

DOI: 10.18372/2310-5461.67.20243
УДК 004.7

Г. Ф. Конахович, д-р техн. наук, проф.
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0000-0002-6636-542X
e-mail: heorghii.konakhovich@npp.kai.edu.ua

А. О. Романов, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0000-0002-3425-0441
e-mail: anton3329@gmail.com

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ПЛОСКОСТІ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖІ SDN З СИСТЕМАМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖАМИ ЗГІДНО КОНЦЕПЦІЇ TMN

Вступ

Сьогодні мережі більшості операторів зв'язку є негнучкими. Це пов'язано з тим, що вони побудовані на базі спеціалізованих фізичних пристроїв, таких як маршрутизатори, комутатори, мережеві екрани та інше обладнання. Ці пристрої розроблені на базі специфічних апаратних і програмних платформ різних вендорів. Впровадження нових сучасних послуг і технологій на таких мережах вимагає заміни чи модернізації старого парку апаратури на новий [1, 2]. Такий підхід негативно впливає на оперативність надання користувачам нових продуктів і послуг. Обслуговування та управління на таких мережах є неефективним і дорогим. При цьому необхідно звертатися за допомогою до вендора, який постачав обладнання для розгортання мережі оператора зв'язку. Усе це негативно впливає на оперативність надання користувачам нових видів послуг. Це веде до того, що мережа оператора зв'язку є негнучкою, ускладнюється впровадженням нових послуг і технологій, а також збільшує залежність оператора від специфічних рішень вендорів.

Одним з найбільш перспективних напрямків рішення цих проблем є впровадження концепції SDN (Software-Defined Networking) при побудові та модернізації телекомунікаційних мереж різного призначення. Відмінною рисою SDN є те, що віртуалізація мережевих елементів, додатків та служб дозволяє абстрагуватися від базових технологій, обладнання та мережевого керування. Алгоритми обслуговування «фізичних мережевих елементів» та «віртуальних мережевих елементів» можливе зробити однотипним. Це дозволить оператору здобути незалежність від постачальника обладнання. Крім того, ми маємо можливість зробити поділ функцій та завдань на дві частини:

1. Завдання, які будуть покладені на апаратне забезпечення і їх виконання може бути реалізовано тільки традиційними фізичними елементами. Для цього можна рекомендувати виконання функцій, які не залежать від рішення завдань обслуговування трафіку в мережі і технологій, які використані при вирішенні такого типу завдань. Це може бути, наприклад, реалізація системи живлення, охолодження та інші. Це функції, які не можуть бути реалізовані з використанням технології віртуалізації.

2. Завдання телекомунікаційної мережі, реалізація яких можливе вирішити на програмному рівні з використанням технології віртуалізації. Для цього можливо рекомендувати виконання протокольних функцій, що забезпечують реалізацію будь-якої нової технології, реалізацію інтерфейсів взаємодії елементів системи, створення моделей елементів керованої мережі та інше. Тоді програмованість мережевих елементів SDN дозволить керувати поведінкою мережі за допомогою програмного забезпечення, що знаходиться за межами мережевих пристроїв, що забезпечують фізичне підключення. В результаті мережеві оператори зможуть адаптувати поведінку своїх мереж для впровадження нових послуг та оперативного надання їх клієнтам.

Відокремивши апаратне забезпечення від програмного забезпечення, оператори можуть швидко впроваджувати інноваційні диференційовані послуги, не обмежуючись можливостями закритих та приватних платформ. Це дозволить операторам зв'язку отримати незалежність від постачальника обладнання. Тому, наразі, питання побудови мереж з використанням методів віртуалізації на базі концепції SDN, перебувають у центрі уваги операторів мобільного зв'язку. Цей напрямок є найбільш перспективним для модернізації мереж і впровадження нових послуг.

Оптимальність прийнятих рішень і ефективність використання обладнання в такій мережі багато в чому залежить від можливостей площини управління в архітектурі SDN. Забезпечення якісного вирішення завдань управління телекомунікаційною мережею є одним із найбільш складних завдань, яке потрібно вирішити при впровадженні технології SDN. При цьому слід зазначити, що мережі SDN ще тривалий час будуть працювати в оточенні традиційних мереж, які оператори зв'язку будуть використовувати ще декілька десятків років. Тому необхідно забезпечити взаємодію рівня управління мереж SDN із мережами, які працюють на базі застарілих технологій. Це стосується як стаціонарних телекомунікаційних мереж, так і мереж операторів мобільного зв'язку побудованих до технології 4G включно.

Мережі операторів зв'язку, які побудовані на технологіях минулих років, використовують системи управління, побудованими на базі концепції TMN [3]. Тут основним елементом управління є блок OSS (Operation support system). Крім того, передбачена можливість включення до контуру управління людини – оператора, який братиме участь у вирішенні слабо структурованих завдань управління мережею, які не піддаються автоматизації.

Так як найбільш складні питання виникають при вирішенні завдань забезпечення взаємодії рівня управління мережі SDN і систем управління, побудованими на базі концепції TMN, то в роботі проведена деталізація архітектури площини управління SDN з розглядом необхідних елементів, які забезпечать взаємодію з системами управління, побудованих з використанням концепції TMN. Запропоновано перелік необхідних функціональних блоків в архітектурі контролера SDN, перелік завдань, які вони повинні вирішувати, їх взаємозв'язки з іншими блоками. Крім того, запропоновані елементи, які забезпечать збір необхідної інформації, що може бути використана в якості вихідних даних для рішення завдань управління. Проаналізовані напрямки формалізації завдань управління, з використанням в якості вихідних даних показників функціонування телекомунікаційних мереж. Запропоновано вимоги до системи моніторингу для збирання необхідних вихідних даних і приблизний алгоритм взаємодії елементів для отримання оптимальних рішень у процесі управління мережею.

Постановка проблеми

Аналіз показує, що мережі SDN ще тривалий час будуть працювати в оточенні традиційних мереж. При цьому, найбільш складні питання

виникають при забезпеченні взаємодії рівня управління мереж SDN із мережами, які працюють на базі застарілих технологій. В основному мережі операторів минулих років, використовують системи управління, які побудовані на базі концепції TMN. Тому необхідно провести деталізацію завдань площини управління SDN, визначити необхідний перелік елементів, які забезпечать взаємодію рівня управління SDN з системами управління на базі TMN, і визначити перелік завдань, які вони повинні вирішувати в процесі рішення задач управління. Крім того, потрібно надати пропозиції щодо моделі основного елемента управління мережами застарілого парку, яким є OSS (Operations Support System). Це в подальшому може бути використано для створення віртуальної копії, і як наслідок, це в подальшому може значно спростити процес взаємодії систем управління мережами різних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні вже є низка робіт в яких пропонується використання методів віртуалізації в мережах операторів зв'язку і впровадження технології SDN.

Першими роботами в даному напрямку була низка документів, які розроблені в консорціумі ONF. Вони описують фундаментальні принципи побудови та функціонування мереж SDN. У роботі [4] розглянуто загальні вимоги, системні підходи та узагальнену архітектуру мереж SDN. У роботі [5] розглянуто завдання та особливості протоколів, які використовуються під час розв'язання різних завдань у транспортних мережах SDN. У роботі [6] описано особливості побудови контролера OpenFlow Controller, його елементів і порядок їхньої взаємодії в процесі обслуговування потоків інформації. У роботі [7] розглянуто пропозиції щодо підвищення надійності системи управління в мережах SDN, принципи побудови оптичної транспортної мережі та надано рекомендації щодо забезпечення безпеки їх функціонування. Найбільш повно і систематизовано матеріал викладено в роботах [8, 9, 10.], де досліджуються різні аспекти обслуговування інформаційних потоків, загальних принципах побудові площини управління мережами і акцентується увага на необхідності виконання вимог щодо забезпечення безпеки мереж.

Однак, одним з найбільш складних і важливих питань в мережах SDN, є забезпечення оптимального вирішення завдань управління в різних умовах функціонування. Особливо це стосується питань взаємодії новітніх систем управління на базі SDN і системи управління мережами застарілого парку, побудованими на базі концепції TMN. Ці питання в сучасних статтях, розглянуті

не достатньо повно. Тому, в даній роботі зроблена деталізація площини SDN-контролера і запропоновано перелік функціональних блоків, які дозволять забезпечити взаємодію мереж SDN і мереж на базі застарілих технологій в процесі рішення завдань управління. Визначений перелік задач керування в умовах взаємодії мереж, приділена увага методу збору вихідних даних, які адекватно відображають реальні процеси функціонування мережі.

Мета

На цей час мережі SDN, в основному, працюють на окремих ділянках в режимі тестової експлуатації. Тому мережі SDN ще тривалий час будуть працювати в оточенні традиційних мереж. Необхідна розробка теоретичної бази, яка в подальшому забезпечить повноцінну взаємодію мереж, які побудовані на різних технологіях.

Виклад основного матеріалу

Високі вимоги, що висуваються до сучасних телекомунікаційних мереж, практично неможливо реалізувати в рамках тієї технологічної основи, яка закладена в даний час. Тому пошуки ефективних рішень оптимізації функціонування системи телекомунікацій призвели до швидкого розвитку і впровадження технологій віртуалізації в побудову мереж, що є технологічною основою мереж SDN.

Ця технологія дає змогу реалізувати виконання основоположних вимог до систем телекомунікацій і має низку значних переваг, які роблять її привабливою для сучасних мережевих інфраструктур. Стандартна мережева архітектура може мати вигляд, представлений на рис. 1.

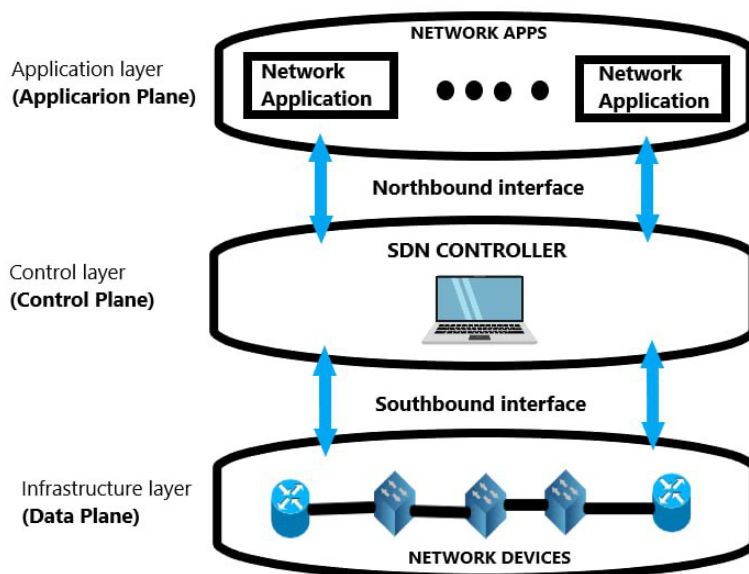


Рис. 1. Функціональна архітектура SDN

Архітектура програмно-конфігурованої мережі складається з трьох рівнів: рівня додатків, рівня управління та рівня інфраструктури, пов'язаних між собою через відкриті API-інтерфейси (рис. 1).

Рівень застосунків містить у собі функціональні блоки з набором програмного забезпечення, яке може розв'язувати окремі задачі управління, надавати сучасні сервіси користувачам, обробляти статистичні дані про стан мережевих елементів, забезпечити автоматизовану зміну протоколів під час налаштування мережі, віртуалізувати мережеві функції, балансувати навантаження та інше.

Кожен застосунок має ексклюзивний контроль над набором ресурсів, що надаються одним

або кількома контролерами SDN. Додатки можуть:

- взаємодіяти один з одним безпосередньо;
- пред'являти свої мережеві вимоги до площини управління через північні інтерфейси (northbound interfaces), часто звані NBI.
- виступати в ролі контролера SDN.
- вирішувати різні специфічні мережеві завдання

Рівень управління побудований на базі контролера, який є централізованим органом управління мережею. На цьому рівні забезпечується управління доступом, політиками і розподілом трафіку в мережі. Рівень інфраструктури містить як фізичні, так і віртуальні елементи мережі, що мають тільки виконавчі функції. Усі завдання

управління вирішує контролер, який доводить ці рішення до рівня інфраструктури.

Основні переваги мережевої архітектури SDN досягаються за рахунок впровадження нових підходів при побудові мереж SDN, а саме:

- поділ площин управління і даних. При цьому площина управління відповідає за логіку маршрутизації та політики управління в масштабах всієї мережі. А площина даних забезпечує тільки пересилання пакетів, відповідно до директив площини управління.

- використання методу централізованого управління за допомогою контролера, який має інформацію про повну топологію мережі та параметри функціонування всіх елементів. Це спрощує налаштування елементів мережі та управління показниками функціонування мережі, оскільки зміни можна вносити в одному місці, а не на кожному окремому пристрої.

- забезпечення можливості віртуалізації більшості типів обладнання та мережевих функцій системи.

- забезпечення програмованості рівня управління мережевими ресурсами, обчислювальними ресурсами, ресурсами зберігання даних і оркестрації послуг.

- забезпечення гнучкості та масштабованості. Завдяки централізованому управлінню та програмованості, мережу можна швидко адаптувати до мінливих вимог, додавати нові сервіси або пере налаштовувати ресурси.

- реалізації надання користувачам однакового набору сервісів незалежно від того, чи використовується для цього набір фізичних пристроїв, чи їх представлення у вигляді віртуальних машин;

- уніфікації протоколів і автоматизації розв'язання завдань конфігурації мережевих елементів.

- забезпечення єдиного механізму адміністрування та виділення ресурсів у мережі за запитом різних послуг і функцій;

- автоматизації процесів управління під час розгортання мережевих елементів і бізнес-процесів.

Забезпечення умов виконання цих вимог дасть змогу створювати телекомунікаційні мережі високої ефективності та конкурентоспроможності на ринку телекомунікацій.

Найскладніші завдання в мережах SDN стоять перед рівнем управління. Стандартне уявлення рівня управління передбачає, що на рівні управління знаходиться один функціональний елемент – контролер SDN. Однак, з погляду забезпечення розв'язання повного переліку завдань управління, площина управління повинна містити:

- один або кілька контролерів SDN, для забезпечення заданих показників якості обслуговування та надійності функціонування системи;

- один або кілька функціональних блоків взаємодії з системами управління мережами застарілих технологій (ФБ OSS);

- функціональний блок взаємодії оператора з контролером SDN для ручного неавтоматизованого управління контролером (ФБ OPER).

З огляду на вищесказане можна сформувати приблизний перелік завдань кожного елемента площини управління. Так, будь-який із контролерів мережі SDN забезпечує управління набором ресурсів одного або декількох мережевих елементів у площині даних. Мінімальна функціональність контролера SDN повинна забезпечити:

- обробку запитів на обслуговування додатків, які за ним закріплені;

- формування плану розподілу навантаження в мережі;

- оперативну реакцію на зміну мережевої ситуації з метою відновлення режиму нормального функціонування мережі після збою;

- динамічна розподіляти заявки з урахуванням конкуруючих вимог різних додатків;

- ізолювати роботу додатків один від одного.

При цьому контролер SDN може зв'язуватися з іншими одноранговими контролерами SDN і передавати їм заявки на обслуговування.

Найбільш складні питання виникають при вирішенні питань забезпечення взаємодії при вирішенні завдань управління. Розглянемо перелік завдань функціональних блоків взаємодії з системами управління мережами застарілих технологій - ФБ OSS. Для цього слід згадати основні положення концепції побудови системи управління TMN, яка визначає вимоги до управління мережами застарілих технологій. А ці мережі будуть працювати ще де кілька десятків років. Концепція TMN заснована на базових принципах управління відкритими системами. Згідно з визначенням ITU-T, TMN є окремою мережею, що має інтерфейси з однією або більшою кількістю мереж зв'язку в декількох точках. TMN обмінюється з цими мережами інформацією і може керувати їхнім функціонуванням. Відокремлення TMN від мереж передавання інформації реалізується на фізичному або логічному рівні. В останньому випадку TMN може частково використовувати інфраструктуру керованої мережі. Структура системи управління згідно концепції TMN має вигляд, представлений на рис. 2.

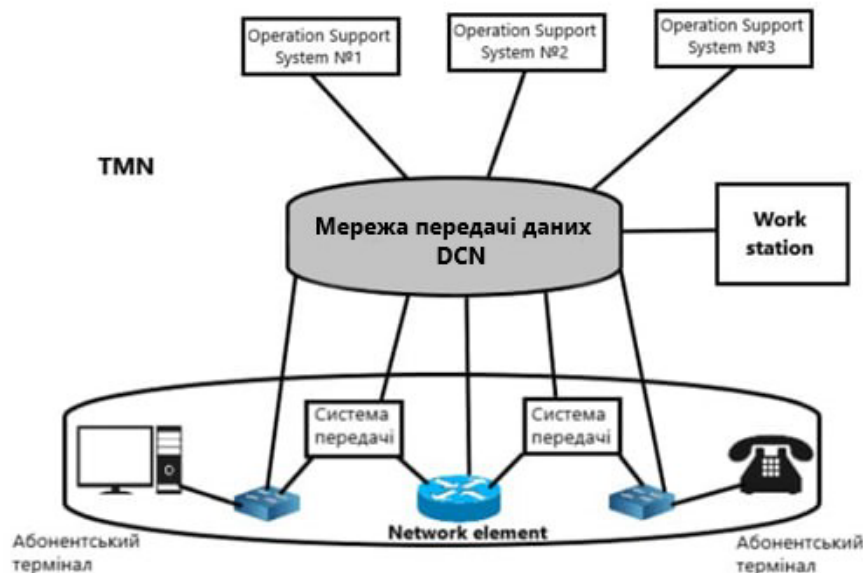


Рис. 2. Управління мережами згідно концепції TMN

Об'єктами управління мережі TMN є телекомунікаційні та мережеві ресурси. У специфікаціях TMN керовані ресурси мають загальну назву «мережеві елементи» (Network Element, NE). У реальних умовах – це телекомунікаційне обладнання мереж, таке як комутатори, маршрутизатори, системи розподілу інформації, функціональні блоки, модулі, програмне забезпечення елементів системи управління. Використовуючи певний перелік сигналів, є можливість цілеспрямованого впливу на властивості та режими функціонування мережевого обладнання. Наприклад, давши команду на зміну програми роботи комутатора або маршрутизатора, можна дозволити або заборонити використання обхідних шляхів на певній ділянці мережі, підвищити або зменшити допустиму величину втрат у напрямках зв'язку, адміністративно обмежити доступ до певного переліку послуг.

Мережа TMN надає оператору зв'язку послуги управління телекомунікаційними мережами. Послуги управління являють собою рішення, пропонувані TMN оператору зв'язку, що забезпечують оптимізацію режиму функціонування керованої мережі в реальному масштабі часу. Послуга управління в TMN складається з безлічі компонентів. Як приклад елементарного компонента може бути повідомлення про несправність будь-якого елемента. Такий компонент визначається як функція управління (management function). Мережа TMN може надати оператору зв'язку безліч функцій управління телекомунікаційними мережами та послугами, ініціюючи при цьому потоки повідомлень між органами та об'єк-

тами управління в процесі прийняття рішення. Обмін інформацією управління (management information) забезпечує збір даних про поточний стан елементів мережі, ухвалення рішення, формування команд управління виконавчим органам і отримання підтвердження про результати виконання отриманих команд.

Обмін повідомленнями в контурі управління між TMN і телекомунікаційним обладнанням керованої мережі здійснюється через опорні точки, які реалізуються у вигляді інтерфейсів TMN. Для передавання команд керування TMN підключається до телекомунікаційного обладнання мережі передавання даних (data communication network, DCN). Ця мережа реалізує транспортні рівні мережі TMN відповідно до семирівневої моделі взаємодії відкритих систем OSI.

Органами управління в системі TMN є системи підтримки операцій OSS (Operations Support System). Іноді їх іменують просто операційними системами (Operations System, OS). Вони забезпечують реалізацію функцій прикладного рівня. Можливий варіант структурної схеми системи підтримки операцій OSS представлений на рис. 3.

Основним завданням систем підтримки операцій є моніторинг стану елементів керованої мережі, збір та обробка статистичних даних. За результатами моніторингу формується модель поточного стану мережі та розрахунок основних показників її функціонування. Розраховані показники порівнюються з нормованими значеннями, на основі чого робиться висновок про необхідність доведення характеристик функціонування керованої мережі до необхідних норм.

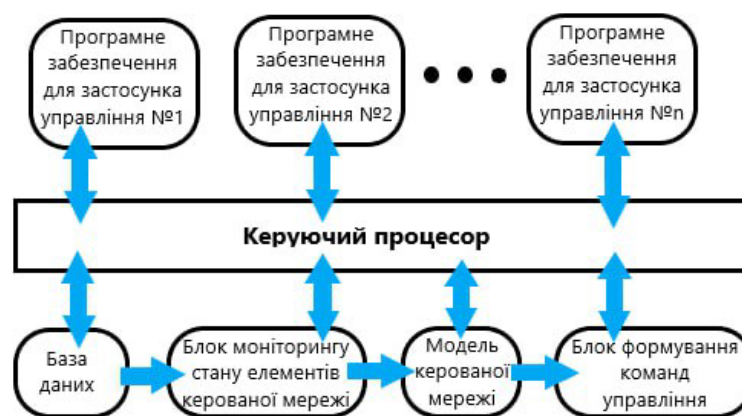


Рис. 3. Структурна схема системи підтримки операцій OSS

Важливим завданням систем підтримки операцій є формування інформаційної моделі мережі. Інформаційна модель являє собою логічний опис фізичних об'єктів телекомунікаційних мереж з використанням прийнятої інформаційної технології та спеціальних програмних засобів, наприклад, систем управління базами даних (СУБД). База даних мережевого управління являє собою структуровану сукупність інформації про керовану мережу, взаємозв'язків між її елементами, методів збору, первинного оброблення та подання даних. Системи підтримки операцій забезпечують управління обчислювальними процесами і роботою прикладних програмних засобів управління (додатків управління), які реалізують більшість послуг і функцій управління. Функції управління можуть виконуватися в автоматичному режимі або з включенням людини-оператора в контур управління. Крім того, OSS забезпечують підтримку терміналів користувачів, форматування даних і розподіл обчислювальних ресурсів між додатками управління.

Виконання низки функцій управління вимагає спільної участі кількох систем підтримки операцій. У цьому разі мережа DCN використовується для обміну даними та забезпечення взаємодії розподілених OS. За допомогою DCN також забезпечується взаємодія TMN, які розгорнуті для вирішення завдань управління телекомунікаційними мережами різних операторів. Нерідко для корекції процесів управління потрібна участь людини-оператора. З цієї метою в TMN передбачено підключення робочих станцій (workstations, WS). Мережа DCN забезпечує взаємодію OS і WS, що дає змогу операторам і адміністраторам отримувати й інтерпретувати інформацію управління з використанням людино-машинних інтерфейсів. Робочі станції WS мають зручний графічний інтерфейс, підтримують мову спілкування «людина-машина», мають можливості опрацю-

вання і структурування даних, забезпечують обслуговуючий персонал засобами ручного й автоматичного введення-виведення інформації.

Таким чином, ФБ OSS площини управління SDN має забезпечити взаємодію систем управління мережами на різній технологічній основі та відповідати концепції TMN. Аналізуючи структуру системи рис. 2, ФБ OSS має забезпечити взаємодію із системами підтримки операцій OSS.

Розглядаючи призначення функціонального блоку взаємодії оператора з контролером SDN для ручного неавтоматизованого управління контролером (ФБ OPER), можна припустити, що він має забезпечувати виконання тих самих функцій, що й TOC у концепції управління TMN. Таким чином, функціональні блоки ФБ OSS і ФБ OPER можуть бути використані:

- для розв'язання завдань із призначення областей, контрольованих різними контролерами SDN;
- для початкового налаштування мережевих елементів;
- для налаштування областей SDN, під час їх введення в експлуатацію.

На рівні додатків оператор зазвичай налаштовує:

- контракти та угоди про рівень обслуговування (SLA);
- алгоритми розв'язання задач управління;
- рівень пріоритету пристроїв під час спільного вирішення завдань.

На всіх рівнях управління оператор зв'язку відповідає за налаштування політик безпеки, що дає змогу розподіленим функціональним блокам безпечно взаємодіяти один з одним.

Слід зазначити, що архітектура SDN не визначає внутрішній дизайн або реалізацію площини управління мережі SDN. Це може бути:

- один монолітний процес;

На рівні операційної системи контролера, використовуючи ФБ OPER, оператор мережі може налаштувати:

- політики, що визначають область контролю, які надаються додаткам SDN;
- обмеження на ресурс, що виділяється;
- перелік параметрів системи, що підлягають контролю.
- конфедерація ідентичних процесів, організованих для розподілу навантаження або захисту один одного від збоїв;
- набір окремих функціональних компонентів, що працюють за певним набором правил;
- контролер SDN може використовувати зовнішні сервіси для виконання деяких функцій, наприклад для розрахунку шляху.

Допускається будь-яке поєднання цих альтернатив: контролер SDN розглядається як чорна скринька, що виконує певні функції. Компоненти контролера можуть розміщуватися на довільних обчислювальних платформах, включно з обчислювальними ресурсами в центрах обробки даних. Тоді узагальнену модель площини управління мережі SDN, яка забезпечує взаємодію з мережами управління TMN, можливе запропонувати у наступному вигляді (рис. 4).

Розглянемо основні елементи моделі взаємодії площини управління SDN і систем управління TMN, яка представлено на рис. 4.

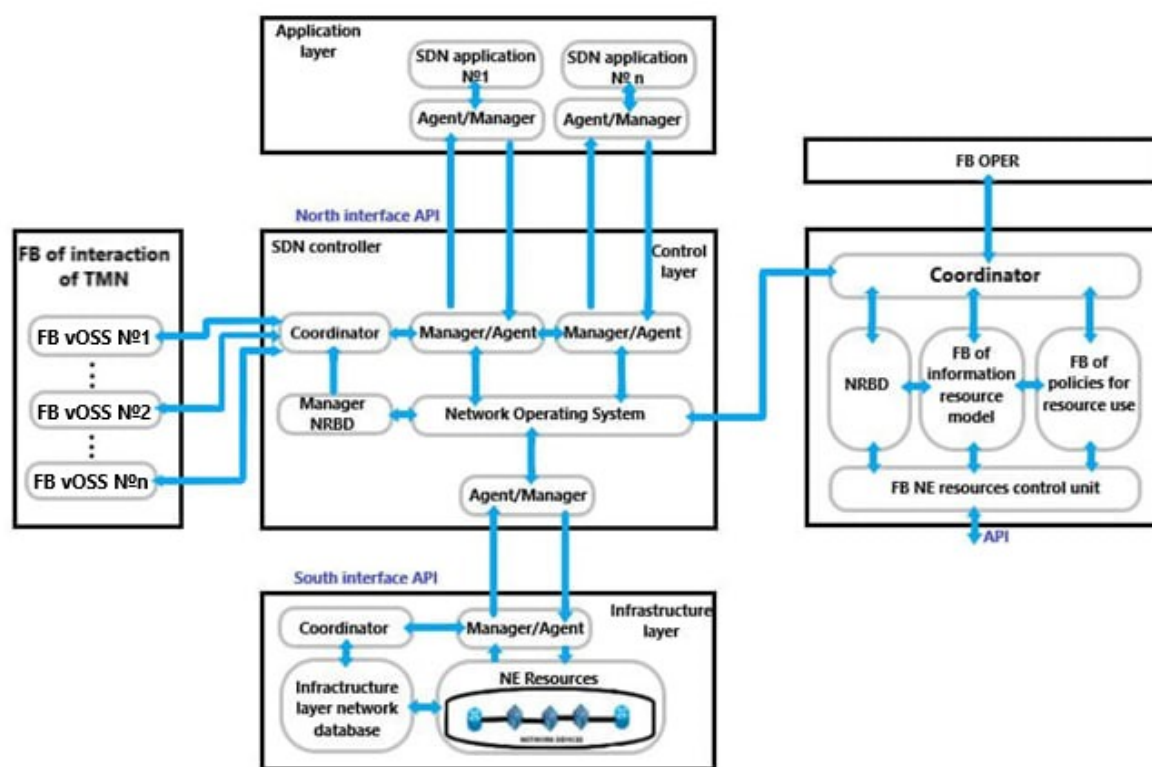


Рис. 4. Модель взаємодії площини управління SDN і систем управління TMN

Блок FB of Integration of TMN призначений для забезпечення взаємодії контролера з елементами системи управління мережі TMN. Оскільки основними елементами системи управління в мережі TMN є системи підтримки операцій OSS (Operations Support System,), то можна припустити, що в даному блоці повинні бути представлені їхні віртуальні копії – FB vOSS.

Coordinator – це багатфункціональний елемент, який забезпечує взаємодію різних мережевих елементів, віртуальних і фізичних мереж різних технологій та інших об'єктів управління мережами. Крім того, Coordinator забезпечує можливість людині-оператору передавати команди

управління безпосередньо до мережевої операційної системи, для зміни вимог, наприклад, до якості обслуговування користувачів мережі, політики мережевої безпеки та вирішення інших основоположних завдань в умовах надзвичайних ситуацій. Він також може передавати іншу додаткову інформацію для елементів мережі у вигляді моделей та інформаційних ресурсів. Тому функціональні блоки координатора можуть бути розміщені на різних рівнях ієрархії мережевої архітектури.

База даних мережевих ресурсів NRBD (Network Resources Database) моделює поточний екземпляр інформаційної моделі. Вона відображає мо-

живості мережевих елементів та інших ресурсів мережі. Ресурси мережі записуються у вигляді екземпляра інформаційної моделі. Там відображаються як ресурси фізичних елементів, так і ресурси віртуальних екземплярів мережевого обладнання. Доступ до моделі здійснюється через агентів підлеглого рівня.

Важливу роль в управлінні, налаштуванні взаємодії з мережами іншої технологічною базою є функціональний блок людини оператора (FB OPER). Він забезпечує втручання людини на будь-якому етапі функціонування мережі. Особливо це стосується нестандартних ситуацій, коли відсутні програми по їх автоматичному вирішенню. Людина оператор через FB OPER може використовувати блоки Control Processor, NRBD, FB of information recourse model, FB of policies for recourse use. Це дозволяє йому вносити зміни в інформаційну модель мережі, змінювати політики використання ресурсу, вносити зміни в програми роботи мережевої операційної системи, прописувати нові протоколи. Цей блок особливо важкий на початку розгортання нової мережі SDN і первинної настройки мережевих елементів. А також, коли в мережі впроваджуються нові технології.

Аналіз показує, що модель взаємодії площини управління SDN і систем управління побудованих на базі концепції TMN, яка представлена на рис.4, може забезпечити якісне управління мережами, які побудовані на різних технологічних принципах.

Висновки

У роботі проведено аналіз принципів побудови та особливостей архітектури мереж SDN. Показано, що дана технологія має незаперечні переваги, такі як централізація управління, віртуалізація мережевих елементів, додатків і служб; поділ функцій управління і передачі даних, використання стандартизованих інтерфейсів. Тому на сьогоднішній день, це основний напрямок розвитку телекомунікаційних мереж. При цьому, в активному впровадженні технології SDN зацікавлені насамперед мережеві оператори. Це пов'язано з тим, що вони вперше стають незалежними від виробника обладнання. Купивши базовий зразок телекомунікаційного обладнання, вони мають можливість самі виробляти його подальшу модифікацію, розробляючи необхідні їм додатки як доповнення до базового програмного забезпечення.

Зазначено, що в найближчому майбутньому мережі SDN працюватимуть в оточенні традиційних мереж, де системи управління побудовані відповідно до концепції TMN. Тому має бути

забезпечена взаємодія мереж SDN з мережами, де вирішення завдань управління покладено на такі елементи, як Operations Support Systems. Крім того, має бути передбачена можливість включення в контур управління людини - оператора, який буде взаємодіяти з системою в процесі розв'язання слабко структурованих завдань управління, що не дають змоги повністю автоматизувати розв'язання тієї чи іншої задачі управління. На основі проведеного аналізу запропоновано модель побудови площини управління SDN з деталізацією процесу взаємодії з мережами, що побудовані на різній технологічній основі та відповідають концепції TMN. Визначено перелік елементів, які забезпечують збір інформації про стан мережі та виявлення відхилень мережевих параметрів від нормованих значень. А також, деталізовано функції цих елементів, місця їхнього розміщення та порядок взаємодії в процесі розв'язання задач управління.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Gupta B. B., Dahiya A. E., Benkhelifa E. (2024). SDN and NFV: A new dimension to virtualization. (World scientific series on future computing paradigms and applications book 2) // WSPC – 2024, p. 292.
- [2] Yasir Ali Matnee, Chasib Hasan Abooddy, Zainab Qahtan Mohammed / Analyzing Methods and Opportunities in Software-Defined (SDN) Networks for Data Traffic Optimizations // International Journal on Recent and Innovation 90 Trends in Computing and Communication. 2018. № 6. С. 75–82. URL: <http://www.ijritcc.org>
- [3] Кривуца В. Г., Беркман Л. Н та ін. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій. К. Техніка, 2007, 384 с., ISBN 966-575-054-2. <https://www.hups.mil.gov.ua/assets/uploads/library/nadhodzhennya/january-march-2017/70.pdf>
- [4] Romanov O., Nesterenko M., Mankivskyi V. The Method of Redistributing Traffic in Mobile Network / Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, p. 159–182, 2021.
- [5] Romanov O., Siemens E., Nesterenko M. and Mankivskyi V. Mathematical Description of Control Problems in SDN Networks // International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT), pp. 33–40, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.25673/36582>
- [6] ONF TR-508. Requirements Analysis for Transport OpenFlow/SDN. V1.0 August 20, 2014. ONF TR-508.
- [7] ONF TR-522. SDN Architecture for Transport Networks. March, 2016
- [8] ONF TR-539. OpenFlow Controller Benchmarking Methodologies Version 1.0 November 2016.
- [9] Труба О. М. Підвищення надійності конструювання трафіку в програмно конфігурованій ме-

- режі / О. М. Труба, А. В. Коган // Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019) м. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20–22 листопада 2019 р. С. 39–42.
- [10] Globa L., Skulysh M., Romanov O., Nesterenko M. Quality Control for Mobile Communication Management Services in Hybrid Environment, UkrMiCo, pp. 133–149, 2018.
- [11] Carmelo Cascone O'Connor, Thomas Vachuska, Bruce Davie. Software-Defined Networks: A Systems Approach, 2021, p. 152.
- [12] Romanov O., Mankivskyi V. Optimal Traffic Distribution Based on the Sectoral Model of Loading Network Elements // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), pp. 683–688, Aug 2019.

Конахович Г. Ф., Романов А. О.

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ПЛОСКОСТІ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖІ SDN З СИСТЕМАМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖАМИ ЗГІДНО КОНЦЕПЦІЇ TMN

Для підвищення ефективності функціонування мереж, повної автоматизації процесів управління, адміністрування та технологічного обслуговування, скорочення часу виведення на ринок сучасних послуг, забезпечення впровадження нових технологій по всій мережі, а не поетапного впровадження їх на окремих об'єктах, оператори починають широке використання технології віртуалізації мережевих ресурсів. Цей підхід є відмінною рисою програмно-конфігурованих мереж SDN. Оптимальність прийнятих рішень у такій мережі багато в чому залежить від можливостей площини управління в архітектурі SDN. Слід зазначити, що мережі SDN ще тривалий час будуть працювати в оточенні традиційних мереж, які оператори зв'язку будуть використовувати ще де кілька десятків років. Тому необхідно забезпечити взаємодію мереж SDN із мережами, які використовують системи управління, побудованими на базі концепції TMN. Тут основним елементом управління є блок OSS (Operation support system). Крім того, має бути передбачена можливість включення до контуру управління людини – оператора, який братиме участь у вирішенні слабо структурованих завдань управління мережею, які не піддаються автоматизації.

Найбільш складні питання виникають при вирішенні питань забезпечення взаємодії контролера SDN і систем управління, побудованими на базі концепції TMN. Тому в роботі проведена деталізація архітектури площини управління SDN з розглядом необхідних елементів, які забезпечують взаємодію з системами управління, побудованих з використанням концепції TMN. Запропоновано перелік необхідних функціональних блоків в архітектурі контролера SDN, перелік завдань які вони повинні вирішувати, їх зв'язки з іншими блоками. Розглянуті елементи, які забезпечать збір необхідної інформації, яка може бути використана в якості вихідних даних для рішення завдань управління. Проаналізовані напрямки формалізації завдань управління, з використанням в якості вихідних даних показників функціонування телекомунікаційних мереж. Запропоновано вимоги до системи моніторингу для збирання необхідних вихідних даних і приблизний алгоритм взаємодії елементів для отримання оптимальних рішень у процесі управління мережею.

Ключові слова: віртуалізація мережевих ресурсів; контролер SDN; Software-Defined Networking; Network Operating System; протокол OF- config; протокол OpenFlow; віртуальні елементи; TMN; OSS.

Конахович Г., Романов А.

MODEL OF INTERACTION OF THE NETWORK CONTROL PLANE SDN WITH NETWORK MANAGEMENT SYSTEMS ACCORDING TO THE TMN CONCEPT

To increase the efficiency of network operation, fully automate management, administration and technological maintenance processes, reduce the time to market for modern services, ensure the introduction of new technologies throughout the network, rather than their phased implementation at individual facilities, operators are beginning to widely use the technology of network resource virtualization. This approach is a distinctive feature of software-defined networking (SDN). The optimality of decisions made in such a network largely depends on the capabilities of the control plane in the SDN architecture. It should be noted that SDN networks will continue to operate for a long time in the environment of traditional networks, which telecom operators will use for several decades. Therefore, it is necessary to ensure the interaction of SDN networks with networks that use management systems based on the TMN concept. Here, the main control element is the OSS (Operation support system) block. In addition, it should be possible to include a human operator in the control loop, who will participate in solving poorly structured network management tasks that cannot be automated.

The most difficult issues arise when solving the issues of ensuring the interaction of the SDN controller and control systems built on the basis of the TMN concept. Therefore, the paper details the architecture of the SDN control plane with consideration of the necessary elements that ensure interaction with control systems built using the TMN concept. A list of the necessary functional blocks in the architecture of the SDN controller, a list of tasks that they must solve, and their connections with other blocks are proposed. The elements that will ensure the collection of the necessary information that can be used as input data for solving management tasks are considered. The directions of formalization of management tasks are analyzed, using the indicators of telecommunication networks functioning as initial data. The requirements for a monitoring system for collecting the necessary initial data and an approximate algorithm for the interaction of elements to obtain optimal solutions in the process of network management are proposed.

Keywords: virtualization of network resources; SDN controller; Software-Defined Networking; Network Operating System; OF-config protocol; OpenFlow protocol; virtual elements; TMN; OSS.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2025 р.
Прийнято до друку 10.09.2025 р.