для тарифікації.

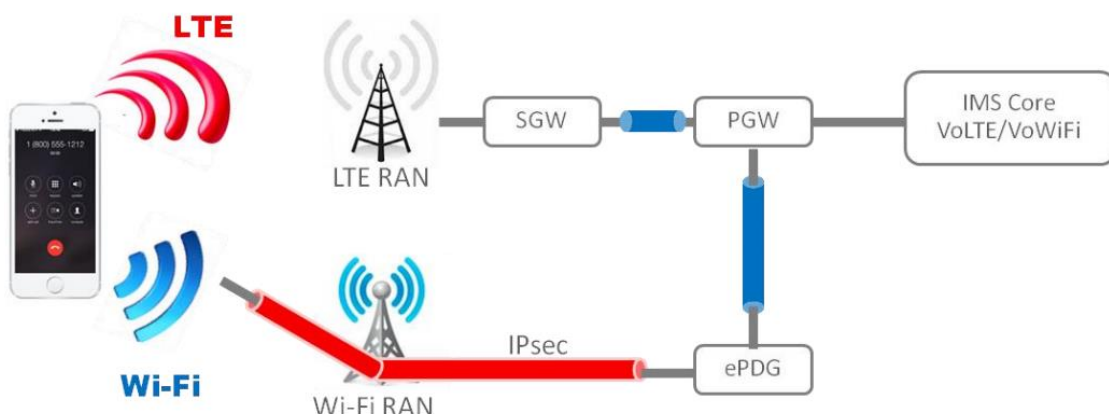


Рисунок 5.6. Узагальнена схема VoWiFi-виклику

Другий по важливості компонент, необхідний для технічної реалізації послуги VoWiFi виступає ePDG (evolved Packet Data Gateway) – ключова проміжна ланка між обладнанням користувача та мережею оператора зв'язку, до котрого встановлюється захищене IPsec-з'єднання.

При підключенні абонентів через незахищені мережі вкрай важливо забезпечити механізм своєчасної аутентифікації користувача і запобігти підключення до активного сеансу зв'язку третіх осіб. Саме задля цього на мережі ключових операторів і використовується ePDG.

Основний функціонал шлюза ePDG:

1. Аутентифікація та авторизація користувачів за бази IPsec-тунелювання, використання APN;
2. Передача ідентифікатора PGW у випадку статичного призначення;
3. Передача тунелей і QoS між S2b зв'язками і мережею доступу;
4. Маршрутизація пакетів на лінії вниз у напрямі тунелю, пов'язаного з PDN-підключенням, в тому числі – маркування транспортних пакетів.

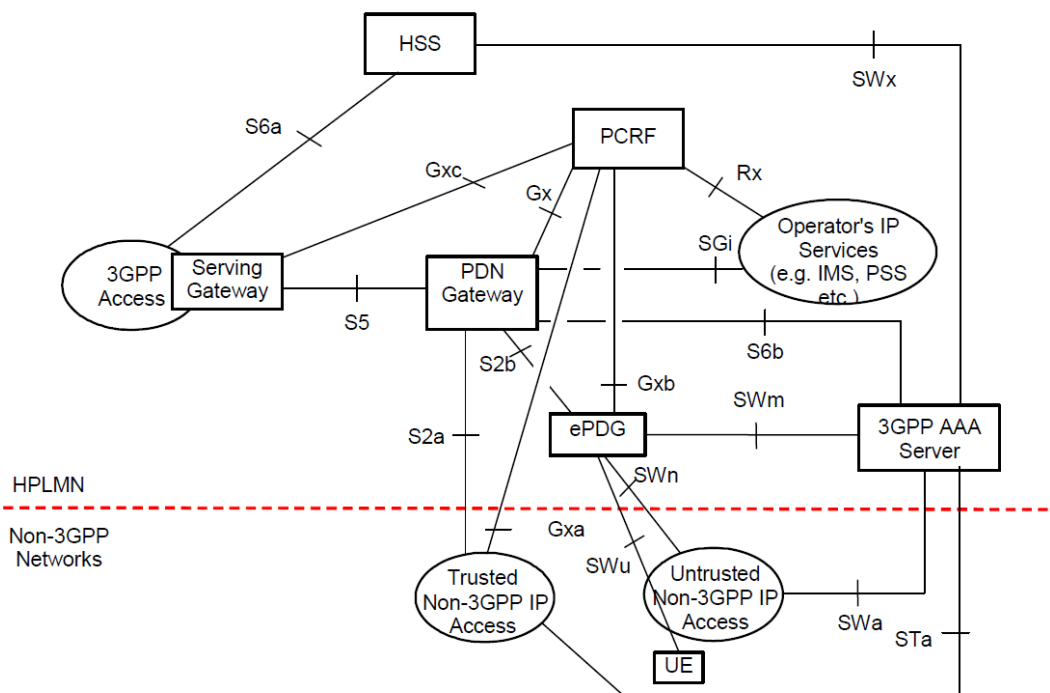


Рисунок 5.7. Високорівнева архітектура доступу до мережі зі вказанням інтерфейсів взаємодії

Основні інтерфейси взаємодії:

1. SWu – інтерфейс між терміналом абонента та ePDG, через котрий підтримується та обробляються IPsec тунелі;
2. S2b – відповідає за передачу даних користувачів, встановлення, скасування голосової сесії;
3. SWa, SWm – інтерфейси між недовіреною мережею чи вузлом ePDG з AAA. Використовується для передачі даних аутентифікації, авторизації і тарифікації.

На рисунку 5.11 вказана процедура автоматичного вибору необхідного ePDG.

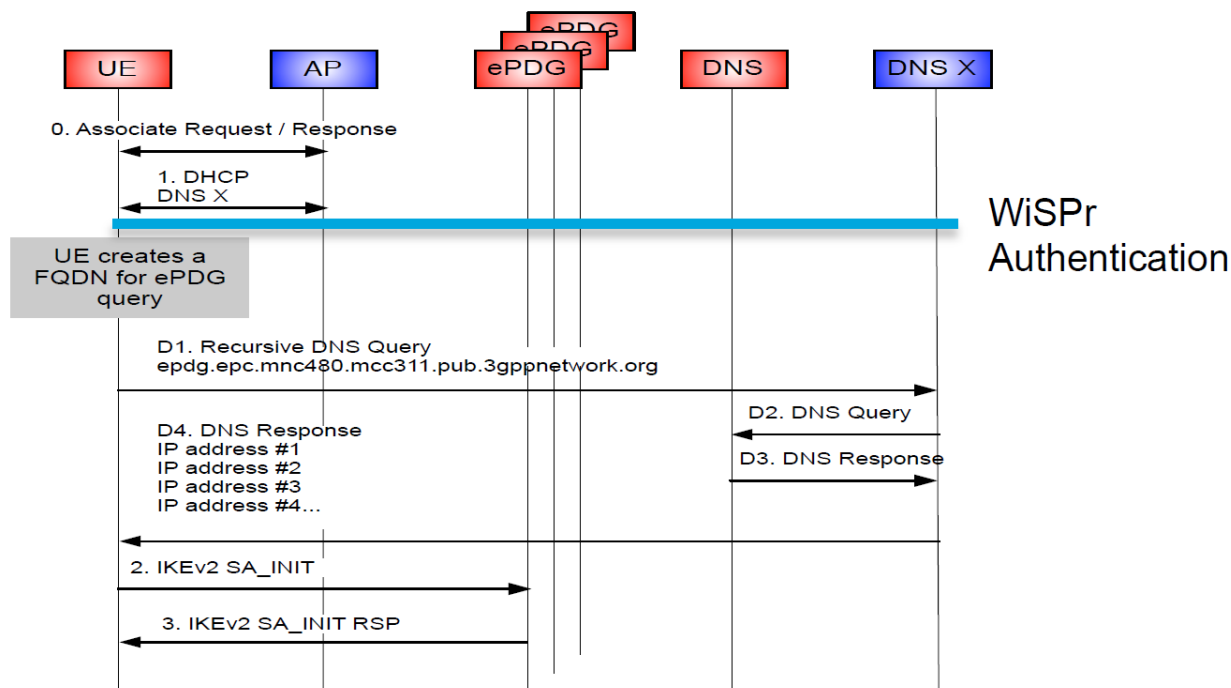


Рисунок 5.8. Процедура вибору ePDG

Процедура вибору ePDG відбувається в три основних етапи:

1. Термінал користувача знаходить повну адресу ePDG: створює повне доменне ім'я і виконує DNS-запит для знаходження необхідного ePDG;
2. Шлюз ePDG обирає сервер AAA: в ePDG формується пара IP-адрес (основна та резервна);
3. Обирається PGW: для даного APN формується повне доменне ім'я у форматі:
 $\langle \text{APN-NI} \rangle . \text{apn.epc.mnc} \langle \text{MNC} \rangle . \text{mcc} \langle \text{MCC} \rangle . 3\text{gppnetwork.org}$.

Важливо також звернути увагу на існуючі сьогодні способи розгортання технології VoWiFi:

1. UMA (Unlicensed Mobile Access) – технологія, котра забезпечує плавний перехід між бездротовими, широкополосними мережами і бездротовими локальними. Для комерції доступна тільки в Північній Америці та деяких країнах Європи. Практично не використовується;
2. Пряме підключення до мережі IMS. Не гарантує, що після виконання хендоверу адреса обладнання користувача не буде змінена. При технічній

реалізацію у операторів мобільного зв'язку виникали складнощі з реалізацією сервісу «єдиний номер».

3. Недовірений доступ до ePDG та IMS – термінали користувачів отримують доступ до мереж 3GPP по інтерфейсу S2b, організований через ненадійні мережі WiFi. PGW – виступає в якості якірної точки для хендоверу. Приклад архітектури мережі, адаптованої до VoWiFi дзвінків по даному способі розгортання мережі вказано на рисунці 5.12.
4. Довірений доступ до EPC та IMS. Термінали користувачів отримують доступ до мереж 3GPP по інтерфейсу S2b, організований через надійні мережі WiFi. PGW – виступає в якості якірної точки для хендоверу. Але не підтримується 3GPP.
5. OTT (Over the Top) – сервіси, що дозволяють по мережам передачі даних без прямого контакту з оператором передавати на пристрій користувача контент. Для входу потрібні логін та пароль. Доступ виконується через додатки на екрані Viber, Skype, без гарантії забезпечення цілісності сервісів VoLTE, VoWiFi.

Найбільше розповсюдження серед операторів мобільного зв'язку набули 2, 3 та 4 способи розгортання VoWiFi.

В зв'язку з тим, що загальнодоступні термінали користувачів, зазвичай, не підтримують процедуру хендоверу між VoWiFi до VoLTE, пряме підключення до мережі IMS не є доцільним і не використовується операторами зв'язку при введенні в експлуатацію IMS.

5-ий тип, передача даних без прямого контакту, також не набув великого розповсюдження у зв'язку з відсутністю засобів забезпечення конфіденційності даних та безпечного з'єднання.

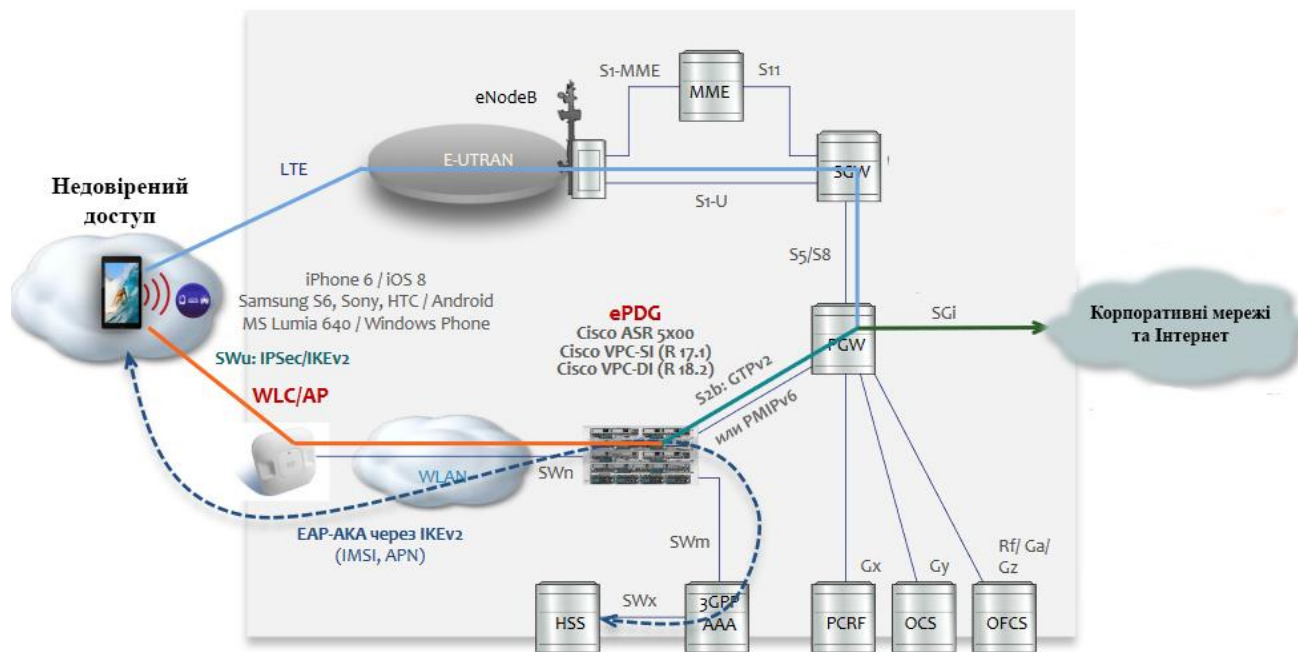


Рисунок 5.9. Недовірений доступ до ePDG та IMS

На кінець 2019 року найбільше розповсюдження технології VoWiFi та VoLTE отримали в Північній Америці, Японії, Австралії і деяких країнах Європи. В Україні же дані технології можуть бути практично реалізовані як мінімум в 2020 році, так як наразі опеатори мають вирішити як реалізувати: оперативне, своєчасне перенесення екстрених викликів з мережі LTE до мережі з комутацією пакетів, створення «єдиного номеру» - коли один номер клієнту може бути використаний не тільки для голосового виклику, але й передачі факсу, зображень, підключень додаткових послуг по спеціальному VoIP-ідентифікатору голосового виклику.

VoIP-ідентифікатору має структуру: 1.2.3.4.5.2.1.9.2.4.5.3.4@e164.arpa. До одного ідентифікатору може бути підключено декілька значень. Наприклад, коли в повідомленні INVITE від абонента А до абонента Б надходить інформація про необхідність передачі зображення – то обладнання оператора зв'язку має змогу автоматично звернутись до VoIP-ідентифікатору клієнта і обрати спосіб відправки повідомлення не тільки на сам номер телефону, а на електронну пошту.

4. Термінал абонента Б формує відповідь на отриманий запит «183 (Session Progress)» ;
5. P-CSCF ідентифікує про те, що отримане повідомлення є відповіддю на INVITE, видає свою адресу із заголовку Via;
6. Термінал абонента А, отримавши відповідь «183 (Session Progress)» від терміналу абонента Б, зберігає список хопів за адресу пристрою, з котрим відбувається обмін.

В подальшому, коли будь-якому із терміналів користувачів буде необхідно надіслати запит в рамках існуючої сесії, копіюється список хопів – забезпечується ідентичність для всіх наступних повідомлень.

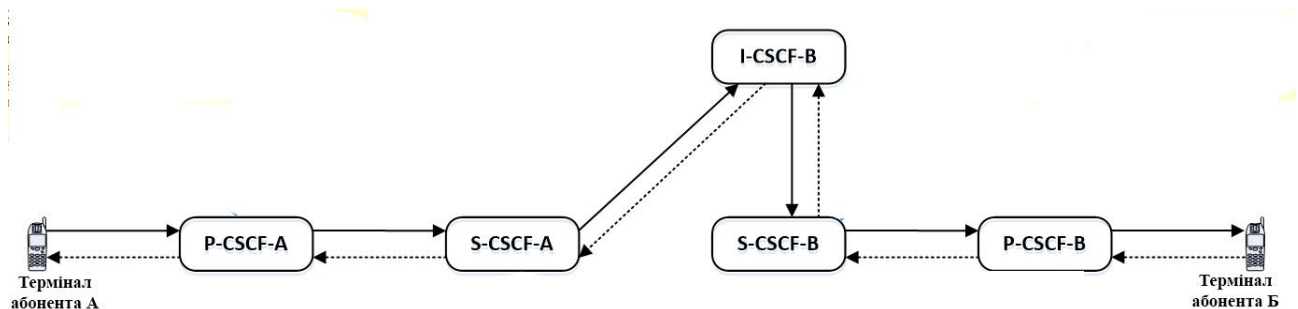


Рисунок 5.11. Принцип маршрутизації виклику між двома абонентами IMS

Основною вимогою при інтеграції послуги VoLTE на мережі операторів зв'язку є забезпечення збереження активної голосової сесії навіть у випадку різкого погіршення радіоумов. Процедура безшовного переходу сеансу зв'язку з мережі IMS до CS Core називається SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity). Вперше технологія була визначена в 3GPP Release 8 й передбачає можливість переведення екстрених або декількох одночасних викликів до мережі з комутацією пакетів, а для інтеграції сервісу необхідне виділення додаткового серверу додатків SCC AS – серверу централізованих функцій і продовження сервісу, на котрий створюється спеціальна підписка для всіх IMS-користувачів. Мережева структура технології SRVCC зображена на рисунку 5.7.

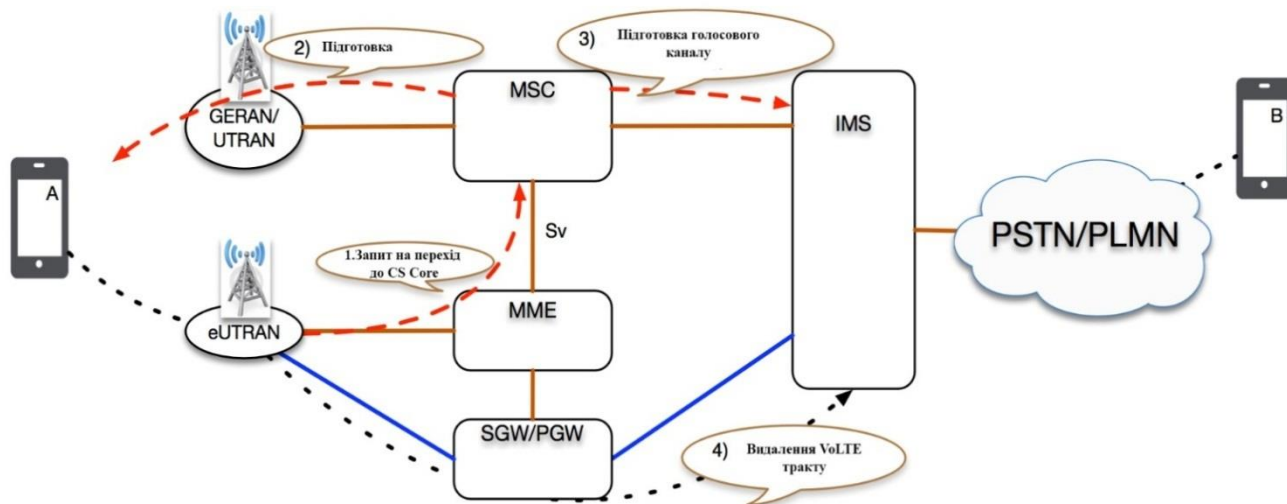


Рисунок 5.12. Мережева структура реалізації процедури SRVCC

На відміну від CS Fallback (коли абонент зареєстрований в мережі LTE і, отримавши вхідний виклик, термінал має повернутись до CS Core), активне голосове з'єднання вже встановились в мережі LTE, але у зв'язку з погіршенням умов, сесія має перейти на рівень нижче.

То ж, до головних переваг технології VoLTE належать:

1. Одночасне використання мобільного інтернету та виконання голосового виклику;
2. Відсутність жорсткої прив'язки до полоси передачі даних;
3. Поява можливості виконання відео-дзвінків;
4. Відсутність необхідності переходу активного голосового виклику до мережі попереднього покоління.

ВИСНОВКИ

Дослідивши особливості віртуалізації мережевих функцій білінгових систем операторів зв'язку, принципи функціонування технологій SDN та NFV було виконано:

1. Аналіз технологій віртуалізації мережевих функцій та програмного керування мережами та визначено, що впровадження технології NFV є ефективним методом вирішення сучасних завдань та підвищення гнучкості мережі.
2. Розглянуто основні існуючі підходи та рішення щодо застосування технології NFV, які можуть бути використані у контексті підвищення ефективності функціонування ресурсів білінгової системи оператора мобільного зв'язку та встановлено що на сучасному етапі відсутні комплексні підходи та методи застосування віртуалізації у площині EPC.
3. Запропоновано метод організації ресурсів ядра мобільних мереж EPC, який полягає у віртуалізації значної частини функцій, які відповідають за забезпечення виконання білінгових операцій, та уніфікації обладнання, що здійснює фільтрацію трафіку, що дозволяє підвищити гнучкість керування мережею мобільного зв'язку.
4. Розроблено математичну модель для аналізу ефективності запропонованого методу організації віртуалізованих ресурсів EPC та програмну реалізацію у вигляді імітаційної моделі у середовищі GPSS World.
5. В результаті моделювання визначено, що запропонований метод організації віртуалізованих мережевих функцій EPC зменшує середню тривалість обслуговування з'єднання абонента, а, отже, підвищує ефективність використання ресурсів оператора зв'язку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Барсков А. SDN: кому і для чого потрібно / А. Барсков // Журнал мережевих рішень LAN. — 2013. — No. 12. — С. 14–19.
2. Смел'янський Р.Л. Програмно-конфігуровані мережі / Р.Л. Смел'янський // Відкриті мережі. СУБД. — 2012. — No. 9. — С. 25–29.
3. Мекновал М. Openflow: Доступні інновації у віртуалізованих мережах / М. Мекновал, Т. Андерсон // SIGCOMM Огляд комп'юторної комунікації. — 2008. — Vol. 38, no. 2. — С. 69–74.
4. Лара А. Мережеві іновації використовують // IEEE А Підручник — Vol. 16 — С. 1–20.
5. Хельдіс Є. Програмно-конфігурована мережа // Європейський воркшоп по програмно-конфігурованим мережам, 25–26 жовтня 2012, Дармстанд, Німеччина. — Дармстанд, 2013. — С. 91–96.
6. Хан Б. Віртуалізація мережевих функцій: Можливості для інноваційних послуг // IEEE Підручник. — 2015. — Vol. 53, поле 2. — С. 90–97.
7. Гольдштейн А. Віртуалізація функцій віртуалізації: NFV&OSS / А. Гольдштейн, С. Бакін // Технології і мережі зв'язку. — 2014. — No. 4. — С. 56–58.
8. Чойзі М. Мережеві функції віртуалізації: Репрезентація операторських підходів до віртуалізації мережевих функцій // SDN і OpenFlow Міжнародний конгрес, 15–17 жовтня 2013, Франкфурт, Німеччина. — Франкфурт, 2013. — С. 1–16.
9. Кеннеді М. NFV – можливість кардинальної зміни мереж операторів зв'язку / Кеннеді М. // ACG Журнал. — Режим доступу: <http://www.fiercetelecom.com/story/nfv-opportunity-change-network-operators>

10. Мота Р. CapEx Фокус на Edge Сегменті / Мота Р // АСG журнал—
Режим доступу: <http://acgsc.com/carriers-capex-focuses-on-edge-segment>. — Дата доступу: 01.10.19. — АСG журнал.
11. Давнос А. Переваги RAN віртуалізації в C-RAN мобільних мережах / Давнос А., М. Маріна// Третій європейський воркшоп по Програмно-конфігурованим мережам, 1–3 Вересня 2014, Будапешт. — Будапешт, 2014. — С. 103–108.
12. Венугроль М.. Cisco NFV пропозиції для Cisco Evolved Services Platform / Венугроль М.. // Cisco Knowledge Мережева презентація. — Режим доступу:http://www.ciscoknowledgenetwork.com/files/458_09-03-14-Cisco_NFV_Solution_for_CKN-Final_rev3.pdf. — Дата доступу: 2.04.15. — Cisco Knowledge Network.
13. Феранті М. HP розробки для мережевої віртуалізації із OpenNFV / Феранті М. // IDG Consumer & SMB. — Режим доступу: <http://www.pcworld.com/article/2100661/hp-makes-play-for-network-virtualization-with-opennfv-program.html>. — Дата доступу: 5.02.18. — IDG News Service, New York.
14. Раз Дж. Бодком Launches відкриті NFV платформи і Multiple SoC / Раз Дж. DataCenterKnowledge.—Режим доступу: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2014/02/21/broadcom-launches-open-nfv-platform-and-multiple-socs>. — Дата доступу: 3.04.15. — Data Center Knowledge.
15. Паркер Т. Alcatel-Lucent, Huawei пропозиції по розвитку NFV / Паркер Т. // Fierce Технічний журнал. — Режим доступу: <http://www.fiercewireless.com/tech/story/alcatel-lucent-huawei-tout-their-respective-nfv-roadmaps/2014-02-19>. — Дата доступу: 3.04.15. — Fierce Wireless Tech Journal
16. Сама М. Програмно-конфігурований контроль за віртуалізованим пакетним ядром / Сама М. // IEEE Журнал. — 2015. — Vol. 53, абзац 2 — С. 107–115.
17. Джозеф Ф. Динамічний розвиток мобільної мережі доступу для ефективного використання ресурсів / Юслаф Ф, Дж. Лесман // 2013 Міжнародна

IEEE телекомунікаційна конференція, 9–13 червень 2013, Будапешт. — Будапешт, 2013. — С. 3602–3606.

18. Квін П. Створення сервісних платформ на існуючих мережевих архітектурах // IEEE Журнал.

19. Рамні М. LTE та еволюція до 4G мережі: Дизайн та перспекти ви розвитку телекомунікацій/ М. Рамні. — 2 частина — Нью Йорк: Джон Вільям та Енд, 2013.

20. Тихвінський В.О. Мережі мобільного зв'язку LTE: технологія та архітектура / В. О. Тихвінський, С. В. Терентьєв, А. Б. Юрчук. — М.: Еко-Трендз, 2010.

21. Гавриш С.А. Охорона праці в галузі телекомунікацій: підруч. С.А.Гавриш, — К. : НТУУ «КПІ», 2011. — 220 с.

22. Магістерська дисертація «Застосування технології NFV для ефективного використання ресурсів білінгової системи оператора зв'язку» НТУУ «КПІ», 2015.

23. Скулиш М.А. «Метод організації функції контролера SDN «Нескінченний потяг»», НТУУ «КПІ», 2016р.

24. Електронний ресурс: Состав системы DPI.
<https://vasexperts.ru/blog/sostav-sistemy-dpi/>

25. Скулиш М.А. «Моделі та методи керування обслуговуванням гібридних сервісів в телекомунікаційному середовищі з використанням хмарних ресурсів» НТУУ «КПІ», 2019р.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ