

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BS	Базова станція
CN	Базова мережа
eMBB	Розширений мобільний широкосмуговий доступ
eNB	Вдосконалений вузол
IoT	Інтернет речей
IMS	Специфікація передачі мультимедійного трафіку
IP	Інтернет протокол
LTE	Довготривалий розвиток
MVNO	Віртуальний оператор
NFV	Віртуалізація мережевих функцій
RAN	Мережа радіодоступу
RRC	Управління радіоресурсами
QoS	Якість обслуговування
SDN	Програмно-конфігуруюча мережа
SGW	Обслуговуючий шлюз
VNF	Віртуалізовані мережеві функції
АСУ	Автоматизована система управління
БД	База даних
ДК	Дистанційне керування
РП	Робочий простір
ІТ	Інформаційні технології
ПЗ	Програмне забезпечення
САПР	Система автоматизованого проектування
ЦОД	Центр обробки даних

ВСТУП

Актуальність дослідження. В даний час стільниковий зв'язок є одним з найбільш динамічних напрямків телекомунікаційного ринку. Розширення спектру послуг та їх інтерактивність призводить до ускладнення процесу перерозподілу мережевих ресурсів, збільшення ресурсів, які необхідно виділяти на обслуговування та обробку заявок різних типів, що надходять до системи. Тому питання оптимального використання технічних засобів використовуючи різні підходи побудови мережі є актуальною задачею. Одним з перспективних напрямків є застосування технологій віртуалізації при проектуванні сучасних телекомунікаційних мереж.

Стрімке зростання клієнтського трафіку в мережах мобільного зв'язку, зміна його характеру і структури потребують безперервного і значного збільшення пропускної спроможності цих систем. Технології радіоінтерфейсів практично досягають теоретичних меж каналної пропускної здатності, і наступним шляхом для підвищення ємності мережі є просторове ущільнення та вдосконалення методів управління розподілом радіоресурсу. Для досягнення більшої продуктивності мережі запропоновано використовувати технологію віртуалізації

Віртуалізація мереж мобільного зв'язку є складовою частиною загального глобального процесу віртуалізації. Вона дозволить операторам:

- масштабувати мережі і необхідні частотні ресурси;
- перерозподіляти частотні ресурси між собою;
- ефективно використовувати частотні ресурси.

Крім цього, віртуалізація може скоротити необхідну кількість обладнання в мережі операторів мобільного зв'язку, що, в свою чергу, знизить споживання енергії, а також зменшить загальні інвестиції, необхідні мобільним операторам для побудови власної мережевої інфраструктури.

Використання віртуалізації є досить перспективним. З одного боку підвищується продуктивність користувальницької площини, а з іншого боку- допомагає операторам створювати абсолютно нові мережеві архітектури та бізнес-моделі, відкриваючи нові можливості для ринку і досягнення успішних цифрових перетворень.

Тому, перед операторами мобільного зв'язку постає задача організації віртуалізації мережі, що дозволять ефективно використовувати та перерозподіляти наявні ресурси, а також зможуть динамічно реагувати на зміни потреб клієнтів.

Таким чином, мета магістерської роботи, яка присвячена дослідженню підвищення ефективного функціонування безпроводової мережі зв'язку за допомогою віртуалізації складових компонентів мережі є своєчасною та актуальною.

Для виконання поставленої мети у роботі досліджено та вирішено наступні завдання:

- Проаналізований сучасний стан розвитку мереж безпроводового зв'язку;
- Досліджено особливості застосування технологій віртуалізації при проектуванні сучасних телекомунікаційних мереж;
- Виконано розрахунок ефективності роботи віртуальних компонентів мобільної мережі;
- Досліджено технічні особливості програмної реалізації моделі обслуговування з'єднання із застосування віртуалізованих компонентів мережі.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення полягає в тому, що отриманий результат дослідження дозволяє підвищити продуктивність безпроводової мережі зв'язку шляхом переходу до віртуалізованої мережі зв'язку. Результат може бути використаний для планування та моделювання телекомунікаційних безпроводових мереж.

Апробація результатів. Основні положення в результаті магістерської роботи доповідались і обговорювались на 2-х науково-практичних конференціях.

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Оцінка сучасного стану розвитку ринку мобільного зв'язку в Україні

В сучасних економічних умовах визначальним фактором прискорення економічного зростання є розвиток інформаційного простору та, зокрема, телекомунікаційної галузі. Саме активізація процесів інформатизації суспільства забезпечує перехід до нового типу економічних відносин, орієнтованих на інтереси людей, де головну роль відіграють телекомунікації, і, зокрема, мобільний зв'язок. Сталий розвиток інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури є найважливішою передумовою для підвищення конкурентоспроможності економіки та інтеграції України у глобальне інформаційне суспільство, дозволяє розширити можливості людини отримувати доступ до національних та світових інформаційних ресурсів, поліпшити умови та якість життя [1].

Ринок мобільного зв'язку впродовж останніх років залишається таким сегментом галузі зв'язку, що найбільш динамічно розвивається (рис. 1.1). Основними сегментами на ринку послуг зв'язку залишаються мобільний, телефонний фіксований та комп'ютерний зв'язок, спільна частка яких у загальних доходах від надання послуг зв'язку за підсумками 9 місяців 2018 року склала 83%. Доходи від надання послуг мобільного зв'язку та комп'ютерного зв'язку демонструють тенденцію до збільшення протягом останніх чотирьох років (рис. 1.1.), так доходи від надання послуг комп'ютерного зв'язку зросли на 20,8%, а доходи від послуг мобільного зв'язку зросли на 7,2% у період з 2015 по 2017 роки. Спостерігається також зростання доходів від послуг мобільного зв'язку за 9 місяців 2018 року у порівнянні з аналогічним періодом 2016 року на 1,8%, що свідчить про позитивну динаміку зростання цього сегменту галузі зв'язку. У 2017 році доходи від надання послуг мобільного зв'язку склали 33205,6 млн. грн., збільшившись порівняно з попереднім періодом минулого року на 5,2%. При цьому за 9 місяців 2018 року цей показник склав понад 76% від загальнорічного показника у 2017 році.

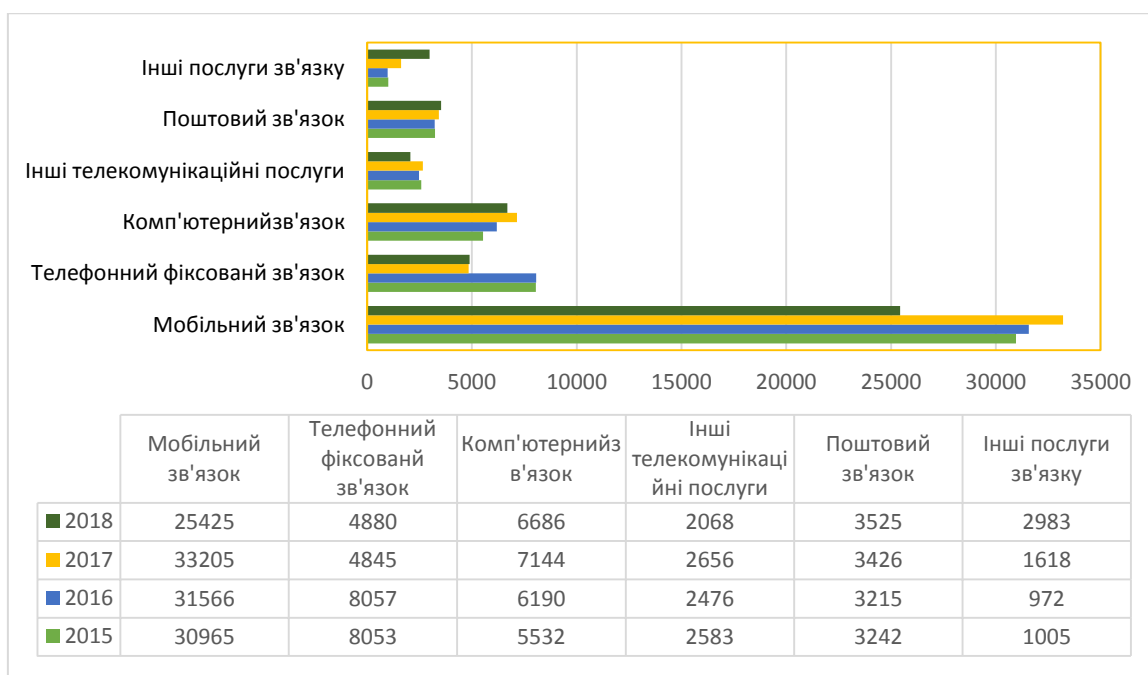


Рисунок 1.1. Динаміка доходів від надання різних видів послуг зв'язку за 2015-2018 рр.1 , млн. грн.

Серед найбільш доступних для споживачів послуг в останні роки були послуги мобільного зв'язку, а також послуги широкопasmового доступу до Інтернету. Структуру доходів від надання телекомунікаційних, поштових та кур'єрських послуг за 9 місяців 2018 року представлено на рисунку 1.2. Структуру телекомунікаційної галузі, як і в попередні роки визначає ринок мобільного зв'язку рисунок 1.2. Зокрема частка доходів від надання послуг мобільного зв'язку склала 56% за 9 місяців 2019 року, при цьому частка доходів від надання послуг фіксованого телефонного зв'язку становила всього 11%. В загальній структурі доходів від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку найбільшу частку - 99,9% складають доходи від надання послуг стільникового зв'язку, збільшення обсягу яких у 2019 році відбулось на 5,2%, що призвело до збільшення загальної суми доходів від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку. За даними державної служби статистики України питома вага доходів від надання послуг мобільного зв'язку у загальному обсязі доходів від надання телекомунікаційних послуг у 2019 році склала 65,3%, що на 0,1% менше ніж у 2018 році.



Рисунок 1.2. Структуру доходів від надання телекомунікаційних послуг

Достатньо низька частка доходів від надання Інтернет-послуг на рівні 15% пояснюється зростанням обсягів мобільного Інтернет-трафіку. За даними Національної комісії, що здійснює регулювання у сфері зв'язку та інформатизації за 2018 рік територія покриття мережами 3G збільшилась приблизно у 5 разів та дорівнює території таких країн, як Австрія, Швейцарія та Бельгія разом взятих. Зростання кількості кінцевих абонентських пристроїв, які працюють під управлінням операційних систем (смартфонів, планшетів), створило умови для зростання попиту споживачів на інформаційно-телекомунікаційні послуги з використанням високошвидкісних широкосмугових технологій радіодоступу та до значного збільшення обсягів мобільного Інтернет-трафіку. Протягом 2018 року суттєво зросли телекомунікаційні ресурси мереж у зв'язку із широким впровадженням на мережах рухомого (мобільного) зв'язку радіотехнологій третього покоління (3G). Динаміка кількості абонентів мобільного зв'язку за період 2015-2018 рр. відображена на рисунку 1.3.

Кількість абонентів мобільного зв'язку за 9 місяців 2018 року склала 57456,5 тис. осіб, що на 5,4% менше ніж у 2018 році рисунок 1.3. Спостерігалось зменшення кількості абонентів мобільного зв'язку у 2017 на 0,7% або на 450,1 тис. осіб у порівнянні з 2016 роком.

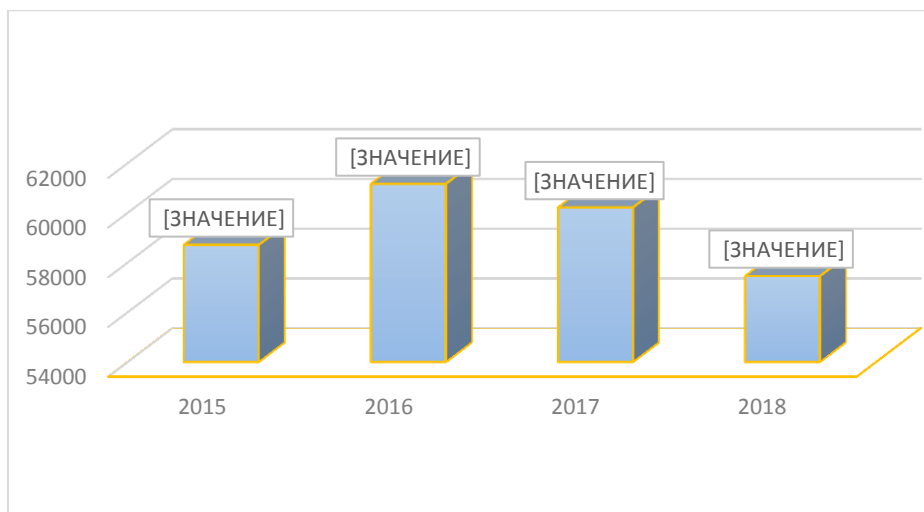


Рисунок 1.3. Динаміка кількості абонентів мобільного зв'язку у 2015-2018 рр. та забезпеченість населення мобільним зв'язком у розрахунку на 100 жителів

При цьому у 2016 році, порівняно з 2015 роком кількість абонентів мобільного зв'язку зросла на 2458,5 тис. осіб, або на 4,2%. Кількість абонентської бази мобільного зв'язку може зрости за рахунок розробки нової послуги переносимості телефонних номерів (MNP), тобто можливості абоненту переходити від одного оператора до іншого, не змінюючи свій номер (за планом запуск цієї послуги було намічено на другу половину 2018 р.) [6]. Аналогічну тенденцію до зростання демонструє показник забезпеченості населення мобільним зв'язком у розрахунку на 100 жителів, який у 2018 році склав 134,8%, що свідчить про високий рівень забезпеченості населення мобільним зв'язком. За даними державної служби статистики України найнижчі показники забезпеченості населення мобільним зв'язком на 100 жителів спостерігаються у Тернопільській області 86,1 та Хмельницькій області 86,9, водночас, найбільші показники забезпеченості у м. Києві 229,8, у Донецькій області 163,78, та Харківській області – 163,2. Місткість ринку послуг мобільного зв'язку у 2018 році складає 57,4 млн. осіб. Частка ринку компанії «Київстар» становить 44% абонентів (25,3 млн. абонентів). При цьому частка ринку найближчого конкурента компанії «ВФ Україна» становить 36% абонентів (20,7 млн. абонентів) табл. 1.1. Станом на 1 квітня 2018 року, кількість активних SIM-карток в Україні зменшилась порівняно з 2017 роком на 3,6 млн. і становила 57,1 млн штук, таким чином рівень проникнення мобільного зв'язку в Україні становив 133% [7]. Це зумовлено популярністю

мобільних телефонів з 2-ма SIM -картками. Крім мобільних телефонів сім-картки використовуються також в інших пристроях, які потребують зв'язку для передачі даних чи їх віддаленого керування (наприклад різноманітні промислові датчики, сигналізації, термінали, тощо).

Таблиця 1.1

Оператори мобільного зв'язку в Україні

Оператор	Технології	Кількість абонентів, млн.	Частка ринку
Київстар	GSM,UMTS,LTE	25,3	44%
ВФ Україна	GSM,CDMA,UMTS,LTE	20,7	36%
Lifecell	GSM, UMTS,LTE	9,7	16,9%
Інтертелеком	CDMA	1,313	2,3%
Інші оператори	GSM,CDMA,UMTS,WiMax		0,8%

Основними операторами є Київстар, ВД Україна та Lifecell, які разом займають понад 96% ринку мобільного зв'язку в Україні. Розглянемо основні тарифи 3G для щоденного використання з невеликим трафіком. У цьому сегменті у кожного оператора є найбільша кількість пропозицій. Тому, щоб не перераховувати всі пакети поспіль, будемо орієнтуватися на середнє споживання середнім споживачем – до 1500 Мб трафіку в місяць. Основними проблемами розвитку ринку мобільного зв'язку є [10]: – погіршення сталості функціонування телекомунікаційних мереж та порушення майнових прав операторів та провайдерів телекомунікацій України на тимчасово окупованих територіях та на територіях – низька ефективність управління телекомунікаційною мережею зв'язку загального користування України, відсутність Національного центру оперативного-технічного управління мережами телекомунікацій України; – нерівномірність забезпечення споживачів телекомунікаційними послугами особливо у сільській, гірській місцевості і депресивних регіонах, у тому числі загальнодоступними телекомунікаційними послугами та послугами широкопasmового доступу до Інтернету; – делегування повноважень органами місцевого самоврядування іншим суб'єктам господарювання (комунальним підприємствам) щодо організації доступу операторів телекомунікацій до об'єктів житлового фонду для розгортання

будинкових розподільних мереж та нав'язування операторам телекомунікацій невластивих їм функцій з утримання елементів інфраструктури житлового фонду; – неврегульованість питання забезпечення недискримінаційного доступу операторів та провайдерів телекомунікацій до елементів інфраструктури об'єктів будівництва, транспорту, електроенергетики.

1.2 Аналіз існуючих проблем в сучасних мобільних мережах

Як і для 3G так і для 4G покоління характерним є використання просторового ущільнення, що дає можливість досягнути більшої продуктивності мережі за рахунок впровадження великої кількості мікро, піко та фемтокомірок та підвищення коефіцієнта перевикористання частотного спектру. Комірки малого розміру являють собою базові станції з меншою потужністю і значно меншим радіусом дії ніж макро базова станція. На теперішній час розгортання мікро комірок відбувається за детермінованим (стаціонарним) методом. Такий метод широко використовується протягом певного часу для планування покриття коміркових систем. Даний методи є ефективними для однорідної топології мережі із фіксованим розміром комірок із врахуванням інтерференції між спільночастотними комірками. Проте, є неефективними для гетерогенних телекомунікаційних мереж, оскільки він використовується тільки моделювання покриття із конкретним розміром комірок. Розгортання мережі в умовах міста із щільною забудовою ускладнюється за рахунок неоднорідності клієнтського навантаження та нерівномірного загасання корисного сигналу, що порушує фіксовану геометричну структуру мережі. Встановлення додаткових базових станцій за гексагональним шаблоном не дає змоги розрахувати оптимальний розмір комірок для забезпечення необхідних вимог до пропускної здатності системи[11,12].

Трафік, який генерують користувачі невпинно зростає. Це зумовлене тим, що ринок постійно оновлюється сучасними девайсами, обслуговування яких вимагає широкосмугового передавання даних. Широкосмуговий доступ забезпечує високу швидкість передавання даних та постійне підключення до інтернету, і можливість як

приймати, так і передавати інформацію на високих швидкостях. На сьогоднішній день широкопasmовою вважають передачу зі швидкістю понад 2 Мбіт/с. Сучасні мережі повинні бути спроектовані з орієнтацією на користувача. Орієнтоване на абонента проектування може бути охарактеризоване, як багатоступінчастий процес вирішення завдань, який вимагає, від проектувальників аналіз передбачення та поведінку користувачів. Головна відмінність проектування на користувача від інших методів проектування полягає у спробі оптимізувати систему таким чином, щоб користувачі використовували її ресурси так як вони хочуть, замість того, щоб змусити користувачів змінити свою поведінку для пристосування до мережі. Одним із методів застосування такого проектування зміна існуючої архітектури і застосування нерегулярного розподілу комірок в мережі.

1.3 Аналіз особливостей застосування віртуалізації як перспективного рішення розвитку мереж мобільного зв'язку

Віртуалізація мереж мобільного зв'язку є складовою частиною загального глобального процесу віртуалізації. Вона дозволить операторам:

- масштабувати мережі і необхідні частотні ресурси;
- перерозподіляти частотні ресурси між собою;
- ефективно використовувати частотні ресурси.

Крім цього, віртуалізація може скоротити необхідну кількість обладнання в мережі операторів мобільного зв'язку, що, в свою чергу, знизить споживання енергії, а також зменшить загальні інвестиції, необхідні мобільним операторам для побудови власної мережевої інфраструктури.

Отже, стратегічними завданнями концепції віртуалізації мережевої інфраструктури є:

- скорочення капітальних і експлуатаційних витрат (Total Cost of Ownership, TCO);
- скорочення енергоспоживання;
- збільшення спектральної ефективності;

- можливість підтримки декількох стандартів радіодоступу на основі відкритої платформи;

- підвищення доходів за рахунок швидкого запуску нових послуг Total Value of Opportunity, TVO);

- підвищення якості обслуговування абонентів.

Віртуалізація може бути реалізована на різних рівнях

- віртуалізація системного зберігання - комплексна система, яка повністю прихована від сервера організацію диска в системах зберігання даних (СЗД);

- серверна віртуалізація - процес скриття ресурсів фізичного сервера і делегування його на декількох віртуальних серверів, які спільно використовують фізичні ресурси і управляються окремими операційними системами. Серверна віртуалізація необхідна для більш повного використання потенціал фізичних серверів;

- мережева віртуалізація - процес об'єднання апаратних апаратів пристрою в логічне середовище. Це дозволяє декільком віртуальним мережам (Virtual Network, VNet) існувати в загальній інфраструктурі відокремлено один від одного.

Найбільше затребувана технологія, які допомагають операторам модернізувати та спрощувати свої мережі, є віртуалізація мережевих функцій (Virtualization Network Functions, NFV) и програмно-конфігуруючі мережі (Software-Defined Networking, SDN). Вони містять ряд переваг, а саме швидкий запуск нових послуг на ринок (TVO), зменшення капітальних і операційних витрат (TCO) і, як результат, підвищує рентабельність бізнесу.

Найважливішою частиною віртуалізації є хмарна платформа рисунок 1.4, що включає наступні основні блоки:

- віртуальні машини;

- розподілені сховища даних (для забезпечення відмовостійкості);

- програмне забезпечення для автоматизації операцій (Наприклад, автоматичний замовлення нового віртуального сервера);

- кластерні системи управління (наприклад, для автоматичного перенаправлення навантаження при виході з ладу одного з обчислювальних вузлів);

- програмні стики (для перенесення віртуальних ресурсів між хмарами).



Рисунок 1.4. Структура хмарних обчислень і модель обслуговування

Іншою складовою хмарної структури є самі хмарні послуги, і їх надання можна описати у вигляді трьох загальних моделей надання послуг в якості інфраструктури, платформи або програмного забезпечення рисунок 1.5.

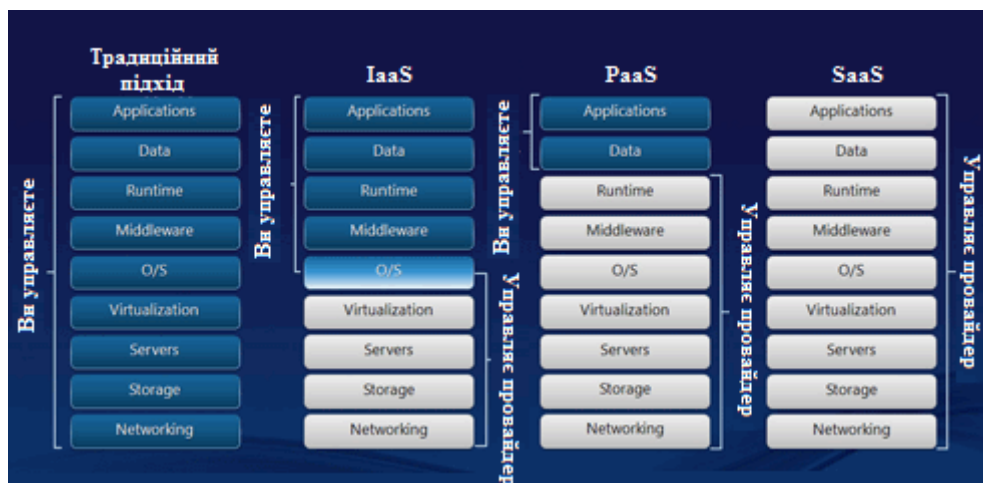


Рисунок 1.5. Моделі обслуговування в хмарних технологіях

Інфраструктура як послуга (Infrastructure-as-a-Service, IaaS) - надання за запитом обчислювальних ресурсів, на яких замовник має можливість розгорнути і

запустити довільне програмне забезпечення, що містить операційні системи і додатки. Ця модель дозволяє замовнику здійснювати контроль над операційними системами і розгорнутими додатками. В

Водночас у нього відсутня можливість управління і контролю лежить в основі даної моделі фізичної інфраструктури.

Платформа як послуга (Platform as a Service, PaaS) - надання хмарної платформи з метою розгортання програмного забезпечення, реалізованого на основі інструментів, підтримуваних хмарним провайдером. У замовника відсутня можливість управління хмарної інфраструктурою (мережеве та серверне обладнання, система зберігання даних, операційні системи). Проте за замовником залишається можливість управління розгорнутими додатками.

Програмне забезпечення як послуга (Software as a Service, SaaS) надання в користування замовнику додатків, розгорнутих на хмарній інфраструктурі провайдера. Додатки можуть бути доступні з різних клієнтських пристроїв. У замовника відсутня можливість управління параметрами роботи і настройки додатків.

Замовник в залежності від власних потреб здійснює вибір відповідної моделі обслуговування, які відрізняються зонами відповідальності і можливістю кастомізації своїх послуг

Зокрема, вибираючи якийсь додаток (модель SaaS), клієнт отримує мінімальну можливість регулювання індивідуальних налаштувань, але управління і обслуговування самої послуги хмарний провайдер здійснює самостійно, що позбавляє замовника від необхідності мати штат технічних фахівців.

Аналіз впровадження програмно-конфігурованої мережі. Основною ідеєю програмно-конфігурованої мережі (Software-Defined Networking, SDN) являє відокремлення площини передачі абонентського трафіку (Data Plane) від площини управління (Control Plane). В SDN функції управління трафіком винесені із мережевих пристроїв на загальний сервер управління, на маршрутизаторах і комутаторах залишені лише налаштування по передачі абонентського трафіку, рисунок 1.6. [13]

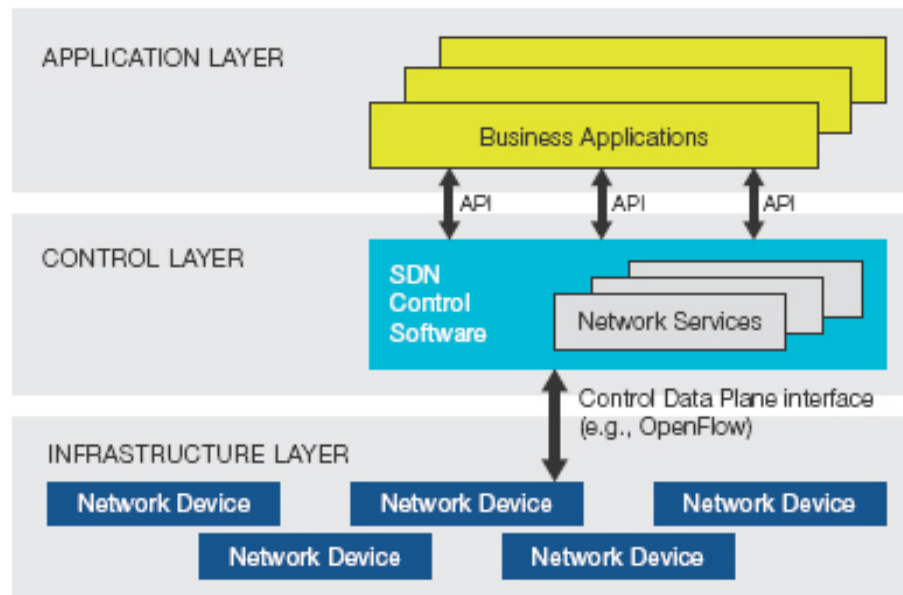


Рисунок 1.6. Структура SDN

Технологія SDN допомагає вирішити безліч завдань. Однак у реалізаціях SDN можуть застосовуватися різні механізми, і згодом їх спектр, ймовірно, стане ще ширше. Безумовно, з'являться нові способи побудови мереж SDN. Швидше за все, будуть створюватися гібридні, комбіновані мережі, де поєднуються нові і традиційні підходи. Згідно з підходами компанії NEC, в основі SDN лежить OpenFlow: цей протокол дозволяє подолати ряд проблем, пов'язаних з масштабуванням, управлінням мережею, обмеженням кількості VLAN. І хоча OpenFlow є єдиним новим стандартизованим протоколом для SDN, ніщо не заважає використовувати старі механізми, наприклад BGP-LS.

Між SDN і OpenFlow можна ставити знак рівності. У даного протоколу є своя ніша (в деяких областях - значна), однак на ринку існують рішення SDN, де OpenFlow зовсім не використовується. Наприклад, в Juniper Networks створено рішення SDN на базі MPLS, тобто замість OpenFlow можна цілком обійтися іншими засобами. Ідеальний комутатор SDN повинен налаштовуватися на довільний протокол і структуру заголовка (не обов'язково TCP/IP). Рішенням цього завдання зараз займаються російські та зарубіжні розробники.

У найближчій перспективі стануть розгортатися переважно гібридні рішення. Більшість комутаторів SDN якраз і передбачають такої гібридний режим, допускаючи

програмне перемикання між SDN і комутацією L2/L3. Тим самим знижуються ризики впровадження нової технології: замовник може повернутися до колишньої інфраструктури і спробувати піти іншим шляхом, наприклад розгорнути рішення NFV з балансувальник навантаження.

Переваги SDN полягають у стандартних відкритих API для мережевих програм і можливості створення операторами власного ПЗ для управління мережею. Дуже важлива екосистема додатків, формованих навколо тієї чи іншої платформи. Конкуренція платформ SDN - це конкуренція екосистем додатків. Саме екосистему оцінюватиме замовник при виборі платформи SDN. Такі екосистеми зараз тільки формуються.

Програмно-конфігуровані мережі вже використовуються для організації ширококутвого доступу в інтернет в науково-дослідних закладах. Тепер же, на думку експертів, ця технологія може стати актуальною і затребуваною в мобільній індустрії.

Головна особливість SDN - це в першу чергу можливість розумної налаштування і оптимізації мобільної мережі.

У зв'язку з тим що при додаванні нових діапазонів частот або нових стандартів зв'язку, таких як GSM, UMTS, LTE, Wi-Fi, складність конфігурації і подальшої оптимізації роботи мережі мобільного ширококутвого доступу зростає в геометричній прогресії, все більшу затребуваність отримують рішення автоматизованого налаштування, оптимізації та моніторингу роботи мережі. Це дозволить операторам знизити витрати і підвищити ефективність роботи технічного персоналу.

Віртуалізація мережевих функцій NFV. Завдання NFV (Network Function Virtualization) полягає в реалізації функції управління мережами і надання послуг програмним шляхом, замість того щоб використовувати спеціалізоване обладнання. Технологія NFV дозволяє декільком замовникам задіяти одну і ту ж мережеву інфраструктуру, що полегшує вихід на ринок віртуальних мобільних операторів (Mobile Virtual Network Operators, MVNO).

Існує можливість віртуалізації як ядра мережі (EPC/SAE), так і мережі радіодоступу (RAN). Оскільки EPC/SAE включає в себе менше число мережевих елементів, його віртуалізація є більш простим рішенням. У свою чергу, віртуалізація RAN, хоча і є найбільш трудомісткий процес, може в кінцевому підсумку забезпечити найбільші вигоди з точки зору ефективності розгортання і управління мережею, наприклад при розгортанні Small Cells, де дане рішення може спростити координацію радіочастотного ресурсу між сотами. Слід зазначити, що найважливішими технологіями з точки зору взаємодії базових станцій між собою є: координована передача і прийом (Coordinated Multipoint, COMP), подвійне з'єднання (Dual Connectivity) і координація перешкод (eICIC).

Архітектура NFV розглянута на рисунку 1.7 [14].

Аналізуючи рисунок 1.7, нижня ліва частина зображення являє собою інфраструктуру NFV (NFVI), яка включає апаратне і програмне забезпечення, які підтримують середовище, в якій VNF розгорнуті, управляються і виконуються. Ця інфраструктура забезпечує необхідні віртуальні ресурси для VNF і може фізично охоплювати кілька місць розташування. Середня ліва частина рисунку містить VNF, які використовують ресурси, надані NFVI. Права частина містить елементи управління і оркестровки. Менеджер віртуальної інфраструктури (VIM) відповідає за контроль/управління ресурсами NFVI. Можуть бути розгорнуті кілька екземплярів VIM. Менеджер VNF відповідає за управління життєвим циклом примірників VNF (створення, налаштування, оновлення, масштабування вгору/вниз, завершення і т. д.). Orchestrator відповідає за організацію і управління ресурсами NFVI, а також за впровадження мережевих сервісів на NFVI.

У верхньому лівому кутку знаходяться OSS / BSS оператора, а також сервіс, VNF і представлення інфраструктури. Останнє містить набір даних з інформацією про шаблон розгортання VNF, пов'язаною з обслуговуванням інформації і інформаційних моделей NFVI. Також є додатковий блок, Service Layer, який представляє, де моделюються сервіси, що надаються кінцевому користувачеві.

1. *Віртуалізовані мережеві функції* (Virtualized Network Functions, VNF). Основою архітектури NFV є віртуалізовані функції мережевих елементів. Зокрема, це

може бути обслуговуючий шлюз мережі LTE (SGW-VNF) або інші мережеві елементи: eNodeB-VNF, PGW-VNF, IMS-VNF і т.п. У більшості випадків під VNF-елементом мається на увазі віртуальна машина або набір віртуальних машин. Система управління елементами (Element Management System, EMS) управляє роботою VNF. Зокрема, управління при відмовах (Fault Management), управління продуктивністю (Performance Management) і інші функції системи управління мережею. Управління VNF від EMS реалізовано за допомогою закритих (proprietary) інтерфейсів.

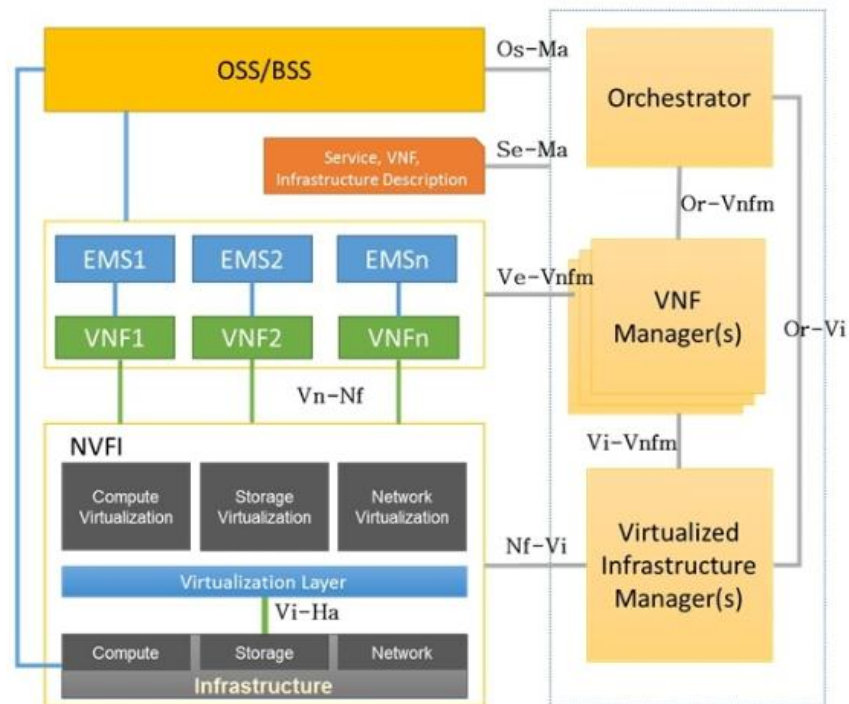


Рисунок 1.7. Архітектура NFV

2. *Інфраструктура NFV* (NFV Infrastructure, NFVI) - інфраструктура, що включає апаратні ресурси, площину віртуалізації і віртуальні ресурси [15].

- апаратні ресурси - складаються з обчислювальних, мережевих іт ресурсів зберігання. Це фізична частина інфраструктури NFVI, на якій відбувається запуск віртуальних ресурсів NFV. Приклади апаратних ресурсів: стандартний комутатор, фізичний сервер, пристрій зберігання та інші фізичні ІТ-ресурси;

- площина віртуалізації - відповідає за абстрагування фізичних ресурсів у вигляді віртуальних ресурсів. На даному рівні знаходиться спеціальна програмна платформа Гіпервізоп (Hypervisor) здійснює відділення програмних засобів від апаратних, тобто дозволяє виконувати запуск програми незалежно від обраного обладнання. Наприклад,

операційна система може функціонувати на будь-якому фізичному сервері який призначений для цієї мети в даний момент;

- віртуальні ресурси - представляють віртуальну частину інфраструктури NFVI.

3. *Управління та оркестрації NFV* (NFV Management and Orchestration, MANO)

містить в своєму складі три функціональних елемента:

- *менеджер VNF* (VNF Manager, VNFM) - керує роботою однієї або декількох VNF, тобто запускає, обслуговує і зупиняє роботу VNF. VNFM може реалізовувати ті ж функції, що і EMS але через референсну точку (VeNf-Vnfm), яка запропонована ETSI в архітектурі NFV. Референсна точка, на відміну від інтерфейсу, визначає взаємодію між функціональними архітектурними блоками, які містять в своєму складі закінчені програмно-апаратні об'єкти;

- *менеджер виртуалізованої інфраструктури* (Virtualized Infrastructure Manager, VIM) - система адміністрування (Management) NFVI. VIM відповідає за управління та адміністрування ресурсів NFVI в рамках одного домена інфраструктури оператора.

Крім цього, VIM виконує збір результатів вимірювань продуктивності і подій.

- *оркестратор NFV* (NFV Orchestrator) - керує всім циклом організації мережевих послуг (функцій) VNF: генерує, обслуговує і припиняє роботу мережевих послуг, а також є ініціатором створення комплексної послуги з великої кількості VNF. Оркестратор NFV також відповідає за управління загальними ресурсами NFVI. Наприклад, він адмініструє ресурси обчислення і зберігання на кількох VIM на мережі. Пряма взаємодія між оркестратором і VNF відсутня, зв'язок реалізована виключно через VNFM і VIM.

Наприклад, існує кілька функцій VNF, в рамках яких організована комплексна послуга. Це може бути віртуальний eNodeB (eNodeB-VNF) або віртуальний домен опорної мережі EPC/SAE

При необхідності створення комплексної («точка-точка») послуги з задіянням кількох VNF оркестратор послуг здійснює взаємодія з усіма VNF.

Отже, ключовим завданням NFV є «оркестрації послуг», тобто виділення віртуальних ресурсів певним послуг за запитом, що дозволяє досягти найбільш

оптимального використання ресурсів устаткування: серверів, систем зберігання даних і мережі [15].

Визначено дві моделі розгортання NFV:

- централізована - розміщення серверів виконано в ЦОД оператора;
- розподілена (Distributed NFV, D-NFV) - віртуалізація мережевих функцій реалізована в будь-якій точці мережі (як в точках присутності оператора, так і навіть на стороні замовника, в клієнтському мережевому обладнанні) [15].

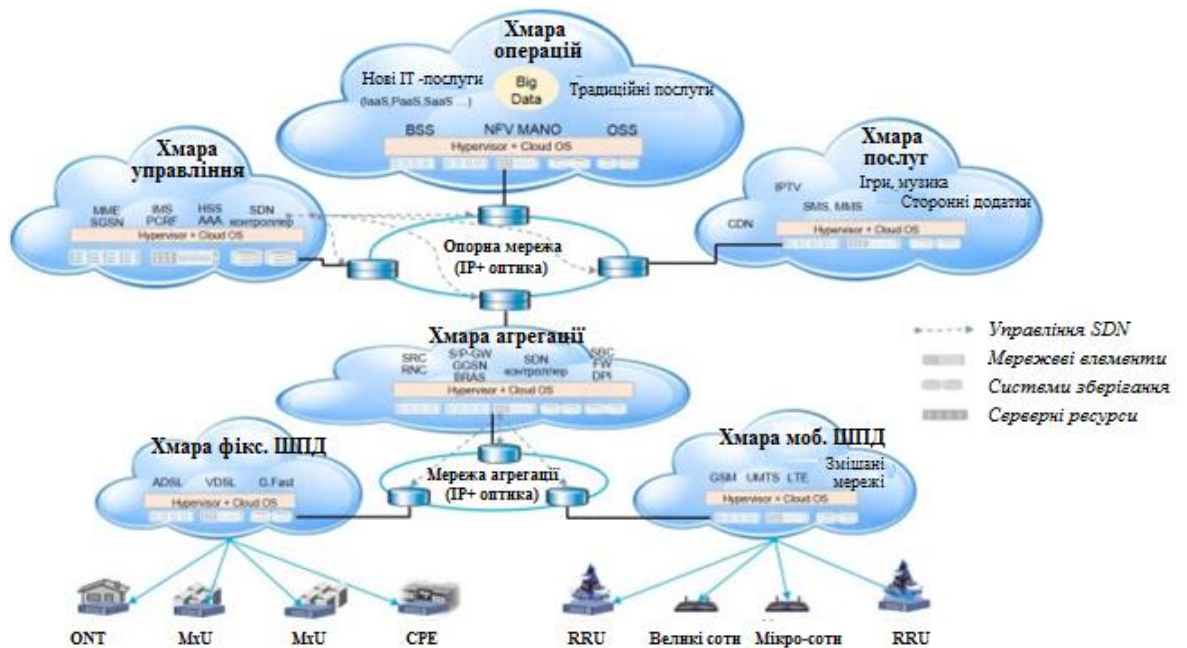


Рисунок 1.8. Узагальнена хмарна архітектура мережі оператора зв'язку на основі NFV/SDN

Узагальнений вид хмарної архітектури мережі оператора зв'язку на базі SDN/NFV наведено на рисунку 1.8 [15].

Особливу увагу слід приділити реалізації хмари мобільного широкопasmової передачі даних (ШПД). До нього відноситься термін «Фронтхолінг» («fronthauling»), що описує транспортування «Сирих» радіосигналів в місця централізованої обробки [16]. Між процесорним блоком і радіопередавачем задіяний стандартизований загальний відкритий радіоінтерфейс (Common Public Radio Interface, CPRI).

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

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

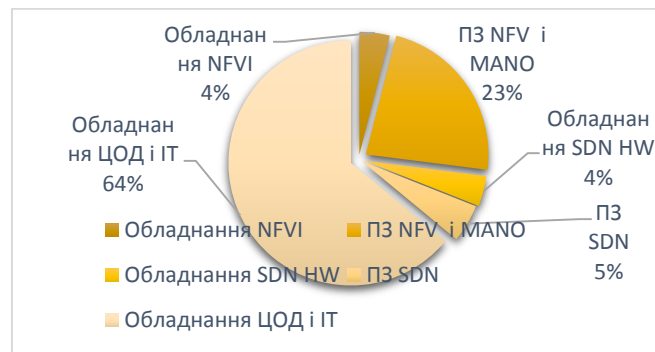


Рисунок 1.9. Витрати операторів на обладнання та комплектуючі, ПЗ для NFV і SDN

З рисунку видно, що лівова частка витрат все одно доводиться на обладнання для дата-центрів і їх інфраструктури. На обладнання і ПЗ безпосередньо для NFV і MANO припадає близько 36% витрат. Однак, якщо піти по шляху розвитку традиційної (апаратної) мережевої інфраструктури (IMS, EPC, OSS / BSS), то витрати будуть в рази, а то й на порядки, більше.

Показовими є результати дослідження, проведеного агентством Heavy Reading на мережі німецького оператора Deutsche Telecom.

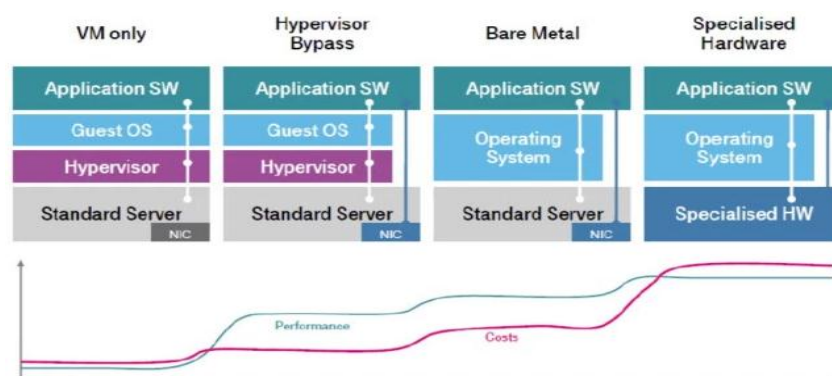


Рисунок 1.10. Оціночна порівняння вартості і продуктивності при різних варіантах віртуалізації і на спеціалізованому обладнанні

Саме тому і впроваджуються технології віртуалізації на основі стандартних (commodity) серверів і систем зберігання, центрів обробки даних, на яких можна віртуалізувати мережеву інфраструктуру, як показано на рисунку 1.9. Такий підхід дає наступні переваги:

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

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

- Стандарти і сумісність. Стандарти NFV ще не до кінця розроблені, що привносить різнобій в Вендорний реалізації, викликає проблеми сумісності реалізацій NFV різних вендорів, а також ризики в стратегіях операторів і сервіс-провайдерів.
- Технічна зрілість. До листопада 2017 року більшість нових NFV-технологій перебували в стані тестування.
- Неясність цінності для бізнесу. Перші комерційні реалізації NFV з'явилися тільки в 2018 р Цінність для бізнесу від реалізації NFV поки лежить в теоретичній площині і реальних підтверджують кейсів все ще недостатньо.
- Проблеми міграції. Міграція традиційної мережевої інфраструктури до архітектури NFV і/або SDN є складною і багатоступінчастою завданням. В даний час оператори і вендори обладнання поки не мають систематичного досвіду подібних переходів і переконливих «історій успіху».
- Проблеми організаційної структури. На даний момент в структурі практично будь-якого оператора зв'язку, департамент інформаційний технологій (IT) та технічний департамент мережі зв'язку оператора організаційно розділені. Тим часом, NFV і SDN

відносяться саме до сфери ІТ. Тому, потрібно не тільки трансформація базової мережі оператора, а й його організаційної структури. А це досить нетривіальна і хвороблива завдання. Однак, після її завершення, як внутрішня корпоративна мережа оператора, так і його базова мережа, матимуть єдину інфраструктуру, що призведе як зниження накладних витрат, так і до підвищення ефективності бізнесу.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ФУНКЦІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

2.1 Віртуалізована архітектура та її види

NF пов'язані з функціональними можливостями управління і призначеною для користувача інформаційною площиною. Деякі з них можуть мати тільки керуючі функції (наприклад, функція виявлення і вибору доступу до мережі - ANDSF), а інші можуть мати обидві (наприклад, Public Data Network Gateway -PGW). При переміщенні NF в віртуалізовану архітектуру існує два можливих загальних підходи рисунок 2.1:

- Комплексний підхід до віртуалізації - всі функціональні об'єкти управління і призначені для користувача площини переміщуються в віртуальні ресурси.

- Частковий підхід до віртуалізації - віртуальні тільки об'єкти функціональної площини управління, а призначений для користувача трафік перенаправляється і обробляється фізичним обладнанням. У цьому підході SDN може зіграти вирішальну роль [17].

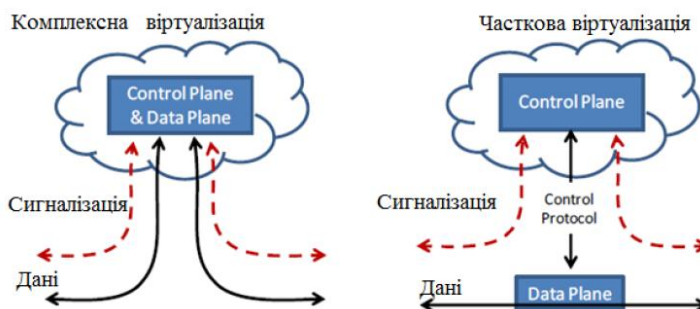


Рисунок 2.1. Представлення комплексної і часткової віртуалізації

Розглянемо більш детально комплексний віртуалізований підхід.

Крім того, рішення про те, які NF для віртуалізації залежить від:

1. Чи може конкретна NF фактично може бути віртуалізована з технічної точки зору (наприклад, чи є апаратні обмеження або обмеження продуктивності);

2. Чи процес і зусилля при цьому приносять реальну цінність, як з економічної, так і з операційної точки зору.

Відповідь на ці питання прокладе шлях до перших розгортань VNF. У цьому сенсі ETSI визначив і почав вивчати прецеденти, які, як вважається, представляли комерційний і технічний інтерес, такі як CPE, EPC і IMS.

По мірі того, як NFV набирав силу, оператори зібралися в Європейському інституті стандартів телекомунікацій (ETSI) і створили групу галузевих специфікацій (ISG) для NFV для прискорення процесу віртуалізації мережевих функцій. ETSI ISG для NFV, запущений в січні 2013 року, що працює над розробкою вимог і архітектури віртуалізованих мережевих функцій в мережі телекомунікацій. Він включав такі компоненти структури NFV:

- інфраструктура NFV (NFVI) - фізичні ресурси (обчислення, зберігання, мережа) і віртуальні екземпляри, що становлять інфраструктуру;

- віртуалізовані мережеві функції (VNF) - програмна реалізація мережевої функції.

- NFV Management and Orchestration (NFV MANO) - рівень управління та контролю, який фокусується на всіх завданнях управління віртуалізацією, необхідних протягом усього життєвого циклу VNF.

Кожен з цих компонентів містить ряд різних технологій NFV, які організації можуть розгорнути для досягнення гнучкості, масштабованості і ефективності, які їм потрібні.

2.2 Аналіз особливостей віртуалізації базової мобільної мережі

Існуючі підходи до віртуалізації мережевих функцій мобільної базової станції. Мобільний мережевий трафік істотно зростає під впливом попиту, що генерується використанням мобільних пристроїв, в той час як середню виручку з одного користувача (Average revenue per user, ARPU) збільшити важко. Зроблений не так давно вибір стільникової мережевої системи 3GPP LTE продиктований попитом на підвищення швидкості передачі даних і якість послуг, зменшення складності та

триваюче зниження вартості радіодоступу та пакетного ядра (Packet Core). LTE також розглядається як складова радіодоступу для EPS (Evolved Packet System), яка потрібна для задоволення попиту високої спектральної ефективності (відношення швидкості передачі даних до смуги пропускання радіоканалу, що використовується), пікових швидкостей даних, короткого проміжку часу між відправленням запиту й одержанням відповіді (Round Trip Time) і гнучкості сітки частот в мережі радіодоступу (Radio Access Network, RAN). Якщо звернути увагу на сукупну вартість володіння обладнанням і споживання енергії, то на RAN вузли доводиться найбільша частина витрат. Велике число RAN вузлів, таких як eNodeB базуються на закритих патентованих платформах і тому знаходяться під впливом довгих циклів при розробці, впровадженні та операційній діяльності. Тому, ще одним з напрямків для віртуалізації у сфері мобільних мереж є підхід до застосування технології NFV у площині базових станцій. Віртуалізація мобільного базової станції за аналогією з віртуалізацією інформаційної інфраструктури, розташовує як мінімум частину RAN вузлів на стандартних серверах, мережевих пристроях та пристроях зберігання [18]. Це дає переваги в скороченні кількості необхідних ресурсів обладнання та споживання енергії за рахунок динамічного перерозподілу ресурсів та балансування трафіку, спрощенні управління та операційній діяльності. Знову ж таки, віртуалізація мережевих функцій та уніфіковане програмне середовище дозволяють звільнитися від залежності від конкретних постачальників, тому що створюється середовище, де програмні мережеві додатки можуть розроблятися і надаватися третіми особами, відкриваючи кордони раніше закритих і патентованих вузлів базових мобільних станцій.

У великих мережах мобільних операторів зв'язку численні RAN вузли численних постачальників зазвичай працюють з різними мобільними мережевими системами (3G, LTE і WiMAX) в одному місці. Ці численні платформи можуть бути об'єднані з використанням технології віртуалізації і уніфікованого програмного середовища в фізично єдину базову станцію (БС). Завантаженість RAN вузла зазвичай нижче, ніж максимальна потужність, оскільки система сконструйована так, щоб обслуговувати навіть пікові навантаження, хоч середні навантаження значно нижче і ресурси потужності кожного RAN вузла не можуть бути розділені з іншими вузлами.

Віртуалізація БС дозволяє досягти поділу ресурсів серед численних логічних RAN вузлів різних систем, динамічно перерозподіляючи ресурси і знижуючи споживання енергії. Технологія централізованої RAN (C-RAN) з віртуалізацією здійснює більш високу спільну утилізацію ресурсів серед різних фізичних БС рисунок 2.2.

В LTE ж БС перебуває у веденні функцій Physical layer (PHY), MAC, Radio Link Control (RLC), Radio Resource Control (RRC) і PDCP (Packet Data Convergence Protocol). PHY функція виконує найбільш складні обчислювальні завдання, такі як кодування/декодування каналу, Fast Fourier transformation/ Inverse Fast Fourier transformation (FFT/iFFT).

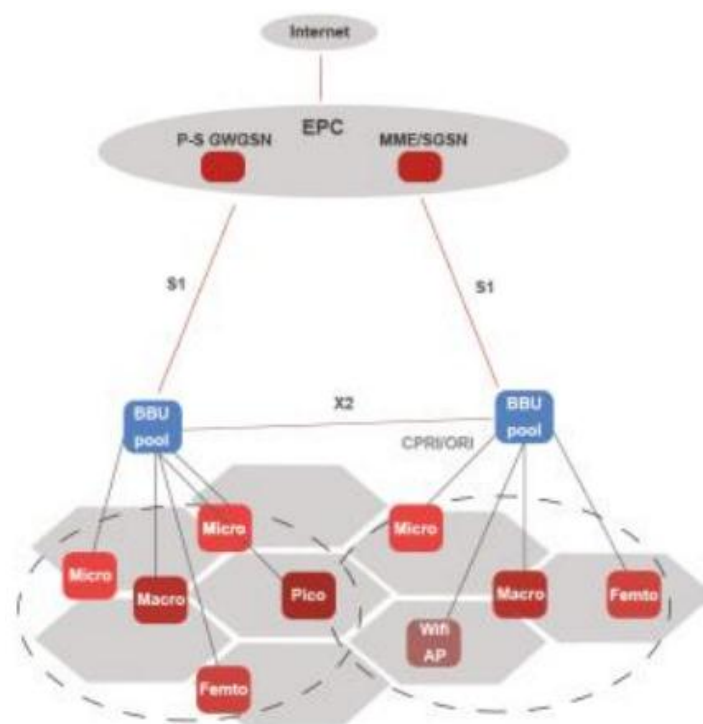


Рисунок 2.2. Схема централізованої RAN з віртуалізацією

Віртуалізація БС вимагає використання технології baseband radio обробки з використанням технологій віртуалізації, таких як високопродуктивні процесори і віртуальна обробка в реальному часі, щоб надати необхідну потужність обробки сигналу. Більше того, віртуалізація БС для C-RAN вимагає створення ресурсу обробки — Base Band Unit (BBU) пулу для агрегування ресурсів в централізоване віртуальне середовище, таке як дата-центр або хмарна інфраструктура. Звісно, для ефективної

взаємодії елементів схеми повинні бути забезпечені висока пропускна здатність і малі затримки при з'єднаннях в віртуальному середовищі.

Існуючі підходи до віртуалізації функцій мереж зв'язку. На теперішній час значна частина провідних компаній галузі займається розробкою певних підходів у сфері віртуалізації мережевих функцій. Для визначення області, в якій найбільш доцільно впровадження віртуалізації і при цьому відсутні комплексні підходи до методів організації мережі на основі віртуалізації мережевих функцій розглянемо підходи, які пропонуються. Компанія Cisco розробила платформу ESP (Evolved Services Platform), яка є платформою програмного забезпечення віртуалізації і оркестрування для операторів зв'язку, що дозволяє автоматизувати надання послуг з охопленням обчислювальних ресурсів, мережевих функцій та зберігання даних в реальному часі [19]. Її головна відмінність у тому, що вона не просто віртуалізує ту чи іншу функцію мережі або послугу, але забезпечує віртуалізацію всієї корпоративної архітектури оператора, включаючи хмарні послуги, відео, мобільні з'єднання і провідні мережі.

Компанія Hewlett-Packard створила еталонну архітектуру OpenNFV, засновану на відкритих стандартах, яка використовує її розробки Virtual Services Router і SDN Controller [20]. OpenNFV надає повну архітектуру NFV з охопленням серверів та мережевого обладнання, яка може знизити витрати постачальників послуг завдяки переходу на стандартні галузеві сервери. Компанія Dell в партнерстві з Red Hat заявила про створення рішення на базі OpenStack. Мета — відкрита платформа NFV, яка дозволить операторам управляти роботою всієї мережі безпосередньо з ЦОД, без використання пропріетарного обладнання Cisco, Juniper або Ericsson. Broadcom розширила свій портфель рішень з віртуалізації мереж, представивши вільну платформу Open NFV [21], яка дозволить операторам впроваджувати додатки NFV з охопленням різних однокристальних систем. OEM-виробники та інші вендори можуть використовувати Open NFV, щоб спростити міграцію віртуалізованих функцій між платформами, побудованими на рішеннях різних вендорів. Huawei пропонує ряд рішень в області NFV, в тому числі платформу CloudEdge для широкосмугових мереж мобільного зв'язку. CloudEdge дозволить операторам автоматизувати функції

управління мережею і швидше виводити на ринок нові сервіси міжмашинних комунікацій, мобільного відео та корпоративні мобільні додатки. Компанія Alcatel-Lucent розроблює набір додатків для віртуалізації мобільної мережі, включаючи EPC, IMS і RAN [22]. EPC, що пропонується компанією покликано допомогти операторам автоматизувати аутентифікацію і адміністрування абонентів і використовуваних ними послуг, а IMS прискорює доставку мультимедійних послуг по IP-мережі. Технологія RAN включає в себе віртуалізований 3G Radio Network Controller (RNC) і пробну версію Radio Access Network для мереж LTE і LTE-Advanced. Характерною особливістю рішень, що пропонуються є модульність підходів, що є корисним для поступового впровадження вказаних технологій, але не формує методів організації мереж в цілому.

Віртуалізація мережевих функцій базової мобільної мережі. У мобільних мережах висока популяція широкого розмаїття закритого патентованого устаткування традиційних постачальників. Віртуалізація мережевих функцій націлена на скорочення складності мережі і операційних проблеми шляхом використання стандартизованих технологій віртуалізації, задля об'єднання різних видів мережевого обладнання в індустріально стандартизовані сервери, мережеве обладнання та пристрої зберігання, що розміщуються в точках присутності віртуалізації мережевої інфраструктури (Network Functions Virtualization Infrastructure Points of Presence). Таке об'єднання скорочує сукупну вартість володіння. Гнучке розміщення мережевих функцій на такому пулі апаратних ресурсів сильно збільшує ефективність використання мережі у щоденній операційній діяльності. Це також дозволяє задовольняти збільшений попит на якийсь конкретний сервіс (наприклад, голосове спілкування) не покладаючись просто на механізми контролю обмеження дзвінків. Переваги віртуалізації базової мобільної мережі та мультимедійної IP підсистеми включають: 1. Скорочення сукупної вартості володіння інфраструктурою. 2. Підвищення ефективності використання мережі завдяки гнучкому розміщенню різних мережевих функцій на пулі апаратних ресурсів. 3. Підвищення надійності та якості мережевих послуг, що надаються кінцевим користувачам за рахунок властивої технології віртуалізації можливості динамічно змінювати конфігурацію мережі. 4. Еластичність: потужності,

виділені для кожної мережевої функції, можуть бути динамічно змінені відповідно до актуальної завантаженості мережі, а це в свою чергу покращує здатність мережі до масштабування. 5. Зміна конфігурації топології: мережева топологія може динамічно змінюватися для 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 [23,24]. 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 (SCSCF) 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 рисунку 2.3 зображено типову схему організації ресурсів при віртуалізації базової мобільної мережі.

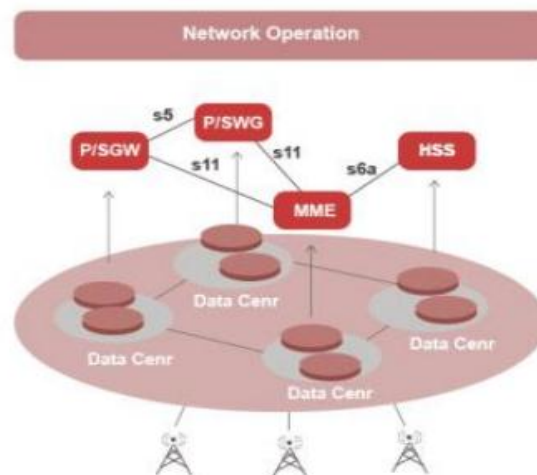


Рисунок 2.3. Схематичний приклад організації ресурсів при віртуалізації базової мобільної мережі

Так, віртуальні мережеві функції (наприклад, S/P-GW і MME) можуть масштабуватися незалежно у відповідності зі своїми власними потребами в ресурсах, наприклад, може виникнути ситуація, коли необхідно збільшити ресурси в площині користувача не зачіпаючи ресурсів у площині контролю і навпаки. Різні сценарії можливі в залежності від того чи віртуалізується, наприклад, ціла EPC в єдину точку присутності віртуальної мережевої інфраструктури або віртуалізується лише окрема функція мережі.

З метою досягнення оператором бажаної безперервності і надійності сервісу, надійність і площини контролю і площини передачі даних повинні бути гарантовані. Оскільки віртуалізація мережевих функцій має на меті відділення мережевих функцій від обладнання, що лежить в основі мережі, то розробка нових схем відмовостійкості стає можливою з використанням портативності екземплярів віртуальної мережевої функції, але не обмежуючись тільки переносом, копіюванням і т. д. віртуальної машини. На рисунку 2.4 показано віртуалізовані EPC і IMS, де віртуалізовані S/P-GW і IMS працюють через Packet Data Network (PDN) зв'язок і IMS сесію, відповідно.

Коли динамічна реконфігурація екземплярів віртуальної мережевої функції відбувається з вини збою або перевантаження при автоматичному або ручному режимі управління, то переміщення керованих сесій та/або з'єднань повинно оброблятися відповідним чином, щоб досягти бажаної оператором технічної доступності та надійності сервісу.

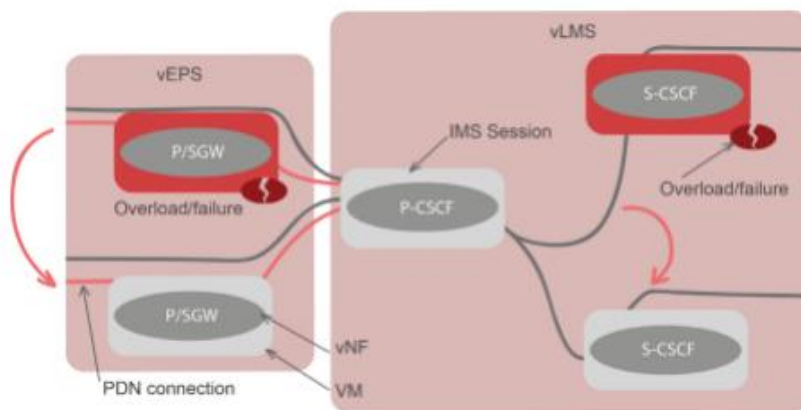


Рисунок 2.4. Схема динамічної реконфігурації при віртуалізації

2.3 Метод організації ресурсів віртуалізованих мережевих функцій ядра мережі

Підхід до віртуалізації ядра мобільної мережі. При віртуалізації архітектури ядра мережі, такі функції як IP Mobile Core можуть бути декомпоновані на віртуалізовані підфункції, що розташовані на окремих віртуальних об'єктах/машинах. Різні типи віртуальних машин застосовуються для виконання різних поставлених завдань віртуальних підфункцій.

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

1. Мережеві функції EPC 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 EPC у необхідному масштабі.
3. Підтримка потенціалу для послуг мобільного широкосмугового доступу для забезпечення стврого 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 EPC.

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 мережевих 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 ЕРС, як правило, повинно бути розгорнуто паралельно основному ЕРС 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 ЕРС (і, зокрема, конфігурації віртуального вузла РGW), 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 ЕРС 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 [25]. 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 представлено 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 2.5 відображає основну схему цього підходу.

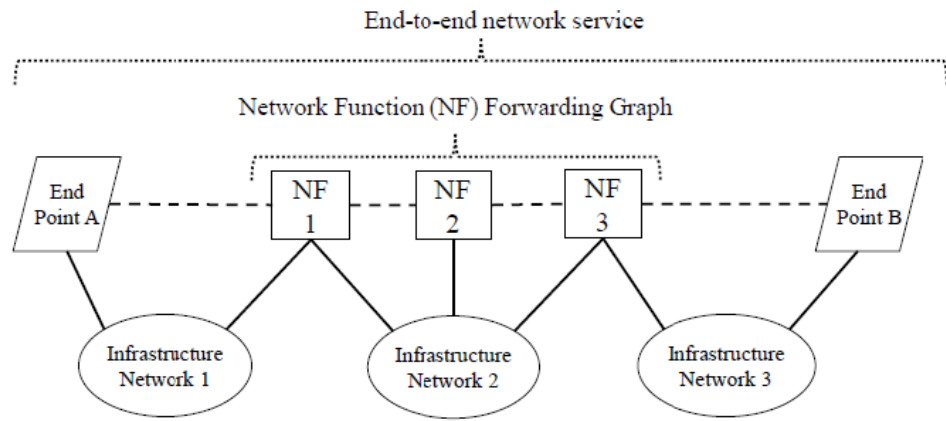


Рисунок 2.5. Граф передачі мережевих функцій

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

Віртуалізація EPC 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.

При цьому VNF може складатися з декількох внутрішніх компонентів і сама по собі автоматично не забезпечувати необхідний функціональний сервіс.

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.

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 рисунок 2.6. та призначення елементів [26].

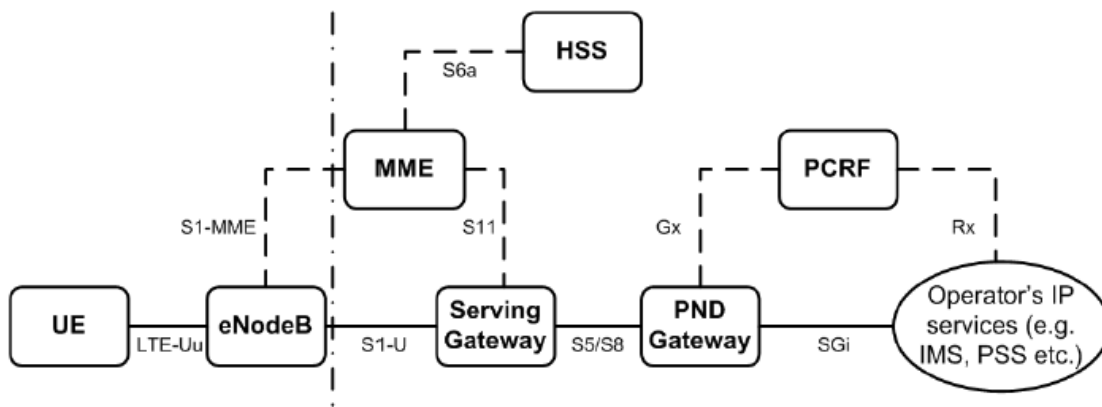


Рисунок 2.6. Схема функціональних вузлів EPC

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 2.7. схематично ілюструє підхід до організації EPC, що пропонується.

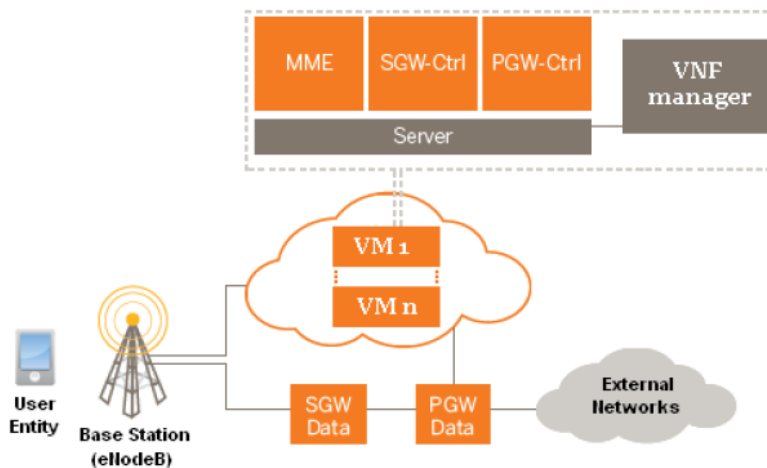


Рисунок 2.7. Підхід до організації EPC з виділенням функціоналу SGW-Ctrl

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.

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).

Таким чином, підхід дозволяє масштабувати S/P-GW і мережеві функції MME відповідно до їх власних потреб в ресурсах. 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.

Організація функціональних вузлів мережі LTE. PCRF — функціональний елемент в мережах зв'язку рекомендований групою 3GPP, основною функцією якого є впровадження політик обслуговування абонентів, наприклад, дозвіл/заборона сервісів або встановлення параметрів якості обслуговування, тобто застосування певних правил до корисного інформаційного потоку. Крім того, функціональний елемент PCRF встановлює правила тарифікації.

На сьогоднішній день функції PCRF реалізовані на програмно-апаратному забезпеченні, що обмежує можливості його масштабування. При цьому всі інформаційні потоки виявляються прив'язаними до топології мережі оператора, так як для забезпечення підрахунку кількості трафіку і для контролю якості обслуговування всі інформаційні потоки повинні взаємодіяти з блоком PCRF. Саме тому після появи концепції програмно-керованих мереж і віртуалізації мережевих функцій, стало можливим застосування даних концепцій для удосконалення роботи функціонального блоку PCRF в рамках архітектури EPC.

Запропонований метод має на меті віртуалізацію деяких функцій PCRF, яка полягає в тому, що ряд функцій реалізується на базі віртуальних машин розміщених в хмарі. При цьому стає можливим масштабування самого PCRF при розгортанні мережі без необхідності організації окремих реальних фізичних серверних потужностей.

Організація взаємодії віртуальних машин PCRF з низкою вузлів мережі зв'язку є завданням, яке заслуговує особливої уваги. При цьому важливим питанням є розподіл функцій між віртуальною PCRF та іншими функціональними елементами системи 3GPP які пропускають через себе інформаційний потік.

Функціональні вузли мережі, з якими взаємодіє PCRF, обслуговують певний сегмент мережі, відповідно пропонується організовувати віртуалізацію вузлів, що відповідають за один сегмент на одному хмарному «сервері» для оптимізації взаємодії. Для оптимізації адміністрування функціональні вузли-контролери, що обслуговують різні сегменти мережі будуть організовані на окремих віртуальних машинах. Саме вузли-контролери функціональних елементів PCRF будуть здійснювати взаємодію з іншими елементами архітектури сервера оператора.

Розглянемо детально функціональні елементи і інтерфейси, з якими взаємодіє PCRF [22].

Перший елемент, Policy and Charging Enforcement Function (PCEF) — функціональний елемент в 3GPP мережах зв'язку, який здійснює застосування Policy and Charging Control (PCC)-правил, отриманих від PCRF, до трафіку, що проходить через нього. Здійснює тарифікацію цього трафіку в системі тарифікації оператора зв'язку OCS/OFCS.

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.

Функції фільтрації пакетів по користувачам і законного перехоплення трафіку (позначимо даний набір функцій як F1) здійснюються на боці «тонкого клієнта» PGW, в хмарну інфраструктуру виносяться функціонал розподілу пулу IP-адрес для пристроїв користувачів UE та функціонал PCEF (F2).

Призначення PCC-правил, якими обмінюються між собою елементи мережі PCRF і PCEF — поділ фізичного потоку даних (IP-CAN) на логічні сесії SDF (Service Data Flow), визначення того до яких додатків і послуг відноситься трафік, надання параметрів QoS та інформації для тарифікації. Використовується два типи PCC-правил: динамічні PCC-правила, які передаються з PCRF на PCEF через Gx-інтерфейс і визначені на PCEF. Визначені правила можуть бути активізовані або PCRF, або самим PCEF.

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 між компонентами 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) — функціональний елемент в 3GPP мережах зв'язку, який здійснює визначення трафіку певних додатків і нотифікацію про нього PCRF. Залежно від отриманих правил здійснює пропуск даного трафіку абоненту, перенаправлення 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) — функціональний елемент, який здійснює зберігання даних користувачів. Взаємодіє з PCRF по інтерфейсу Ud, який 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. Application Function (AF, F8) — функціональний елемент, який надає опис потоку даних сервіса і здійснює інформування про необхідні сервісу ресурси. Взаємодіє з PCRF по інтерфейсу Rx.

4. OCS (F9) — сервер кредитного контролю в режимі реального часу, який здійснює тарифікацію послуг, контролює баланс абонента, обробляє інформацію про нарахування та списання коштів на балансі абонента, застосовує знижки, здійснює підрахунок обсягу спожитих послуг. Взаємодіє з PCRF по інтерфейсу Sy, який використовується для обліку обсягів спожитих послуг і нотифікації про подолання порогів лічильників з OCS на PCRF. Крім PCRF, OCS взаємодіє з PCEF по інтерфейсу Su за допомогою якого здійснюється тарифікація послуг.

Функціонал PCRF, який буде винесено в хмарну інфраструктуру позначимо як F10.

На рисунку 2.8 представлена запропонована схема організації функціональних вузлів мережі (функції, що відмічені червоним кольором віртуалізовані в «хмарну» інфраструктуру) [15].

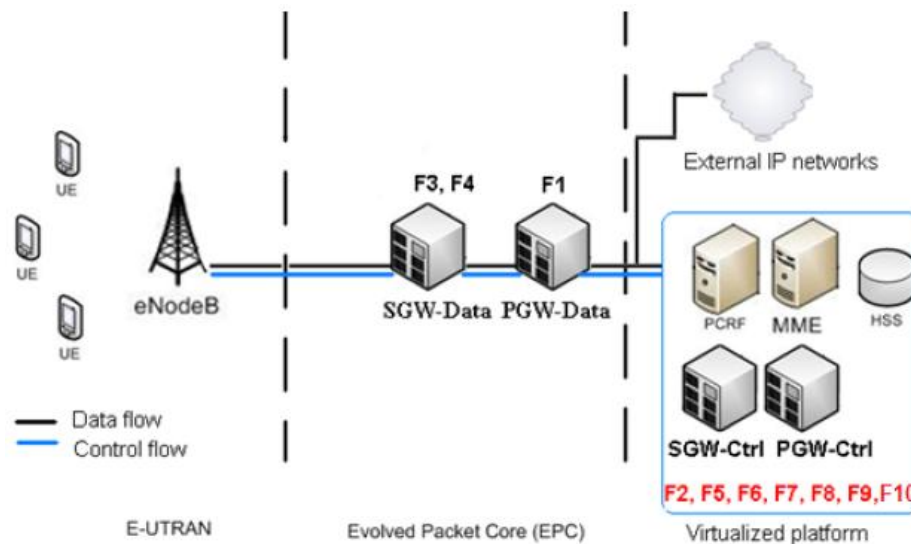


Рисунок 2.8. Схема організації функціональних вузлів мережі

Дослідження взаємодії та управління компонентами мережі при віртуалізації ядра мережі .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, максимально уніфікувати обладнання, що здійснює фільтрацію трафіку (SGW і PGW)

6. Отримує профіль з параметрами послуг абонента.
7. Здійснює підписку на нотифікацію про зміни профілю.
8. 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.
9. При отриманні відповіді PCEF встановлює сесію кредитного контролю з OCS по інтерфейсу Gy за допомогою обміну повідомленнями Diameter CCR/CCA.
10. PCEF дозволяє встановлення IP-CAN сесії і передає відповідні повідомлення на SGW-Control і PGW-Control.
11. SGW-контроль надсилає повідомлення Initial Context Setup на PGW-Data і Session Response (відповідь сесії) на SGW-Data.
12. Потік трафіку (Service Data Flow) починає проходити між пристроєм абонента і зовнішніми мережами зв'язку.
13. Через деякий час абонент завершує сесію передачі даних і BBERF посилає на PCEF запит на розрив IP-CAN сесії.
14. PCEF здійснює завершення Diameter сесій на PCRF по інтерфейсу Gx. Завершення сесій полягає також в обміні повідомленнями Diameter CCR/CCA.
15. PCEF здійснює завершення Diameter сесій на OCS по інтерфейсу Gy.

2.4 Огляд підходу віртуалізації клієнтських пристроїв

Описані концепції зараз знаходяться на різних стадіях промислової реалізації. SDR можна назвати фактично закінченим: всі останні моделі базових станцій провідних виробників виконуються за даною схемою, дозволяючи використовувати загальний процесорний блок і забезпечувати роботу радіопередавачів заданого діапазону одночасно в декількох стандартах.

Концепція ж SDN в мобільних мережах (як, втім, і в транспортних) тільки набирає обертів. Провідні виробники обладнання починають експерименти з

віртуалізацією різних функцій на базі продуктивних серверів від третіх компаній або з використанням власних розробок [11].



Рисунок 2.10. Мобільний телефон наступного покоління

З тенденціями розвитку мобільних мереж, з оптимізацією та віртуалізацією, всі вузли переносяться на Cloud технології, всі процеси які відбуваються в мережі обробляються на серверах, що дає можливість в подальшому розвитку, гнучкості, масштабованості, кращому управлінню, та ряду інших переваг.

Якщо казати про мобільний телефон майбутнього, то можна припустити, що його основні блоки будуть також віртуалізуватися, і всі процеси будуть обчислюватися в хмарі, або ж оператора мережі як додатковий функціонал, або ж орендованою обчислювальною потужністю інших ІТ компаній.

Тобто, це означає, що якщо на сьогоднішній день між виробниками мобільних пристроїв йде боротьба, за потужні мікропроцесори, збільшення кількості ядер, збільшення ПЗУ, та ОЗУ, а також графічних процесорів, і перш за все їх мінімізація. Все це приводить до величезних витрат на виробництво цих складових викликаних перш за все дорогими матеріалами, та складностями в їх виробництві.

Віртуалізація та хмарні технології вирішують ці проблеми. На основі вже існуючих технологій, забезпечення високої пропускної здатності (LTE-A, 5G) та практично випробуваних, всі процеси будуть виконуватися на серверах, зберігання даних, графічні процеси, і сплачувати будемо тільки за ті процеси які виконувалися, тобто на сьогоднішній ресурси високотехнологічного мобільного телефона далеко не

завжди використовується навіть і на 80%, а ціна деяких з них зараз доходить о 1000\$
рисунок 2.10.

Ресурси будуть гнучко виділятися на серверах ЦОД коли цього потрібно користувачу мобільного телефона, при запуску як ресурсоємних іграх, чи програмах, тобто можливості телефона не будуть відставати від можливостей ПК, і оплата буде проводитись лише за той час який був використаний .

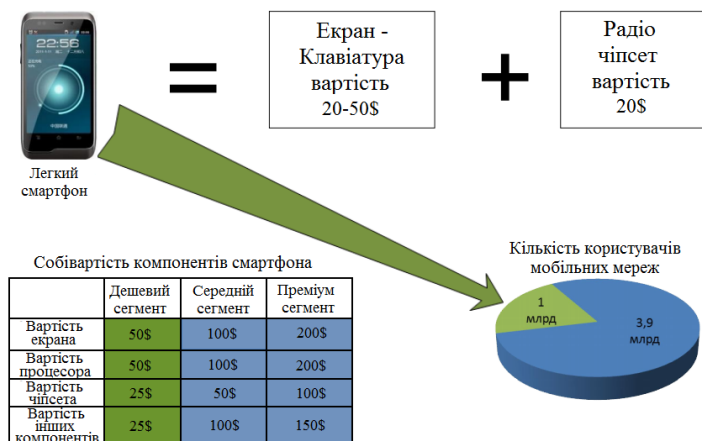


Рисунок 2.11. Вартість компонентів телефону майбутнього

Так як все ПО віртуалізоване , то ПО телефона може бути будь-яким на вибір користувача чи то рішення від Apple iOS, чи то Android.

Майбутній телефон на основі хмарних технологій буде мати такі перспективи:

- Дешевизна(всі функції найдорожчих компонентів телефона будуть виконуватися н-а серверах);
- Гнучкість у розгортанні сервісів;
- Забезпечення значних обчислювальних ресурсів на вимогу;
- Енергоефективність (всі енергозатратні компоненти виконуються в хмарах);
- Незалежність ПО та “заліза” від конкретного виробника .

Вимоги до телефона майбутнього серед виробників представлені на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12. Вимоги до телефонів наступного покоління

2.5 Аналіз технічних рішення віртуалізації мережі операторів зв'язку

Рішення Ericsson Virtual Evolved Packet Core. Virtual Evolved Packet Core надає перевірені рішення, орієнтовані на велику кількість вертикальних додатків, відкриваючи тим самим нові можливості оператора.

Переваги віртуального Evolved Packet Core від Ericsson включають всі переваги NFV, але з диференціацією Ericsson - повне комплексне рішення, що означає віртуалізацію всіх компонентів Evolved Packet Core. Підтримка гнучкого розгортання цілої низки віртуальних мережевих сервісів, підтримуваних vMME, vSGSN, vPGW, vSGW, vGGSN, vPCRF, vDPI, vProbe, vePDG і vTWAG. Забезпечення повної сумісності з власним Evolved Packet Core підтримуючи сумісність від оточуючих пристроїв і RAN до зарядних систем і сервісів. Власні та віртуальні мережеві вузли будуть безперешкодно співіснувати в таких областях, як об'єднання, резервування геоданих і розподіл навантаження.

Ericsson Evolved Packet Core надає перевірені рішення, призначені для великої кількості вертикальних прецедентів. До основних початкових послуг віртуальної мережі відносяться:

- Інтернет речей;
- Розподілений мобільний широкосмуговий зв'язок;
- Виробництво;

- Зв'язок (виклик VoLTE і Wi-Fi) ;
- Оператор мобільного віртуальної мережі (MVNO) ;
- Мобільний широкосмуговий доступ.

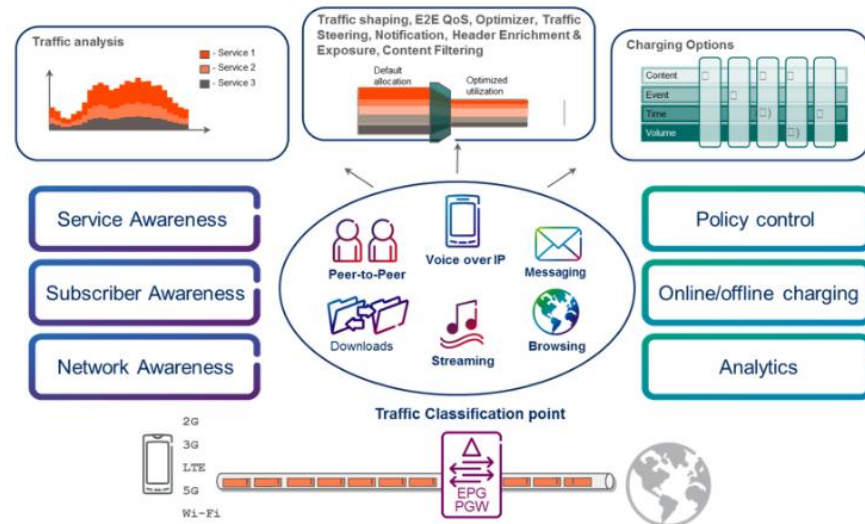


Рисунок 2.13. Рішення Ericsson Virtual Evolved Packet Core

Віртуальні мережеві сервіси можуть використовуватися в якості мережевих частин, що забезпечують гнучкість, дозволяючи створювати безліч логічних мереж поверх загальної фізичної інфраструктури та в якості кроку до архітектури ядра 5G. Як приклад він може використовуватися для швидкого оптимізованого введення-виведення без впливу на послугу мобільної широкосмугової мережі.

Повний портфель рішень Evolved Packet Core від Ericsson забезпечує безпрецедентну масштабованість і гнучкість від невеликих локальних розгортань з використанням EPC в коробці до широкомасштабних розгортань центрів обробки даних. Це означає, що віртуальне Evolved Packet Core може бути розгорнуто в великих централізованих центрах обробки даних, але також розподілено поруч з радіомережею.

Evolved Packet Core забезпечує плавні, безшовні шляхи міграції з унікальним співвідношенням функцій на власних і віртуалізованих мережевих вузлах. Все для

підтримки спрощених операцій і швидкого часу для обслуговування мережевих сервісів.

Успішне розгортання віртуалізованої функції залежить від повноти рішення, а також від відкритості рішення. Ericsson Evolved Packet Core підтримується в системі Ericson Cloud System, а також в перевірених середовищах виконання третьої сторони[21,22].

Рішення для мережевої віртуалізації Huawei CloudCore. CloudCore - це рішення для мережевої віртуалізації, яке змінює архітектуру базової мережі NE зі спеціалізованих апаратних засобів до загального обладнання через Network Virtualization (NFV), відокремлюючи програмне забезпечення від апаратного забезпечення. CloudCore забезпечує віртуалізовану функцію управління NE для автоматичного розгортання ресурсів і планування, підвищення ефективності мережі. Крім того, CloudCore забезпечує гнучке налаштування обслуговування і міжмережеву взаємодію, скорочуючи TTM. Huawei CloudCore підтримує віртуалізацію всіх мережевих елементів. Постачальники можуть надавати послуги FMC для будь-яких абонентів і терміналів через CloudCore.

Рішення Huawei CloudCore має три функції: удосконалені продукти, засновані на хмарі, просте розгортання та ефективна робота.

Удосконалені продукти, засновані на хмарі:

1. Відкритість: підтримка апаратного обладнання та CloudOS;
2. Висока продуктивність: кращі можливості передачі з високою швидкістю, продуктивність віртуалізації краще, ніж у виробництва;
3. Висока доступність: 99,999% доступність.

Простота розгортання:

1. Служба інтеграції E2E;
2. Повний набір інструментів для підвищення ефективності інтеграції;
3. Повна економічна система партнера для забезпечення оптимізації за межами майданчика.

Ефективна робота:

1. Швидке розгортання служби в годинах на основі MANO;

2. E2E усунення несправностей;

3. Підтримка єдиної операції, включаючи хмарну і традиційну платформу.

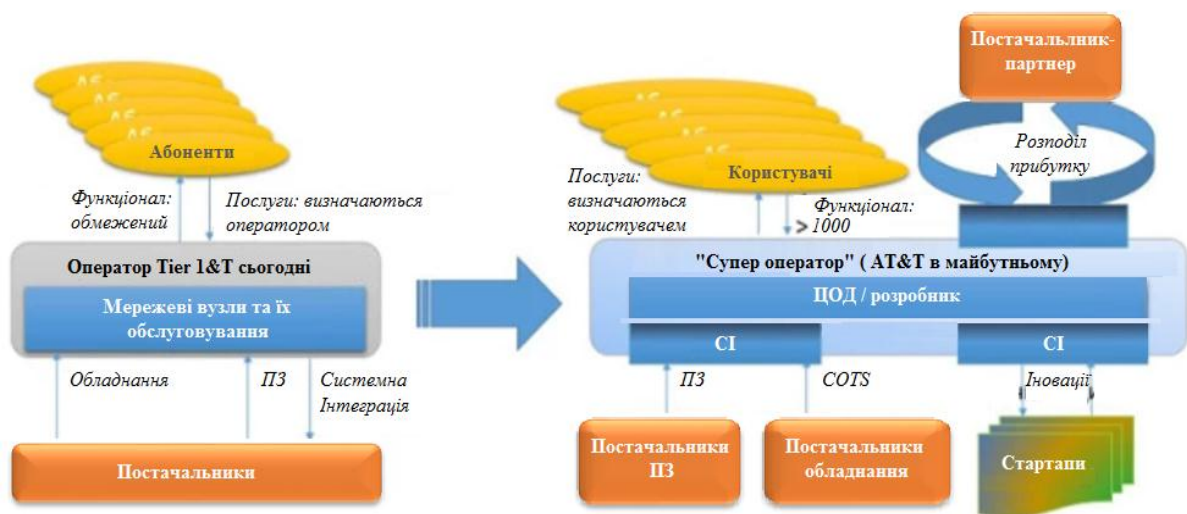
Рішення від компанії AT&T. Компанія AT&T розробила власну концепцію трансформації NFV, яка дещо відрізняється від ETSI, під назвою Domain 2.0. Її основні принципи схожі з реалізацією ETSI:

- Перетворення бізнес моделі: від бізнесу, який визначається оператором ("Carrier-defined Business") до бізнесу, який визначається користувачем ("User-defined Business").

- Мережа: Від мережевих вузлів до дата-центрам.

- Постачальники: співпраця зі стартапами, які будуть адаптувати свої програми для рішень AT & T.

- Партнери: співробітництво з розробниками ПЗ для різних бізнес-сценаріїв.



CI - системна інтеграція; ПО - програмне забезпечення;

COTS - Commercial Off The Shelf (поставки стандартного IT-обладнання)

Рисунок 2.14. Трансформація бізнес-моделі оператора AT&T

Рішення від оператора Telefonica.

Основні властивості:

- Відкритість;

- Розподіленість функцій, з уніфікацією сервісів в хмарі дата-центрів;

- Еластичність і швидке надання комплексних послуг за допомогою NFV;
- Одночасне використання багатьма орендарями ресурсів (Multi-tenancy) ;
- Гібридна підтримка бізнесу (повторне використання послуг в багатьох

додатках

- Скорочення часу виведення послуг на ринок (TTM), зниження операційних витрат (OPEX) і підвищення загальної ефективності.

У програмі Lean + Digital, «Digital» означає, що частка доходів від цифрових послуг хмарної платформи складе 10% до 2017 р, проти 5% в 2014 р «Lean» означає економію витрат CAPEX & OPEX близько € 1.5 млрд. З 2014 по 2017 р Економія досягається за рахунок наступних чинників:

- Уніфікація інфраструктури: власна ІТ-система оператора (ІТ), телекомунікаційна мережа (СТ), публічне хмара (Public Cloud), для послуг користувачів і приватна хмара (Private Cloud), для власної корпоративної мережі і корпоративних клієнтів, тепер працюють на основі єдиної інфраструктури розподілених дата-центрів.

- ІТ-інфраструктура стає розподіленим по багатьом хабам. BSS всіх філій оператора по всьому світу стає стандартною.

- Економія TCO приблизно в 400 млн. € тільки за рахунок використання NFV.

- Значне підвищення гнучкості мережі: якщо потрібно перенаправлення потоків трафіку і перерозподіл мережних ресурсів по різних ділянках мережі, це може бути виконано швидко і з мінімальними витратами.

- Процес управління та обслуговування мережі стає простішим і автоматизованим.

- ІТ-платформа для корпоративної мережі (ІТ) та базової мережі (Core) оператора стає уніфікованою, тому даний проект отримав назву UNICA.

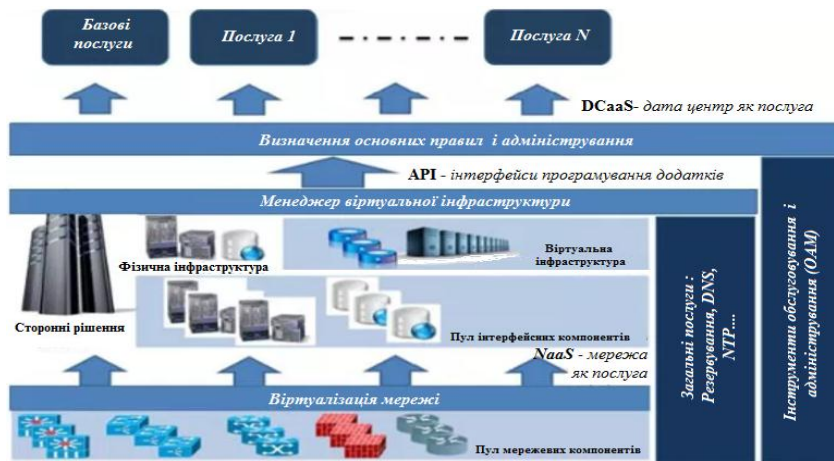


Рисунок 2.15. Принципи хмарної трансформації інфраструктури оператора Telefonica

3 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ВЗАЄМОДІЇ ВІРТУАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ІСНУЮЧИМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМ ОБЛАДНАННЯМ

3.1 Аналіз оптимальної організації віртуальних мережевих функцій

Поява віртуалізації мережевих функцій (NFV) призводить до появи безлічі нових алгоритмічних проблем в роботі мереж зв'язку. NFV вводить волатильність в управлінні мережевими функціями, які можуть бути динамічно організовані, тобто розміщені, змінені та інше. Віртуальні мережеві функції (VNF) можуть належати цілям VNF, де вузли в ланцюжку можуть обслуговувати безліч запитів, що виходять з країв мережі. В розділі досліджується розміщення і маршрутизації VNF (VNF-PR) [15], пропонуючи гнучке формулювання лінійного програмування, яке здатне враховувати специфічні особливості і обмеження інфраструктур NFV і суттєво відрізняється від існуючих форм впровадження віртуальної мережі в сучасний стан. Також розглядається математична евристика, здатна масштабуватися з кількома цілями і великими екземплярами. Завдяки великим симуляціям ми робимо висновки про компроміси, що досягаються між завданнями підвищення ефективності інфраструктури класичного трафіку (TE) і NFV, оцінюючи вимоги до доступу до Інтернету та віртуальної приватної мережі (VPN). Ще кількісно порівнюється ефективність розглянутої евристики VNF-PR до класичного підходу до віртуальної мережі (VNE), аналізовані для оркестровки NFV, що показує обчислювальні відмінності і як модернізований підхід може забезпечити більш стабільне і більш близьке до оптимального рішення.

Після фундаментальних досліджень з мережевої віртуалізації і впровадження віртуальних мереж, віртуалізація мережевих функцій стає реальністю завдяки величезним інвестиціям, які роблять телекомунікаційні провайдери, постачальники хмарних обчислень і постачальники. З NFV увага досліджень мережевої віртуалізації тепер зосереджена на ключових аспектах систем NFV, які або не вважалися доречними, або не задумувалися перед галузевими зусиллями в країнах,

що розвиваються організаціях стандартів (SDO). Ключові аспекти, про які варто згадати, це:

- цільовий ланцюжок послуг NFV, тобто проблема дозволу потоку трафіку, що проходить через попередньо обчислений або динамічно обчислюваний список вузлів VNF, можливо, з огляду на той факт, що вузли VNF можуть бути розміщені і переміщені по кластерам віртуалізації як функція призначення попиту існуючим ланцюгам VNF або підланцюгам;
- зміни вхідного / вихідного бітового потоку в VNF, обумовлені конкретними операціями VNF (такими як стиснення, як при кодуванні, декомпресія, як при тунелюванні);
- затримка обробки та пересилання VNF як параметр оркестровки.

Головною метою постає заповнення недоліку ефективності витрат в розумний час виконання.

ETSI є де-факто посиланням SDO для специфікації функціональної архітектури високого рівня NFV. Високий рівень означає, що його ідентифікована роль - це специфікація основних функціональних блоків, їх архітектура і взаємозв'язок, елементи реалізації яких потім можуть бути точно адресовані іншими SDO. ETSI визначає три компоненти для архітектури NFV[16]:

- Віртуальні мережеві функції (VNF);
- Інфраструктура NFV (NFV), включаючи елементи, необхідні для запуску VNF, такі як вузол гіпервизора і кластери віртуалізації;
- Управління та оркестровка (MANO), обробка операцій, необхідних для запуску, міграції, оптимізації вузлів і ланцюгів VNF, можливо, в координації з оркестрами транспортних мереж.

Таким чином, процедури MANO підтримують економію масштабу NFV, так що фізичні ресурси віртуалізації NFVI (сервери та кластери), призначені для операцій NFV, ефективно використовуються як для операторів NFVI, так і для крайніх користувачів. Перспективним варіантом використання NFV для мереж-операторів є віртуальне клієнтське обладнання (vCPE), яке спрощує обладнання CPE за допомогою віртуалізованих індивідуальних мережевих функцій, розміщених в

місцях доступу і мережі агрегації, як показано на рисунку, а також інші перспективні програми, такі як віртуалізація кластера Evolved Packet Core (EPC) в стільникових основних мережах і віртуалізація стільникових базових станцій.

Операції MANO численні і варіюються від розміщення і створення екземплярів VNF, щоб краще відповідати вимогам користувача до ланцюжка і маршрутизації ланцюгів VNF через транспортну мережу, що має в своєму розпорядженні кілька місцерозташування NFVI. Частина рішення по оркестровці також може бути конфігурацією VNF, щоб ділитися ними між активними потребами, одночасно виконуючи спільні завдання Traffic Engineering (TE) в мережах IP-транспорту, а також нові цілі ефективності NFV, такі як мінімізація кількості примірників VNF. У цьому контексті внесок в документ виглядає наступним чином:

- визначається і формулюється за допомогою математичного програмування задача оптимізації VNF Placement and Routing (VNF-PR), включаючи обмеження стиснення / декомпресії і два режими затримки пересилання (з і без швидкого шляху), як в рамках цілей TE, так і NFV[19].
- якісно і кількісно порівнювати підхід VNF-PR до існуючого підходу Virtual Embedding (VNE);
- розроблено математичний евристичний підхід, що дозволяє також запускати експерименти для великих випадків проблеми протягом прийняттого часу виконання.

3.2 Огляд можливих варіантів та варіацій математичного моделювання балансування навантаження

Для початку вводиться базова модель, яка не враховує обмеження затримки і функції стиснення / декомпресії. Причина цього вибору двояка. По-перше, це дозволяє більш чітко пояснення моделі і покрокове введення технік, які дозволяють утримувати модель лінійною. Без цих двох функцій модель являє собою комбінацію дизайну мережі та місця розташування об'єкта. По-друге, в алгоритмічній фазі, яка використовувалась для вирішення моделі, застосовується послідовність моделей зі

зростаючою складністю (базова модель з затримкою, з обробкою / декомпресією) [12,14].

Багатоцільова проблема: мінімізація максимального використання послань, що відображає орієнтоване на ISP бачення, щоб поліпшити якість обслуговування користувачів (строго пов'язано з перевантаженням каналів зв'язку, особливо для служб реального часу) і мінімізація загальної вартості інфраструктури віртуалізації на рівень NFVI, який відображає цілі постачальника NFVI. Такий багатоцільовий підхід має особливе значення, коли постачальник NFVI є інший об'єкт, ніж постачальник послуг Інтернету. Ці дві мети знаходяться в конкуренції; насправді, щоб отримати низьке використання, необхідно виділити велику кількість VNF.

Пріоритети цілей: спочатку слід мінімізувати максимальне використання послань (U), а потім вартість NFV (загальна кількість використовуваних CPU). Це розглядається як мета TE-NFV. На практиці виконується перший крок оптимізації, щоб знайти оптимальне рішення, що відповідає максимальному використанню послань (U^*), а потім, зберігаючи оптимальне значення, знайдене на першому кроці в якості параметра (тобто додаючи обмеження $U \leq U^*$), мінімізуємо другу мету (вартість NFV). Фактично, при заданому оптимальному значенні першого кроку на другому етапі доступні різні можливі конфігурації, і на цьому другому етапі може бути досягнуто значне зниження первинної вартості без втрати по відношенню до основної мети (максимальне використання послань).

Щоб зрозуміти вплив максимального використання послань на вартість NFV, було вивчено чутливість другого етапу оптимізації по оптимальному значенню U^* . Тому повторно оптимізовано другу мету, яка послаблює обмеження на максимальне використання послань параметром α , тобто було застосоване обмеження $U \leq \alpha + U^*$ замість $U \leq U^*$. Збільшуємо α крок за кроком, поки вартість NFV не зменшиться більше. Це значення відповідає спочатку мінімізації вартості NFV, а потім максимальної вартості використання каналу (NFV-TE).

Оптимізація повної моделі дуже дорога і що обчислювальний час може бути значно зменшено, виконуючи послідовність оптимізації, починаючи з базової моделі і закінчуючи повною. Результат кожного кроку використовується в якості відправної

точки для наступного, це дозволяє скоротити час обчислень і / або створити кращі рішення або прогалини (коли оптимізація зупинена до досягнення оптимального рішення). Щоб бути більш точним, послідовність моделей, які було оптимізовано, спочатку є базовою (враховуються тільки маршрутизація попиту, місце розташування і ємності VNF), потім базовий (додається затримка) і, нарешті, затримка і стиснення / декомпресія.

Найбільш складною моделлю з точки зору оптимізації є остання. З цієї причини для цього кроку необхідно забезпечити допустиме початкове рішення. Для цієї мети попередній крок, що оптимізує модель, повинен виконуватися з деякою незначною модифікацією. Функція стиснення / декомпресії змінює кількість потоку, що проходить за графіком, тому, щоб гарантувати, що рішення другого кроку можливо для останнього, необхідно направити найгіршу кількість потоку, задану в випадку, коли всі VNF з декомпресією вже застосовуються до потоку попиту[22].

Цільова функція NFV призводить до більш складних обчислень, ніж TE. Тому для отримання оптимального рішення цілі NFV використовується процедура поділу за кількістю виділених VNF/VM, щоб гарантувати оптимальність рішення, навіть якщо за один крок вирішувач не може цього гарантувати: тобто при кожному кроці ділення навпіл, якщо знайдено допустиме рішення, кількість VNF/VM ділиться на два, і якщо не існує допустимого рішення (доказ того, що проблема нездійсненна, призводить до більш простої обчислювальної задачі, ніж пошук оптимального рішення), то вона подвоюється.

Правила прив'язки VNF: через конфіденційність, надійність або з інших причин провайдер може захотіти накласти правила розміщення певних типів VNF: розміщуватися або не розміщуватися на певних серверах, групуватися або не групуватися разом та інше. Такі конкретні правила розміщення VNF називаються афінними і/або анти-афінними правилами. Щоб розширити модель, щоб врахувати їх, найпростішим способом є введення нової змінної, що представляє наявність певного типу VNF f на даному вузлі i (модель дозволяє мати кілька копій одного і того ж типу VNF на тому ж сайті). Назвемо цю змінну $v(f, i)$, вона буде

дорівнює одиниці, якщо VNF типу f знаходиться на вузлі i . Щоб ці змінні відповідали вже певним змінним y ($f_n i$), потрібно додати:

$$\sum_{n \in 1..c_i^f} y_i^{nf} \leq c_i^f v_i^f \quad \forall i \in N_v, f \in F \quad (3.1)$$

Точніше, загальні правила афінності / анти-афінності: правила приєднання VNF-VNF, якщо два VNF часто спілкуються і повинні спільно використовувати вузол, треба зберегти VNF разом, щоб зменшити трафік по мережах і підвищити ефективність трафіку. Нехай $AffVV_{f_1 f_2}$ - параметр, що дорівнює одиниці, якщо f_1 і f_2 повинні спільно використовувати один і той же вузол. Потім:

$$v_i^{f_1} = v_i^{f_2} \quad \forall (f_1, f_2): AffVV_{f_1 f_2} = 1 \quad (3.2)$$

Правила приєднання VNF-Server: деякі засоби запобігання вторгнень VNF повинні знаходитися в краях мережі для захисту від вірусів, трафіку з відмовами обслуговування (DoS) і спрямованих атак. Нехай $AffVS(f_i)$ - параметр, що дорівнює одиниці, якщо f має бути встановлений на i . Потім [21]:

$$v_i^f = 1 \quad \forall (i, f): AffVS_i^f = 1 \quad (3.3)$$

або обмеженою підмножиною вузлів $S \in N_v$:

$$\sum_{i \in S} v_i^f = 1 \quad \forall (i, f): AffVS_i^f = 1 \quad (3.4)$$

Правила анти-афінності VNF-VNF: може знадобитися встановити кілька екземплярів одного VNF на кілька серверів, щоб підвищити надійність VNF від збоїв. Нехай $AAff(f)$ - антиафінний параметр; ми потім накладаємо, що принаймні $nbMin$ в вузлах містить VNF:

$$\sum_{n \in N_s} v_i^f \geq nbMin: \quad \forall f: AAff_f = 1 \quad (3.5)$$

Якщо різні VNF не можуть бути розташовані один з одним, нехай $AAffVV_{f_1f_2}$ є параметром анти-афінності і накладає:

$$v_i^{f_1} + v_i^{f_2} \leq 1 \quad \forall (f_1, f_2): AffVV_{f_1f_2} = 1 \quad (3.6)$$

Правила анти-афінності VNF-сервера: може знадобитися для уникнення ресурсномістких VNF, що знаходяться на певних критично важливих серверах. Нехай $AAffVV_i^f$ є антиафінним параметром і накладає:

$$v_i^f = 0 \quad \forall (i, f): AffVS_i^f = 1 \quad (3.7)$$

Всі обмеження, що встановлюють деякі змінні на один або нуль, просто зменшують кількість змінних; тому очікується, що такі обмеження не збільшують обчислювальний час. Для обміну VNF між різними вимогами може бути введено кілька інших умов (ізоляція VNF).

Ізоляція VNF: якщо один і той же VNF не може бути розділений між двома конкретними вимогами, можна додати обмеження, щоб накласти цю умову. Досить ввести параметр несумісності $ins_{k_1k_2}$, що дорівнює одиниці, якщо потреба k_1 повинна бути ізольована від попиту k_2 ; то нам потрібно додати:

$$z_{ik_1}^{fn} + z_{ik_2}^{fn} \leq 1 \quad \forall i \in N_v, f \in F, \quad (3.8)$$

$$n \in 1 \dots c_i^f, k_1, k_2 \in D$$

Кілька стиснень /декомпресій VNF на вузол NFVI: припустимо, що в кожному вузлі NFVI є трохи більше одного VNF, який може стискати / декомпресувати потік, тобто з коефіцієнтом стиснення $\mu^f \neq 1$. Це припущення можна пом'якшити, використовуючи розширений граф, в якому кожен вузол, який може розміщувати VNF (N_v), розширюється в декількох примірниках, по одному для кожного типу VNF, який може бути виділений в вузлі. В іншому випадку слід уявити всі можливі комбінації різних VNF, виділених для одного і того ж вузла, і додати додаткові виконавчі змінні для подання обраної комбінації [8].

Часткове впорядкування VNF: можна помітити, що частковий порядок може бути накладено з тією ж формою обмежень, які використовуються для загального

впорядкування (3.9), просто обмежуючи їх число існуючими умовами пріоритету. Досить ввести обмеження для кожної пари VNF, яка має відношення пріоритету. Більш формально для кожного запиту k можна ввести орієнтований ациклічний граф $O_k (V_k, P_k)$, де вузли V являють собою набір VNF, які повинні обслуговувати попит ($V = \{i \in F: m(f_k) = 1\}$), а дуги P являють собою відношення порядку між такими VNF, тобто дугою $(i, j) \in P$, якщо VNF j слід використовувати після VNF i . Тоді обмеження, накладення порядку на віртуальні функції:

$$\begin{aligned} \pi_{jk} &\geq \pi_{ik} - (|N_v| + 1)(2 - w_{ik}^{f_1} - w_{ik}^{f_2}) \forall k \in D, \\ &\forall i, j \in N_v, f_1, f_2 \in F: s_k^{f_2} \geq s_k^{f_1} \end{aligned} \quad (3.9)$$

можна переписати як:

$$\begin{aligned} \pi_{jk} &\geq \pi_{ik} - (|N_v| + 1)(2 - w_{ik}^{f_1} - w_{ik}^{f_2}) \\ \forall k \in D, \forall i, j \in N_v, f_1, f_2 \in V_k: (f_1, f_2) \in P_k \end{aligned} \quad (3.10)$$

Додаткові обчислювальні обмеження: їх можна легко включити, налаштувавши існуючі параметри, оскільки запити обчислювальних ресурсів можуть бути виражені адитивним способом (наприклад, для зберігання).

Балансування навантаження: в поточній моделі кожен запит може використовувати один VNF для кожного типу. Модель може бути розширена, щоб забезпечити балансування навантаження на VNF. Якщо балансування навантаження локальна для кластера NFVI, зміна моделі невелика, насправді просто необхідно мати деякі безперервні змінні, що враховують кількість попиту, пов'язане з кожним VNF. Якщо балансування навантаження може бути між різними кластерами, тоді необхідно розширити модель, що дозволяє використовувати кілька шляхів для кожного запиту. Однак очікується, що таке розширення значно збільшить час виконання.

Різні шаблони VM: наприклад, розгляд моделі при односторонній відповідності між шаблонами VNF і VM (єдиний шаблон). Тим не менше, кілька шаблонів VM можна розглядати в моделі за ціною збільшення одного виміру / індексу всіх змінних, індексованих по ідентифікаторам VNF.

Обмеження ресурсів вузла (VNF):

$$\sum_{f \in F} \sum_{n \in 1 \dots c_i^f} r r_r y_i^{fn} \leq \Gamma_{ir} \quad \forall i \in N_v \quad (3.11)$$

Основний маршрутизатор як VNF: якщо функцію маршрутизації ядра також віртуалізувати, тобто, якщо вузол NFVI і мережевий маршрутизатор можна розглядати як один фізичний вузол, який виконує функцію базової маршрутизації, обробляючи сукупний трафік незалежно від попиту, як VNF, тоді нам потрібно додати член, пропорційний притіку і відтіку, до (3.11):

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in D} \sum_{f \in F} \sum_{n \in 1 \dots c_i^f} r r_r y_i^{fn} + \sum_{k \in D} \sum_{j:(i,j) \in A} b_x x_{ij}^k + \\ & + \sum_{k \in D} \sum_{j:(i,j) \in A} b_x x_{ij}^k \leq \Gamma_{ir} \quad \forall i \in N_v, r \in R \end{aligned} \quad (3.12)$$

Якщо розглядається стиснення/декомпресія швидкості передачі даних, обмеження (3.11) має бути змінено таким чином:

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in D} \sum_{f \in F} \sum_{n \in 1 \dots c_i^f} r r_r y_i^{fn} + \sum_{k \in D} \sum_{j:(i,j) \in A} \phi_{ij}^k + \\ & + \sum_{k \in D} \sum_{j:(i,j) \in A} \phi_x x_{ij}^k \leq \Gamma_{ir} \quad \forall i \in N_v, r \in R \end{aligned} \quad (3.13)$$

3.3 Аналіз результатів математичного моделювання

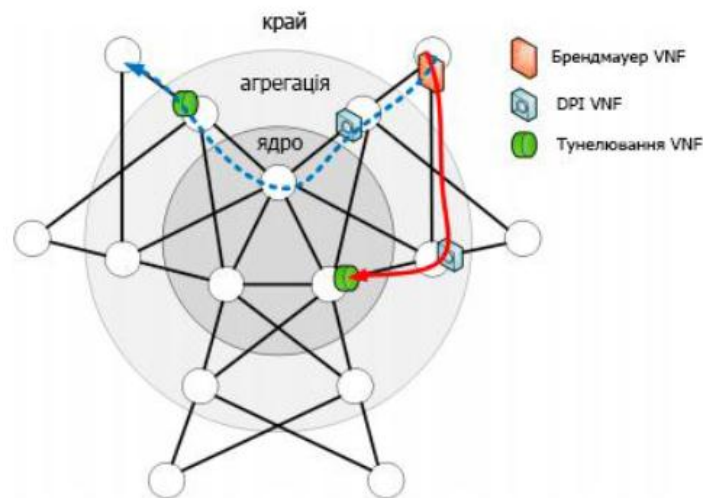


Рисунок 3.1. Прийнята топологія мережі і приклад вирішення VNF-PR

Була прийнята трирівнева топологія, що представлена на рисунку 3.1. для обчислювальних результатів. Кожен крайовий вузол з'єднаний з двома вузлами агрегації, кожен вузол агрегації з'єднаний з двома основними вузлами, а вузли ядра повністю зачеплені. Було розглянуто всі вузли NFVI, які можуть приймати VNF [24].

Тестування проведено з використанням двох різних тематичних досліджень для розподілу попиту: Інтернету і віртуальної приватної мережі (VPN). В інтернет-тематичному дослідженні (наприклад, потік червоним на рисунку 3.1) вимоги до трафіку відправляються кожним крайовим вузлом (наприклад, кінцевим користувачем) на кожен основний вузол (наприклад, центр обробки даних) і з кожного основного вузла для досягнення кожного крайового вузла, що означає, що в цьому випадку обидва крайових вузла і вузли ядра є вузлами доступу (тобто, коли генеруються вимоги); в той час як в разі тематичного дослідження VPN (наприклад, синій потік на рисунку 3.1) крайові вузли відправляють запити трафіку один одному, а це означає, що набір граничних вузлів відповідає набору вузлів доступу. Загальна кількість вимог до трафіку по-різному для двох тематичних досліджень (36 для Інтернету та 30 для VPN), але було збережено постійний загальний обсяг трафіку (сума вимог) в мережі для порівняння. Це робиться для коригування

інтервалу генерації випадкового попиту $[a, b]$: дійсно, вимоги генеруються випадковим чином з рівномірним розподілом в даному інтервалі $[a, b]$, таким чином, що вимоги до краю не можуть створити вузьке місце на краю посилання, тобто $a = 0,1$ і $b = 0,14$ в інтернет-дослідженні, $a = 0,13$ і $b = 0,17$ в тематичному дослідженні VPN. Ці значення дозволяють зберегти загальний обсяг трафіку на одному рівні для двох випадків. Для кожного випадку розглядаються 10 матриць випадкового попиту. З'єднання агрегування розраховані таким чином, що існує ризик насичення каналу (тобто використання посилань вище 100%), якщо розподіл трафіку не оптимізовано. Основні посилання такі, що існує дуже низький ризик вузьких місць. Затримки каналу встановлюються таким чином, щоб впоратися з різними географічними областями: 1 мс для крайових посилань, 3 мс для посилань на агрегування і 5 мс для основних посилань. Використовується один шаблон віртуальної машини, що вимагає 1 процесор і 16 ГБ оперативної пам'яті. Запускаються установки тестів для наскрізної затримки (L) зі строгими і вільними значеннями (15 мс і 20 мс, відповідно). Розглянуто три типи VNF для кожного запиту: брандмауер VNF (стиснення, оскільки він блокує трафік), VNF з глибоким пакетом (DPI) і тунелювання VNF (декомпресія) із суворим порядком: спочатку брандмауер VNF, потім DPI VNF і нарешті, тунелювання VNF. Вузли NFVI мають збільшену пропускну здатність від краю до ядра: 3 процесора і 40 ГБ оперативної пам'яті на кожному крайовому вузлі, 5 процесорів і 80 ГБ оперативної пам'яті на кожному вузлі агрегації і 10 процесорах і 160 ГБ оперативної пам'яті на основних вузлах. Реалізація алгоритму VNF-PR була проведена з використанням AMPL і CPLEX 12.6.3.0. [19]

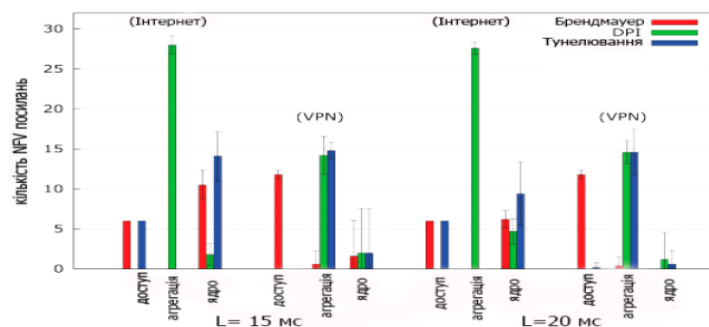


Рисунок 3.2 Розподіл вузлів VNF за рівнями NFVI при TE

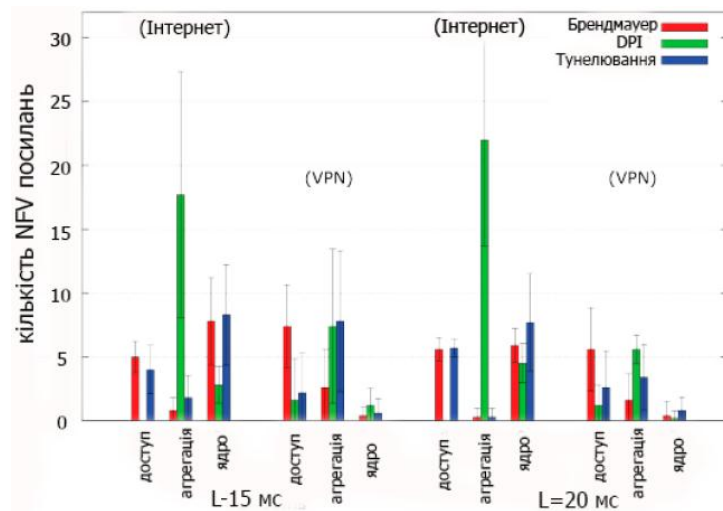


Рисунок 3.3. Розподіл вузлів VNF за рівнями NFVI (стандартний випадок) при TE-NFV

Тестувалися як інтернет-тести, так і VPN-тести в стандартному, а також в профілях затримки fastpath, час затримки обробки VNF задано як на рисунку. Час виконання було обмежено до 600 с для кожної базової фази оптимізації TE і 800 с для повної TE і NFV фази оптимізації.

У всіх тестах найгірший розрив оптимальності з метою TE становить 25%. Деякі рішення виявилися оптимальними протягом 800 (тобто граничний час виконання фази оптимізації TE), інші були з середнім інтервалом оптимальності 15%. Однак ці субоптимальні рішення були швидко знайдені (протягом декількох секунд) і були б оптимальні, якщо для майже всіх випробувань було задано більше часу (близько 1 або 2 годин).

Для мети NFV було важко досягти оптимального значення в межах 800 с. Результати залежать від завдання: до вимог VPN, як в стандартних, так і в швидких профілях затримки, було отримано більш низький розрив в оптимальності і менша варіація, ніж до вимог Інтернету. Можливим поясненням є збільшення кількості вимог до трафіку за допомогою інтернет-тематичного дослідження, яке, як видається, значно впливає на обчислювальні зусилля. Аналіз поведінки рішень: порівнюючи два різних тематичних дослідження попиту (наприклад, Інтернет та VPN) з двома точками зору:

- 1) що відбувається, коли розглядається вартість NFV в цільовій функції замість TE;
- 2) що відбувається, коли підсилюється прив'язка на кінцевій затримці. Також порівнюється поведінку по відношенню до профілів затримки.

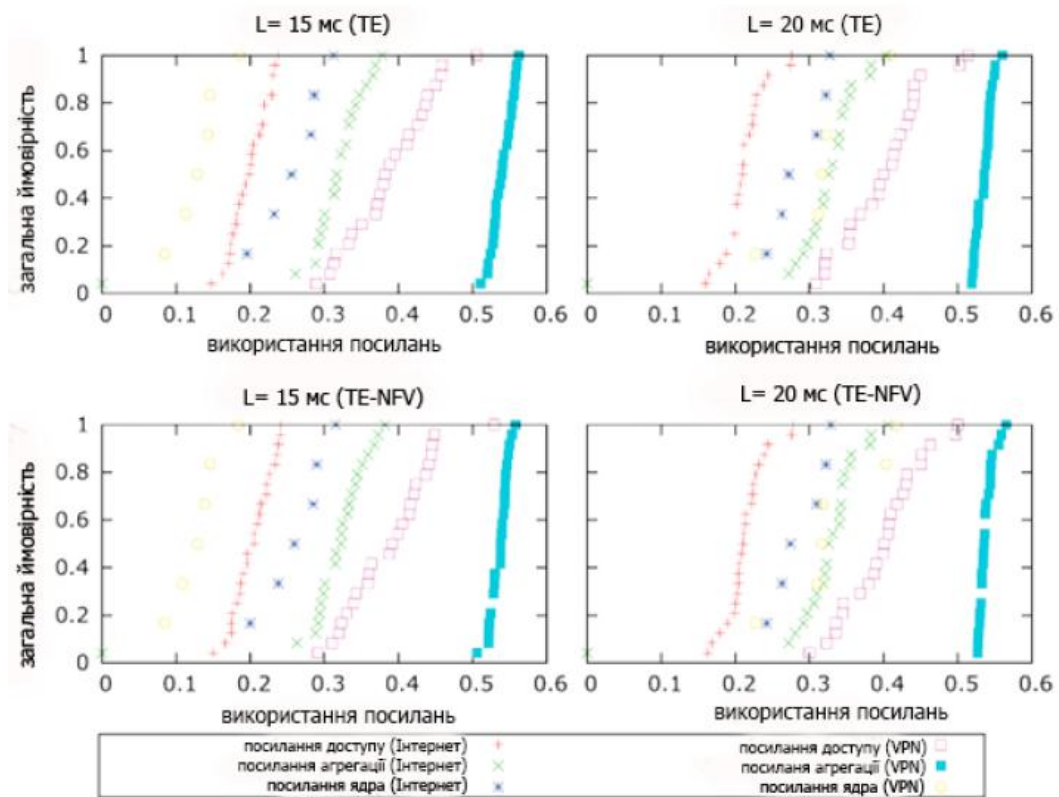


Рисунок 3.4. Використання емпіричних CDF (стандартний випадок)

- 1) Порівняння TE та TE-NFV: аналіз різниці між результатами з метою TE і результатами з складовою метою TE-NFV.

Кількість NFV послань рисунок 3.2 та рисунок 3.3., значно знижується у випадку TE-NFV, а зниження за допомогою вимог VPN є більш значним, ніж вимоги до Інтернету, особливо з обмеженою прив'язкою до наскрізної затримки ($L = 20$ мс).

Використання послань рисунок 3.4: на нього не робить істотного впливу включення мінімізації кількості NFV послань в ціль оптимізації.

Затримка переадресації VNF рисунок 3.5: прийняття мети TE-NFV дозволяє більш високий рівень спільного використання VNF для обох пов'язаних із затримкою ситуацій, як для Інтернет випадку, так і VPN [23].

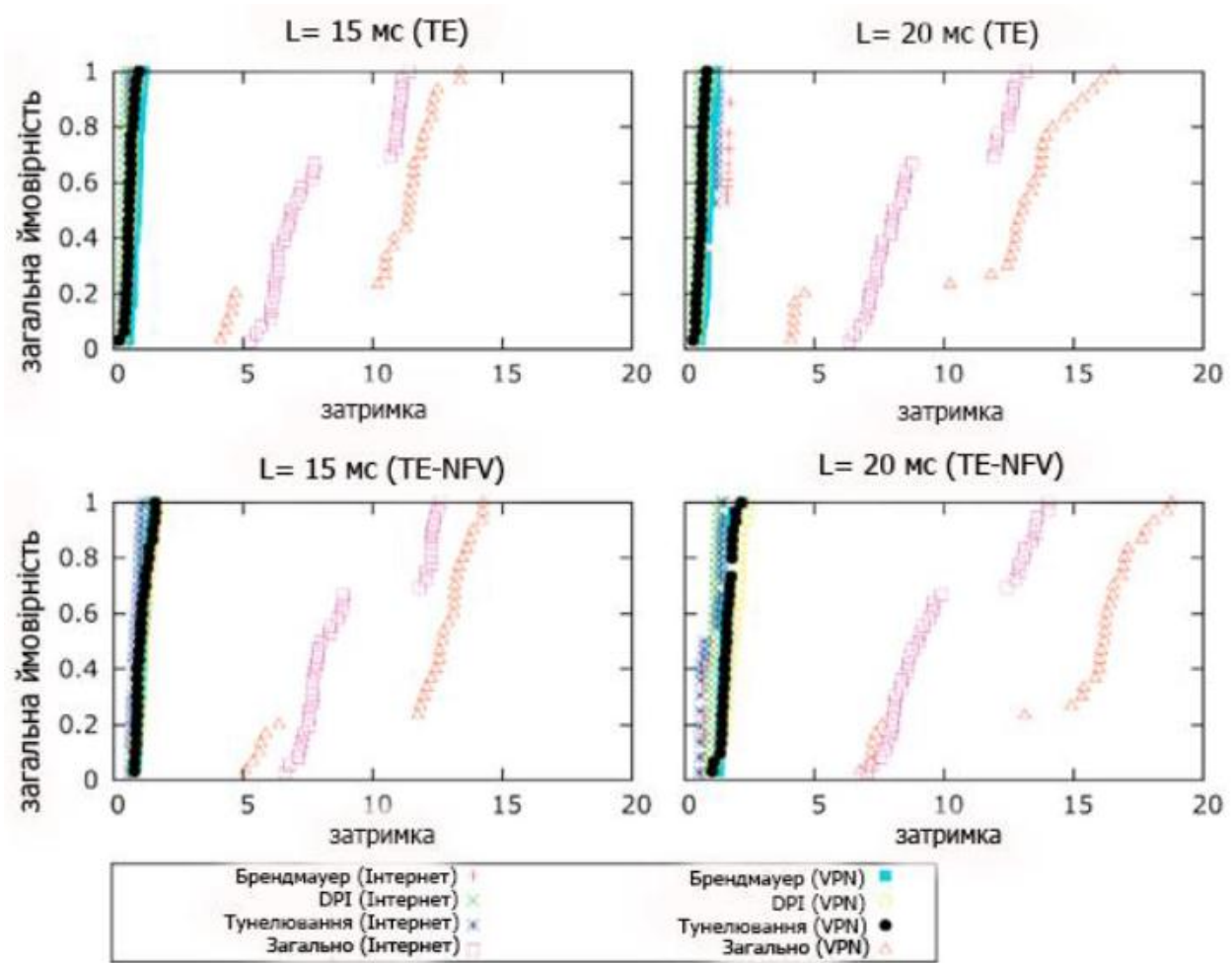


Рисунок 3.5. Емпіричні CDF-компоненти компонентів з затримкою (стандартний випадок)

2) Ослаблення обмеження TE: чутливість до максимального використання послань: було проведено аналіз чутливості, щоб продемонструвати ефект ослаблення мети TE щодо оптимальної кількості NFV з метою подальшого доказу взаємозв'язку між двома випадками. З метою TE-NFV, навіть якщо кількість розміщення VNF мінімізована, гарантується мінімальне максимальне використання послань. Щоб аналізувати вплив прив'язки TE на об'єктну оптимізацію витрат NFV, необхідно починати з оптимального значення TE. Для цього виконується серія кроків оптимізації цільової функції затрат NFV, дозволяючи все це пом'якшуватися. Кількість NFV (в середньому 10 виконань) при різній межі максимального використання послань (U). Обчислюється кількість NFV при $U = U^* + \alpha$, причому α змінюється від 0 до 0,4. Для випадків Інтернету і VPN, коли $\alpha = 0$, TE-кордон (U), яка використовується для фази TE-NFV, є U^* , знайденої в TE-фазі; коли $\alpha = 0,4$, U ,

який використовується для фази TE-NFV, становить близько 1 (тобто досягнута насиченість каналу). Результати показують, що вільна TE-прив'язка (використання посилянь) дозволяє поліпшити рішення TE-NFV. У більшості випадків практично відсутня скорочення (або взагалі відсутня) від $\alpha = 0,2$ до $\alpha = 0,4$, що свідчить про наявність стелі між метою TE і метою TENVFV: краще використовувати ресурси NFV (тобто мета TE -NFV), дозволяючи обмеження використання вільної лінії (тобто мета TE), проте це не завжди вірно, коли досягаємо стелі (наприклад, інші обмеження, такі як ємність VM, також впливають на вартість NFV). У той час як для випадку Інтернет Fastpath $L = 20$ мс відбувається зниження кількості NFVI з ростом α від 0,2 до 0,4. Помітно, що для одного і того ж тематичного дослідження з $L = 15$ найкраща знайдена мета - 31 (як для $\alpha = 0,2$ і 0,4), тому припускаємо це зміна поведінки до неоптимальності рішення в разі $L = 20$ мс, а не на іншу поведінку системи (було накладено короткий термін).

3) Чутливість до затримки: аналіз впливу затримки ланцюга VNF на зв'язок (L) з результатами.

Таблиця 3.1.

Кількість NFV для різних рівнів релаксації TE, з оптимізацією TE-NFV

Змінна	$\lambda=0$	$\lambda=0,2$	$\lambda=0,4$
	$L=15$ мс		
Стандартний Інтернет	48,2	25,8	24,9
Fastpath Інтернет	37,125	31	31
Стандартний VPN	31	28,8	28,6
Fastpath VPN	39,1	37,7	37,7
	$L=20$ мс		
Стандартний Інтернет	52	23,7	23,1
Fastpath Інтернет	38,7	34,8	31,2
Стандартний VPN	20,9	20,4	20
Fastpath VPN	34,9	34,8	33,8

Кількість NFV рисунок 3.2 та рисунок 3.3: світова ціна NFV залишається майже незмінною, переходячи від слабкої до сильної затримки. Загальна вартість знижується завдяки вимогам VPN по обидва цілям оптимізації з обмеженою затримкою, особливо з метою TE-NFV. Це відбувається через те, що з обмеженою затримкою трафік може проходити через посилення з високою затримкою (наприклад, основні посилення), щоб розділити більше VNF. Навпаки, є невелике збільшення вартості до потреб Інтернету по цілі TE-NFV. Аналізуючи більш детально результати, очевидно, що для інтернет-тематичного дослідження вирішувач (CPLEX) має більше труднощів для зменшення розриву. Було зроблено висновок про те, що спрощення слабкої затримки робить компонент проблеми місця розташування (визначення цілей VNF і NFV) переважаючим по відношенню до маршрутизації, і тому проблема стає більш складним завданням. Це також підтверджується помітною мінливістю результатів, з великим довірчим інтервалом в кількості VNF з вимогами до Інтернету, перехідним від строгого латентного стану до вільних латентним кордонів. Більш того, з урахуванням вимог VPN існує більш висока залежність від затримки, ніж до вимог Інтернету[11]. Це відбувається тому, що, загалом, далі відправляти запити трафіку з прикордонного вузла на прикордонний вузол, ніж з вузла edge (core) node на core (edge), тобто наскрізний шлях пересилання запитів VPN в загальному випадку довше, ніж вимог до Інтернету, що призводить до більш високої залежності від затримки.

Використання посилення рисунок 3.4: в підтримку вищезгаданого аналізу помітно, що при обмеженій затримці прив'язки основні посилення стають більш використовуваними до вимог VPN.

Затримка VNF-пересилання рисунок 3.5: таке ж спостереження можна отримати, переглянувши компоненти наскрізної затримки, затримка кожного VNF і загальна затримка стають явно довшими до вимог VPN з обмеженою затримкою.

Ці спостереження підтверджують важливість прив'язки рішень ланцюжка VNF і розміщення.

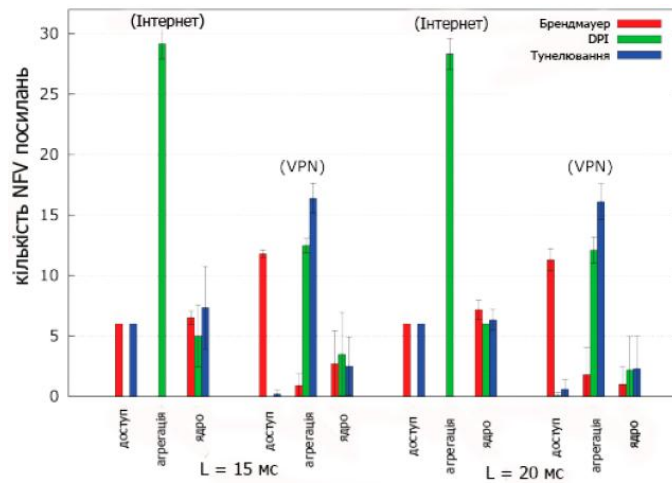


Рисунок 3.6. Розподіл вузлів VNF за рівнями NFVI (випадок fastpath) при TE

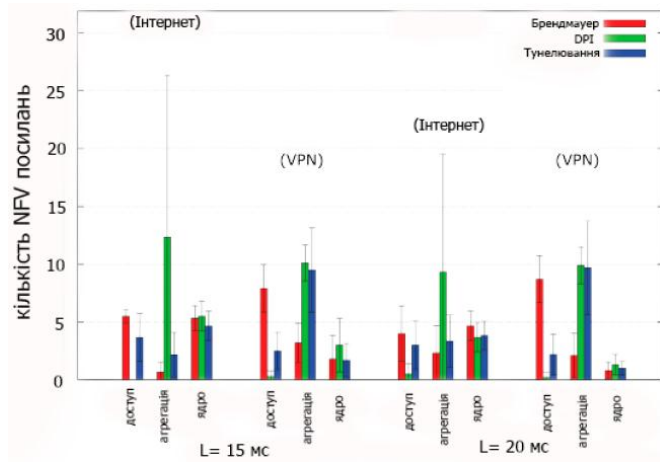


Рисунок 3.7. Розподіл вузлів VNF за рівнями NFVI (випадок fastpath) при TE-NFV

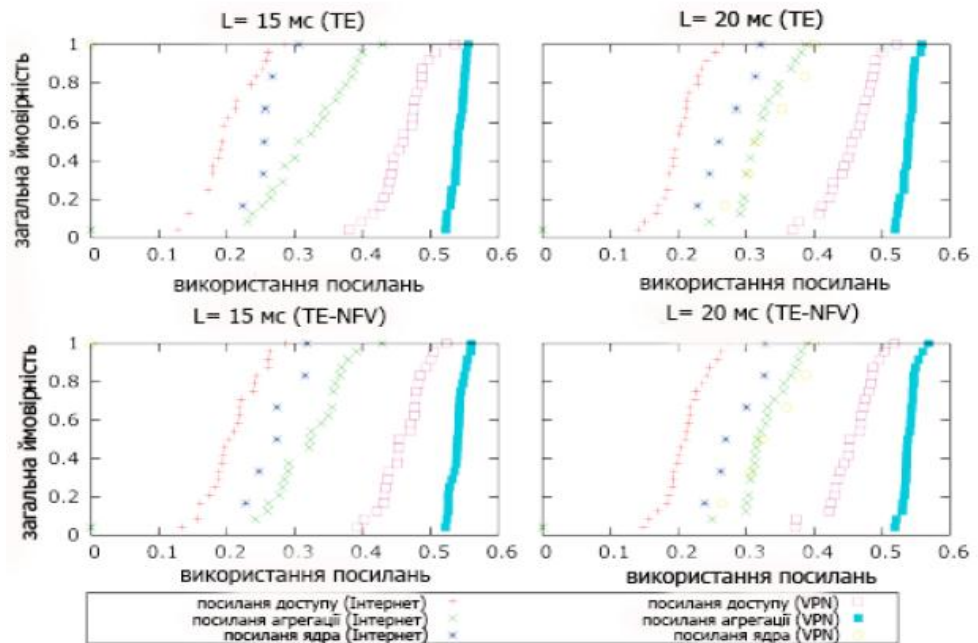


Рисунок 3.8 Використання емпіричних CDF-посилянь (випадок fastpath)

4) Перемикання VNF в стандартному або fastpath випадку: порівнюється результати зі стандартним профілем затримки пересилання VNF з даними з профілем fastpath. Кількість NFV рисунок 3.2 та рисунок 3.3. в порівнянні з рисунок 3.6 та рисунок 3.7: за метою TE-NFV прискорена пересилання VNF з прискореної швидкістю більша, ніж стандартна пересилання з вимогами VPN, особливо з обмеженою прив'язкою до наскрізної затримки ($L = 20$ мс), в той час як це суперечить вимогам Інтернету. Це відбувається через максимальну прив'язку трафіку, яка задана у випадку fastpath, і яка не встановлена для стандартного випадку (що, однак, призводить до більш високої наскрізної затримки) [15,17].

Використання посилок рисунок 3.4. в порівнянні з рисунок 3.8: між двома профілями затримки немає помітних відмінностей.

Затримка пересилання VNF рисунок 3.5 в порівнянні з рисунок 3.9: VNF краще розподіляються в стандартному випадку, це пов'язано з максимальним обмеженням трафіку, встановленим у випадку з fastpath.

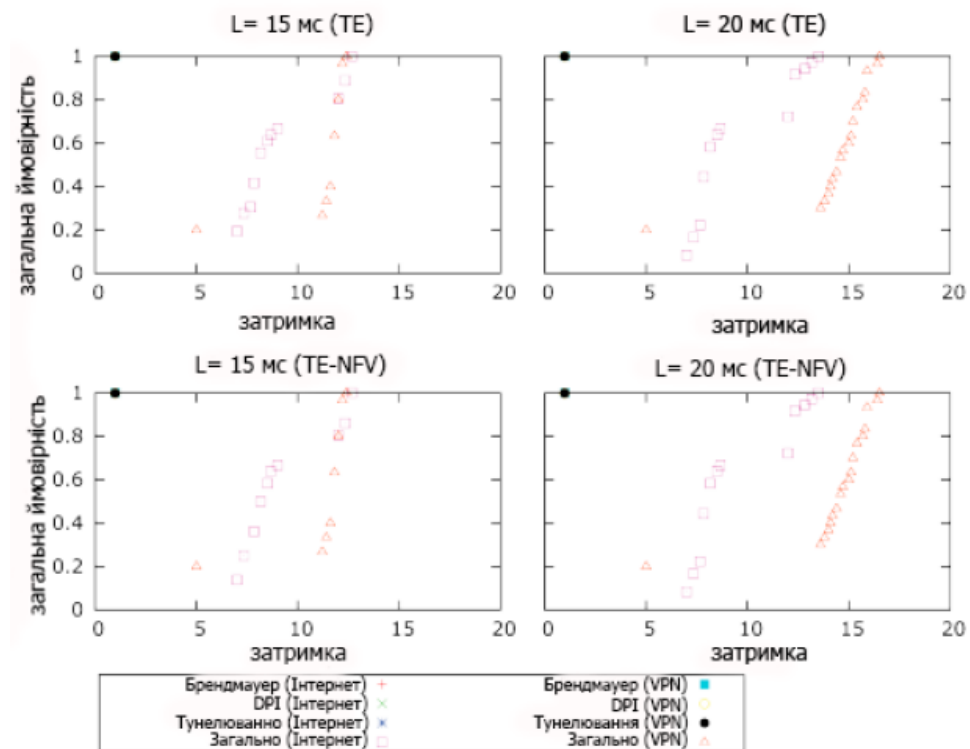


Рисунок 3.9 Емпіричні CDF-компоненти латентних компонентів (випадок fastpath)

Ці спостереження показують, що, виконуючи оптимізацію в два етапи (спочатку TE, а потім мінімізацію витрат NFV), може дозволити значно знизити кількість NFV посилок, не впливаючи на розподіл використання посилок[26].

3.4 Порівняння підходів реалізації мереж заснованих на алгоритмах VNF-PR і VNE

Було порівняно запропонований підхід VNF-PR з підходом VNE Based (VNE-B). Пропонується підхід моделювання VNE-B для загальної проблеми оркестровки VNF: кожен запит на трафік розглядається як віртуальний граф ($G(N, L)$), де N - це набір трафіку вузла, тобто комутатори або VNF, а L позначає посилення між ними), які повинні бути вбудовані в графік субстрату, представлений комутаторами / маршрутизаторами і кластерами NFVI. Відображення шляху віртуального трафіку вимагає фізичної мережі, реалізується шляхом впровадження VNF на фізичних серверах і встановлення шляху для віртуальних посилок. Вже згадана мета полягає в мінімізації загальної кількості ОППХ (операційних витрат): вартості розгортання VNF, вартості енергії, вартості пересилки трафіку і додаткового штрафу, щоб брати до уваги порушення рівня обслуговування (SLO). В якості мети оптимізації розглядається зважена сума чотирьох вищезазначених витрат. В запропонованому порівнянні був фокус на статичній версії проблеми і її запропонованому підході до вирішення. Він заснований на процедурі, яка вирішує послідовність ILP, де для кожної ітерації кількість VNF обмежена і час виконання також обмежений. Виконання ILP вирішуються за допомогою CPLEX.

Перерахуємо спрощення і адаптації до запропонованої моделі, щоб використовувати ті ж параметри, що і в підході VNE-B[20]:

- було знижено поставлене в роботі завдання до однієї мети: мінімізації загальних експлуатаційних витрат мережі, використовуючи ті ж параметри підходу VNE-B;
- було розглянуто тільки режим затримки fastpath, тобто фіксувалась затримка пересилання VNF;

- було відкинуто аспекти стиснення / декомпресії, тобто була застосована модель «basic-lat»;
- оскільки підхід VNE-B використовує шаблони VNF, було пов'язано шаблон VNE з кожним типом VNF відповідно до запитаної VNF кількості vCPU (наприклад, шаблон з ємністю 4 процесора пов'язаний з VNF, робить запити 4 процесора);
- було додано параметр штрафу для кожного запиту трафіку, щоб прийняти до уваги порушення SLO.

Що стосується тестових даних, вони були встановлені відповідно з установкою імітації, прийнявши топологію Internet2 (12 комутаторів і 15 посилянь), встановивши один і той же фізичний зв'язок і можливості сервера NFVI, використовуючи ту ж специфікацію VNF, послідовність запитів VNF, і т. д., і приймаючи ті ж дані про затрати. Що стосується даних трафіку, було створено 5 груп тестів з різними наборами запитів трафіку (6, 12, 18, 24 і 30). Для кожної групи випадковим чином вибирається з набору матриць трафіку з 10 матриць. Потім ці групи даних тестувалися за допомогою трьох методів (VNE-B, VNF-PR і VNF-PR-D). Запропоновані алгоритми реалізовані в AMPL, а алгоритм VNE-B реалізований на C ++ з використанням CPLEX для вирішення ILP. CPLEX 12.5.1 був використаний для цих випробувань. На рисунку показано порівняння запропонованого рішення VNF-PR і рішення VNE-B з точки зору глобальної вартості в залежності від кількості розглянутих вимог. Можна помітити, що VNF-PRD може знайти кращі рішення в порівнянні з алгоритмом VNE-B, особливо коли кількість вимог до трафіку невелика: він завжди може знайти оптимальні рішення. У той час як алгоритм VNE-B завжди здатний знаходити прийнятне рішення дуже швидко (приблизно протягом 10 секунд), результат може бути набагато гірше, і він не забезпечує оптимальних рішень навіть по 6 вимогам. Що стосується VNF-PR, то це точний метод для знаходження оптимального рішення, тому він в цілому повільний. Він запускається, щоб знайти оптимальне рішення, щоб показати розрив між оптимальними рішеннями і можливими рішеннями. На рисунку 3.10. показано, що розрив можливих рішень стає дуже важливим, оскільки запити трафіку збільшуються. Однак розрив можливих рішень, який був знайдений VNF-PR-D,

менше, ніж у VNE-B, що говорить про те, що для досягнення компромісу під час виконання і оптимальності рішення необхідні більш складні формулювання проблем.

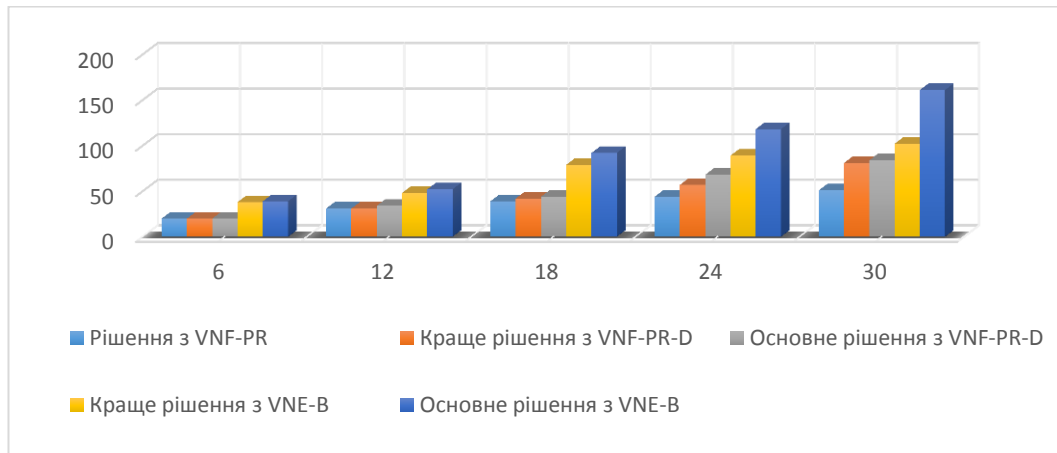


Рисунок 3.10. Порівняння алгоритмів VNE-PR і VNE з точки зору об'єктивної функції

3.5 Дослідження програмної реалізації моделі обслуговування з'єднання

Програмна реалізація виконана у вигляді імітаційної моделі, розробленої у середовищі моделювання GPSS World.

Визначимо характеристики моделі задавши значення елементів матриць R^{\max} та R^m .

Отже, кількість типів ресурсів $l = 3$. При цьому $i = 1$ — це оперативна пам'ять, $i = 2$ — це процесорний час, $i = 3$ — це мережевий ресурс.

Кількість функцій $n = 10$ (визначені в попередньому розділі), кількість типів сервісів $k = 9$ (відповідно до значень стовпчика «Пріоритет» у табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Ідентифікатори класу QoS в мережі LTE

Ідентифікатор класу обслуговування (QCI)	Тип ресурсу	Пріоритет	Приклад
1	GBR	2	Послуги голосової телефонії
2		4	Відеодзвінки

3	Non-GBR	3	Он-лайн ігри
4		5	Потокове відео
5		1	Керування послугами мультимедіа
6		6	TCP додатки: електронна пошта, завантаження файлів і т. д.
7		7	Інтерактивні ігри
8		8	TCP додатки: електронна пошта, завантаження файлів і т. д.
9		9	TCP додатки: електронна пошта, завантаження файлів і т. д.

Продовження таблиці 3.2.

Значення елементів r_{im}^{max} матриці R^m наведені у табл.3.3.

Таблиця 3.3.

Значення елементів r_{im}^{max} матриці R^m

i \ m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	256	1024	256	128	1024	512	2048	1024	1024	2048
2, [МГц]	512	512	512	128	512	256	512	256	512	512
3, [Мбіт/с]	20	2	20	5	5	10	5	5	10	20

Визначимо для кожного з k типів сервісів значення елементів r_{i1}^m матриці R^m (табл. 3.4 - 3.21).

Таблиця 3.4.

Значення елементів r_{i1}^m матриці R^m

i \ m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	32	32	32	16	64	64	128	128	128	64
2, [МГц]	32	32	32	32	32	32	32	64	64	32
3, [Мбіт/с]	2	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1

Таблиця 3.5.

Значення елементів r_{i2}^m матриці R^m

i \ m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	16	64	32	16	128	32	128	32	32	128

2, [МГц]	32	64	32	16	16	16	32	32	32	64
3, [Мбіт/с]	2	0,5	2	0,2	0,5	1	0,2	0,5	1	1

Продовження таблиці 3.5

Таблиця 3.6.

Значення елементів r_{i3}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	32	64	16	8	128	16	128	32	128	64
2, [МГц]	8	8	16	32	16	8	8	8	32	32
3, [Мбіт/с]	1	0,2	1	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	1	2

Таблиця 3.7.

Значення елементів r_{i4}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	16	16	32	8	128	32	256	64	64	64
2, [МГц]	16	32	16	16	64	16	64	32	32	32
3, [Мбіт/с]	1	0,1	2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5

Таблиця 3.8.

Значення елементів r_{i5}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	8	16	16	16	128	32	64	32	16	128
2, [МГц]	16	8	16	8	32	16	16	16	32	32
3, [Мбіт/с]	0,5	0,1	1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	2

Таблиця 3.9.

Значення елементів r_{i6}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	8	8	16	4	64	32	64	128	64	64
2, [МГц]	8	8	32	4	32	16	16	16	8	16
3, [Мбіт/с]	1	0,1	1	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0,5	1

Таблиця 3.10.

Значення елементів r_{i7}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	16	32	16	8	16	16	128	64	64	128
2, [МГц]	8	8	8	8	16	16	16	16	32	32
3, [Мбіт/с]	0,5	0,1	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1	1

Таблиця 3.11

Значення елементів r_{i8}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	8	8	16	8	64	32	64	128	64	64
2, [МГц]	8	8	16	4	16	16	32	16	8	16
3, [Мбіт/с]	1	0,1	1	0,5	1	0,2	0,2	0,2	0,5	1

Таблиця 3.12

Значення елементів r_{i9}^m матриці R^m

$i \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, [Мб]	8	8	16	4	64	32	64	128	64	128
2, [МГц]	16	8	32	8	16	16	32	16	8	32
3, [Мбіт/с]	1	0,2	1	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	2

Реальна кількість ресурсів залежить від прогнозованого навантаження певної зони мобільної мережі, тому дані в таблицях взяті для прикладу моделювання з метою дослідження ефективності запропонованого методу в умовах однакової кількості ресурсів, що необхідна для обслуговування запитів певного типу та однакової кількості фактичних ресурсів, які відводяться для певної функції, незалежно від методу організації цих ресурсів.

Рисунок 3.11. відображає програмну реалізацію обслуговування запитів на з'єднання абонентів функціями F1 та F2 у випадку базового методу організації ресурсів ядра мережі без віртуалізації.

При проходженні транзактів (абстрактний об'єкт моделювання у середовищі GPSS World), який у запропонованій моделі відображає запити на обслуговування з'єднання, які передаються між ресурсами ядра мобільної мережі, через відповідні

блоки Test функцій, перевіряються на відповідність умовам обслуговування (наявність ресурсів відповідного набору) і у разі такої наявності потрапляють на обслуговування, у іншому ж випадку направляються

```

entry_func1
  TEST LE (X$CPU_Cur_Function1+X$CPU_Cur_Function2+MX$Resources1(1,P1)),
(CPU_Max_Function1+CPU_Max_Function2),entry_queue_func_1
  TEST LE (X$RAM_Cur_Function1+X$RAM_Cur_Function2+MX$Resources1(2,P1)),
(RAM_Max_Function1+RAM_Max_Function2),entry_queue_func_1
  TEST LE (X$NET_Cur_Function1+X$NET_Cur_Function2+MX$Resources1(3,P1)),
(NET_Max_Function1+NET_Max_Function2),entry_queue_func_1
  SAVEVALUE CPU_Cur_Function1+,MX$Resources1(1,P1)
  SAVEVALUE RAM_Cur_Function1+,MX$Resources1(2,P1)
  SAVEVALUE NET_Cur_Function1+,MX$Resources1(3,P1)
  QUEUE Function1
  ADVANCE (Exponential(1,0,40))
  DEPART Function1
  SAVEVALUE CPU_Cur_Function1-,MX$Resources1(1,P1)
  SAVEVALUE RAM_Cur_Function1-,MX$Resources1(2,P1)
  SAVEVALUE NET_Cur_Function1-,MX$Resources1(3,P1)
  UNLINK List_func_1,entry_func1,1

entry_func2
  TEST LE (X$CPU_Cur_Function1+X$CPU_Cur_Function2+MX$Resources2(1,P1)),
(CPU_Max_Function1+CPU_Max_Function2),entry_queue_func_2
  TEST LE (X$RAM_Cur_Function1+X$RAM_Cur_Function2+MX$Resources2(2,P1)),
(RAM_Max_Function1+RAM_Max_Function2),entry_queue_func_2
  TEST LE (X$NET_Cur_Function1+X$NET_Cur_Function2+MX$Resources2(3,P1)),
(NET_Max_Function1+NET_Max_Function2),entry_queue_func_2
  SAVEVALUE CPU_Cur_Function2+,MX$Resources2(1,P1)
  SAVEVALUE RAM_Cur_Function2+,MX$Resources2(2,P1)
  SAVEVALUE NET_Cur_Function2+,MX$Resources2(3,P1)
  QUEUE Function2
  ADVANCE (Exponential(1,0,40))
  DEPART Function2
  SAVEVALUE CPU_Cur_Function2-,MX$Resources2(1,P1)
  SAVEVALUE RAM_Cur_Function2-,MX$Resources2(2,P1)
  SAVEVALUE NET_Cur_Function2-,MX$Resources2(3,P1)
  UNLINK List_func_2,entry_func2,1

```

Рисунок 3.11. Програмна реалізація обслуговування запитів на з'єднання абонентів

до відповідної черги. Обслуговування запитів ресурсами певної функції реалізовано за допомогою абстрактної затримки транзакта блоком Advance.

Після завершення обслуговування перший транзакт, що знаходиться в черзі функції блоком Unlink направляється на обслуговування.

Лістинг 4.1 відображає виконання перших двох умов, відображених у формулі 4.7.

Черги функції реалізовані за допомогою списків користувача мови GPSS, при потраплянні до яких транзакти розміщуються за пріоритетом типу сервісу. Рисунок 3.12. показує реалізацію черг на обслуговування ресурсами функцій.

entry_queue_func_1	LINK List_func_1,PR
entry_queue_func_2	LINK List_func_2,PR
entry_queue_func_3	LINK List_func_3,PR
entry_queue_func_4	LINK List_func_4,PR
entry_queue_func_5	LINK List_func_5,PR
entry_queue_func_6	LINK List_func_6,PR
entry_queue_func_7	LINK List_func_7,PR
entry_queue_func_8	LINK List_func_8,PR
entry_queue_func_9	LINK List_func_9,PR
entry_queue_func_10	LINK List_func_10,PR

Рисунок 3.12. Програмна реалізація черг на обслуговування ресурсами функцій

Програмна реалізація обслуговування запитів на з'єднання абонентів функцією F2 у випадку запропонованого методу з віртуалізацією ЕРС (виконання другої умови формули 3.9) показана на рисунку 3.13.

Рисунок 3.14. відображає реалізацію надходження запитів до системи за допомогою генерації транзактів та назначення певного значення пріоритету для моделювання надходження заявок різних типів сервісів. Для прикладу розглянемо надходження заявок різних типів з однаковою ймовірністю з використанням першого генератора випадкових чисел середовища GPSS та середнього значення розподілу, що дорівнює 5.

```

entry_func2
TEST LE (X$CPU_Cur_Function2+X$CPU_Cur_Function5+X$CPU_Cur_Function6+
X$CPU_Cur_Function7+X$CPU_Cur_Function8+X$CPU_Cur_Function9+
X$CPU_Cur_Function10+MX$Resources2(1,P1)),
(CPU_Max_Function2+CPU_Max_Function5+CPU_Max_Function6+
CPU_Max_Function7+CPU_Max_Function8+CPU_Max_Function9+
CPU_Max_Function10),entry_queue_func_2

TEST LE (X$RAM_Cur_Function2+X$RAM_Cur_Function5+X$RAM_Cur_Function6+
X$RAM_Cur_Function7+X$RAM_Cur_Function8+X$RAM_Cur_Function9+
X$RAM_Cur_Function10+MX$Resources2(2,P1)),
(RAM_Max_Function2+RAM_Max_Function5+RAM_Max_Function6+
RAM_Max_Function7+RAM_Max_Function8+RAM_Max_Function9+
RAM_Max_Function10),entry_queue_func_2

TEST LE (X$NET_Cur_Function2+X$NET_Cur_Function5+X$NET_Cur_Function6+
X$NET_Cur_Function7+X$NET_Cur_Function8+X$NET_Cur_Function9+
X$NET_Cur_Function10+MX$Resources2(3,P1)),
(NET_Max_Function2+NET_Max_Function5+NET_Max_Function6+
NET_Max_Function7+NET_Max_Function8+NET_Max_Function9+
NET_Max_Function10),entry_queue_func_2

SAVEVALUE CPU_Cur_Function2+,MX$Resources2(1,P1)
SAVEVALUE RAM_Cur_Function2+,MX$Resources2(2,P1)
SAVEVALUE NET_Cur_Function2+,MX$Resources2(3,P1)
QUEUE Function2
ADVANCE (Exponential(1,0,40))
DEPART Function2
SAVEVALUE CPU_Cur_Function2-,MX$Resources2(1,P1)
SAVEVALUE RAM_Cur_Function2-,MX$Resources2(2,P1)
SAVEVALUE NET_Cur_Function2-,MX$Resources2(3,P1)
UNLINK List_func_2,entry_func2,1

```

Рисунок 3.13. Реалізація обслуговування запитів на з'єднання у випадку віртуалізації ресурсів ЕРС

```

PRIOR FUNCTION RN1,D9;
0.111,1/0.222,2/0.333,3/0.444,4/0.555,5/0.666,6/0.777,7/0.888,8/1.0,9
Ttime TABLE M1,0,200,10
GENERATE (Poisson(1,5))
PRIORITY FNS$PRIOR
ASSIGN 1,(10-PR)

```

Рисунок 3.14. Надходження заявок до системи

3.6 Аналіз результатів моделювання обслуговування з'єднання абонента вузлами ядра мережі

Для виконання моделювання задамо значення модельного часу виконання 10^5 модельних одиниць. Нехай 1 модельна одиниця часу дорівнює 1 мс.

При виконанні моделювання при базовому методі організації ресурсів отримаємо значення математичного очікування тривалості обслуговування з'єднання $M_6 = 414,883$ мс, стандартне відхилення $S_6 = 135,928$ мс.

Рисунок 3.16. відображає діаграму значень тривалості обслуговування з'єднання з кроком 200 мс (по осі абсцис — значення часу, по осі ординат — кількість транзактів).

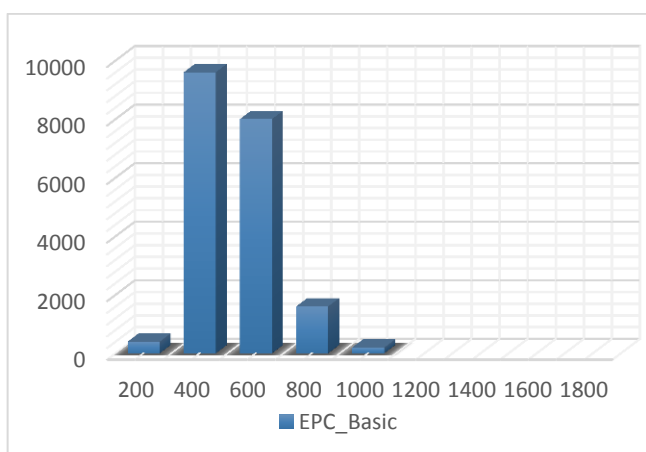


Рисунок 3.16. Діаграма значень тривалості обслуговування при базовому методі організації ресурсів

На рисунок 3.17. наведено частину звіту моделювання у середовищі GPSS World, що відображає статистику черг на обслуговування функціональними 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 3.17. Статистика черг на обслуговування функціональними вузлами при базовому методі організації ресурсів

При виконанні моделювання при запропонованому методі віртуалізації ресурсів отрамаємо значення математичного очікування тривалості обслуговування з'єднання $M_6 = 400,177$ мс, стандартне відхилення $S_6 = 127$ мс.

На рисунку 3.18. зображено діаграму значень тривалості обслуговування з'єднання, а на рисунок 3.19. частину звіту моделювання, що відображає статистику черг на обслуговування функціональними вузлами при віртуалізації ресурсів.

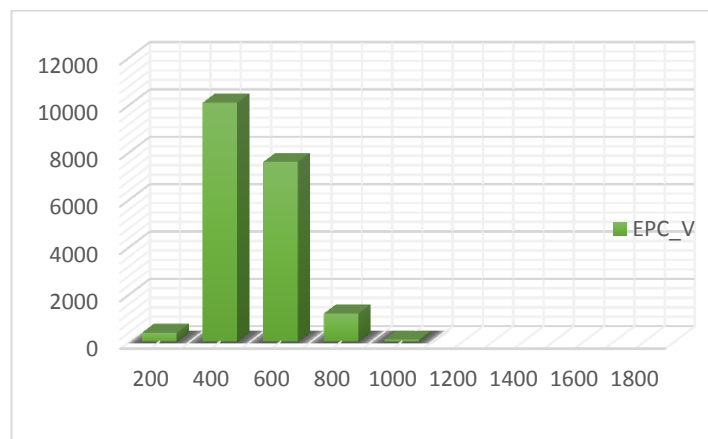


Рисунок 3.18. Діаграма значень тривалості обслуговування при віртуалізації EPC

USER CHAIN	SIZE	RETRY	AVE .CONT	ENTRIES	MAX	AVE .TIME
LIST_FUNC_1	0	0	0.007	163	4	4.495
LIST_FUNC_2	0	0	0.000	0	0	0.000
LIST_FUNC_3	0	0	0.074	886	11	8.297
LIST_FUNC_4	0	0	0.005	94	3	5.280
LIST_FUNC_5	0	0	0.000	0	0	0.000
LIST_FUNC_6	0	0	0.000	0	0	0.000
LIST_FUNC_7	0	0	0.000	0	0	0.000
LIST_FUNC_8	0	0	0.000	0	0	0.000
LIST_FUNC_9	0	0	0.000	0	0	0.000
LIST_FUNC_10	0	0	0.000	0	0	0.000

Рисунок 3.19. Статистика черг на обслуговування функціональними вузлами при віртуалізації EPC

Як видно з результатів моделювання, що наведені на рисунку 3.17. та рисунку 3.18. застосування запропонованого методу віртуалізації значно зменшує кількість транзактів, що потрапляють до черг на обслуговування функцій: до ресурсів віртуалізованих функцій черги відсутні взагалі, лише до функцій F1, F3 та F4 спостерігаються черги.

На рисунку 3.20. зображено збільшення середньої тривалості обслуговування з'єднання у разі збільшення інтенсивності надходження транзактів до моделі (по осі абсцис — кількість транзактів на період модельного часу, по осі ординат — середня тривалість обслуговування, мс) в залежності від методу організації ресурсів.

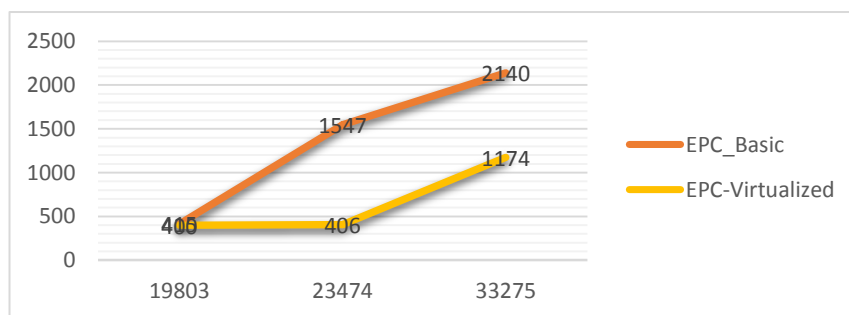


Рисунок 3.20. Залежність середньої тривалості обслуговування з'єднання від збільшення інтенсивності надходження транзактів

Як видно з графіків зі збільшенням інтенсивності надходження транзактів до моделі середня тривалість обслуговування при застосуванні базового підходу до організації ресурсів зростає набагато суттєвіше ніж при застосуванні запропонованого методу віртуалізації при однакових об'ємах ресурсів.

ВИСНОВКИ

Виконавши поставлені завдання, у магістерській роботі проведено аналіз технологій мобільного зв'язку. Визначено, перелік вимог необхідних для забезпечення необхідної якості обслуговування абонентам.

Розглянута та проведена оцінка сучасного стану розвитку ринку мобільного зв'язку в Україні, аналіз існуючих проблем в сучасних мобільних мережах, основні вимоги підходу до віртуалізації ядра мережі та функціональні особливості вузлів мобільної мережі, які впливають на архітектуру віртуалізованої платформи.

Були досліджені технічні особливості віртуалізації мережевих функцій в телекомунікаційних мережах В ході яких запропоновано більш ефективний метод організації ресурсів ядра мобільних мереж, який полягає у віртуалізації значної частини функцій, які відповідають за уніфікації обладнання і дозволяє підвищити гнучкість керування мережею мобільного зв'язку.

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. Виявлено, що для підвищення гнучкості та ефективності мережі доцільно застосовувати віртуалізацію мережевих функцій ядра мобільної мережі

У практичній роботі проведено тести для оцінки розглянутого алгоритму на трирівневій топології, яка представляє топологію ISP.

Також кількісно порівняно досліджувану модель VNF-PR із застарілою моделлю VNE.

Виконано дослідження програмної реалізації моделі обслуговування з'єднання.

Представлено приклад використання технологій віртуалізації операторами зв'язку. Аналіз показує що саме нові підходи до розгортання мереж надають операторам великі можливості для інновацій і змогу займати лідируючу роль в галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойко А. Б. Оцінка сучасного стану галузі зв'язку та інформатизації в Україні / А. В. Бойко // Економіка. Управління. Інновації. – Випуск № 1 (13). – 2015.
2. Зубко Л. В. Аналіз конкуренції на ринку мобільного зв'язку України / Л. В. Зубко, Т. Л. Зубко, Я. В. Сапега // «Економіка. Менеджмент. Бізнес». – № 3(13). – 2015. – С. 107-114.
3. Яцкевич І. В. Особливості конкурентоспроможності підприємств мобільного зв'язку України / І. В. Яцкевич, Ю. О. Жаданова // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті № 1(42). – 2013. – 210-224.
4. Усик С. П. Аналіз послуг мобільного зв'язку на ринку України / С. П. Усик, С. А. Пономаренко // Сталий розвиток економіки. – 2013. – № 3. – С. 341-346.
5. Офіційний сайт державної служби статистики України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
6. Послугу з перенесення номера мобільного телефону (MNP) впровадять у 2016 році, – УДЦР. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.112.ua/suspilstvo/posluhu-z-perenesennia-nomera-mobilnoho-telefonuMNP-vprovadiat-v-2016-rotsi-udtsr-249010.html>.
7. Українці поступово відмовляються від зайвих SIM-карт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://itc.ua/news/ukraintsyi-postepenno-otkazyivayutsya-ot-lishnih-sim-kart>.
8. Сьогодні компанії «Інтертелеком» виповнилось 15 років. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://itc.ua/news/segodnya-kompanii-intertelekom-ispolnilos-15-let>.
9. Сравнение тарифов 3G в Украине. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://trushenk.com/sravnenie-tarifov-3g-v-ukraine.html#sravnenie3g-2>.
10. Звіт про роботу Національної комісії, що здійснює регулювання у сфері зв'язку та інформатизації за 2015 рік. – Київ: 2016. – 94 с.
11. Столлингс В. «Современные компьютерные сети» 2-е издание – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.

12. Ипатов В. П. Системы мобильной связи . - Горячая линия –Телеком, 2003.- 272 с.
13. Тихвинский, В.О. Будущее LTE: Облачные технологии и услуги. – X международный семинар ООО «Инфотел», 18-19 июня 2013, г. Санкт-Петербург - http://new.rpls.ru/wp-content/uploads/2017/04/2013_Tikhvinskiy_LTE_Cloud_Future.pdf.
14. Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration (NFV); Use Cases. ETSI (2013).-http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-MAN001v010101p.pdf.
15. Шапогинов. А В SDN и NFV: как это работает на сети оператора связи / А В. Шалагиинов 27.12 2015 - <https://shalagmov.com/2015/12/27/sdn-n-nfv-Как-это-работает-на-сети-оператора>
16. LTE and 5G Innovation: Igniting Mobile Broadband. White Paper / Rysavy research. - 2015. - August. - http://www.5gamericas.org/files/9214/3991/2167/4G_Americas_Rysavy_Research_LTE_and_5G_Innovation_white_paper.pdf.
17. ETSI, Network Functions Virtualisation (NFV): Architectural Framework, Technical Report ETSI GS NFV 002 v1.1.1, Oct. 2013.
18. Dawson A. W. On the Benefits of RAN Virtualisation in C-RAN Based Mobile Networks / A. W. Dawson, M. K. Marina, F. J. Garcia // Third European Workshop on Software Defined Networks, 1–3 September 2014, Budapest, Hungary. — Budapest, 2014. — P. 103–108.
19. Venugopal V. Cisco NFV Solution for the Cisco Evolved Services Platform / V. Venugopal // Cisco Knowledge Network Presentation. — Режим доступа: http://www.ciscoknowledgenetwork.com/files/458_09-03-14-Cisco_NFV_Solution_for_CKN-Final_rev3.pdf. — Дата доступа: 2.04.15. — Cisco Knowledge Network.
20. Ferranti M. HP makes play for network virtualization with OpenNFV program / M. Ferranti // IDG Consumer & SMB. — Режим доступа: <http://www.pcworld.com/article/2100661/hp-makes-play-for-network-virtualization-with-opennfv-program.html>. — Дата доступа: 5.04.15. — IDG News Service, New York.

21. Rath J. Broadcom Launches Open NFV Platform and Multiple SoC / J.Rath // Data Center Knowledge. — 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.

22. Parker T. Alcatel-Lucent, Huawei tout their respective NFV roadmaps / T.Parker // Fierce Wireless Tech Journal. — 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.

23. Sama M. R. Software-defined control of the virtualized mobile packet core / M. R. Sama, L. M. Contreras, J. Kaippallimalil, et al. // IEEE Communication Magazine. — 2015. — Vol. 53, Issue 2 — P. 107–115.

24. Yousaf F. Z. SoftEPC — Dynamic instantiation of mobile core network entities for efficient resource utilization / F. Z. Yousaf, J. Lessmann, P. Loureiro, S. Schmid // Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Communications, 9–13 June 2013, Budapest, Hungary. — Budapest, 2013. — P. 3602–3606.

25. Quinn P. Service Function Chaining: Creating a Service Plan via Network Service Headers / P. Quinn, J. Guichard // IEEE Computer Journal. — 2014. — Vol. 47, Issue 11. — P. 38–44.

26. Ramney M. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges / M. Ramney. — 2nd ed. — New York: John Wiley & Sons Inc., 2013.

27. Новік О.С. Огляд прикладів використання технологій віртуалізації Операторами зв'язку // Еволюція мереж мобільного зв'язку -- IX науково-технічна конференція студентів та молодих вчених навчально-наукового Інституту інформаційних технологій ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ — 197-202 с. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.dut.edu.ua/ua/news-1-639-7726-zbirnik-tez-dopovidey-konferencii-suchasni-infokomunikaciyni-tehnologii>

28. Новік О.С., Галушак А.М. Оцінка сучасного стану розвитку ринку мобільного зв'язку в Україні -- журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку, – 2019, – №4».

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ