

## Аналіз моделей та алгоритмів функціонування мереж SDN

К.т.н.,доц. Хмельницький Ю.В.

Хмельницький національний університет

Аналіз методів, моделей та алгоритмів управління програмно - керованими мережами показав, що проблема забезпечення якості обслуговування займає досить важливе місце у наукових працях закордонних і вітчизняних дослідників. Значна увага науковців приділяється до адаптивності програмно - керованої мережі в умовах обслуговування мультисервісного потоку даних, яка реалізується завдяки можливостям протоколу Open-Flow. На відміну від традиційного застосування мережевої операційної системи як операційної системи інтегрованої зі стеком мережевих протоколів, в даному випадку будемо розглядати програмну система, що забезпечує моніторинг, доступ, керування ресурсами всієї мережі, а не конкретного вузла. Об'єктом керування мережевої операційної системи є один або кілька комутаторів. Контролер забезпечує набір інтерфейсів для створення, редагування, видалення, керування конфігурацією таблиць потоків у комутаторах. Комутатором керує програмний процес, який виконується на контролері. Контролер повинен володіти інформацією про топологію мережі в будь - який момент часу. Інформація про топологію мережі також містить інформацію про розміщення користувачів та серверів, інших елементів та сервісів мережі, а крім того, прив'язку між іменами та їх адресами.

Використання стандартизованого відкритого інтерфейсу площини передачі даних дає можливість впроваджувати інновації набагато оперативніше, ніж це відбувається сьогодні. Це дає можливість здійснювати оперативний моніторинг функціональних параметрів пристроїв передачі даних у мережах і можливість їх динамічно їх програмувати. В рамках дослідження та аналізу складових елементів системи управління SDN архітектури, що забезпечують якість обслуговування потоків у програмно - керованими мережах є деякі недоліки. Різномірність самої апаратної реалізації пристроїв передачі даних мережі призводить до того, що різні види комутаторів можуть не підтримувати деякі функції чи підтримувати їх із обмеженою продуктивністю. У процесі роботи мережі це може суттєво вплинути на пропускну здатність окремих потоків передачі даних чи цілих доменів мережі. Сама маршрутизація потоків передачі здійснюється за критерієм якості обслуговування чи за критерієм рівномірного завантаження мережевих ресурсів мережі. Підвищення якості обслуговування здійснюється із врахуванням класифікації потоку передачі згідно ITU-T, що досить суттєво обмежує можливість управління потоком даних. Більшість моделей не враховують характеристик мультисервісного потоку даних, що призводить до погіршення якості обслуговування та підвищення ймовірності блокування каналів передачі мережі.

Ще одна категорія методів базується на потокових аналітичних моделях для оптимізації мережі. Ці методи використовують моделі балансування навантаження потоків передачі даних, які не враховують чутливості потоку

даних до перемішування порядку пакетів, погіршення затримки та тимчасового розриву з'єднання. Відсутність можливості здійснювати диференційоване управління для окремих потоків даних окремих клієнтів мережі та врахувати їхні вимоги щодо якості, призводить до низької ефективності каналу маршрутизації, неоптимального розподілу навантаження мережі, погіршення якості обслуговування високо пріоритетних потоків даних. Самі ж засоби контролю за процесом передачі окремих потоків передачі даних відсутні, внаслідок чого система управління мережею не має змогу визначити погіршення якості обслуговування для цих потоків даних, а тому не зможе гарантувати рівень якості, узгоджений у сервісі обслуговування.

Проведений аналіз показує, що існуючі моделі управління інформаційним потоком у програмно - конфігуруємо мережах не завжди враховують вимоги окремого клієнта, а диференціюють потоки лише за класами потоку інформації. Не використовують актуальні параметри управління та обслуговування як окремих каналів, так й індивідуальних потоків окремого клієнта мережі та не завжди можуть справитися із перевантаження елементів телекомунікаційної мережі, вузлів чи каналів. Проводить маршрутизацію потоків даних мережі, не диференціюючи їх за чутливістю до перемішування порядку пакетів та розриву з'єднання [1]. Розглянемо архітектуру SDN (рис. 1), що складається із рівня програми, рівня мережевого устаткування та рівня даних.

Мережеві комутатори стають простими пристроями пере адресації, а логіка управління в архітектурі SDN реалізована в логічно централізованому контролері. При аналізі моделей та алгоритмів функціонування системи управління SDN архітектури розглянемо співвідношення до її традиційних мереж. Усі сучасні інформаційні технології висувають досить великі вимоги до гнучкості та масштабованості комп'ютерних мереж і очікується, що SDN мережі допоможуть вирішити цілий ряд наявних проблем, сприятимуть створенню автоматизованих, програмованих, гнучких та економічних мережевих інфраструктур, однак ця стратегія у різних провідних виробників помітно розрізняється.

Нові тенденції – це віртуалізація, хмарні обчислення, мобільність користувачів, зростання обсягів передачі - змінюють вимоги до мережевих інфраструктур. Будуть виникати питання чи зможуть сьогодні мережеві продукти забезпечити підтримку майбутніх додатків і сервісів, якою мірою розвиток мережі буде прив'язаний до продуктів обраного виробника тощо. Пріоритетність рішень, архітектура традиційного мережевого обладнання робить цю прив'язку дуже міцною. Деякі виробники навіть характеризують поточну ситуацію у мережевий галузі як революційну. Ряд експертів [2] у якості рецепту усунення розкритих в мережах проблем називають перехід до архітектури програмно-керованих мереж (Software-Defined-Networking, SDN). Архітектура SDN обіцяє істотно послабити залежність від замовників технологій конкретного виробника. В архітектурі SDN вся логіка управління мережеви ми пристроями вноситься в так звану «площину управління», яка реалізується програмним чином. Конструктивно контролери в архітектурі SDN мо-

жуть будуватися на базі фізичних або віртуальних вузлів. В архітектурі SDN управління мережевими пристроями, як правило, здійснюється по протоколу Open-Flow.

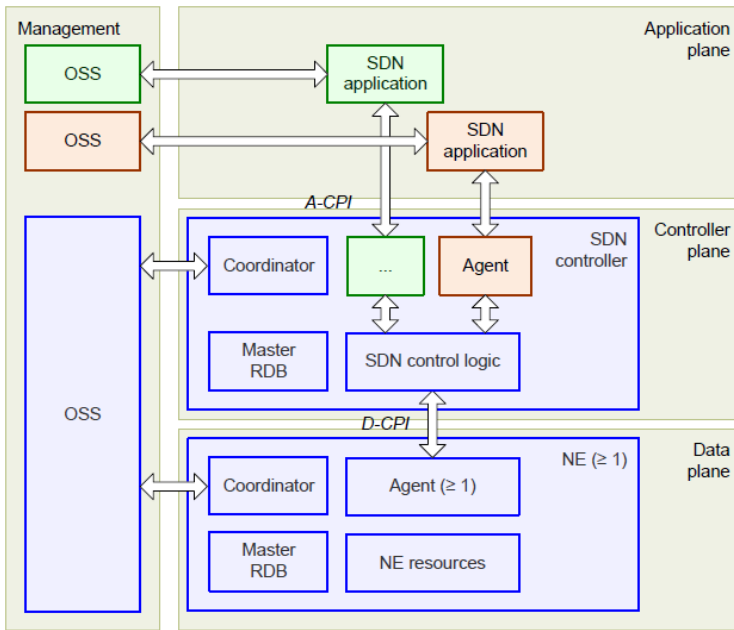


Рисунок 1 – Класична модель архітектура SDN мережі

Ідея архітектури SDN - відділення функцій передачі даних від функцій управління. У традиційних комутаторах та маршрутизаторах ці процеси зв'язані. У архітектурі SDN мережа, що складається із безлічі пристроїв різних виробників, постає для застосування як один логічний комутатор. Архітектура SDN дозволяє адміністраторам програмувати мережу як єдине ціле, а не займатися окремими комутаторами, які можуть просто виконувати інструкції контролера. Реалізація такої концепції значно спрощує експлуатацію та функціонування мережі, її конфігурацію. Комутатори можуть бути простими та дешевими. Характеристики мережі можна оперативно змінювати у режимі реального часу, скорочуються терміни впровадження нових додатків та сервісів. Програмні інтерфейси (API), контролери дозволяють розробникам створювати додатки для управління такою мережею. Ці програми можуть виконувати найрізноманітніші функції, причому для цього не потрібно знати особливості роботи конкретних мережеских пристроїв.

Із точки зору виробників, такий підхід не повинен викликати ентузіазму у розробників мережевого устаткування, які багато років удосконалювали унікальні функції своїх комутаторів та маршрутизаторів. Можливість вико-

ристання простих та дешевих комутаторів, створення додатків сторонніми розробниками за рахунок відкритих API підриває бізнес таких компаній, позбавляє їх джерела додаткової вартості. Проте великі замовники, включаючи провідних операторів зв'язку та провайдерів, вже перейняли ідеями архітектури SDN, а виробники мікросхем комутаторів оголосили про підтримку Open-Flow, тому поставники не можуть залишатися осторонь.

Структура Open-Flow маршрутизатора представлена на рис. 2. Open-Flow маршрутизатор складається із однієї або декількох таблиць потоків. Маршрутизатор обмінюється повідомленнями з контролером за допомогою протоколу Open-Flow. За допомогою протоколу Open-Flow, контролер виконує такі дії з записами потоків в таблицях як додавати, оновлювати, видаляти. У таблицях потоків маршрутизатора містяться набори записів, а усі записи визначаються полями порівнянь, лічильниками та набором інструкцій, які застосовуються до пакету та співпали із полями. При передачі, заголовки пакетів порівнюються із полями порівнянь записів в порядку пріоритету, а це одне із полів порівняння. Якщо знайдені відповідні записи, то до пакету застосовуються інструкції, асоційовані із цим записом. Якщо не знайдено жодного запису, то пакет скидається або передається для аналізу прийняття рішення контролеру.

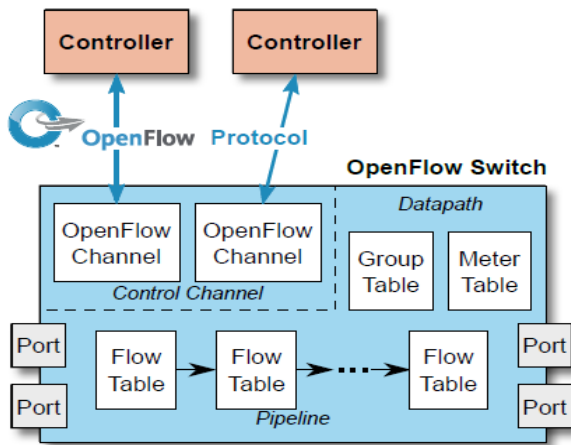


Рисунок 2 – Алгоритм функціонування Open-Flow маршрутизатора

Робочі інструкції у відповідних записих Open-Flow маршрутизатора містять дії, які застосовуються до пакету та визначають безпосередньо самі правила пересилання, чи визначають подальшу обробку пакета, у наступних таблицях потоків - конвеерна обробка. Конвеерна обробка дозволяє передавати аналіз пакета із однієї таблиці в іншу, додатково пересилаючи спеціальні метадані. Обробка закінчується, коли відповідні інструкції не містять команд пересилання в наступну таблицю у цей момент виконується модифіка-

ція пакету, виконання "накопичених" дій. Завдяки такій моделі, Open-Flow комутатор може функціонувати як простий комутатор, маршрутизатор, мережевий екран чи як інше мережевий пристрій. Все визначається за таблицею передачі. Така модель обробки пакета відкриває унікальні можливості. Пристрій може використовуватися в ролі як комутатора, так і маршрутизатора чи мережевого екрану. Групова таблиця містить записи груп, а кожен запис містить також список інструкцій зі специфічною семантикою, що залежить від типу групи. Дії в одній застосовуються для всіх пакетів, що посилаються до цієї групи. Збір статистики реалізується за допомогою лічильників. Лічильники можуть бути призначені для кожної таблиці, потоку, порту, черги, групи чи набори лічильників, визначені спеціалізацією Open-Flow.

Всі Open-Flow сумісні лічильники можуть бути реалізовані в програмному забезпеченні та відображають інформацію на основі опитування апаратних лічильників, які мають обмежений діапазон значень. Любий поточковий запис містить набір інструкцій, які виконуються в тому разі, коли пакет відповідає правилу. Усі інструкції діляться на наступні типи: для негайного виконання, для очищення списку інструкцій, для додавання нової інструкції, для запису метаданих, для переходу до наступної таблиці. Інструкції для негайного виконання дають вказівку застосувати певні дії негайно, без будь-яких змін у наборі дій. Така інструкція може бути використана для модифікації пакета при передачі його до іншої таблиці. Інструкції для очищення видаляють всі інструкції з набору інструкцій для окремого потоку. Інструкції для додавання нової інструкції доповнюють наявний набір інструкцій для окремого правила новими інструкціями. Інструкція переходу до наступної таблиці містить номер таблиці, в яку пакет буде переданий після обробки в поточній таблиці. Номер наступної таблиці обов'язково повинен бути більшим від номера поточної таблиці.

Дослідження та аналіз моделей і алгоритмів забезпечення функціонування й процесів управління мережею, побудованою за принципами SDN, показує, що спочатку необхідно здійснити модернізацію механізмів моніторингу стану її ресурсів, поскільки при використанні стандартного механізму спостерігається генерація надлишкової службової інформації для елементів, що простоють. Це може мати досить негативний вплив на ефективність роботи через завантаженість каналів передачі. Тому при аналізі моделей та алгоритмів функціонування системи управління SDN архітектури, у зв'язку із недоліками існуючих систем моніторингу, у багатьох публікаціях [3] пропонується використовувати метод динамічної адаптації параметрів системи моніторингу, наприклад, зміну інтенсивності моніторингу стану мережевого елемента залежно від його поточної завантаженості. Інтелектуальний моніторинг в мережі на основі SDN реалізується шляхом встановлення головного додатку моніторингу на контролер та відповідних підконтрольних йому агентів на кожен комутатор.

Тому аналіз моніторингу виконує додаток, встановлений на контролері, а підконтрольні йому агенти виконують функції збору інформації, моди-

фікацію та відправлення на контролер. Розподіл інтенсивності моніторингу окремих сегментів мережі дає можливість усунути надлишкові процеси моніторингу та обробки даних про стан мережі, виконуючи необхідну інтенсивність лише на тих вузлах, де все це необхідно робити. На основі інтенсивності моніторингу можна збільшувати гнучкість управління елементами мережі на основі SDN, та ефективніше використовувати обчислювальні ресурси пристроїв рівня управління. Володіючи поточною службовою інформацією, можна здійснювати оптимальний розподіл навантаження на мережі, попереджуючи таким чином негативні явища перевантаження мережевих вузлів. Можна переводити елементи, що простоюють, у режим очікування, зберігаючи при цьому можливість надійного та швидкого їх відновлення до нормального режиму роботи. Це значно зменшить витрати та збільшує час «життя» мережевих пристроїв. Повністю відключати обладнання не завжди доцільно, поскільки його ввімкнення потребує певного часу для відновлення таблиць комутації, запуску усіх апаратних та програмних процесів комутатора, що впливає на час перебудови топології мережі та спричиняє стрибок службової інформації між контролером та комутатором. Особливістю розглянутого механізму є зміна інтенсивності моніторингу лише конкретного мережевого вузла, який цього потребує, однак це не впливає на інтенсивність моніторингу інших вузлів.

Такий алгоритм функціонування системи управління SDN архітектури та пропонуваній механізм є адаптованим до сучасного динамічного потоку даних та забезпечує хорошу базу для подальшого процесу балансування навантаження. Чим вище миттєве значення завантаження каналу, тим швидше відбудеться наступне опитування, тому чим більше завантаження каналу, тим частіше система моніторингу здійснює опитування щодо кількості переданої інформації. Такий метод можна використовувати стосовно усіх параметрів комутатора у випадку, коли підвищення інтенсивності їхнього опитування не впливає негативно на характеристики продуктивності та якості функціонування мережі. Ще важливим параметром процесу моніторингу є кількість інформації, що генерується цим процесом. При роботі мережі, у випадку підвищення інтенсивності моніторингу кількість службової інформації, навантаження на інформаційний канал зростає, що загалом призводить до часткового зниження ефективності використання інформаційного каналу. Функція зміни інтенсивності моніторингу буде різною для кожного окремого параметру мережі, а її максимальне значення залежатиме від рівня навантаження процесу моніторингу на мережеві елементи. Обмеження щодо частоти моніторингу деяких параметрів часто встановлюють виробники, вказуючи критичне значення у документації до пристроїв.

Спрощені підходи до аналізу потоків даних і спроби отримання інформації про мережеві додатки на підставі легкодоступних атрибутів та характеристик потоків найчастіше виявляються непродуктивними. У більшості програм обміну файлами активно використовуються прийоми, що ускладнює достовірну ідентифікацію таких додатків - динамічне призначення портів,

децентралізовані сховища, використання поширених прикладних протоколів як транспортних, а також криптографічні методи приховування та маскуванню потоку даних. Ці обставини вимагають використання додаткових технічних, програмних та алгоритмічних засобів і математичних моделей досліджуваних процесів. Характеристики функціонування програмно - керованої мережі, що складається з різномірних Open-Flow комутаторів, залежать від апаратних характеристик кожного комутатора. З метою зменшення складності та вартості комутатора постачальники можуть обмежити функціональні можливості цієї таблиці щодо пошуку за певними полями, виконання певних дій над пакетами. Додатки, що встановлюються на контролері, повинні враховувати ці обмеження, щоб уникнути можливих проблем, пов'язаних із погіршенням продуктивності мережі в процесі її роботи.

Використання нових моделей та алгоритмів дозволяє забезпечити централізований моніторинг параметрів мережевих пристроїв та формувати характеристики функціонування програмно – керованої мережі на виході. Результати моніторингу можуть бути додатково використані при плануванні роботи мережі чи для динамічної оптимізації мережі - встановлення правил із врахуванням апаратних характеристик комутатора та передачі потоку даних через різні шляхи для уникнення вузьких місць у такій мережі. Специфікація Open-Flow визначає необхідну функціональність, яка повинна бути реалізована у кожному комутаторі Open-Flow. Основною метою цієї специфікації є забезпечення уніфікованих процесів контролю та управління програмно – керованою мережею, що складається із пристроїв різних моделей від різних виробників. Реалізація необхідної функціональності є індивідуальною та змінюється від одного виробника до іншого та може привести до змін продуктивності у реальній мережі. Проблеми виникають уже тоді, коли програмно - керована мережа налаштована та окремі комутатори починають створювати вузькі місця, погіршуючи продуктивність та якість обслуговування мережі. Тому необхідно, щоб розробники додатків для програмно – керованих мереж змогли отримати інформацію про обмеження продуктивності конкретного комутатора із метою забезпечення стабільної та надійної роботи мережі. Комутатор, залежно від апаратної реалізації, може надавати доступ до окремих параметрів. Специфікація Open-Flow містить загальний алгоритм роботи та список параметрів доступних для моніторингу:

- аналіз потоків передачі - тривалість існування, пріоритет, кількість оброблених пакетів, байт;
- аналіз таблиць потоків даних - кількість правил, кількість оброблених пакетів, байт;
- аналіз портів передачі - кількість переданих чи відкинутих пакетів, байт, помилок передачі та колізій;
- аналіз черг передачі - довжина черги, кількість переданих пакетів, байт, кількість відкинутих пакетів через переповнення.

Розглянута система дозволяє здійснювати моніторинг як Open-Flow параметрів, так і параметрів якості, пов'язаних із роботою комутатора. Параметри Open-Flow - максимальна кількість правил із конкретною структурою, тривалість встановлення правил, тривалість опитування статистики таблиці потоків, тривалість обробки пакетів із використанням програмних таблиць потоків даних, тривалість зчитування інформації із лічильників, а також завантаження центрального процесора пристрою. Основним компонентом розглянутої системи моніторингу є додаток моніторингу, який встановлюється на фізичному сервері. Цей додаток виконує ключову роль збору, форматування та представлення інформації у форматі, зручному для користувача і для подальшої обробки цієї інформації іншими додатками. База даних зберігає інформацію, необхідну для роботи додатка, наприклад, для налаштування комутаторів, моделі та технічні особливостей того чи іншого комутатора. Ці дані заносяться в базу даних адміністратор програмно – керованої мережі. У базі даних зберігаються зібрані дані моніторингу та оброблені статистичні характеристики поведінки мережі в певні періоди.

Відсутність можливості здійснювати диференційоване управління для окремих потоків даних окремих клієнтів мережі та врахувати їхні вимоги щодо якості, призводить до низької ефективності каналу маршрутизації, неоптимального розподілу навантаження мережі, погіршення якості обслуговування високо пріоритетних потоків даних. Засоби контролю за процесом передачі окремих потоків передачі даних відсутні, внаслідок чого система управління мережею не має змогу визначити погіршення якості функціонування для цих потоків даних. Розробники ставлять за мету формування такої архітектури мережі та устаткування, що припускає відділення площини управління від площини передачі та докладають значних зусиль до подолання виникаючих проблем, пов'язаних із складнощами міграції від традиційних мереж до архітектури SDN. Це в подальшому надасть можливість користувачам отримувати послуги із необхідною якістю, надійністю та достовірністю.

### Література

1. Орлов Є.В. Програмно - конфігуровані мережі (SDN): архітектура, міжнародна стандартизація / Є. В. Орлов // Наукові записки УНДІЗ. - 2014. - №4(32). - С. 85-91.
2. Толубко В.Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно – конфігурованих мереж(SDN)/В.Б.Толубко, Л.Н.Беркман,Л.О.Комарова, Є.В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології - 2014. - №4.- С.5-11
3. Стрихалюк Б.М. Метод балансування навантаження на основі інтегрованої архітектури управління з використанням функції NVF / Б.М.Стрихалюк, О.М.Шпур, М.О.Селюченко // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: Збірник матеріалів конференції (м. Київ, 21-24 квітня 2015 р.). - К.: НТТУ «КПІ», 2015. - С.322-325

**Контактні дані авторів:**

Хмельницький Юрій Владиславович: [getman-58@ukr.net](mailto:getman-58@ukr.net)