

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

на тему: **“Перспективи розвитку систем мобільного зв’язку на базі
хмарних технологій”**

Виконав: студент 4 курсу, групи
ТСД-43
спеціальності

172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Завійський М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

_____ (прізвище та ініціали)

Рецензент

_____ (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ БЕЗДРОТОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	10
1.1 Аналіз сучасного стану та вимоги до бездротових систем зв'язку.....	10
1.2 Стан розвитку ринку мобільного зв'язку в Україні.....	14
1.3 Аналіз існуючих проблем в сучасних мобільних мережах.....	19
1.4 Принципи функціонування та побудова систем стільникового зв'язку.....	20
1.5 Дослідження особливостей побудови сайту.....	25
2 ПРИНЦИП ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	30
2.1 Передумови впровадження хмарних та принцип побудови мереж мобільного зв'язку з використанням хмарних технологій.....	30
2.2 Концепції NFV-SDN мережі мобільного зв'язку.....	38
2.3 Загальний вигляд мобільної мережі при використанні хмарних технологій.....	46
2.4 Прогноз розвитку та перспективи.....	51
3 МОДЕЛІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ НА БАЗІ ХМАРНОЇ АРХІТЕКТУРИ.....	54
3.1 Модель обчислювальних ресурсів.....	54
3.2 Аналіз алгоритму розподілу і динамічного балансування навантаження.....	62
3.3 Алгоритм розподілу навантаження при доступі до даних хмарної системи зберігання.....	65
3.4 Алгоритм оптимізації процесу міграції даних.....	68
3.5 Дослідження автоматизованого програмного симулятора для розподілу і динамічного балансування навантаження в хмарній системі.....	71

3.6 Реалізація програмного модуля контролера хмарної системи.....	74
ВИСНОВОК.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	78
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	80

ВСТУП

Актуальність дослідження. Зростання популярності хмарних обчислень в останні роки є одним з основних трендів розвитку інформаційних технологій у всьому світі. Мобільні оператори стали активно застосовувати хмарні технології в багатьох своїх підрозділах. Як показує практика, використання "хмар" для організації роботи компанії демонструє високу ефективність.

«Віртуальна» інфраструктура має кілька важливих переваг. Перш за все, скорочуються витрати на побудову та обслуговування мережі. Використання хмарних обчислень дозволяє значно зменшити витрати на інфраструктуру інформаційних технологій, а також гнучко реагувати на зміни потреб бізнесу.

Також, з її допомогою можна значно підвищити швидкість обслуговування клієнтів – користувачі системи швидше знаходять необхідну інформацію. Оскільки обробкою даних займається сервер, а не комп'ютер співробітника, це також позитивно позначається на швидкості роботи.

Безперечно, застосування «хмарних» технологій забезпечує посилений захист даних – інформація зберігається віддалено на сервері і захищена від перенесення і копіювання.

Застосування хмарних технологій у мобільних мережах зв'язку є наступним кроком їх розвитку, від якого очікують не тільки покращення якості надаваних послуг, а й значного зменшення затрат на побудову, модернізацію та обслуговування мережі.

Таким чином, мета бакалаврської роботи, яка присвячена дослідженню побудови мереж мобільного зв'язку, при впровадженні хмарних технологій є актуальною і своєчасною.

Апробація результатів. Основні положення і результати бакалаврської роботи доповідались і обговорювались на 2-х науково-практичних конференціях.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ БЕЗДРОВОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

1.1 Аналіз сучасного стану та вимоги до бездротових систем зв'язку

Основною функцією бездротових ТКС є надання користувачам широкого спектру бездротових послуг зв'язку із забезпеченням зазначеного рівня якості обслуговування (Quality of Service, QoS) [1, 2, 3]. З метою виконання зазначеної функції до бездротових ТКС, враховується ряд вимог, які можна розділити на три групи: функціональні, організаційні та технологічні рис. 1.1. При цьому реалізація будь-якої вимоги супроводжується введенням додаткових затримок.



Рис. 1.1. Вимоги до сучасних і перспективних бездротовим ТКС

До функціональних вимог належать:

- мультисервісну, під якою розуміється здатність надання якомога більшої набору послуг і сервісів із забезпеченням незалежності технологій надання послуг технологій бездротового зв'язку;
- мультимедійність, під якою розуміється здатність бездротової ТКС передавати багатокomпонентну інформацію (мова, дані, відео, аудіо);
- мультипротокольні, під якою розуміється властивість забезпечувати перенесення (транспортування) різних видів інформації з використанням різних протоколів передачі та підтримки сервісів;

- забезпечення широкого спектру градацій якості обслуговування користувачів і підтримки класів обслуговування.

Основними організаційними вимогами є:

- відкритість архітектури, тобто бездротові телекомунікаційні мережі повинні будуватися на основі концепції відкритих систем, що дозволяють і надалі включати в них нові і розвиваються технології;

- сумісність, тобто нові технології повинні бути сумісні з системами, застосовуваними в даний час, і системами, інтегрованими в них еволюційним шляхом, що виключає масову заміну бездротового телекомунікаційного обладнання;

- «багатооператорність», під якою розуміється можливість участі декількох операторів в процесі надання послуги;

- економічність, тобто створення і впровадження нових бездротових систем і (або) послуг має здійснюватися з мінімальними фінансовими витратами;

- здатність до реконфігурації системи з метою забезпечення обліку умов функціонування.

До числа основних технологічних вимог відносяться:

- висока продуктивність (пропускна здатність) бездротової ТКС;

- семантична і тимчасова прозорість бездротової ТКС;

- «широксмуговість», під якою розуміється можливість гнучкого і динамічного зміни швидкості передачі інформації в широкому діапазоні в залежності від поточних потреб користувача;

- ефективність використання мережевих ресурсів (каналних, тимчасових, частотних, буферних і т.д.);

- надійність бездротових ТКС як на експлуатаційному рівні (відмовостійкість), так і на рівні доставки пакетів (ймовірність доставки);

- масштабованість, тобто здатність бездротових ТКС нарощувати кількість станцій і дальність передачі інформації в дуже широких межах із збереженням продуктивності мережі;

- мобільність, під якою розуміється наявність універсального доступу до засобів бездротового зв'язку незалежно від місця розташування і виду обладнання, до якого є доступ в певний момент часу.

У постановці практично будь-якого телекомунікаційного завдання присутній якість надання послуг користувачам бездротових мереж зв'язку. В рамках експлуатації бездротової ТКС в якості основного елемента досягнення заданої якості обслуговування виступає управління мережевими ресурсами. При оцінці якості обслуговування використовується ряд показників, які можуть бути розбиті на три групи: швидкісні, тимчасові і ймовірні.

При розгляді бездротових ТКС для забезпечення необхідної якості послуг, що надаються необхідно орієнтуватися на наскрізне якість обслуговування користувача станцій. При цьому виділяють три рівня якості обслуговування, для опису кожного з яких вводиться свій термін рис. 1.2:

- якість роботи мережі (Network Performance, NP), відповідно на рівні мережі;
- якість телекомунікаційних послуг (QoS) на рівні додатку;
- сприймається якість телекомунікаційної послуги (Quality of Experience, QoE) на рівні користувача.

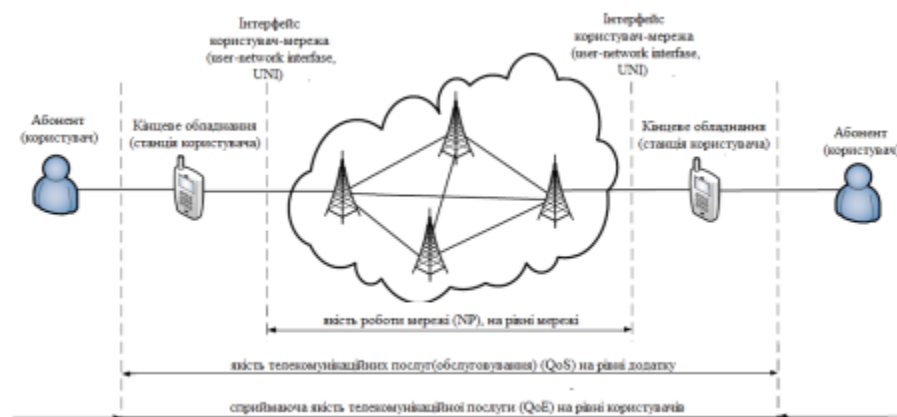


Рис. 1.2. Рівні якості обслуговування.

Хоча QoS, так само як QoE, визначається в точці споживання послуги (інтерфейс користувач-мережа), проте, на відміну від QoE, якість

телекомунікаційні послуги QoS виражаються через сукупність специфічних (технічних) показників і параметрів послуги. На відміну від QoE, параметри QoS, з одного боку, визначаються якістю роботи телекомунікаційної мережі, а з іншого, - визначають здатність даної послуги задовольняти встановлені або прогнозовані вимоги користувача. В якості ключових параметрів QoS використовує продуктивність (B_{NP}), затримку (T_{NP}), джиттер (D_{NP}), величину втрат пакетів (P_{NP}), а також величину пакетів, прийнятих з помилками ($P_{E NP}$) і з порушеною черговістю ($P_{RO NP}$), величину втрат для додатків передачі даних. Граничні значення зазначених параметрів, необхідні для прийнятної якості роботи різноманітних додатків, наведені в рекомендації ITU-T G.1010. Таким чином, показники QoS в загальному випадку є функцією якості роботи термінального (кінцевого) обладнання і якості роботи мережі, включаючи мережі доступу і транспортну мережу. Таким чином, важливе місце в розвитку телекомунікаційної інфраструктури займають бездротові системи, забезпечуючи доступ до послуг передачі даних, відео- та аудіо інформації в будь-якій точці земної кулі. Однак стримуючим фактором впровадження широкого набору мультимедійних послуг є невисока продуктивність бездротових телекомунікаційних систем [3]. В ході досліджень було проведено аналіз різних підходів, спрямованих на підвищення продуктивності бездротових телекомунікаційних систем. Серед них на особливу увагу заслуговують підходи, спрямовані на використання технології інтелектуальних антенних решіток, рознесення сигналу по поляризації, розробку методів модуляції і кодування сигналу, на використання технології MIMO і т.д. Однак в результаті аналізу було встановлено, що найбільшу ефективність у підвищенні продуктивності забезпечує оптимальне управління мережевими ресурсами. З огляду на значущих відмінностей між зазначеними видами мережеских ресурсів, принципи управління ними можуть істотно відрізнитися.

Встановлено, що вдосконалення управління мережевими ресурсами може здійснюватися на трьох рівнях: технологічному рівні, рівні методу і рівні моделі. При цьому важливим джерелом вдосконалення є математичні моделі і методи,

покладені в основу мережевих протоколів. Тому найбільш фундаментально переглянути принципи функціонування бездротових телекомунікаційних систем, без зміни стандартів, можна на рівні моделей і методів. Таким чином, в дипломній роботі основна увага буде приділена розробці моделей і методів розподілу мережевих ресурсів, що дозволяють: провести відмова від децентралізованих рішень, зорієнтуватися на потоковий характер, провести облік доменної структури, забезпечити відсутність боротьби з перевантаженням

1.2 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 [4].

Ринок мобільного зв'язку впродовж останніх років залишається таким сегментом галузі зв'язку, що найбільш динамічно розвивається рис. 1.3. 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 2020 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 2017 по 2019 роки.

Спостерігається також зростання доходів від послуг мобільного зв'язку за 9 місяців 2020 року у порівнянні з аналогічним періодом 2018 року на 1,8%, що свідчить про позитивну динаміку зростання цього сегменту галузі зв'язку. У 2019 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 2020 року цей показник склав понад 76% від загальнорічного показника у 2019 році.

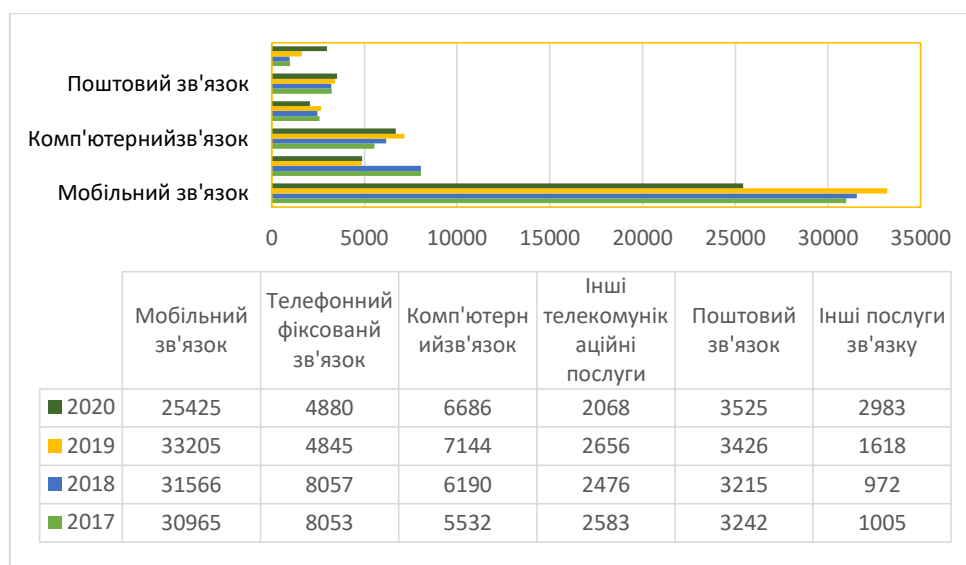


Рис.1.3. Динаміка доходів від надання різних видів послуг зв'язку за 2017-2020 рр.1 , млн. грн.

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 2020 року представлено на рис. 1.4. Структуру телекомунікаційної галузі, як і в попередні роки визначає ринок мобільного зв'язку рис. 1.4. Зокрема частка доходів від надання послуг мобільного зв'язку склала 56% за 9 місяців 2020 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 2020 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 2020 році склала 65,3%, що на 0,1% менше ніж у 2019 році.

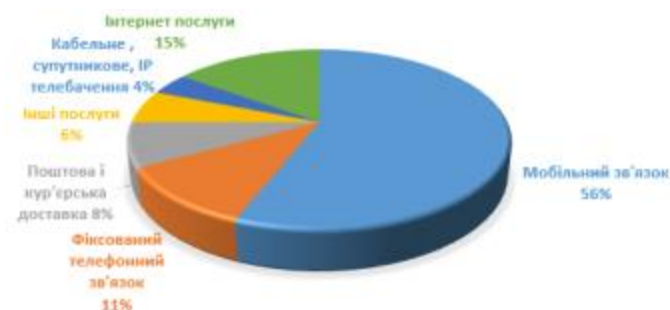


Рис.1.4. Структуру доходів від надання телекомунікаційних послуг

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 2019 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 2019 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 2017-2020 рр. відображена на рис. 1.5.

Кількість абонентів мобільного зв'язку за 9 місяців 2020 року склала 57456,5 тис. осіб, що на 5,4% менше ніж у 2019 році рис. 1.3. Спостерігалось

зменшення кількості абонентів мобільного зв'язку у 2019 на 0,7% або на 450,1 тис. осіб у порівнянні з 2018 роком.

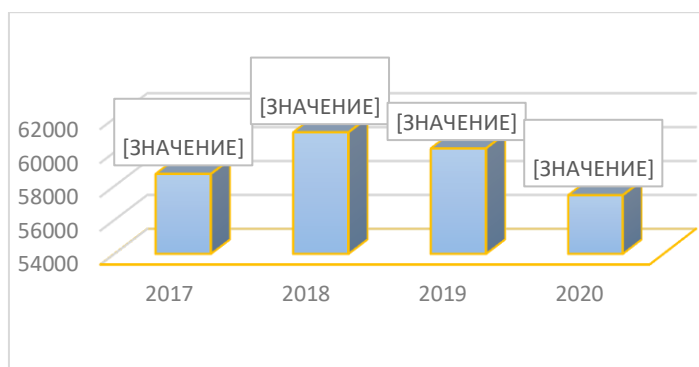


Рис.1.5. Динаміка кількості абонентів мобільного зв'язку у 2017-2020 рр. та забезпеченість населення мобільним зв'язком у розрахунку на 100 жителів

При цьому у 2018 році, порівняно з 2017 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 [5]. Аналогічну тенденцію до зростання демонструє показник забезпеченості населення мобільним зв'язком у розрахунку на 100 жителів, який у 2020 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 2020 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 2020 року, кількість активних SIM-карток в Україні зменшилась порівняно з 2019 роком на 3,6 млн. і становила 57,1

млн штук, таким чином рівень проникнення мобільного зв'язку в Україні становив 133% [5]. 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: погіршення сталості функціонування телекомунікаційних мереж та порушення майнових прав операторів та провайдерів телекомунікацій України на тимчасово окупованих територіях та на територ-низька ефективність управління телекомунікаційною мережею зв'язку загального користування України, відсутність Національного центру оперативно-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 широкосмугового 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.

1.3 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[6].

Трафік, який генерують користувачі невинно 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 широкосмуговою 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.

1.4 Принципи функціонування та побудова систем стільникового зв'язку

Дослідження особливостей мережі стільникового зв'язку стандарту GSM. Як вже було зазначено, мобільні мережі радіозв'язку мають структуру, засновану на стільниковій побудові і розподілі частот, відповідно до якої зона обслуговування поділяється на велику кількість невеликих чарунок радіусом 1,5-5 км, кожен з яких обслуговується окремою базовою радіостанцією невеликої потужності, що знаходиться в центрі чарунки. Це дозволяє реалізувати основну перевагу стільникової системи – забезпечення високо-якісним зв'язком значної кількості абонентів в умовах обмеженої кількості частотних каналів. Сукупність чарунок утворює зону обслуговування. У центрі зони розміщена центральна станція, яка з'єднана провідними, оптоволоконними чи радіорелейними лініями з

телефонною мережею загального користування і з усіма базовими станціями, що знаходяться в зоні обслуговування та іншими мережами. Абоненти за допомогою своїх абонентських пристроїв можуть здійснювати зв'язок між собою і через центральну станцію виходити на будь-якого абонента іншої стільникової мережі, телефонної мережі загального користування або на інші мережі.

Проаналізуємо структурні принципи та особливості побудови систем мобільного зв'язку на прикладі стільникових мереж різних поколінь, а саме GSM, UMTS та LTE.

Розглянемо загальну структуру мереж мобільного зв'язку за стандартом GSM.

Умовно схему мережі можна поділити на три частини (рис. 1.6):

1. Підсистема базових станцій, що складається з мережі базових станцій (BS - BaseStation) та контролерів базових станцій (BSC - BaseStationController).

2. Підсистема комутації та управління мережею. Складається з центру комутації (MSC - MobileSwitchingCentre), реєстри положення (HLR – Home Location Register) і переміщення (VLR - VisitorsLocationRegister), центру аутентифікації (AUC – Authentication Centre), шлюзового мобільного комутатора (GMSC – Gateway MSC).

Система базових станцій BSS виконує функції управління радіо-інтерфейсом між мобільними і базовими станціями.

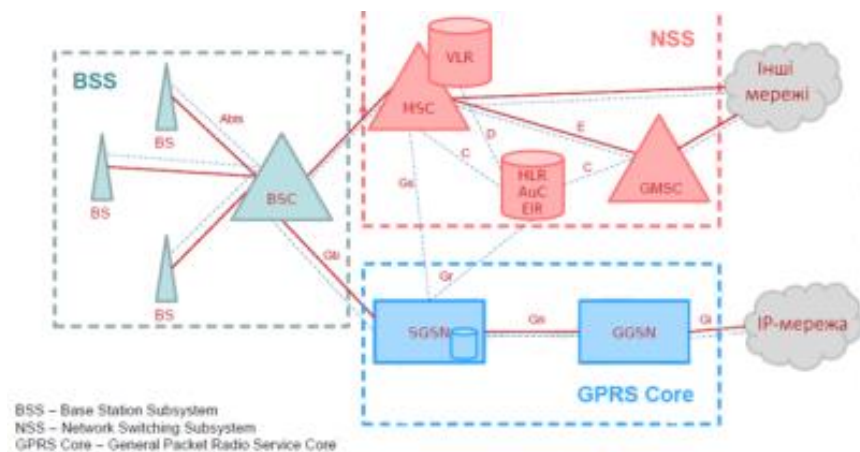


Рис. 1.6. Архітектура мережі GSM

Дослідження особливостей мережі стільникового зв'язку стандарту UMTS. Технологія UMTS є результатом розвитку GSM. Мережі на основі цих двох стандартів схожі за своєю структурою і тісно взаємодіють між собою в умовах українських реалій. Однак в стандарті UMTS абсолютно інша мережа радіо-доступу (аналог системи BSS в мережі GSM).

Умовно структуру мережі UMTS, як і GSM, розділяють на три основні підсистеми рис. 1.7:

Мережа радіо-доступу (RAN – Radio Access Network).

Опорна (базова) мережарозподіленої комутації (CS Core – CircuitSwitchedCore). Спрощена модель опорної мережі схожа на систему комутації в мережі GSM.

Опорна мережа з комутацією пакетів (PS Core – PacketSwitchedCore).

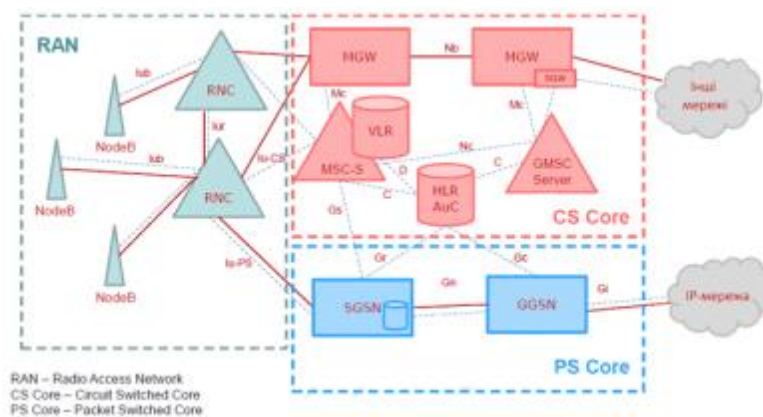


Рис. 1.7. Загальна структура мережі UMTS

Мережа радіо-доступу структурно повторює систему базових станцій стандарту GSM, але складається з інших компонентів. Тому для здійснення покриття територій цієї мережі, операторам стільникового зв'язку доводиться заново проектувати і вводити в експлуатацію мережу радіо-доступу (паралельно з системою BSS). Основні її елементи представлені на рис. 1.8. Називається ця мережа - UTRAN (UMTS TerrestrialRadio Access Network).

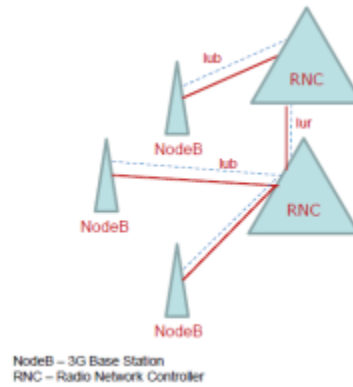


Рис. 1.8. Мережа радіо-доступу

NodeB (3G BaseStation). Вузол NodeB є базовою приймально-передавальною станцією в мережі стандарту UMTS. Це аналог BS в мережі GSM.

NodeB здійснює безпосередню взаємодію з абонентським обладнанням (UE – UserEquipment) по радіоканалу. Як і в BS, основним модулем компонента NodeB є модуль приймача. Природно, що базова станція в цій мережі буде працювати на інших, більш високих частотах, тому і радіус обслуговування стільників буде меншим.

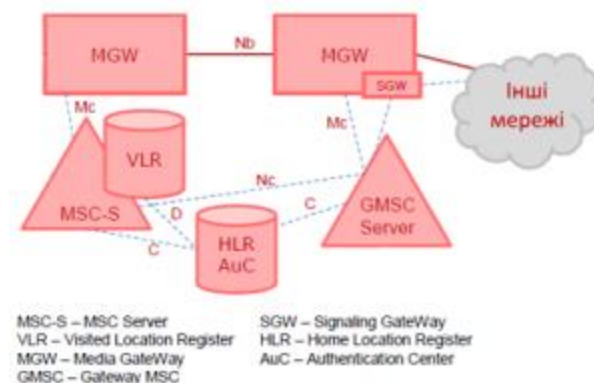


Рис. 1.9 Підсистема комутації UMTS

Дослідження особливостей мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Стандарти третього покоління дозволяють надавати широкий перелік мультимедійних послуг і підтримують швидкості передачі даних до 14Мбіт/сек. Це цілком відповідає запитам абонентів в даний час. Однак, обсяги переданої інформації в телекомунікаційних мережах ростуть з кожним днем. Щоб

задовольнити потреби користувачів по швидкості передачі даних і набору послуг хоча б на 20 років вперед необхідний новий стандарт, вже четвертого покоління.

LTE є наступним після 3G поколінням мобільного зв'язку і працює на базі IP-технологій. Основна відмінність LTE від попередників – висока швидкість передачі даних. Теоретично вона становить до 326,4 Мбіт/с на прийом і 172,8 Мбіт/с на передачу інформації. При цьому в міжнародному стандарті вказані цифри в 173 і 58 Мбіт/с, відповідно.

Зі схеми мережі LTE, представленої на рис. 1.10, вже видно, що структура мережі суттєво відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотні зміни зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Була змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також зазнали зміни і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Вся інформація (голос, дані) передається у вигляді пакетів. Таким чином, вже немає поділу на частини обробки або тільки голосової інформації, або тільки пакетних даних.

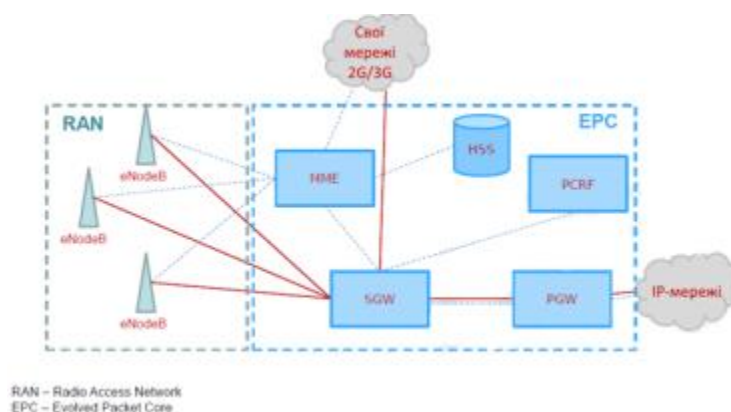


Рис. 1.10. Структура мережі LTE

Зі схеми, приведеної вище, можна виділити наступні основні елементи мережі стандарту LTE:

- Serving SAE Gateway або просто ServingGateway (SGW) - обслуговуючий шлюз мережі LTE;

- PublicDataNetwork SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) - шлюз до мереж передачі даних інших операторів для мережі LTE;
- MobilityManagementEntity (MME) - вузол управління мобільністю мережі стільникового зв'язку стандарту LTE;
- HomeSubscriber Server (HSS) - сервер абонентських даних мережі стільникового зв'язку стандарту LTE;
- PolicyandChargingRulesFunction (PCRF) - елемент мережі стільникового зв'язку стандарту LTE, який відповідає за управління нарахуванням плати за надані послуги зв'язку, а також за якість з'єднань відповідно до заданих конкретному абоненту характеристиками.

1.5 Дослідження особливостей побудови сайту

З точки зору більшості людей встановлення базової станції це доволі не тяжка справа. Достатньо поставити опору, зафіксувати на ній антени і все готово. Однак таке уявлення не є правильним.

Встановлення сайту – це складний процес, який є результатом ретельної підготовки та оформлення необхідної документації.

Устаткування базової станції в загальному випадку може бути розділене на 3 складових: приймально-передавальні пристрої; антено-фідерний пристрій (АФП); допоміжне устаткування.

Розглянемо найбільш типові випадки реалізації повномасштабних БС для покриття як в міських умовах, так і за містом.

Найтипівішим способом розміщення обладнання сайту є установка спеціальної вежі або щогли, біля підніжжя якої розташовуються один або кілька контейнерів для приймально-передавального обладнання рис. 1.11.

Основна мета установки антено-щоглової споруди є розміщення антено-фідерного пристрою. Воно включає в себе комплекс антен для створення всенаправленого радіопокриття, але частіше секторного типу, а також фідерів, які пов'язують антени з приймально-передавальним обладнанням. Крім того, в

заміській місцевості часто разом з антенами використовуються підсилювачі сигналу в напрямку uplink - МШП (малошумні підсилювачі), які розширюють зону дії БС. Також вежа необхідна для розміщення транспортного обладнання, якщо використовуються РРЛ (радіорелейні лінії зв'язку).



Рис. 1.11. Вежа сайту з контейнерами біля підніжжя

До їх складу зазвичай входить спрямована параболічна антена, радіо модуль, що перетворює низькочастотний сигнал в високочастотний для передачі до віддаленої сторони і окремий фідер, передає низькочастотний сигнал від обладнання БС або окремого транспортного модуля всередині апаратної частини.

Апаратна частина включає в себе транспортне обладнання, а також обладнання, призначене для забезпечення безперебійної роботи сайту і безпеки рис. 1.12.



Рис. 1.12. Приклад розміщення обладнання для outdoor

Розглянемо детальніше апаратну частину нашої сайту.

Невід'ємним елементом обладнання є система енергопостачання. Зазвичай це спеціальний джерело постійного струму 48В, яке живиться змінною напругою 220 або 380В. Живлення підводиться в окрему шафу рис.1.13.



Рис. 1.13. Окрема шафа для контролю та розподілу живлення

Він також здійснює перемикання на АКБ (акумуляторні батареї) в разі зникнення зовнішнього живлення і забезпечують їх підзарядку - після відновлення. Відчинимо дверцята апаратної шафи. У неї вбудований кондиціонер (зверху) і обігрівач (знизу) рис. 1.14. Будь-яка апаратна частина обладнується системою підтримки робочих значень температури і вологості повітря.



Рис. 1.14. Вміст апаратної шафи

У шафі протягом усього року підтримується температура $+18 \dots +20^{\circ} \text{C}$. Це необхідно для безперебійної роботи обладнання і тривалої служби акумуляторів (вони розташовані внизу).

Всередині самої шафи зверху знаходиться комутаційний блок і перетворювач напруги. Передача інформації між системними модулями і приймально-передавачами здійснюється через оптоволоконні кабелі.

Поруч із шафою розташовані системні модулі GSM, WCDMA(UMTS) і LTE. Вони зображені на рис. 1.15.



Рис. 1.15. Системні модулі GSM, WCDMA(UMTS) і LTE

Ці модулі є серцем базової станції, вони приймають сигнал з антен і здійснюють його перетворення та стиснення з подальшою пересилкою. Їм не страшні опади, всі роз'єми герметизовані, а робочий діапазон температур коливається від +60 до -50. Під системними модулями розташовані грозозрядники, які запобігають вигорянню апаратури в разі удару блискавки.

Над модулями розташовані бухти оптоволоконного кабелю (рис. 1.16, за допомогою якого вони з'єднуються з приймально-передавальними пристроями, що закріплені на вежі).



Рис. 1.16. Бухти оптоволоконного кабелю для з'єднання системних модулів

Перейдемо до самої вежі. Останнім часом багато виробників запропонували, так звані, бесфідерні рішення. При цьому приймально-

передавальне обладнання розділяється на дві частини: одна встановлюється в контейнері БС і служить основним блоком управління і обробки сигналізації, а також надає інтерфейси до контролера базових станцій. Інша частина встановлюється в безпосередній близькості від антен і перетворює сигнал, прийнятий від блоку управління в високочастотний радіо сигнал, який передається до антен по фідерах. На рис.1.17 представлені прийомо-передавачі всіх трьох стандартів розглянутих стільникових мереж зв'язку [7].

Виходячи з аналізу проблеми, ми можемо вважати даний сценарій впровадження мереж четвертого покоління цілком суттєвим та економічно ефективним, оскільки можемо використовувати вже існуючі мережі, поступово переходячи до більш нових.



Рис. 1.17. Прийомо-передавачі

2 ПРИНЦИП ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1 Передумови впровадження хмарних та принцип побудови мереж мобільного зв'язку з використанням хмарних технологій

Хмарні обчислення являють собою динамічно масштабуючий спосіб доступу до зовнішніх обчислювальних ресурсів у вигляді сервісу, що надається за допомогою Інтернету, при цьому користувачеві не потрібно ніяких особливих знань про інфраструктуру «хмари» або навичок управління цією «хмарною» технологією.

Яскравим прикладом служить пошукові системи, інтерфейс яких дуже простий, але в той же час вони надають користувачам величезні обчислювальні ресурси для пошуку потрібної інформації. Сьогодні великі обчислювальні центри не тільки дозволяють зберігати й обробляти всередині себе певні дані, а й дають можливості для створення власних віртуальних дата-центрів, дозволяючи споживачеві не витратити сили на створення всієї інфраструктури з нуля [8].

На сьогоднішній день існує безліч визначень «хмарних обчислень».

Cloud computing - це програмно-апаратне забезпечення, доступне користувачеві через Інтернет або локальну мережу у вигляді сервісу, що дозволяє використовувати зручний інтерфейс для віддаленого доступу до виділених ресурсів (обчислювальних ресурсів, програм і даних). Комп'ютер користувача виступає при цьому рядовим терміналом, підключеним до Мережі. Комп'ютери, здійснюють Cloud computing, називаються «обчислювальним хмарою». При цьому навантаження між комп'ютерами, що входять в «обчислювальний хмара», розподіляється автоматично.

Останнім часом питання, пов'язані з побудовою хмарних систем починають залучати не тільки великі компанії, а й державні структури в різних країнах світу. Зовсім недавно групою експертів був випущений документ, призначений для Єврокомісії, в якому була зроблена спроба систематизувати сучасний досвід в

області побудови хмарних систем і виробити рекомендації з розвитку ІТ систем в Євросоюзі.

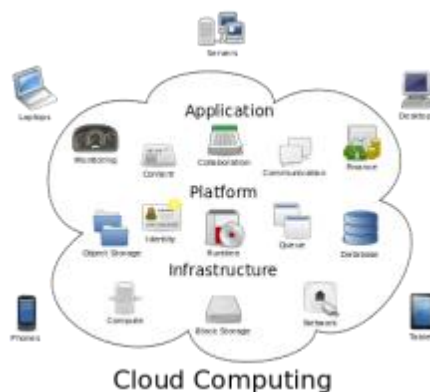


Рис. 2.1. Cloud Computing

Згідно SaaS-концепції ми платимо не одноразово, купуючи продукт, а як би беремо його в оренду. Причому, використовуєте рівно ті функції, які нам потрібні (і, відповідно, платимо за них же). Причому, не тільки щодо Softпрограмм, а й за частиною апаратних ресурсів. І це умовно називається Payasyougo .

Використання хмарних рішень є загальносвітовою тенденцією і дає множинні переваги. Робота в хмарі означає, що ви не витрачаєте час і ресурси на підтримку власних серверів, при цьому забезпечується істотно вищий рівень надійності, збереження даних [10].

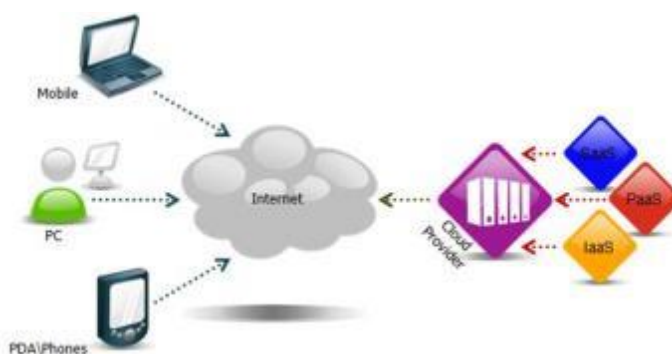


Рис. 2.2. Принцип надання послуг в хмарі

Для забезпечення узгодженої роботи вузлів обчислювальної мережі на стороні хмарного провайдера використовується спеціалізоване проміжне програмне забезпечення, що забезпечує моніторинг стану обладнання і програм, балансування навантаження, забезпечення ресурсів для вирішення завдання.

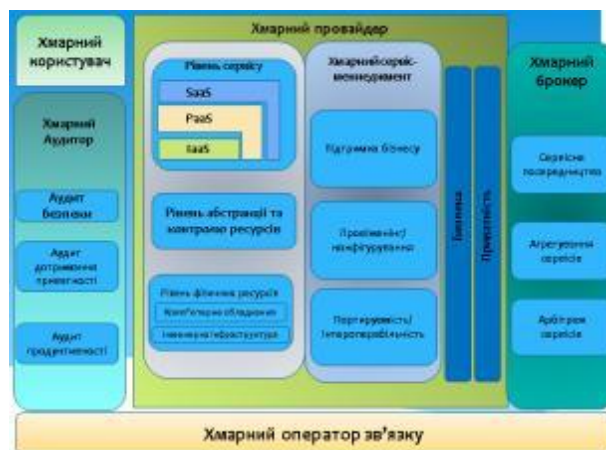


Рис. 2.3. Принцип побудови хмарних технологій

За оцінками експертів, використання хмарних технологій в багатьох випадках дозволяє скоротити витрати в два-три рази в порівнянні з утриманням власної розвинутої ІТ-структури.

Дана ідея відкриває новий підхід до обчислень, при якому ані обладнання, ані програмне забезпечення не належать підприємству. Замість цього провайдер надає замовнику вже готовий сервіс.

До допомоги даних сервісів часто вдаються молоді компанії-стартапи, які потребують великих обчислювальних ресурсів для обслуговування користувачів, але не можуть дозволити собі створення і експлуатацію власного дата-центру.

Одним з перших широкодоступних хмарних інтернет-сервісів стала електронна пошта з веб-інтерфейсом. У цьому випадку всі дані зберігаються на віддалених серверах, а користувач отримує доступ до своїх листів через браузер з будь-якого комп'ютера або достатньо потужного мобільного пристрою.

Національним інститутом стандартів і технологій США встановлені такі обов'язкові характеристики хмарних обчислень [13]:

Самообслуговування на вимогу споживач самостійно визначає і змінює обчислювальні потреби, такі як серверний час, швидкості доступу та обробки даних, обсяг збережених даних без взаємодії з представником постачальника послуг;

Універсальний доступ по мережі, послуги доступні споживачам через мережу передачі даних незалежно від термінального пристрою;

Об'єднання ресурсів (англ. resource pooling), постачальник послуг об'єднує ресурси для обслуговування великої кількості споживачів в єдиний пул для динамічного перерозподілу потужностей між споживачами в умовах постійної зміни попиту на потужності; при цьому споживачі контролюють тільки основні параметри послуги (наприклад, обсяг даних, швидкість доступу), але фактичний розподіл ресурсів, що надаються споживачеві, здійснює постачальник (в деяких випадках споживачі все ж можуть керувати деякими фізичними параметрами перерозподілу, наприклад, вказувати бажаний центр обробки даних з міркувань географічної близькості);

Еластичність, послуги можуть бути надані, розширені, звужені в будь-який момент часу, без додаткових витрат на взаємодію з постачальником, як правило, в автоматичному режимі;

Облік споживання, постачальник послуг автоматично обчислює спожиті ресурси на певному рівні абстракції (наприклад, обсяг збережених даних, пропускну здатність, кількість користувачів, кількість транзакцій), і на основі цих даних оцінює обсяг наданих споживачам послуг.

Зручність і універсальність доступу забезпечується широкою доступністю послуг і підтримкою різного класу термінальних пристроїв.

Одним з основних рішень для згладжування нерівномірності навантаження на послуги є розміщення шару серверної віртуалізації між шаром програмних послуг та апаратним забезпеченням. В умовах віртуалізації балансування навантаження може здійснюватися за допомогою програмного розподілу віртуальних серверів по реальним, перенесення віртуальних серверів відбувається за допомогою живої міграції.

Моделі надання послуг за допомогою хмари.

Infrastructure-as-a-Service (IaaS) - це модель обслуговування, в межах якої споживачу надається можливість керувати засобами обробки та збереження, комунікаційними мережами, та іншими фундаментальними обчислювальними ресурсами, на базі яких споживач може розгорнути та виконувати довільне програмне забезпечення, до складу якого можуть входити операційні системи та прикладні програми. Споживач не керує фізичною та віртуальною інфраструктурою, що лежить в основі хмари, проте він контролює операційні системи, системи збереження, встановлені програми та, можливо, має обмежений контроль над деякими мережевими компонентами (наприклад, мережевими екранами вузлів)

Технології віртуалізації дозволяють вам взяти обладнання і розділити його обчислювальні потужності на частини, які відповідають поточним потребам бізнесу, тим самим збільшуючи утилізацію наявних потужностей. В результаті ви перейдете від придбання, управління і амортизації апаратних активів до покупки процесорного часу, дискового простору, пропускної здатності мережі, яка необхідна для виконання вашої програми.

У минулому для управління різними типами устаткування було потрібне різне ПЗ управління. Віртуалізація дозволяє реалізувати весь набір функцій управління в одній інтегрованій платформі.

Infrastructure as a Service (IaaS) позбавляє підприємства від необхідності підтримки складних інфраструктур центрів обробки даних, клієнтських і мережових інфраструктур, а також дозволяє зменшити пов'язані з цим капітальні витрати та поточні витрати. Можлива й додаткова економія, якщо послуги надаються в рамках інфраструктури спільного використання.

Software-as-a-Service(SaaS) - це модель пропозиції програмного забезпечення споживачеві, при якій постачальник розробляє веб-застосунок, розміщує його й управляє ним (самостійно або через третіх осіб) з метою та можливістю використання замовниками через інтернет. Замовники платять не за володіння програмним забезпеченням як таким, а за його використання (через

API, що доступний через веб і часто використовує веб-служби). Близьким до терміну SaaS є термін «On-Demand» (зазапитом)

Platform-as-a-Service(PaaS) - це модель обслуговування, в межах якої споживачу надається можливість розгортання на базі хмарної інфраструктури створених ним або придбаних прикладних програм, які розроблені з використанням мов програмування, бібліотек, сервісів та інструментів наданих хмарним провайдером. Споживач не має змоги керувати та контролювати базову інфраструктуру хмари (до її складу входять комунікаційні мережі, сервери, операційні системи, засоби збереження), проте він контролює розгорнуті прикладні програми та, можливо, налаштування середовища, в якому вони розміщені.

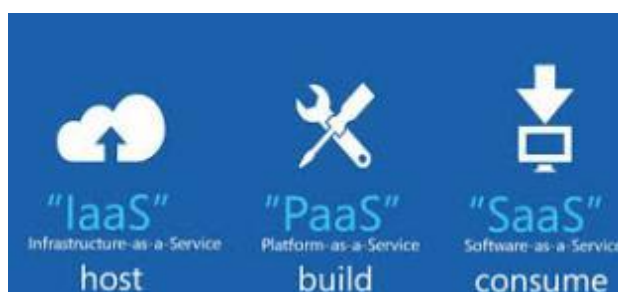


Рис. 2.4. Моделі обслуговування

Всі ці архітектури об'єднані двома загальними аспектами: вони надають «на вимогу» (on-demand) обчислювальні ресурси ЦП та сховища інформації. З цих двох чинників виходить, що у розробників програмного забезпечення з'явився обмежений тільки можливостями провайдера хмарного хостингу запас масштабованості застосувань і сервісів, які розроблюються. Обчислювальна хмара може бути розгорнута як: приватна, публічна, громадська або гібридна [11].

Приватна хмара - це хмарна інфраструктура, яка призначена для використання виключно однією організацією, що включає декілька користувачів (наприклад, підрозділів). Приватна хмара може перебувати у власності, керуванні та експлуатації як самої організації, так і третьої сторони (чи деякої їх комбінації). Така хмара може фізично знаходитись як в, так і поза юрисдикцією власника.

Публічна хмара - це хмарна інфраструктура, яка призначена для вільного використання широким загалом. Публічна хмара може перебувати у власності, керуванні та експлуатації комерційних, академічних (освітніх та наукових) або державних організацій (чи будь-якої їх комбінації). Публічна хмара перебуває в юрисдикції постачальника хмарних послуг.

Громадська хмара - це хмарна інфраструктура, яка призначена для використання конкретною спільнотою споживачів із організацій, що мають спільні цілі (наприклад, місію, вимоги щодо безпеки, політику та відповідність різноманітним вимогам). Громадська хмара може перебувати у спільній власності, керуванні та експлуатації однієї чи більше організацій зі спільноти або третьої сторони (чи деякої їх комбінації). Така хмара може фізично знаходитись як в, так і поза юрисдикцією власника.



Рис. 2.5. Види хмар

Гібридна хмара - це хмарна інфраструктура, що складається з двох або більше різних хмарних інфраструктур (приватних, громадських або публічних), які залишаються унікальними сутностями, але з'єднанні між собою стандартизованими або приватними технологіями, що уможливають переносимість даних та прикладних програм (наприклад, використання ресурсів публічної хмари для балансування навантаження між хмарами).



Рис. 2.6. Гібридна хмара

Виділимо три умови, за якими визначатимемо, чи є сервіс хмарним:

1. Сервіс доступний через Web-браузер або за допомогою спеціального інтерфейсу прикладної програми для доступу до Web-сервісів;
2. Для користування сервісом не потрібно жодних матеріальних затрат;
3. В разі використання додаткового програмного забезпечення оплачується тільки той час, протягом якого використовувалось програмне забезпечення.

Існує три основних категорії сервісів хмарних обчислень :

1. Комп'ютерні ресурси на зразок Amazon's Elastic Compute Cloud, використання яких надає організаціям можливість запускати власні Linux-сервери на віртуальних комп'ютерах і масштабувати навантаження гранично швидко.

2. Створені розробниками програми для пропрієтарних архітектур. Прикладом таких засобів розробки є мова програмування Python для Google Apps Engine. Він безкоштовний для використання, однак існують обмеження за обсягом даних, що зберігаються.

3. Сервіси хмарних обчислень – це різноманітні прикладні програмні засоби, розміщені в хмарі і доступні через Web-браузер. Зберігання в хмарі не тільки даних, але і програм, змінює обчислювальну парадигму в бік традиційної клієнт-серверної моделі, адже на стороні користувача зберігається мінімальна функціональність.

Таким чином, оновлення програмного забезпечення, перевірка на віруси та інше обслуговування покладається на провайдера хмарного сервісу. А загальний доступ, управління версіями, спільне редагування стають набагато простішими, ніж у разі розміщення програм і даних на комп'ютерах користувачів. Це дозволяє розробникам постачати програмні засоби на зручних для них платформах, хоча необхідно переконатися, що програмні засоби придатні до використання при роботі з різними браузерами [5].

Передумови впровадження хмарних технологій в мобільних системах зв'язку. Ряд експертів характеризують поточну ситуацію в мережевий галузі як «критичну і революційну». Домінуючі на ринку закриті (пропрієтарні) рішення

являють для додатків «чорні ящики», а сумісність рішень різних вендорів забезпечується в кращому разі на рівні інтерфейсів. Мережі є надто складними, що ускладнює їх масштабування і управління ними, знижує їх надійність. Очевидно, що це гальмує подальший розвиток мереж і функціонуючих в них додатків.

В умовах неухильного наростання обсягів передачі даних, конвергенції фіксованого та мобільного зв'язку і зростання конкуренції з боку компаній ОТТ (Over-The-Top) масштабованість і висока рентабельність мереж стають необхідністю. Серед технологій, що допомагають компаніям-провайдерам перетворити свої мережі, особливо популярні віртуалізація мережевих функцій (Network Functions Virtualization, NFV) і програмно-конфігуровані мережі (Software-Defined Networking, SDN). Вони обіцяють масу переваг, включаючи скорочення капітальних і операційних витрат, швидке виведення нових послуг на ринок і підвищення рентабельності.

У галузі мобільного зв'язку установка додаткових макростільниками (базових станцій) після досягнення певного порогу щільності їх розміщення вже не дає істотного приросту пропускної здатності та ємності мереж радіодоступу (RAN), тому наступним етапом стає використання малих сот (фемто- і пікосоти). В результаті конфігурування великомасштабних мереж перетворюється на складне завдання і вимагає серйозних змін принципів побудови, експлуатації та управління мереж та управління ними [9].

2.2 Концепції NFV-SDN мережі мобільного зв'язку, реалізована на базі хмарних технологій

Концепція NFV пропонує кардинально змінити методи побудови та експлуатації операторських мереж, використовуючи сучасні технології віртуалізації і хмарних обчислень.

Безліч компонентів операторських мереж, реалізованих зараз на базі спеціалізованих апаратних платформ (таких як мережі доставки контенту CDN,

мережеві екрани, граничні контролери сесій, балансувальник навантаження, BRAS, DPI, компоненти ядра IMS, компоненти мобільної мережі EPC, сервери авторизації і аутентифікації AAA і т.б.), у найближчому майбутньому можуть бути перенесені в якості віртуальних машин (VM) на загальну хмарну платформу, побудовану на базі типових комерційних серверів (COTS). З метою оптимізації мережі та підвищення якості послуг або відповідно до вимог регуляторів, віртуалізовані компоненти NFV можуть перебувати в одному або декількох близько розташованих ЦОД або розподілятися по безлічі сайтів на території обслуговування.

Оператори вважають, що концепція NFV внесе фундаментальні зміни в мережеву архітектуру, не менш важливі, ніж масове впровадження цифрової телефонії на базі технології TDM. Очікується, що впровадження NFV забезпечить значне зниження собівартості експлуатації мереж, дасть можливість знизити обсяги капіталовкладень, підвищить швидкість і ефективність розгортання нових послуг. З'явиться нова і дуже приваблива для операторів можливість реалізації еластичних мережевих рішень, які можуть масштабуватися автоматично як у бік розширення, так і у бік стиснення залежно від мережевого навантаження

Традиційно для рішень операторського класу доступність сервісу повинна бути не менше 99,999%. Щоб забезпечити «5 дев'яток» для спеціалізованого телекомунікаційного обладнання, розробники зосереджені на технічних рішеннях, що дозволяють збільшити значення MTBF (часу напрацювання на відмову). При цьому MTTR (час відновлення після відмови) обчислюється годинами і навіть цілодобово. Такий підхід, природно, значно збільшує вартість апаратної платформи та її компонентів.

У новій парадигмі надійності пропонується використання типових серверів. Їх MTBF нижче, ніж у спеціалізованих платформах, але теж досягає «5 дев'яток». При цьому технології віртуалізації забезпечують можливість автоматизованого відновлення або реконфігурації систем при відмовах, як на програмному, так і на апаратному рівні. Завдяки цьому, час відновлення MTTR займає хвилини, і

показники доступності рішень NFV повністю відповідають вимогам надійності операторського класу [6].

Технологія SDN заснована на відділенні функцій передачі трафіку від функцій управління. Згідно з концепцією SDN, вся логіка управління вноситься в так звані контролери, які здатні відслідковувати роботу всієї мережі. Технологія SDN спочатку розвивалася самостійно і була орієнтована на безліч ринків, що використовують віртуалізацію і хмарні технології. Але у випадку з NFV можна сказати, що ці дві технології ідеально підійшли один одному. Мережа, в якій реалізується NFV, може складатися з безлічі ЦОД, пов'язаних між собою через глобальні мережі оператора. Мережа SDN забезпечує єдине автоматизоване управління мережевими настройками в розподіленій мережі оператора. Вона миттєво реагує на зміни конфігурації віртуалізованих додатків (віртуальних машин), які виконує платформа NFV.

Найбільші інфраструктурні вендори вже пропонують віртуалізацію ключових функцій мобільних мереж з перспективою подальшого перенесення основних доменів в хмари. Зокрема, NFV-портфоліо може включати в себе не тільки віртуалізоване ядро мережі (Evolved Packet Core або EPC) і IP Multimedia Subsystem (IMS), але й віртуалізовану мережу радіодоступу (vRAN).

SDN являє собою новий підхід до управління мережами, в якому управління переноситься з апаратних засобів на програмне забезпечення. SDN розділяє площини управління і передачі даних, дозволяючи адміністраторам легко конфігурувати мережі комутаторів і маршрутизаторів з центральної панелі управління і оперативно регулювати мережевий трафік відповідно до змінних потреб. SDN істотно знижує операційні витрати завдяки усуненню необхідності налаштовувати обладнання вручну. SDN також скорочує капітальні витрати, підвищуючи використання трафіку маршрутизаторами та іншими ресурсами мережі.

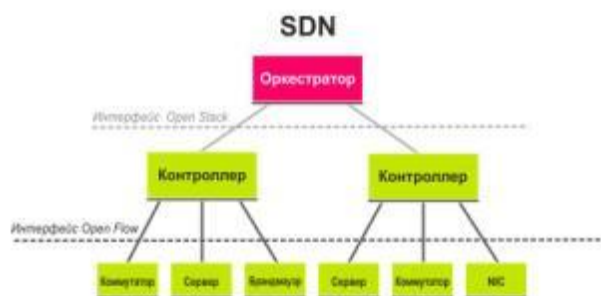


Рис. 2.7. Структурна схема SDN

Наведена схема ілюструє загальну архітектуру програмно-конфігурованої мережі. Площина передачі даних складається з серверів, комутаторів та інших ресурсів мережі, що утворюють систему, яка направляє трафік до адресата. До інших елементів мережі відносяться брандмауери і мережеві адаптери (NIC), підключені до серверів або мережевим пристроям. Контролери приймають рішення з адресації трафіку і обмінюються даними з мережевими пристроями через стандартні інтерфейси, такі як Open Flow. У великих мережах керування контролерами здійснюється через оркестратор з використанням стандартних інтерфейсів, таких як Open Stack.

NFV дозволяє провайдерам перетворити мережу з фіксованою, закритою і залежною від обладнання конкретного постачальника інфраструктурою у відкриту, масштабовану і адаптивному для потрібних послуг середу рис 2.8.



Рис. 2.8. Віртуалізація NFV

Стратегія програмно-конфігурованої мережі дозволяє провайдерам розірвати залежність мережевих функцій, таких як кешування, від спеціалізованого

обладнання і передати їх здійснення віртуалізованому застосуванню в хмарній інфраструктурі, розширюючи можливості надання послуг [4].

Для реалізації NFV в масштабному розподіленому середовищі необхідна оркестрації відповідних сервісів в системі хмар, пояснює. При цьому віртуалізація ресурсів та їх абстрагування від конкретного місця розташування стають набагато складніше, оскільки потрібно узгоджене планування. NFV в хмарі - це не просто віртуальна машина з примірником ОС, а значно більш складна конструкція, по суті спеціалізована платформа, на якій зараз фокусують свою увагу багато розробників. Вона передбачає створення високошвидкісного тракту між VM і мережею. Використання для цієї мети стека протоколів операційної системи не дозволяє домогтися необхідної швидкості обміну даними і реалізувати платформу для мережевих сервісів, що розміщуються в розподіленій мережі.

За допомогою сучасних методів можна більш ніж на порядок прискорити даний тракт. Вони працюють в обхід стека протоколів ОС і використовують віртуальні комутатори. ЦПКС реалізував такий підхід для цілого ряду мережевих сервісів, і тепер - завдяки NFV - в операторів з'явився шанс знизити собівартість послуг за рахунок скорочення капітальних і експлуатаційних витрат.

Аналіз впровадження платформи 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 компанії «Яндекс» створено своє рішення SDN, де використовується добре відомий механізм, для якого потрібно більш просте устаткування, ніж комутатор з OpenFlow 1.4. Крім того, замість OpenFlow в ньому застосовується протокол MPLS. Мережа SDN буде розгорнута в новому ЦОД «Яндекса» і зараз проходить випробування.

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 широкопasmового 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 широкопasmового доступу

зростає в геометричній прогресії, все більшу затребуваність отримують рішення автоматизованого настроювання, оптимізації та моніторингу роботи мережі. Це дозволить операторам знизити витрати і підвищити ефективність роботи технічного персоналу.

Приклад віртуалізованої мережі радіодоступу. Віртуалізація мережі радіодоступу (використовується також аббревіатура C-RAN або хмарна RAN) є дуже складним і витратним кроком для будь-якого оператора, але одночасно перехід на vRAN несе в собі і значні переваги з точки зору економії на CAPEX / OPEX, зростання мережевої ефективності та гнучкості управління мережею. Перехід на vRAN в тому випадку, якщо у оператора вже є досить розвинена оптоволоконна мережа, може дати економію на CAPEX аж до 60%. Тим не менше, навіть у разі недостатнього розвитку оптоволоконної мережі, економія на CAPEX може скласти близько 30%. Скорочення CAPEX, зокрема, відбувається за рахунок зменшення кількості базових блоків (BBUs).

Що ж стосується зростання мережевої ефективності та гнучкості управління мережею в залежності від поточних потреб абонентів, то тут можливості vRAN також вельми широкі. Зокрема, оператори, віртуалізуючи вузли доставки контенту, можуть кешувати контент в безпосередній близькості від абонентів на рівні вузла vRAN для зменшення часу затримки і суттєвого підвищення якості потокової передачі відео. З'являється можливість додавати або скорочувати ресурси, що направляються на обробку викликів, для динамічної адаптації до змінюючого характером трафіку. Перехід на vRAN відкриває можливість підвищити ефективність усунення апаратних збоїв і мінімізувати час мережевих простоїв за допомогою управління віртуалізованими додатками в реальному часі.

Загальна схема віртуалізованої мережі радіодоступу представлена на рис 2.9. У цьому випадку радіопідсистеми (Remote Radio Heads, RRHs) і антени відокремлюються від модулів управління базової станції (Baseband Units, BBUs), які розташовуються в так званому base station hotel.

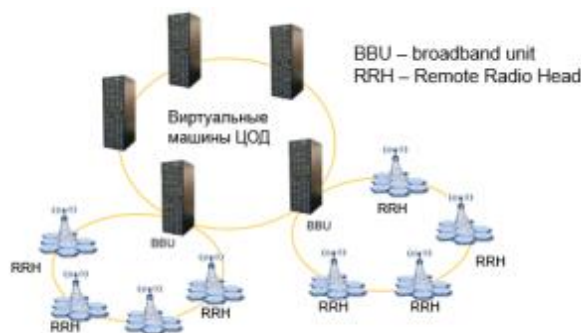


Рис. 2.9. Загальна схема C-RAN

З'єднання між RRH та BBU забезпечується за допомогою оптичного волокна та протоколу CPRI (Common Public Radio Interface), для високої пропускної властивості та максимального зменшення затримок в сигналі з використання технологій WDM, PON [13].

В структурі можливо як децентралізоване управління так і розподілене.

В розподіленій мережі група RRH зв'язана кільцем по оптичному інтерфейсу, за допомогою vSwitch з'єднуючись з BBU baseband pool звідки відбувається все управління мережею. Інший варіант коли кожна RRU напряду підключена до BBU пулу. Взаємодія між різними BBUs відбувається через інтерфейс x2+.

Для кращого та рівномірного управління підключення RRH до BBU проводиться через пристрій балансування навантаження, що дозволяє максимально ефективно використовувати полосу пропускання з мінімальними затримками в мережі рис 2.10.

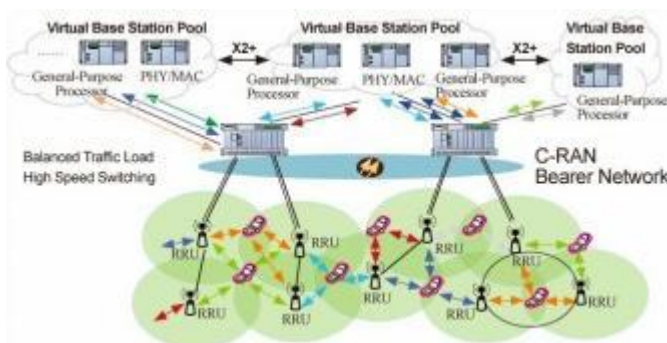


Рис. 2.10. Схема з використанням балансування навантаження

2.3 Загальний вигляд мобільної мережі при використанні хмарних технологій

На основі концепції NFV загальна структурна схема віртуалізованих мереж буде мати вигляд рис 2.11.

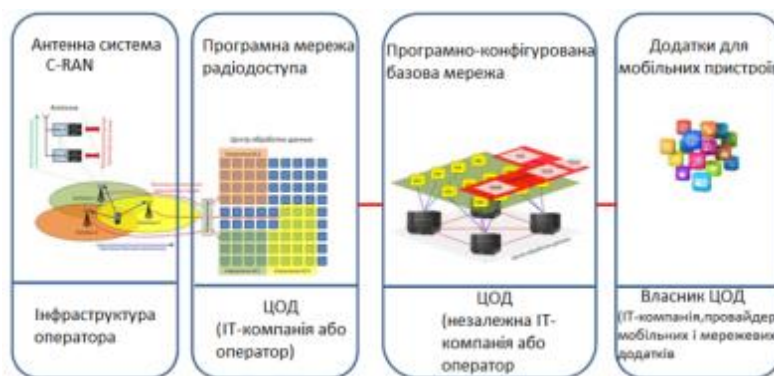


Рис. 2.11. Бізнес моделі мережі на основі хмарних технологій

З структурної схеми бачимо, що вона поділяється на розділені блоки антенна система (RRHs), програмна мережа радіодоступу SDR (Software-Defined Radio), яка може належати як оператору так і компаніям які можуть надавати хмарні послуги, звідки видно що загальний ЦОД ділиться на сектори обслуговування груп RRH, віртуалізовані сервери (BBUs), та програмно-конфігурованої базової мережі SDN (Software-Defined Networking це віртуалізація всіх інших функцій vEPC, vIMS та інших послуг) які також розгортаються в ЦОД, які також можуть бути власністю операторів мобільних мереж, або ж іншими компаніями які можуть надавати такі послуги, а також мобільних додатків, які взаємодіють з мережею по відкритим API [14].

Всі елементи ядра мережі реалізуються у вигляді програм на основі високонадійних ЦОДів. Управління мережею здійснює єдиний контролер (оркестратор MANO), де зберігається інформація про стан всієї мережі, що відповідає вимогам побудови мережі NFV, SDN. Переваги такої архітектури були приведені вище.

Закрити весь цей частотний спектр одним передавачем - завдання з технічної точки зору розв'язувано, але при цьому обладнання буде абсолютно не

придатне по масово-габаритних характеристиках для використання в існуючій мережі. З урахуванням цього обмеження стандартне рішення при переході на архітектуру SDR виглядає так: до загального процесорного блоку підключається декілька радіомодулів, кожен з яких забезпечує створення ЕМ випромінювання в певному частотному діапазоні рис.2.12.

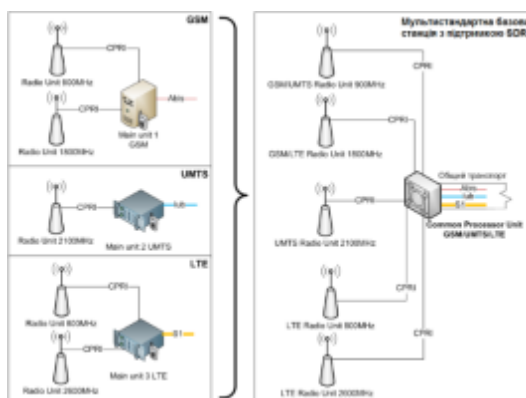


Рис. 2.12. Схема підключення радіомодулів SDR

Такий варіант реалізації SDR-концепції рис.2.13 істотно знижує кількість необхідних процесорних блоків і одночасно забезпечує агрегацію трафіку від всіх стандартів мобільних мереж в одну транспортну мережу.

Приклад реалізації концепції SDR на обладнанні базових станцій мобільного мережі:

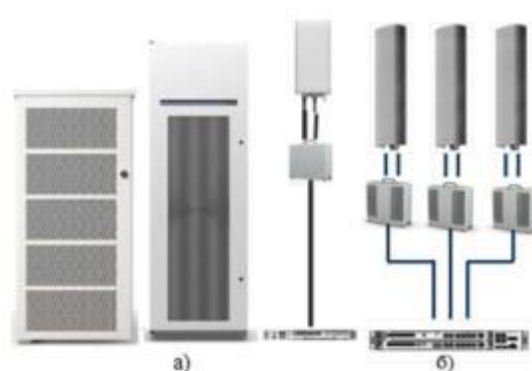


Рисунок 2.13 – а) було 3 базові станції для трьох стандартів мережі (GSM/UMTS/LTE); б) стало, поділ стандартів тільки на рівні передавачів і антен із загальним процесорним блоком

Все що описане призводить до кращої оптимізації мережі та кращого використання таких функцій : Hetnet; CoMP; Carrier aggregation.

HetNet є важливою частиною рішення і складається з серії базових станцій, включаючи макро-БС, мікро-БС, піко-БС і фемто-БС. Рішення HetNet використовується для реалізації високоточної багаторівневої мережі, проєктованої на основі реального розподілу трафіку. Це дозволяє забезпечити безшовне покриття в зонах з високим трафіком і в зонах з поганим прийомом. Використання мікро-БС, піко-БС і фемто-БС гарантує якісне покриття для домашніх абонентів, а також в офісах малих і середніх підприємств, розташованих у густонаселених міських районах. Макро-БС застосовується для безперервного покриття великих територій рис 2.14.

Самоорганізуюча мікро БС може автоматично сканувати умови навколишнього її радіосередовища, завдяки чому вона автоматично планує і конфігурує параметри, такі як частота, код скремблювання і потужності передачі.

Традиційна БС не може цього робити, і саме тому мікро БС з функціями SON економить 15% людино-годин для планування мережі.

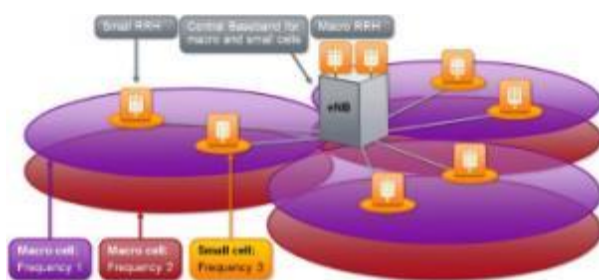


Рис. 2.14. Гетерогенна мережа

Більше того, така мікро БС може автоматично виявляти зміни в радіосередовищі; коли поруч з нею розгортають ще одну мікро БС, вона може автоматично оптимізувати параметри мережі. Для традиційних мереж оптимізація мережі є найважливішою частиною обслуговування мережі. А коли вона стає автоматичною, витрати робочої сили зменшуються від 10 до 30%. Coordinated Multipoint (CoMP). Ще одним визначенням у рамках поліпшення є координована

передача/прийом (CoMP, Coordinated Multi Point). Основним завданням CoMP є поліпшення показників роботи мобільних станцій, які знаходяться на кордоні стільників. Для цього знаходяться на кордоні стільники мобільні станції обслуговуються не одним сектором, а кількома. Відповідно, спадна передача однієї мобільної станції може здійснюватися з кількох секторів в один і той же момент часу. Те ж саме відноситься і до висхідної передачі, тільки в цьому випадку мова йде про прийом даних від мобільною станцією декількома секторами.

Мобільний телефон майбутнього на основі хмарних технологій. 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 оберті. Провідні виробники обладнання починають експерименти з віртуалізацією різних функцій на базі продуктивних серверів від третіх компаній або з використанням власних розробок.



Рис. 2.15. 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.

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\$.

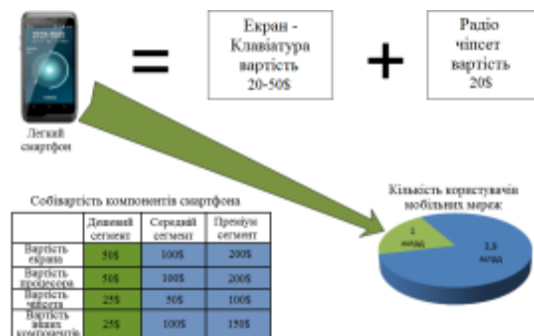


Рис. 2.16. Вартість компонентів телефону майбутнього

Мобільний телефон на основі хмарних технологій буде мати лише складові такі як: чіпсет; радіомодуль; екран-клавіатура; батарея.

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.

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 рис.2.17



Рис. 2.17. Вимоги до телефонів наступного покоління

2.4 Прогноз розвитку та перспективи

У разі мобільного зв'язку розмір економії на CAPEX особливо істотний в тому випадку, якщо оператор має досить розвинену оптоволоконну мережу. У цьому випадку компанія може скоротити капітальні витрати при використанні C-RAN аж до 60%. В іншому випадку економія на CAPEX складе близько 30%. Скорочення CAPEX, зокрема, відбувається за рахунок зменшення базових блоків (BBUs). З тієї ж причини відбувається і зниження OPEX - за рахунок більш низької енергопотреблення¹ та зменшення витрат на обслуговування. За оцінкою China Mobile, «зелена» альтернатива у вигляді хмарних мереж радіодоступу зменшує рахунки на електроенергію на 71% в порівнянні з традиційними мережами.

За даними NEC, впровадження віртуалізованого пакетного ядра (vEPC) ² в рамках концепції NFV дозволить оператору мобільного зв'язку істотно знизити сукупну вартість володіння (TCO) рис. 2.18.

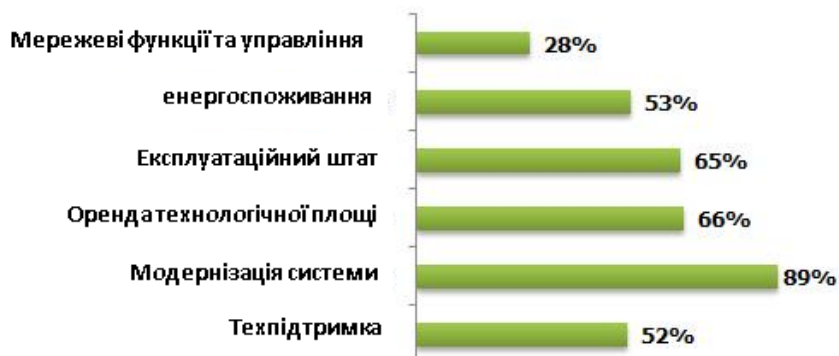


Рис. 2.18. Зниження сукупної вартості володіння мережею, %

Швидкість впровадження та адаптації послуг

Віртуальна (софтверная) екосистема спочатку є програмованою значно більшою мірою, ніж «класична» мережу. Очікується, що ця можливість дозволить швидше впровадити й адаптувати сервіс і піти від існуючої в справжній часу концепції middleboxes - величезної кількості програмно-апаратних засобів в мережі оператора, які реалізують відповідну послугу.

Разом з тим, одним з основних стримуючих чинників для розвитку SDN - це відсутність єдиного стандарту і прагнення ряду вендорів нав'язати ринку «своє» рішення, хоча такий підхід абсолютно суперечить основним принципам SDN. В результаті в SDN ще багато невизначеності, і потенційні споживачі програмно-конфігуруються рішень зайняли вичікувальну позицію, стежачи за появою успішних великих проектів у цій галузі.

За прогнозами SDN Central, світовий ринок SDN склав в 2017 р \$ 1,5 млрд, а до 2022 досягне \$ 35,6 млрд. рис. 2.19, тобто збільшиться майже в 24 рази. При цьому до кінця прогнозного періоду близько 40% всіх витрат на мережі передачі даних будуть пов'язані з SDN рис. 2.20. За прогнозами Research and Markets, в

2017-2022 рр. середньорічний приріст глобального ринку програмно-керованих мереж складе 151%.



Рис. 2.19. Прогноз світового ринку SDN, \$ млрд, 2017-2022

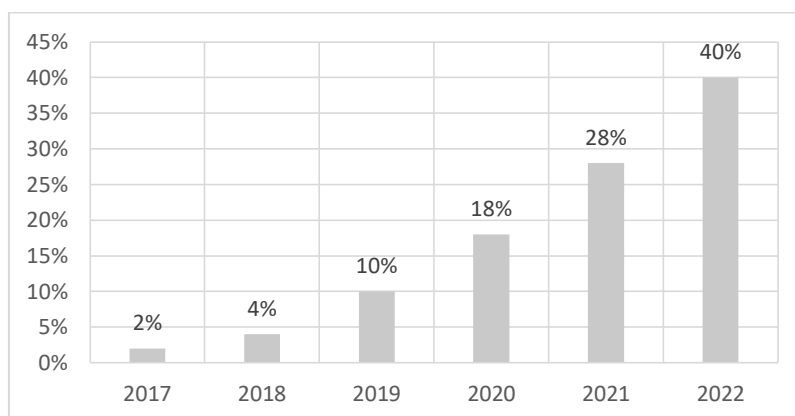


Рис. 2.20. Частка витрат на SDN в загальних витратах на мережі в світі, %

3 МОДЕЛІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУСІВ НА БАЗІ ХМАРНОЇ АРХІТЕКТУРИ

3.1 Модель обчислювальних ресурсів

У інформаційній системі потік заявок, що надходить до додатків, є неоднорідним, а інтенсивність надходження заявок до кожного з запущених екземплярів додатків нерівномірна. Усі заявки що надійшли стають в чергу і чекають початку обслуговування відповідно до правил обслуговування, встановлених для даного екземпляра додатка. При цьому час очікування в черзі не повинен перевищити порогового значення деякої величини. Якщо до закінчення цього терміну заявка не буде обслужена, то вона залишає систему.

Архітектуру інформаційної системи описують у вигляді трьох базових рівнів: рівень представлення; рівень прикладень; рівень зберігання даних.

Кожен з рівнів в архітектурі інформаційної системи описується індивідуальними характеристиками для потоків переданих даних [7].

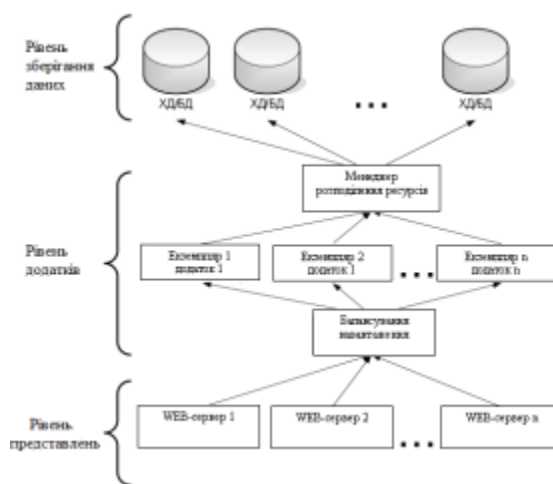


Рис. 3.1. Схема тривірневої організації архітектури інформаційної системи

Опис структурної моделі доступу до даних і додатків дає загальне уявлення про архітектуру роботи інформаційної системи, однак при віртуалізації

обчислювальних ресурсів необхідно враховувати особливості роботи компонентів хмарної системи.

Хмарну систему можна представити у вигляді пов'язаних між собою множин об'єктів, що включають в себе: обчислювальні вузли $Snode$; системи зберігання даних $Sstg$; мережеві сховища даних $Snas$; сервери розкладів $Srasp$.

Число об'єктів у кожній множині та їх склад може відрізнятися.

На кожному обчислювальному вузлі одночасно запущено відразу кілька примірників віртуальних машин, які описуються кортежем $Snode_i = \{VM_{i,1}, VM_{i,2}, \dots, VM_{i,k}\}$, де k кількість віртуальних машин на i -му обчислювальному вузлі, $i=1 \dots l$ (l загальна кількість вузлів).

При цьому кожна віртуальна машина містить набір прикладень $VM_j = \{App_{j,1}, App_{j,2}, \dots, App_{j,n}\}$, забезпечують, підтримку роботи певних сервісів, $j=1 \dots m$ (m число віртуальних машин).

До складу мережевого сховища даних входить набір готових образів віртуальних машин $Snas_y = \{VM_{img,y,1}, VM_{img,y,2}, \dots, VM_{img,y,p}\}$, $y=1 \dots z$ (z - число сховищ даних), що містять необхідну операційну систему з встановленим програмним забезпеченням і заданими параметрами віртуального апаратного забезпечення $VM_{img,y,z} = \{OS_1, OS_2, \dots, OS_r\}$.

Робота всієї хмарної системи будується з використанням системи планування виконання будь-яких операцій $Srasp = \{Rtask_1, Rtask_2, \dots, Rtask_f\}$, які задаються за допомогою сервера розкладів. У розподіленій системі зберігання даних, що складається, найчастіше, з відмовостійких RAID масивів $Sstg = \{RDis_{ik,1}, RDis_{ik,2}, \dots, RDis_{ik,d}\}$, здійснюється розміщення необхідної для роботи мультимедійних сервісів інформації $RDis_{ik,d} = \{Data_1, Data_2, \dots, Data_s\}$. Крім цього, в хмарній системі також присутні віртуальні та фізичні комутатори, що з'єднують між собою всі компоненти в єдину мережу. Кожен з компонентів, що входять в множину вузлів $Shcn = \{Snode, Snas, Srasp, Sstg, VM \dots\}$ хмарної системи володіє наступними характеристиками:

$$Shcn = (State, Mem, Disk, Diskn, Core, Lan), \quad (3.1)$$

де, *State* - стан об'єкта хмарної системи;

$Mem \in N$ - обсяг оперативної пам'яті, встановленої для вузла хмарної системи;

$Disk \in N$ - обсяг дискового простору пристроїв зберігання даних, встановлених для вузла хмарної системи;

$Diskn \in N$ - кількість пристроїв зберігання даних, встановлених для вузла хмарної системи;

$Core \in N$ - кількість обчислювальних ядер процесора вузла хмарної системи;

$Lan \in N$ - максимальна пропускна здатність мережевого адаптера вузла хмарної системи.

При цьому для віртуальних машин з безлічі $Snode$ може бути створено підмножина $VMnode = \{Snode, Snode_s, Snode_{stg} \dots\}$, що включає в себе всі компоненти хмарної системи, що дозволяє масштабувати архітектуру і ізолювати обчислювальні ресурси для різних сервісів один від одного. Декомпозиція ресурсів хмарної системи та її основних компонентів представлена на рис. 3.2.

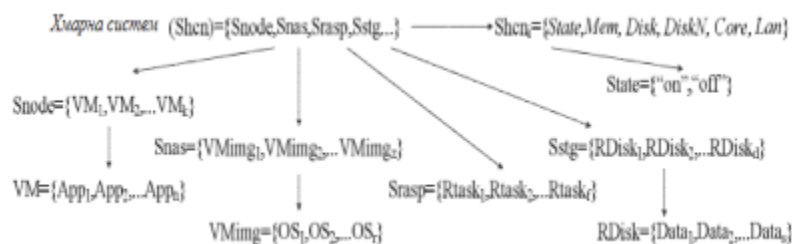


Рис. 3.2. Декомпозиція ключових ресурсів хмарної системи

Крім того, так як хмарна система є динамічним об'єктом, мінливим в моменти часу t , її стан може бути формалізовано у вигляді орієнтованого графу виду:

$$Shcn(t) = (Node(t), Connections(t), App(t)), \quad (3.2)$$

де вершини - $Node(t) = \{Node_x, Node_2, \dots, Node_x\}$ являють собою активні елементи, що входять в одну з множин $Snode_x, Snode_{stg}, Snode_{sk}, Snode_{sm}$; $Connections(t) = [Connections^1, Connections_2, \dots, Connections_v]$ активні підключення користувачів

до віртуалізованих додатків; $App(t) = \{App_1, App_2, \dots, App_n\}$ - активні екземпляри додатків, запущені на віртуальних ресурсах.

Для оптимізації механізму надання доступу до ресурсів інформаційної системи необхідно проаналізувати основні потоки даних, що передаються в хмарній системі.

Основні потоки даних, що передаються у хмарній системі. В умовах широкопasmового трафіку одночасне обслуговування різнорідних запитів користувачів такої системи є нетривіальним завданням. При цьому також варто враховувати обмеженість обчислювальних ресурсів. Для оптимізації механізму надання доступу до ресурсів інформаційної системи необхідно проаналізувати основні потоки даних, що передаються в хмарній системі.

$$SDE = \{ S_i \dots S_r \}, \quad (3.3)$$

де S_i - елемент, що виконує обробку даних, на основі потоку запитів користувачів, $i=1..r$, (r - загальне число елементів в інформаційній системі).

Кількість фаз обслуговування на шляху потоку запитів користувачів інформаційної системи залежить від її архітектури. В інформаційних системах, які застосовують хмарні обчислення для підвищення ефективності використання наявних ресурсів, мінімальне число основних фаз, що описують етапи обробки даних, приймемо рівним трьом ($f=3$).

При цьому кількість фаз обслуговування потоків у разі ускладнення або модифікації роботи інформаційної системи може бути збільшено [14].

Надалі потоки даних, що формуються в хмарній інформаційній системі, будемо розглядати для системи дистанційного навчання, побудованої з використанням сучасних засобів телекомунікацій та реалізує трифазне обслуговування запитів користувачів. Призначення кожної з фаз обслуговування запитів щодо їх розташування в послідовності обробки запитів користувачів: Перша фаза представлена групою елементів у вигляді обчислювальних вузлів контролера, керуючого розподілом потоків даних між ресурсами інформаційної системи, розташованої в хмарі.

Друга фаза представлена групою елементів у вигляді віртуальних машин, розміщених на обчислювальних вузлах інформаційної системи, що забезпечують динамічне масштабування обчислювальних ресурсів в хмарі.

Третя фаза представлена у вигляді додатків, запущених на віртуальних машинах, що виконують обробку даних користувача. Крім того, до елементів третьої фази відносять вузли системи зберігання даних та системи управління базами даних, що беруть участь в обслуговуванні запитів користувачів, як невід'ємні частини інформаційної системи, який забезпечує доступ до мультимедійних сервісів в хмарі.

Кортеж елементів, що входять до складу інформаційної системи, має вигляд:

$$SDE = \{S_1^1 \dots, S_n^1, S_1^2, \dots, S_m^2, S_1^3, \dots, S_k^3\} \quad (3.4)$$

де S_i^j - i -й елемент j -й фази;

$m \in N$, $n \in N$, $k \in N$ - число елементів, що входять до складу системи на відповідних фазах f .

Введемо також вхідні S_i^0 елементи, які передають потік даних в інформаційну систему, і вихідні S_i^4 елементи, що приймають потоки даних з хмарної інфраструктури. Отже, кортеж, що описує елементи інформаційної системи, перетвориться до виду:

$$SDE = \{S_1^0 \dots S_l^0, S_1^1 \dots S_n^1, S_1^2 \dots S_m^2, S_1^3 \dots S_k^3, S_1^4 \dots S_p^4\} \quad (3.5)$$

де $m \in N$, $n \in N$, $k \in N$ - число елементів, що входять до складу системи на відповідних фазах f ;

$l \in N$, $p \in N$ - число елементів на вході і виході хмарної інформаційної системи.

Кожний елемент S_i^j інформаційної системи в будь-який момент часу може обслуговувати кілька запитів, що надійшли від різних користувачів. При цьому, в процесі виконання запиту користувача утворюються потоки даних на вході і виході з елемента системи, що володіють індивідуальними характеристиками, що змінюються в часі.

Інтенсивність обробки розглянутих потоків заявок інформаційної системи, запитуваних користувачами, залежить від класу обслуговування, що визначається рівнем кінцевого додатку. У загальному випадку інтенсивність надходження та обслуговування потоку заявок для кожного класу додатків визначається функцією розподілу, що описується наступними законами розподілу:

- для додатків, які здійснюють обробку поточкових даних (передача відео трафіку) характерно розподіл Парето;

для додатків, які здійснюють обробку статичних даних (передача бінарного трафіку) характерно розподіл Вейбулла;

для додатків, які здійснюють обробку статичних даних (передача трафіку даних невеликого розміру) характерно розподіл Хі-квадрат.

При обслуговуванні заявок в інформаційній системі, побудованій з використанням хмарної архітектури, траєкторія проходження фаз для кожного потоку може змінюватися динамічно. При цьому кількість унікальних потоків безпосередньо залежить від числа елементів на кожній фазі.

Множина усіх потоків, які входять у елементи на кожній 1-ій фазі, включаючи вхідні потоки користувачів інформаційної системи, можливо представити у вигляді:

$$X^j = \cup_{i=0}^{n_j} X_i^j \quad (3.6)$$

де j номер фази обслуговування, n_j кількість елементів на j фазі. Виходячі з цього, усі вхідні потоки інформаційної системи, яка реалізована з використанням хмарних розрахунків, можливо представити у вигляді:

$$X = \cup_{j=0}^f X^j \quad (3.7)$$

де f - кількість фаз обслуговування.

Для вихідних потоків справедлива аналогічна умова:

$$Y^j = \cup_{i=0}^{n_j} Y_i^j \rightarrow Y = \cup_{j=0}^f Y^j \quad (3.8)$$

де n кількість елементів на j фазі, $j=1 \dots f$.

Для ефективного обслуговування запитів користувачів, що утворюють потоки даних в інформаційній системі, має існувати однозначне відображення виду $R: X \rightarrow Y$.

При цьому, для обслуговування кожної заявки в будь-який момент часу в хмарної інформаційній системі будується матриця переходів N між фазами обслуговування залежно від класу запиту і поточної завантаженості елементів системи.

Граф переходу між фазами може бути отриманий з використанням функції:

$$Y_e^{j-1} = R(X_i^{j,v}), Y_e^{j-1} \in Y \quad (3.9)$$

де e - номер елемента, що належить фазі 1-1 та направляючого потік даних v до елемента S_i^j фази j , $v=1 \dots l_i^j$.

Тоді множина всіх вхідних потоків для будь-якого елемента, отриманих від елемента інформаційної системи, що перебуває на попередній фазі, представимо у вигляді:

$$X_i^{j,j-1} = R_j^{-1}[Y_i^{j-1} \cap R(X_i^j)] \quad (3.10)$$

де j - фаза обслуговування.

Тоді виходять потоки елемента S_i^j спрямовані до елемента S_i^{j+1} представимо у вигляді:

$$X_i^{j,j+1} = Y_j^j \cap R(X_i^{j+1}) \quad (3.11)$$

де j - фаза обслуговування.

Тоді вираз $X^{j*} = \bigcup_{i=0}^n X_i^j$ та $Y^{j*} = \bigcup_{i=0}^m Y_i^j$ можливо описати відповідно вхідні та вихідні потоки фази j .

У реальних інформаційних системах вихідні потоки можуть перетинатися і потрапляти на обслуговування на один і той же обчислювальний вузол або виконуватися в рамках одного екземпляра додатка, що призводить до утворення внутрішніх черг на кожній з фаз обслуговування. Для опису даного процесу необхідно визначити зв'язки вихідних потоків даних елемента S_i^j фази $j+1$ з усіма елементами фази. З урахуванням цієї множини U^{j*} розширюється і приймає вид:

$$Y^{j*} = \cup_{S_i^j} [Y_i^{j,0} \cup (\cup_{S_i^{j+1}} Y_i^{j,j+1})] \quad (3.12)$$

При цьому для заключної фази обслуговування необхідно також враховувати передачу потоку даних користувачеві.

Для опису пересічних вхідних у фазу потоків введемо дві функції:

$$X^{j,j+1} = Q_x^j(Y^{j*}) \quad (3.13)$$

$$Y^{j,j+1} = Q_y^j(Y^{j*}) \quad (3.14)$$

де $Q_x^j(Y^{j*})$ характеризує вхідні, а $Q_y^j(Y^{j*})$ вихідні потоки, що перетинаються, які направлені у фазу.

Аналогічним чином можна визначити безліч вхідних потоків надходять у фазу обслуговування. При цьому також справедливо припинення потоків однотипних запитів користувачів. Отже, вхідний потік даних, що надходить на елемент S_i^j , який належить фазі j , від усіх елементів фази можливо представити у вигляді:

$$X^{j*} = \cup_{S_i^j} [X_i^{j,0} \cup (\cup_{S_i^{j+1}} X_i^{j,j+1})] \quad (3.15)$$

Для опису пересічних які виходять з фази потоків введемо дві функції:

$$X^{j,j-1} = P_x^j(X^{j*}) \quad (3.16)$$

$$Y^{j,j-1} = P_y^j(X^{j*}) \quad (3.17)$$

де $P_x^j(X^{j*})$ характеризує вхідні, а $P_y^j(X^{j*})$ вихідні потоки що перетинаються, які надходять на фази.

Таким чином, функції (3.13) та (3.17) описують потоки даних між фазами обслуговування інформаційної системи, яка розташована у хмарі. Для опису усієї багатофазної хмарної інформаційної системи формалізуємо опис потоків кожної фази.

Так як потоки даних та їх характеристики можуть змінюватися у часі, слід доповнити отриманий опис потоків даних в інформаційній системі параметром часу t . Крім того, так як на інформаційну систему впливають не тільки внутрішні процеси і потоки зраджуваних даних, а й зовнішні фактори, то опис системи можна доповнити параметром зовнішнього впливу F . Тоді потоки зраджуваних

даних в хмарної інформаційній системі можна описати виразом вигляду: $Y_i^j = R^j(X_i^j, t, F)$

Крім опису моделі потоків даних інформаційних систем, які застосовують концепцію хмарних обчислень, потрібно детально розглянути модель обслуговування самих заявок, що надходять від користувачів [15].

3.2 Аналіз алгоритму розподілу і динамічного балансування навантаження в хмарній системі

Основним завданням алгоритму розподілу та динамічної балансування навантаження є підвищення продуктивності роботи компонентів інформаційної системи за рахунок ефективного перерозподілу потоків даних між запущеними екземплярами додатків в умовах фізичної обмеженості обчислювальних ресурсів, забезпечуючи при цьому належну якість обслуговування для поступилих запитів користувачів.

В основі дослідження алгоритму розподілу та динамічної балансування навантаження для хмарної системи лежить агресивний варіант алгоритму Backfill (алгоритму зворотного заповнення), що застосовується для оптимізації виконання завдань у Грід. При цьому вирішується завдання підвищення ефективності використання ресурсів інформаційної системи шляхом динамічного управління ресурсами в умовах обмеження споживання ним обчислювальних потужностей.

Заявки користувачів зберігаються в черзі і впорядковані відповідно до пріоритетів. В алгоритмі Backfill значення пріоритету заявки визначається тільки щодо обсягу виконуваної операції, тобто шляхом оцінки ресурсоємності виконання запиту користувача. У кожному циклі планування ресурси виділяються заявками в порядку їх пріоритетів, причому заявка користувача може отримати обчислювальні ресурси, якщо вони не віднесені до найбільш пріоритетним заявками. Інший не менш важлива перевага консервативного варіанту алгоритму

Backfill - можливість точного резервування ресурсів для запитів користувачів відразу ж після їх надходження в чергу.

При розробці алгоритму розподілу та динамічної балансування навантаження в хмарної системі використані переваги алгоритму Backfill, але для підвищення його ефективності проведений ряд оптимізаційних поліпшень. При роботі з сервісами, розміщеними в хмарної системі, не виключена ситуація, при якій для обслуговування запиту користувача можуть бути задіяні відразу кілька компонентів (СГД/СУБД/канали зв'язку). При цьому навантаження на обчислювальних вузлах, що обслуговують віртуальні машини з необхідними компонентами, може бути нерівномірною. Тому при розподілі запитів користувачів та визначенні пріоритетів необхідно враховувати тип запиту щодо рівневої класифікації додатків (відеопортал, система тестування, електронна бібліотека), представленої в моделі обслуговування заявок користувачів, що враховує інтенсивність використання кожного з компонентів.

Таким чином, досліджений алгоритм розподілу навантаження в ході роботи будує ряд внутрішніх правил, тим самим підлаштовуючись під потік запитів користувачів для кожного екземпляра додатків, що працюють в інформаційній системі. В результаті, план виконання запитів з однаковою інтенсивністю в різні моменти часу може бути розподілений по-різному. Перестроювання правил відбувається відповідно до затребуваністю ресурсів, що дозволяє ефективно управляти розподілом і динамічним балансуванням навантаження [16].

Всього в роботі алгоритму розподілу та динамічної балансування навантаження можна виділити три етапи оптимізації, виконуваних для обслуговування запитів користувачів.

На першому етапі аналізуються характеристики запиту, що надходить від користувача, а саме визначається рівень додатки призначення, що входить до складу інформаційної системи. Так як сам рівень додатки в багатокомпонентної інформаційній системі увазі доступ до декількох типів обчислювальних ресурсів з різною інтенсивністю їх використання, визначеної згідно моделі обслуговування

заявок користувачів, то додатково визначаються конкретні об'єкти доступу згідно моделі віртуалізації обчислювальних ресурсів хмарної системи.

Узагальнена блок-схема роботи алгоритму представлена на рис. 3.3.

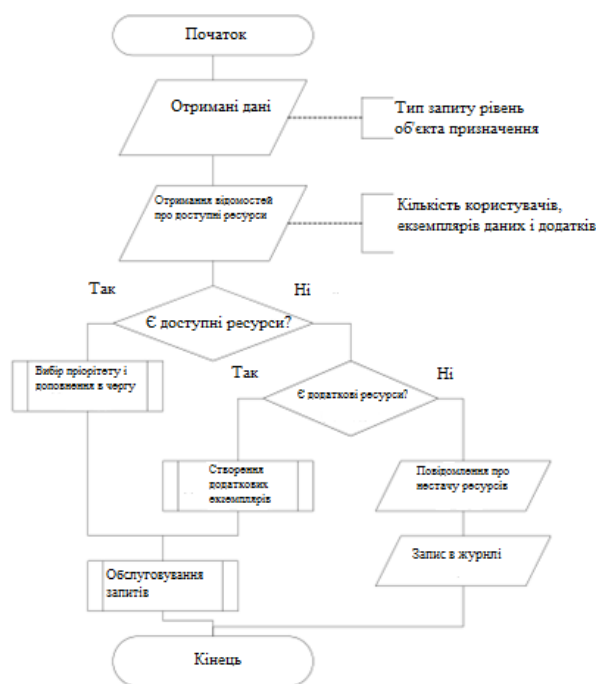


Рис. 3.3. Узагальнена блок-схема розподілу та динамічної балансування навантаження

Оцінка затребуваності кожного з об'єктів доступу проводиться на основі попередніх даних, отриманих в результаті виконання попередніх запитів. Так само враховуються витрати обчислювальних ресурсів не тільки для виконання поточного запиту, але і для інших пов'язаних з об'єктом доступу активних сеансів користувачів з урахуванням рівневої класифікації затребуваності компонентів представленої в моделі обслуговування заявок користувачів. У випадках високої ресурсоемності запиту за даними попередньої оцінки в алгоритмі застосовується поелементний аналіз об'єктів доступу, що входять в запит.

Для ефективного розподілу навантаження та підвищення продуктивності додатків при обслуговуванні запитів користувачів в умовах обмеженості ресурсів на другому етапі роботи алгоритму аналізується стан основних компонентів інформаційної системи з урахуванням декомпозиції хмарних обчислювальних

ресурсів. Результатом аналізу є визначення оптимального фізичного обчислювального вузла, що володіє достатньою кількістю ресурсів і підтримує роботу необхідного екземпляра додатка. При аналізі використовується наступний набір критеріїв, класифікований згідно з рівнями архітектури обчислювального середовища, що враховує модель віртуалізації ресурсів та додатків: фізичний рівень; віртуалізований рівень; прикладний рівень [11].

Отримані в ході аналізу дані використовуються на третьому етапі роботи алгоритму для підготовки попередньої відповіді користувачеві про розташування необхідного екземпляра додатка, що формує пакети запитаних даних. Таким чином, на третьому етапі створюється новий потік, асоційований з сесією користувача в інформаційній системі. При цьому кожному потоку, спрямованого до заданого екземпляру додатка, присвоюється динамічний пріоритет виконання в черзі запитів. Траєкторія запитів, що циркулюють в інформаційній системі, визначається згідно моделі потоків даних.

На кожній ітерації роботи в інформаційній системі алгоритм розподілу та динамічної балансування навантаження буде упорядкований план виконання всіх активних запитів користувачів, що очікують обслуговування в чергах до заданих екземплярам програми. Використання однотипних конфігурацій додатків дозволяє передавати сесію користувача будь-якого доступного екземпляру програми, при цьому здійснюється ротація пріоритетів, що дозволяє скорочувати час очікування в черзі на обслуговування.

3.3 Алгоритм розподілу навантаження при доступі до даних хмарної системи зберігання

Для підвищення продуктивності роботи додатків високонавантаженої інформаційної системи в умовах обмеженості обчислювальних ресурсів, крім алгоритмів розподілу і динамічного балансування навантаження і оптимізації запуску віртуальних машин, що містять мультимедійні додатки, потрібно

підвищити ефективність використання основних компонентів, що впливають на швидкість обробки даних. Одним з таких компонентів, що підтримують роботу мультимедійних мережевих додатків, є система зберігання даних (СГД). Від продуктивності даного компонента залежить ефективність обслуговування запитів користувачів. У мультимедійних додатках організація доступу та розміщення даних мають свої особливості, однією з яких є неоднорідність збережених даних. Системи зберігання, використовувані в мультимедійних додатках, застосовують різні алгоритми для оптимізації розміщення та надання доступу до даних. Як правило, підхід для забезпечення високої доступності заснований на пошуку найближчого вузла містить необхідний фрагмент даних і тиражуванні найбільш затребуваних даних на більше число вузлів. У більшості систем зберігання затребуваність тих чи інших даних визначається шляхом аналізу інтенсивності звернень від користувачів з використанням внутрішньосистемних алгоритмів ідентифікації. Однак існуючі алгоритми систем зберігання роблять оцінку затребуваності тільки запитаних користувачем даних без урахування зв'язків з іншими даними, розміщеними в сховище.

Відмінною особливістю розробленого алгоритму розподілу навантаження при доступі до даних хмарної системи зберігання є прогнозування затребуваності пов'язаних даних в мультимедійних додатках. Такий підхід дозволяє використовувати аналіз робочого навантаження системи зберігання даних, для підвищення ефективності обробки запитів, що надходять від користувачів інформаційної системи. При цьому сама оцінка ефективності роботи алгоритму в операціях, пов'язаних із зберіганням та наданням доступу до певного виду контенту, повинна враховувати їх статичні і динамічні характеристики. Перелічимо основні з них:

1. Статичні: тип даних; обсяг даних.
2. Динамічні: довжина блоку даних; метадані; кількість блоків даних; затребуваність даних; пріоритет (коефіцієнт) спільного використання; місце розташування даних.

Під час розміщення даних в сховищі алгоритм встановлює внутрішні зв'язки між існуючими унікальними елементами даних. Це накладає певні обмеження на структуру зберігання та процес додавання даних, однак отримана на даному етапі інформація дозволяє оптимізувати доступ надалі, що компенсує витрати на ресурсомісткість даного процесу.

При зверненні до пов'язаних елементів алгоритм розподілу навантаження здійснює резервування відповідно до заданого пріоритетом спільного використання та типом даних.

Відмінною характеристикою хмарних сховищ даних є можливість реконфігурації структури залежно від споживаних ресурсів. Для хмарної системи зберігання даних, крім прогнозування затребуваності та спільного використання даних, можливо здійснювати динамічне переміщення сховища між обчислювальними вузлами. Для оптимізації даного процесу може бути використаний наведений раніше алгоритм управління віртуальними ресурсами і додатками. Для застосування даного підходу достатньо в конфігурації шаблону задати розмір сховища, це дозволить розрахувати число примірників віртуальних машин.

Однак процес оптимізації розміщення не повинен призводити до зниження якості обслуговування клієнтів СГД, для цього в алгоритмі розподілу навантаження при доступі до даних хмарної системи зберігання враховується пропускна здатність мережі та максимальний обсяг даних, який можна передавати в один момент часу. Для ефективного використання позначених функцій алгоритму в хмарній системі також враховується поточна завантаження фізичних пристроїв зберігання та їх розташування на обчислювальних вузлах.

Крім того, для більш ефективного використання обсягу сховища даних в алгоритмі розподілу навантаження при доступі до даних хмарної системи зберігання застосована оптимізація розміщення елементів даних усередині дискового простору, а також використовується функція управління кількістю задіяних в роботі фізичних пристроїв.

Використовуючи вищесказане, уявімо розроблений алгоритм, що дозволяє оптимізувати доступ користувача до мультимедійним даними.

1. При реєстрації нового запиту виділяються вузли (пристрої зберігання, D), що містять необхідні дані. Проводиться аналіз їх завантаження (L) і географічний пріоритет щодо користувача (G).

2. Обробка запиту: для статичного типу даних, використовуючи перераховані в показники (G,L), визначається оптимальний вузол; для динамічного типу даних здійснюється пошук необхідного елемента даних в кеш-області.

3. Запитані в поточний момент часу дані направляються користувачеві з обраного джерела (пристрої зберігання обраного обчислювального вузла).

4. Після закінчення роботи алгоритму оновлюється рейтинг затребуваності ресурсів та аналізуються запити до пов'язаних даними.

Запропонований алгоритм, враховує особливості, описані в моделі доступу до сховища даних і додатків, і дозволяє оптимізувати обробку запитів користувачів до інформаційної системи, розміщеної у хмарі, і підвищити продуктивність окремих її елементів, скоротивши при цьому необхідні ресурси, що вельми актуально в умовах фізичної обмеженості обчислювальних ресурсів.

3.4 Алгоритм оптимізації процесу міграції даних в хмарній системі зберігання

Крім безпосередньої роботи з обслуговування запитів користувачів інформаційної системи, в сховище даних протікають паралельні процеси, що впливають на її продуктивність. Одним з таких процесів є міграція даних, розміщених у сховищі. Передача значних обсягів даних між пристроями одночасно з читанням даних основною групою користувачів створюють додаткове навантаження, що в свою чергу позначається на часі відгуку всієї інформаційної системи в цілому. Зазвичай алгоритми міграції даних в системах зберігання даних не враховують цю особливість, тому що в процесі тиражування

немає можливості отримати інформацію про затребуваність даних. Як правило, в алгоритмах, вживаних у сховищах даних інформаційних систем, аналізується лише безпосередні операції звернення до фізичного пристрою, а не до елементу даних, що позначається на продуктивності системи зберігання.

Для оптимізації даного процесу розроблено алгоритм міграції даних в хмарної системі зберігання, здійснює формування плану міграції для розподіленої обробки затребуваних даних в високонавантажених інформаційних системах. Відмінною особливістю алгоритму міграції є аналіз затребуваності даних при складанні плану міграції з урахуванням завантаженості пристроїв і поточного розміщення. Всі операції задаються алгоритмом планування можна описати як граф вимог виду $G(V, E, P)$, де

V - напрям переміщення, пристрій в сховище даних;

E - елемент даних (файл), затребуваний на пристрої;

P - пріоритет виконання операції в плані міграції.

У загальному вигляді схема взаємодії ресурсів в процесі міграції даних може бути представлена у вигляді такої схеми рис. 3.4.

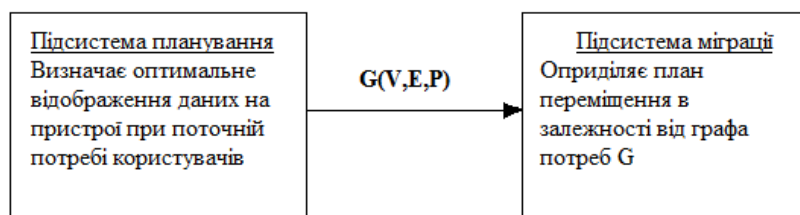


Рис. 3.4. Схема взаємодії підсистеми планування і підсистеми міграції

Особливістю розробленого алгоритму міграції є використання пріоритетного підходу до визначення послідовності операцій при формуванні плану міграції. Пріоритет виконання плану міграції формується динамічно щодо вступників запитів користувачів до елементу даних [13]. У роботі алгоритму при формуванні пріоритету враховуються такі показники:

1. Поточна завантаженість вузлів.

2. Результати прогнозування навантажень, що спираються на історію звернень користувачів до тих чи інших елементів даних, а також на інтелектуальні алгоритми внутрісистемної авторизації користувачів.

3. Розмір та тип затребуваних елементів даних.

4. Пропускна здатність каналів зв'язку як зовнішніх, так і внутрішніх (залежно від напрямку міграції даних).

5. Затребуваність активних даних, використовуваних в поточний момент (кількість користувачів звертаються до одного і того ж ресурсу в незалежності від його розташування в розподіленій системі зберігання).

Загальна укрупнена блок-схема роботи вдосконаленого алгоритму міграції даних представлена на рис.3.5.

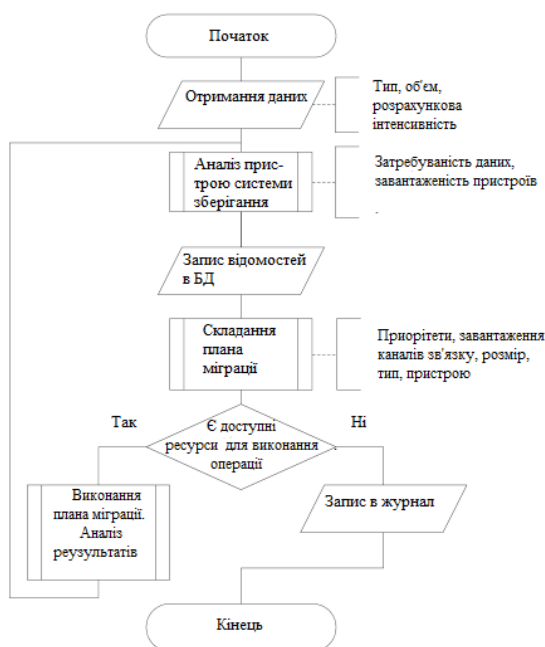


Рис. 3.5. Збільшена блок-схема роботи вдосконаленого алгоритму міграції даних

При складанні плану міграції виділяється безліч незалежних операцій DM_j , де $j= 1..N$ (N -кількість паралельно виконуваних операцій в сховище). Порядок виконання операцій в кожному безлічі визначається зв'язністю пристроїв, даних і напрямки міграції з іншими операціями. Кожному безлічі DM_j призначається

пріоритет, рівний максимальному пріоритету операції, що входить в дану безліч. Безлічі упорядковуються відповідно до розставленими пріоритетами в плані міграції. У ранжированном списку операцій виділяються два безлічі DMc і DMnc. До безлічі DMc відносяться найбільш критичні операції в плані часу виконання, в DMnc всі інші. Розглянутий алгоритм міграції враховує особливості, описані в моделі доступу до сховища даних і додатків, формує план виконання операцій з міграції даних спрямований на паралельну обробку двох підмножин. При цьому, після виконання кожної операції проводиться аналіз кожного з множин і коригується ранжований список пріоритетів операцій в плані міграції. Таким чином, відстежується стан пристроїв, затребуваність розміщених на них даних, а також запити користувачів, що дозволяє більш ефективно використовувати сховище даних [15].

3.5 Дослідження автоматизованого програмного симулятора для розподілу і динамічного балансування навантаження в хмарній системі

З огляду на те, що моделювання роботи хмарної системи, що містить неоднорідний набір сервісів та обслуговуючої нерівномірний потік запитів, досить складний процес, необхідно побудувати програмний комплекс, який реалізує розроблені алгоритми і оцінює їх ефективність. Таким чином, в рамках дослідження вирішена задача проектування та розробки програмного симулятора хмарної системи, що підтримує кілька рівнів додатків, визначених у моделі обслуговування заявок користувачів, а також модель інформаційних потоків і моделі доступу до сховища даних і додатки. Програмний комплекс реалізований на мові Delphi.

Симулятор хмарної системи являє собою багаторівневу систему, сформовану на основі моделі віртуалізації обчислювальних ресурсів хмарної системи. Структуру програми можна розділити на три основні рівні:

- Рівень відображення - формує візуальну частину графічного інтерфейсу програмної системи;

- Рівень логіки - відповідає за функціональні зв'язки, для забезпечення стандартних умов і вимог до роботи хмарної системи, а також за виконання і збір даних в рамках дослідження побудованих алгоритмів;

- Рівень протоколу - формує реалізацію основних механізмів взаємодії компонентів хмарної системи;

Загальний алгоритм роботи симулятора представлений на рис. 3.6.

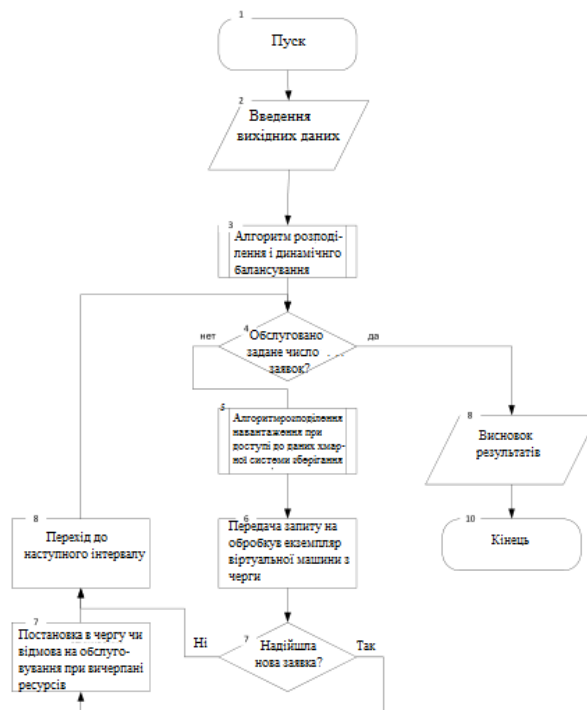


Рис. 3.6. Алгоритм роботи програмного симулятора хмарної системи

У розробленому симуляторі застосовані наступні описані раніше алгоритми:

1. Алгоритм розподілу і динамічного балансування навантаження;
2. Алгоритм управління віртуальними ресурсами і додатками;
3. Алгоритм розподілу навантаження при доступі до даних хмарної системи зберігання;
4. Алгоритм оптимізації процесу міграції даних в хмарної системі зберігання.

Основне завдання, яке вирішується при використанні програмного симулятора, - доказ ефективності прототипу засоби управління ресурсами хмарної системи в умовах обмеженості ресурсів, Симулятор підтримує роботу декількох класів додатків, що володіють різними характеристиками, що впливають на обробку запитів користувачів. Файл являє собою структурований звіт, отриманий шляхом аналізу лог-даних роботи реальної системи. Функціональна схема програмного симулятора представлена на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Функціональна схема програмного симулятора

Програмна система призначила для аналізу та локалізації потенціальних слабких Місць при розрахунку продуктивності проектуючих хмарних систем в залежності від обсягу розміщуваних в них даних.



Рис. 3.8. Функціональна схема програмного симулятора

3.6 Реалізація програмного модуля контролера хмарної системи

В рамках цього дослідження на базі розроблених алгоритмів і моделей крім симулятора, спроектований і побудований прототип програмного засобу, який здійснює функції розподілу та динамічної балансування навантаження на ресурси хмарної системи для надання широкосмугового доступу до мультимедійних освітніх ресурсів з урахуванням моделей віртуалізації обчислювальних ресурсів і потоків даних інформаційних систем. Програмний засіб являє собою модуль для хмарної системи OpenStack. Модуль дозволяє раціонально використовувати виділені обчислювальні ресурси шляхом ефективного розподілу віртуальних машин, що містять мультимедійні додатки, між обчислювальними вузлами хмарної системи, а також здійснює оптимізацію розміщення інформації в сховищі даних. У процесі роботи модуль по засобом документованого API хмарної системи здійснює взаємодію з наступними компонентами: Nova - контролер обчислювальних ресурсів; Swift - хмарне файлове сховище; Glance - бібліотека образів віртуальних машин [12].

Також модуль взаємодіє з сервером розкладів, за допомогою SQL-запитів до бази даних і дозволяє здійснювати роботу з даними на пристроях зберігання. Прототип програмного модуля реалізований на базі набору модулів Swift і Nova. Програма написана на мові програмування Python. Загальна структурна схема взаємодії компонентів хмарної системи з модулем представлена на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Структурна схема взаємодії компонентів хмарної системи з модулем розподілу і балансування навантаження

Вхідними даними для модуля є: конфігураційні дані з файлу налаштувань; інформація про розташування даних на пристроях зберігання; інформація про запити користувачів до мультимедійних додатків. Характер одержуваних і переданих за допомогою API даних - текстова інформація, перетворена у відповідності зі структурою JSON. Алгоритм роботи програмного модуля хмарної системи представлений на рис. 3.10.



Рис. 3.10. Алгоритм роботи програмного модуля хмарної системи

Під час роботи програмний модуль аналізує потоки запитів користувачів, що надходять на вхід додатків інформаційної системи, і використовуючи представлені раніше алгоритми оптимізації, здійснює взаємодію з ключовими компонентами хмари. Функціональна схема представлена на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Функціональна схема програмного модуля хмарної системи

Розроблений модуль дозволяє оптимізувати роботу компонентів хмарної системи в умовах обмеженості ресурсів, підвищуючи при цьому продуктивність додатків за рахунок ефективного виділення ресурсів при складанні плану обробки запитів користувачів, одночасно здійснюючи розподіл і балансування навантаження між обчислювальними вузлами. З метою підвищення ефективності використання ресурсів інформаційної системи, розміщеної у хмарі, розглянуті алгоритми, що дозволяють оптимізувати використання обчислювальних ресурсів в плані міграції даних, їх розміщення, а також забезпечують розподіл і балансування навантаження на обчислювальні вузли і додатки з використанням пріоритетного підходу. Представлені програмні засоби дозволяють проводити дослідження ефективності застосування розроблених алгоритмів з використанням різних вхідних параметрів. Кожен із запропонованих програмних продуктів реалізований за модульним принципом, що дозволяє забезпечувати масштабування системи і підтримувати розподілену обробку запитів.

ВИСНОВКИ

Виконане дослідження побудови мереж мобільного зв'язку, при впровадженні хмарних технологій показало, що майбутній розвиток мереж мобільного зв'язку буде пов'язано з використанням хмарних технологій, які будуть потребувати зміни правил побудови мереж та регулювання їх роботи.

Впровадження концепції мультитехнологічної та мультидіапазонної побудови мереж мобільного зв'язку буде ґрунтуватися на хмарних технологіях. Зокрема будуть програмно визначаються мережі радіодоступу і базові мережі (SDN), що реалізуються на центрах обробки даних не тільки інфраструктурних операторів зв'язку.

Планування мереж мобільного зв'язку в майбутньому стане більш складним і багато аспектним процесом ніж просто частотно територіальне планування роботи базових станцій мережі в умовах внутрішньо системних перешкод.

Говорячи про те, як побудова мобільних мереж нового покоління відіб'ється на звичайних користувачах, експерти запевняють, що від віртуалізації мережі очікується кардинальна зміна звичного користувацького досвіду використання мобільного зв'язку. Очевидно, що покращиться якість зв'язку в умовах руху, та зменшення вартості мобільного пристрою. Також можна розраховувати на значне зниження енергоспоживання абонентських пристроїв і, відповідно, більш тривалий час їх автономної роботи .

З метою підвищення ефективності використання ресурсів інформаційної системи, розміщеної у хмарі, розглянуті алгоритми, що дозволяють оптимізувати використання обчислювальних ресурсів в плані міграції даних, їх розміщення, а також забезпечують розподіл і балансування навантаження на обчислювальні вузли і додатки з використанням пріоритетного підходу. Виконавши поставлені завдання, можна зробити висновок про те, що застосування хмарних технологій у мобільних мережах зв'язку є наступним кроком їх розвитку, від якого очікують не тільки покращення якості послуг які надаються, а й значного зменшення затрат на побудову, модернізацію та обслуговування мережі.