

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

МОХАММЕД ДЖАМАЛ САЛІМ

УДК 621.391

МОДЕЛІ І МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ
В ВІРТУАЛІЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ

Спеціальність 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Одеській національній академії зв'язку ім. О.С. Попова
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
ДУРАВКІН Євген Володимирович,
Одеська національна академія зв'язку
ім. О.С. Попова,
професор кафедри телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ГАРКУША Сергій Володимирович,
Полтавський університет економіки та торгівлі,
проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук
ЄВДОКИМЕНКО Марина Олександрівна,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії.

Захист відбудеться «25» січня 2019 року 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.816.01 у Одеській національній академії зв'язку ім. О.С. Попова за адресою: Україна, 65029, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

Автореферат розісланий «20» грудня 2018 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



Степанов Д.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення доступності послуг та підтримка гарантованого рівня їх якості є найважливішими задачами, що постають у процесі розвитку мультисервісних мереж. Постійно зростаючі вимоги користувачів щодо спектру та функціональних особливостей послуг, які надаються, призводять до ускладнення та збільшення об'ємів мережевого обладнання, а також протоколів управління та надання послуг. Незважаючи на постійну модернізацію як самої концепції управління, так і механізмів надання послуг, розрив між якістю обслуговування, що потребується, та дійсною якістю продовжує збільшуватися.

Побудова та впровадження мереж з підтримкою технології віртуалізації мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV) є одним із найперспективніших рішень задачі підвищення якості обслуговування. Технологія NFV дозволяє реалізувати широкий набір функцій та послуг, що надаються мережевим обладнанням та мають апаратну реалізацію (мережеві екрани, пограничні маршрутизатори, комутатори, сервери доступу та інших), у вигляді відкритого програмного забезпечення. З використанням технології NFV будь-яка послуга може бути оперативно впроваджена у необхідний час у необхідному місці мережі та надана користувачу з відповідним рівнем якості.

Розвиток та повноцінне функціонування технології віртуалізації мережевих функцій ускладнено рядом чинників. По-перше, не існує стандартизованих механізмів та правил побудови архітектури NFV: документація ETSI та IETF, носить рекомендаційний характер та не містить чітких вимог щодо впровадження та подальшого функціонування NFV. По-друге, у більшості випадків інтерфейси мережевого обладнання з підтримкою технології NFV, що надається різними розробниками, наприклад, Cisco, HP, Juniper, Mikrotik, залишаються закритими та мають комерційне спрямування та закрите програмне забезпечення. По-третє, реалізація різних механізмів віртуалізації мережевої інфраструктури та використання різних систем управління та моніторингу призводить до виникнення функціональних розбіжностей та значного зниження якості обслуговування кінцевих користувачів.

Формалізація вимог щодо функціонування віртуалізованих мереж, аналіз ефективності та оцінка коректності розподілу ресурсів мережі у процесі надання послуг за рахунок впровадження математичних моделей та методів дозволяє своєчасно виявляти та усувати ряд розбіжностей та можливих помилок на ранніх етапах розробки мережевих рішень з підтримкою функцій віртуалізації. Однак сучасні підходи, що застосовуються при розробці, не дозволяють забезпечити належну якість послуг у віртуалізованих мережах з підтримкою технології NFV: методи формалізації вимог специфікації, що набули широкого значення під час розробки традиційних телекомунікаційних

систем та мереж (SDL, UML та інші) не дозволяють повноцінно формалізувати причинно-наслідкових зв'язків між мережевими компонентами, що належать до інфраструктури NFV та системи управління; недостатній розвиток методів аналізу та верифікації рішень NFV призводить до виникнення критичних помилок, що впливають на подальшу якість обслуговування кінцевих користувачів.

Таким чином, розробка нових та вдосконалення існуючих моделей та методів формалізації та аналізу ефективності функціонування віртуалізованих мережах у процесі надання послуг дозволить усунути ряд можливих помилок і, як наслідок, покращити рівень якості обслуговування.

Розвитком технології віртуалізації мережеских функцій, а саме дослідженням та удосконаленням методів розробки та впровадження механізмів формування та надання послуг з гарантованою якістю, займаються такі європейські телекомунікаційні провайдери, як Alcatel-Lucent, AT&T, BT, Deutsche Telekom, Orange, Telecom Italia та ряд міжнародних інститутів і консорціумів - ETSI, IRTF, IETF SFC WG, DMTF OVF. Методам аналізу та покращення якості обслуговування у мережах з підтримкою технології NFV, зокрема, ефективності розподілу мережеских ресурсів та коректності функціонування системи управління присвячено роботи дослідників AT&T (Б. Хана, В. Копалакришна), Deutsche Telekom (У. Мишель, К. Мішель), Telecom Italia (Е. Демарія, А. Піннола), Vodafone (С. Сабатер, А. Неал) та інших. Питанням аналізу, розробки та впровадження NFV рішень також присвячено ряд робіт російських та українських вчених - Захарова В. А., Смілянського Р. Л., Кучерявого А. Є., Чемерецького Є. В. та ін.

Результат аналізу існуючих досліджень та практичних реалізацій мережеских рішень з підтримкою NFV дозволив зробити висновок, що перспективним напрямком усунення недоліків у механізмах віртуалізації мережеских функцій є впровадження математичних моделей та методів як заключних стадій кожного з підетапів процесу розробки. Так, чітка формалізація вимог специфікації щодо впровадження віртуальних мережеских функцій, математичні методи аналізу розподілення ресурсів та оцінки відповідності кінцевої реалізації NFV вимогам специфікації у процесі розробки дозволять підвищити доступність послуг та якість їх надання у кінцевій реалізації NFV рішень.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню **актуальної задачі** забезпечення належного рівня якості обслуговування у віртуалізованих мережах за рахунок впровадження математичних моделей та методів аналізу та перевірки відповідності складових архітектури NFV.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності до положень «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні»,

«Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» та з «Основними положеннями розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки». Матеріали дисертації знайшли впровадження в науково-дослідній роботі (НДР): «Дослідження та розроблення перспективних телекомунікаційних технологій передавання мереж наступного покоління» (№ ДР 0115U000854), яка виконувалася в Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова та у виробничому процесі ТОВ «Евро-Ютрейд».

Метою роботи є забезпечення необхідного рівня якості обслуговування у віртуалізованих мережах за рахунок вдосконалення процесів їх розробки та впровадження.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлено та вирішено наступні задачі:

- розробка методу формалізації функціональних та нефункціональних вимог до мережевої інфраструктури на базі темпоральних логік;
- розробка методу аналізу ефективності розподілу мережевих ресурсів та коректності надання послуг у віртуалізованих мережах, що базується на математичному апараті Е-мереж та теорії формальних граматик;
- розробка методу трансляції формалізмів темпоральних логік, що відображають вимоги специфікації у модель Е-мережі;
- розробка методу породження ланцюга виводу мови Р-типу регулярної формальної граматики для відповідної моделі Е-мережі;
- розробка методу визначення еквівалентності двох ланцюгів виводу, що належать до мови Р-типу з метою перевірки відповідності готової реалізації NFV рішення вимогам специфікації;
- розробка методу детектування та локалізації помилок у процесі надання послуг;
- розробка методу аналізу граничних значень показників якості обслуговування, що базується на основі теорії мережевого обчислення.

Об'єкт дослідження - процеси формування та надання послуг у віртуалізованих мережах.

Предмет дослідження - моделі та методи забезпечення необхідного рівня якості обслуговування у віртуалізованих мережах.

Методи дослідження. Під час розв'язання поставлених задач було використано наступні математичні методи: лінійну та розгалужену темпоральні логіки, зокрема, використання їх синтаксису та семантики під час розробки методу формалізації вимог специфікації; апарат Е-мереж та теорію формальних граматик під час розробки методу аналізу розподілення мережевих ресурсів та коректності поведінки надання послуг; формальні методи перевірки відповідності готового NFV рішення вимогам специфікації, такі як символічний підхід та «перевірка на моделях», під час розробки методу визначення еквівалентності двох ланцюгів виводу, що належать моделі реалізації NFV та моделі специфікації відповідно; методи аналізу граничних показників якості,

що ґрунтуються на засадах теорії мережевого обчислення, під час розробки методу оцінки якості надання послуг «із кінця в кінець» в інфраструктурі NFV.

Наукова новизна отриманих результатів. В ході розв'язання поставлених задач отримано наступні нові наукові результати:

1. Отримав подальший розвиток математичний апарат темпоральних логік, зокрема розгалуженої темпоральної логіки. Новизна запропонованого підходу полягає у адаптації правил побудови синтаксично та семантично вірних формул розгалуженої темпоральної логіки на базі вимог специфікації, що дозволяє враховувати структурні та кількісні характеристики мереж з підтримкою технології NFV. Вперше запропоновано метод перевірки виникнення протиріч у вимогах NFV специфікацій шляхом порівняльного аналізу погодженості тверджень темпоральної логіки у межах специфікації.

2. Отримав подальший розвиток апарат Е-мереж як засіб моделювання процесів як на рівні управління, так і на рівні надання послуг у віртуалізованих мережах. Новизною запропонованого методу є застосування керуючих переходів з метою урахування не функціональних вимог та граничних кількісних показників мережевої активності у процесі надання послуг, що дозволило підвищити ступінь адекватності моделей Е-мереж. Розширено множину функцій керуючих переходів: вперше впроваджено функцію синхронізації, що дозволяє повноцінно моделювати міжрівневу взаємодію у рамках архітектури NFV.

3. Вперше розроблено метод перевірки відповідності реалізації віртуалізованої мережі з підтримкою технології NFV вимогам специфікації. Новизна полягає в розробці алгоритму послідовної перевірки ланцюжків виведення мови Р-типу, що належать моделям Е-мережі реалізації і специфікації відповідно, що дозволяє скоротити простір станів, які одночасно перевіряються, і уникнути ефекту «комбінаторного вибуху».

4. Вперше розроблено комплекс методів моделювання і подальшого аналізу зміни показників якості в процесі надання послуг в віртуалізованих на основі теорії мережевого обчислення. Новизна полягає у впровадженні алгоритмів аналізу і оцінки процесів обробки як роз'єднаним, так і агрегованим потоків даних в залежності від зупинених правил обслуговування.

Практична значимість результатів досліджень полягає в тому, що запропоновані математичні моделі і методи можуть бути використані під час розробки, впровадження та підтримки мультисервісних мереж, що базуються на хмарному підході з використанням технології віртуалізації мережевих функцій. Зокрема, запропоновані методи і моделі аналізу та оцінки якості надання послуг було використано під час розробки процесів пошуку та резервування системою MANO каналів зв'язку з достатньою пропускнуою здатністю, процесу резервування ресурсів за допомогою протоколу RSVP та формування агрегованого потоку даних уздовж віртуальних каналів зв'язку. Метод перевірки відповідності реалізації NFV вимогам специфікації було апробовано

під час розробки віртуальної учбової лабораторії ReSeLa. У рамках оцінки ефективності запропонованого методу проведено експеримент: верифікацію фрагменту мережі двома методами – розробленим методом та методом SPIN. Встановлено, що вигреш при використанні розробленого методу склав 15,9%.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес на кафедрі «Телекомунікаційних систем» ОНАЗ ім. О.С. Попова, а саме у дисципліні «Системи передачі мереж доступу».

Особистий внесок здобувача. Всі дослідження в межах дисертаційної роботи автор виконав самостійно або у співавторстві. Автор самостійно виконав всі теоретичні і експериментальні дослідження, які складають основу дисертаційної роботи. Всі основні результати дослідження, представлені до захисту, отримані автором самостійно.

У статтях, виконаних у співавторстві, особисто автору належать наступні результати. В роботі [1] автором розроблені формалізми, що визначають правила композиції та узгодження комплексних Web-сервісів, які дозволяють об'єднати елементи розподіленої інфокомунікаційної мережі в єдину систему. У роботі [2] автором запропоновано метод верифікації розподілених систем, що базується на модельному підході та дозволяє враховувати асинхронну природу комплексних сервісів. У роботі [3] автором проведено аналіз розвитку концепції SDN та сформовано ряд основних завдань дослідження. У роботі [4] автором запропонована методика аналізу і верифікації, яку засновано на модельному підході і перевірці відповідності послідовності зміни станів протоколу OpenFlow. У роботі [5] запропоновано метрику оцінки масштабованості рівня управління, а також приведена оцінка зміни коефіцієнта масштабованості трьох основних структур рівня управління Software-Defined Networking: централізованої, децентралізованої, ієрархічної. У роботі [6] автором запропоновано новий метод аналізу функціональних та нефункціональних вимог до реалізації протоколу OpenFlow. Модифікований метод базується на побудові моделі E-мережі протоколу та подальшому аналізі її алгебраїчних властивостей за допомогою дерева досяжності. Запропонований підхід дозволяє враховувати кількість запусків переходів E-мережі, виникнення зациклень та тупікових вершин-позицій.

Апробація основних положень дисертаційної роботи була проведена у ході трьох конференцій та двох форумів, а саме на Другій та Третій науково-технічній конференції «Проблемі інфокомунікацій. Наука та технології» (2015р., 2016р., Харків, ХНУРЕ), у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми навігації і управління рухом» (2015р., м. Київ, Інститут аеронавігації НАУ), в 19-м и 20-м Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь в XXI столітті» (2015 р., 2016 р., Харків, ХНУРЕ).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в шести наукових статтях. З них п'ять наукових статей опубліковано в наукових фахових виданнях України [1, 2, 4, 5, 6] та одна стаття у зарубіжному фаховому виданні [3].

Матеріали дисертаційних досліджень тезисно опубліковано у п'яти збірниках вітчизняних та міжнародних науково-практичних конференцій, в тому числі й публікації, проіндексовані у наукометричних базах IEEEExplore та SCOPUS.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 207 сторінок, в тому числі 173 сторінок основного тексту, 53 рисунка та 7 таблиць. Список використаних джерел містить 123 найменувань, викладених на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі розкрито стан задач, що досліджуються, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету досліджень та ряд науково-практичних задач, що потребують вирішення задля досягнення поставленої мети. Наведено наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів. Надано дані щодо апробації отриманих результатів та публікації автора за темою дисертації.

У **першому розділі** наведено аналіз архітектури віртуалізованих мереж з підтримкою технології NFV: проведено огляд функціонування та основних складових компонент архітектури NFV, наведено поширені механізми взаємодії між компонентами, а також сценарії формування та надання послуг. Наведено аналіз існуючої документації, рекомендацій та практичних рішень впровадження технології віртуалізованих мереж, зокрема технології NFV. За результатами аналізу встановлено, що відсутність стандартів та уніфікованих рішень щодо процесів розробки та впровадження віртуалізованих мереж сприяє виникненню ряду помилок, що призводить до деградації якості обслуговування.

Детальний аналіз формування графу надання послуг, що є невід'ємною складовою процесу надання послуг у віртуалізованих мережах з підтримкою технології NFV, показав, що значний вплив на рівень якості обслуговування мають фізичні характеристики мережевого обладнання, особливості протоколів та функцій, що закладено в елементи управління віртуалізованою мережею. Так, функціональні особливості гіпервізорів суттєво різняться, також різняться і механізми формування та комутації віртуальних каналів. Мережі з підтримкою технології NFV мають широкі можливості щодо надання різних типів послуг за рахунок динамічної зміни їх складу. Однак існуючі методи управління мережею та формування послуг не враховують обмеження фізичних характеристик мережі, що негативно впливає на результуючий рівень якості обслуговування, який у ряді випадків, не співпадає з очікуваним результатом.

Для підвищення ефективності та забезпечення доступності послуг у існуючих мережах з підтримкою технології NFV, а також при розробці нових NFV рішень необхідно впровадження математичних методів та моделей, що дозволять значно скоротити кількість можливих помилок у процесі функціонування та підвищити ступінь конвергенції елементів інфраструктури NFV. Запропоновано ряд моделей та методів, що дозволяють виявити помилки

на різних стадіях розробки та впровадження, а також превентивно оцінити якість надання послуг.

У **другому розділі** з метою уніфікації специфікацій, що стосуються побудови та функціонування віртуалізованих мереж розроблено метод формалізації тверджень та вимог специфікації, що ґрунтується на формалізмах темпоральних логік; з метою аналізу розподілення мережевих ресурсів, а також коректності управляючих рішень, прийнятих системою MANO на початкових стадіях розробки NFV запропоновано використовувати модельний підхід та розроблено метод аналізу алгоритмічних властивостей моделей надання віртуальних мережевих послуг.

Відповідно до рекомендацій IETF та документації ETSI NFV твердження та вимоги щодо функціонування та надання послуг у віртуалізованих мережах наведені на підмножині природної мови, SDL або UML діаграм, що призводить до неоднозначного розуміння деяких аспектів функціонування архітектури NFV. Розроблений метод формалізації вимог та тверджень специфікації, що базується на перетворенні висловів природної мови у формалізми лінійної або розгалуженої темпоральних логік дозволяє уніфікувати твердження, тим самим зменшуючи вірогідність неоднозначного їх розуміння.

З метою усунення помилок на подальших етапах розробки віртуалізованих мереж та у процесі надання послуг запропоновано метод виявлення протиріч у вимогах специфікації, що базується на пошуку взаємовиключень у твердженнях темпоральних логік. Запропонований метод виявлення протиріч ґрунтується на використанні наступних тверджень:

Твердження 1. Дві формули темпоральної логіки, що можуть бути як формулою стану та і формулою шляху $P(s)/=\exists S_i$ і $P(s)/=\exists S_j$ не є протиречними тільки в тому випадку, коли не існують стани, для яких формули є взаємоблокуючими: виконання будь-якого атомарного твердження однієї призводить до блокування іншої.

Твердження 2. Якщо існує граф станів $S = \langle S, R, Label \rangle$, такий що не включає циклів та недосяжних станів і для даного графу виконується співвідношення $\{O, t_1\}(S_i, S_k, Label(x)) \Leftarrow LX\{O, t_2\}(S_j, S_k, Label(y))$, то пошук протиріч зводиться до перевірки активності стану, що відповідає атомарному твердженню S_k . $\{S_1, \dots, S_n\}$ - множина атомарних тверджень, S_k - виключна вершина, що призводить до виникнення блокування, O - множина темпоральних операторів, t_1, t_2 - час виконання атомарного твердження, $Label$ логічні зв'язки при зміні атомарних тверджень.

При вирішенні задачі аналізу ефективності та коректності розподілення мережевих ресурсів розглянуто множину функціональних (принцип та правила розподілу ресурсів, коректність взаємодії між компонентами) та нефункціональних вимог (кількісних показників), що закладені у процес надання послуг та відповідають SLA. У процесі аналізу як функціональних так і

нефункціональних вимог запропоновано використовувати модельний підхід. У якості апарату моделювання застосовано E-мережі. Аналіз збереження функціональних вимог зведено до аналіз таких алгоритмічних властивостей E-моделі як досяжність, обмеженість, жвавність, безпечність; аналіз нефункціональних вимог – досяжність, обмеженість та консервативність.

В якості методу аналізу обраних алгоритмічних властивостей запропоновано використання регулярних контекстно-незалежних формальних граматики.

Для аналізу таких властивостей, як досяжність, обмеженість, жвавність, безпечність запропоновано використовувати мову P – типу. У загальному випадку мова P – типу може бути задана як:

$$L(P) = (s_0\beta \mid \beta \in V_t, \delta(s_0, \beta) \in (N \cup V_t)^*), \quad (1)$$

де s_0 - початковий стан моделі E-мережі, β - поточний стан моделі E-мережі який належить до множини термінальних символів V_t , $\delta(s_0, \beta)$ - функція запуску переходів, N - множина нетермінальних символів.

У відповідності до розглянутих правил виводу ланцюгів мови P-типу та типів переходів моделі E-мереж сформовано наступний метод побудовимовних ланцюгів, що використовуються для подальшої перевірки обраних алгоритмічних властивостей:

1. Формується множина символів алфавіту $\{\alpha\}$, яка включає всю множину станів моделі E-мережі, що аналізується;

1.1 Формується множина початкових станів $\{s_0\}$ така, що $\{s_0\} \in \{\alpha\}$;

1.2 Формується множина заключних станів $\{\varphi\}$ така, що $\{\varphi\} \in \{\alpha\}$;

2. Послідовно визначається ступінь активності переходів, та тип кожного поточного активного переходу.

3. Формуються часткові мовні ланцюги, що включають послідовну конкатенацію декількох станів $\alpha_i \alpha_{i+1}$. Конкатенація можлива тоді і тільки тоді, коли $\alpha_i \rightarrow \alpha_{i+1}$. З урахуванням особливостей запусків переходів моделі E-мережі сформовано наступні часткові ланцюги:

- для переходу T-типу:

$$L(T) = \{AT \mid T \rightarrow v\} = \{AB\}, \\ \{T\} \in N, \{u, v, t\} \in V_t. \quad (2)$$

- для переходу J-типу:

$$L(J) = \{ABJ \mid J \rightarrow jz\} \Rightarrow L(J) = \{ABC\} \\ \{J\} \in N, \{u, v, z, j\} \in V_t. \quad (3)$$

- для переходу F-типу:

$$L(F) = \{AF \mid F \rightarrow fzv\} = \{ABC\}, \\ \{F\} \in N, \{u, z, v, f\} \in V_t. \quad (4)$$

- для переходу MX-типу:

$$L(MX) = \{ASX \mid (u \rightarrow X) \vee (X \rightarrow z \mid r(S) = 0 \parallel r(S) < X)\} \Rightarrow L(MX) = \{AB\}, \\ L'(MX) = \{ASX \mid (u \rightarrow X) \vee (X \rightarrow z \mid r(S) = 0 \parallel r(S) > X)\} \Rightarrow L'(MX) = \{AC\}, \quad (5)$$

де $\{S, X\} \in N, \{A, C, B, u, v, z, x\} \in V_i$, A, C, B, u, v, z, x - множина вершин-позицій відповідного типу переходу.

- для переходу MY-типу:

$$L(MY) = \{ASY \mid u \rightarrow y, v \rightarrow y, S \rightarrow y, Y \rightarrow z \Leftrightarrow r(S) = 1 \vee (p(B) = 1, p(A) = 1, p(C) = 0)\} \Rightarrow L(MY) = \{BC\},$$

$$L'(MY) = \{ASY \mid u \rightarrow y, v \rightarrow y, S \rightarrow y, Y \rightarrow z \Leftrightarrow r(S) = 0 \vee (p(B) = 1, p(A) = 1, p(C) = 0)\} \Rightarrow L'(MY) = \{AC\}, \quad (6)$$

де $\{S, Y\} \in N, \{A, B, C, u, y, v, z\} \in V_i$.

4. Побудова повного мовного ланцюга, що відбувається за рахунок об'єднання часткових ланцюгів та відображає зміну станів мережі E-моделі від початкового до заключного. Конкатенація можлива тоді і тільки тоді, коли $\alpha_i \alpha_{i+1} \rightarrow \alpha_j \alpha_{j+1}, \{\alpha_i, \alpha_j\} \in \{\alpha\}$.

5. Формування сукупного мовного ланцюга. Формування відбувається шляхом об'єднання породжених ланцюгів за допомогою множини логічних зв'язок.

Третій розділ присвячено розробці методу верифікації мультисервісних мереж з підтримкою віртуалізації мережевих функцій з метою підтвердження відповідності властивостей існуючого мережевого рішення сукупності вимог. У процесі розробки методу верифікації до уваги прийнято основні відмінні особливості процесів надання послуг з використанням технології NFV: відмінні риси системи MANO та телекомунікаційної складової NFV інфраструктури. Встановлено, що верифікацію мережевих рішень з підтримкою технології NFV доцільно проводити у двох площинах: вертикальній - у разі необхідності перевірки відповідності міжмодульної взаємодії та горизонтальній площині - у разі перевірки відповідності окремих модулів.

Розроблений метод верифікації ґрунтується на класичному підході «перевірки на моделях». У якості вхідних значень замість моделі Кріпке запропоновано використовувати моделі E-мережі. З метою усунення ефекту «комбінаторного вибуху» запропоновано скоротити простір станів, що розглядаються, за рахунок формування декількох сценаріїв процесу верифікації: часткового за обраною множиною вимог специфікації, часткового на основі прототипів і повного та запропоновано метод послідовної перевірки відповідності станів моделі E-мережі реалізації та моделі специфікації. Ланцюги сформовано за на основі правил виводу мови P-типу.

При проведенні часткової верифікації запропоновано проводити перевірку відповідності базуючись на наступній системі рівнянь:

$$L(P / f_{M_i}, S_{M_i}, P_{M_i}) = \begin{cases} True \\ if (S_{M_i}) \equiv (S_{S_i}), (S_{M_i} \rightarrow S_{M_{i+1}}) \equiv (S_{S_i} \rightarrow S_{S_{i+1}}) \\ f_{M_i}(R_i \subseteq S_{M_i} \times S_{M_{i+1}}) \equiv f_{M_i}(R \subseteq S_0 \times S_1). \\ False \\ if (S_{M_i}) \neq (S_{S_i}) or (S_{M_{i+1}}) \neq (S_{S_{i+1}}) \\ or / and (R_i \subseteq S_{M_i} \times S_{M_{i+1}}) \neq f_{M_i}(R \subseteq S_0 \times S_1). \end{cases} \quad (7)$$

При проведенні повної верифікації запропоновано використовувати наступну систему рівнянь:

$$L(P / f_{M_i}, S_{M_i}, P_{M_i}) = \begin{cases} \text{True} \\ \text{if } (S_{M_i}) = (S_{S_i}), (S_{M_i} \rightarrow S_{M_{i+1}}) = (S_{S_i} \rightarrow S_{S_{i+1}}) \\ f_{M_i}(R_i \subseteq S_{M_i} \times S_{M_{i+1}}) = f_{M_i}(R \subseteq S_0 \times S_1) \\ (P_{M_i}) = (P_{S_i}), \{P_{M_i}\} = \{P_{S_i}\}. \\ \text{False} \\ \text{if } (S_{M_i}) \neq (S_{S_i}) \text{ or } (S_{M_{i+1}}) \neq (S_{S_{i+1}}) \\ \text{or / and } (R_i \subseteq S_{M_i} \times S_{M_{i+1}}) \neq f_{M_i}(R \subseteq S_0 \times S_1) \\ \text{or / and } (P_{M_i}) \neq (P_{S_i}). \end{cases} \quad (8)$$

У випадку, якщо мовні ланцюги моделі реалізації еквівалентні мовним ланцюгам моделі специфікації, то процес верифікації вважається закінченим успішно. В іншому випадку, якщо верифікація закінчилася з результатом «return false» або «помилка знайдена» запропонована побудова контрприкладу.

При проведенні верифікації у горизонтальній площині запропоновано модифікувати множину вхідних даних: у модель Е-мережі, що відповідає NFV інфраструктурі вводиться додаткова множина місць синхронізації. Основним атрибутом місць синхронізації є час приходу управляючого повідомлення від елементів системи MANO. Такий підхід дозволяє підвищити ступінь достовірності. Перехід, якому належить місце синхронізації переводиться у макроперехід типу MY_{mac} .

Експериментальний фрагмент мережі з підтримкою технології NFV наведено на рис.1.

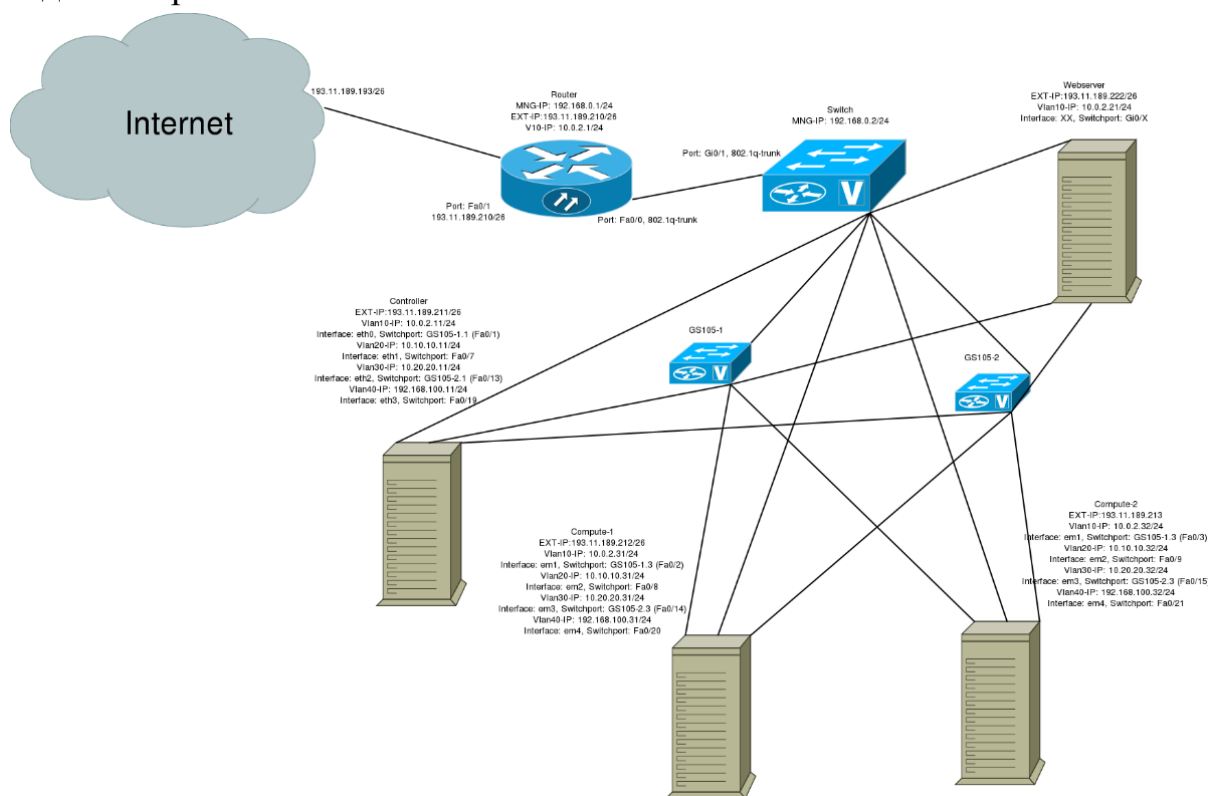


Рис.1. Фрагмент експериментальної віртуалізованої мережі

Проведено експериментальні дослідження, що дозволяють оцінити ефективність розробленого методу верифікації. У рамках дослідження виконано оцінку відповідності реалізації проекту з надання послуг віртуальної мережевої лабораторії ReSeLa вимогам специфікації.

Оцінка відповідності моделі реалізації вимогам специфікації проводилась за допомогою двох методів: розробленого методу та методу SPIN.

Результуюче значення часу, що затрачено на процес верифікацій та кількість виявлених розбіжностей неведені у табл. 1.

Таблиця 1

Значення часу та кількість виявлених розбіжностей

Сценарії, що перевіряються/ критерії оцінки	Розроблений метод		Метод SPIN	
	Час, що затрачено на процес верифікації (с)	Кількість помилок	Час, що затрачено на процес верифікації (с)	Кількість помилок
Збір інформації про поточну топологію мережі за допомогою протоколу LLDP	1,40	2	1,37	1
Обмін TCP пакетами у процесі встановлення з'єднання (перевірка доставки повідомлень з флагом SYN)	4,85	6	5,01	5
Обмін TCP пакетами у процесі встановлення з'єднання (перевірка формування повідомлень з флагом ACK)	5,75	7	6,05	5
Перевірка формування тунелю за допомогою VXLAN	4,70	4	5,05	4
Загальний час проведення верифікації/ кількість виявлених невідповідностей	14,7	19	17,48	15

Аналіз результатів експерименту дозволив встановити, що при використанні розробленого методу дозволяє виявити більшу кількість помилок аніж метод SPIN: у рамках сценаріїв, що перевіряються, за допомогою розробленого методу було виявлено на 4 помилки більше, чим за використанням верифікатору SPIN. Виграш у часі при використанні запропонованого методу склав 15,9%.

Четвертий розділ присвячено оцінки показників якості обслуговування у віртуалізованих мережах; наведено основні параметри, що впливають на показники якості у процесі формування та надання послуг; розроблено алгоритми визначення граничних показників якості обслуговування в віртуалізованих мережах та забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування у віртуалізованих мережах.

Під час аналізу архітектури віртуалізованих мереж з підтримкою технології NFV визначено, що найбільш суттєвий вплив на показники якості відіграють інтерфейси Nf-Vi, Or-VM, Nf-Vi та Or-Vi. Структурна схема архітектури віртуалізованих мереж з підтримкою технології NFV наведена на рисунку 2.

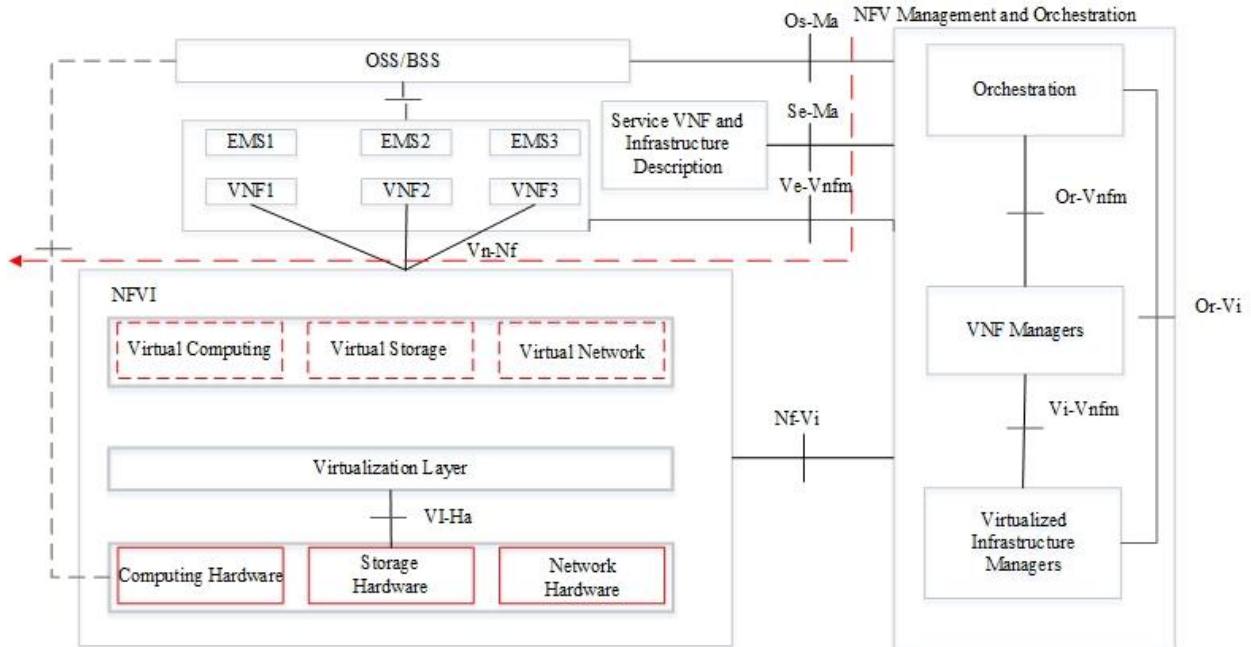


Рис. 2. Інтерфейси взаємодії у віртуалізованих мережах

У якості методу моделювання та подальшого аналізу зміни показників якості обслуговування запропоновано використовувати теорію мережевого обчислення. У відповідності до тверджень теорії мережевого обчислення складові NFV поділено на наступні групи: вузли-обробники, до яких віднесено платформу серверів та віртуальних вузлів, маршрутизаторів та комутаторів та вузли-споживачі, до яких віднесено обладнання на стороні замовників послуг. Характеристики вузлів-обробників визначаються за допомогою кривої навантаження та кривої обслуговування.

Кожний вузол-обробник характеризується швидкістю обробки $R_N(s)$, значенням затримки $d_N(s)$ та об'ємом буферу $Tb_N(s)$.

Всі дані, що надходять від вузлів-споживачів, відповідно до теорії мережевого обчислення поділяються на мікро-потоків з різною інтенсивністю. Кожен мікро-поток власною кривою прибуття та кривою навантаження. У загальному вигляді, крива навантаження для кожного вузла-обробника може бути представлена наступним чином:

$$\alpha(\tau) = \sum_{k=1}^n \alpha_k(\tau), \forall t > 0, \quad (9)$$

де $\alpha_k(\tau)$ - крива навантаження, яка формується множиною мікро-потоків, n - кількість вхідних мікро-потоків.

Крива продуктивності вузла-обробника за умови існування мікро-потоків з різним пріоритетом задана наступним чином:

$$r_i = \frac{\phi_i R_N}{\sum_{j=0}^n \phi_j} P_N(t), \quad (10)$$

де ϕ_i, ϕ_j - питома вага/пріоритет кожного мікро-потоків в процесі його обробки вузлом-обробником, $P_N(t)$ - поточне значення продуктивності (CPU) вузла-обробника, R_N - швидкість обробки даних (машинні ітерації у секунду).

Відповідно до (9) і (10) крива обслуговування для мікро-потоків може бути сформована за допомогою наступного рівняння:

$$\beta_i(\tau) = \beta(\tau) - \sum_{k=1, k \neq i}^n \alpha_k(\tau - \tau_k), \quad \forall \tau > 0, \tau > \tau_k > 0, \quad (11)$$

де $\sum_{k=1, k \neq i}^n \alpha_k(\tau - \tau_k)$ - сумарна крива навантаження вхідних мікро-потоків, за винятком i -го потоку, τ_k - запізнення, що вноситься при обробці вузлом сумарного потоку $\alpha_k(\tau)$.

Максимальне значення затримки на вузлах-обробниках визначається за допомогою наступного рівняння:

$$d_{max}(t) = \sum_{n=2}^{N-1} T_{bn-1}(t) + L_{max} \sum_{n=1}^N \frac{1}{r_n} + \frac{\sigma(t)}{\min r}. \quad (12)$$

У випадку використання агрегованого потоку максимальне значення визначається наступним чином:

$$d_{max}(t) = ((rt + b) - \frac{\sum_{k=1}^l b_k}{R - \sum_{k>l}^n r_0})^0 + (\alpha^1(\tau) - \frac{\sum_{k=1}^l b_k}{R - \sum_{k>l}^n r_1}) + (\alpha^2(\tau) - \frac{\sum_{k=2}^l b_k}{R - \sum_{k>l}^n r_2}) + \dots + (\alpha^3(\tau) - \frac{\sum_{k=2}^l b_k}{R - \sum_{k>l}^n r_3}) \quad (13)$$

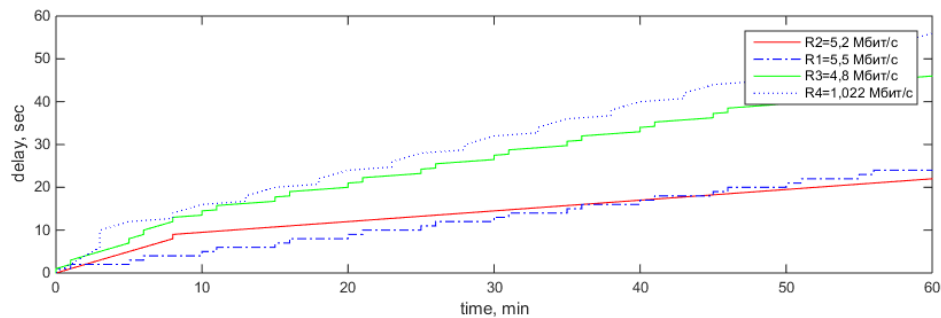
Значення довжини буферу вузла-обробника розраховується наступним чином:

$$Tb_N(k) = \sum_{k=1}^n (b_k + r_k t) - (R - \sum_{k=1, k \neq i}^n r_k) t. \quad (14)$$

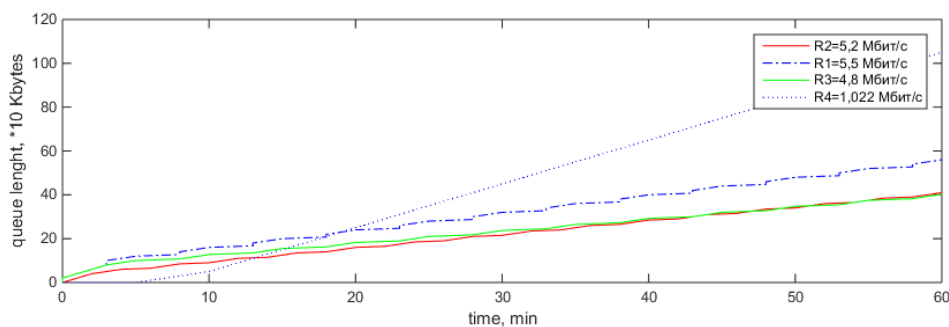
З метою аналізу адекватності використання запропонованого математичного апарату проведено експериментальне дослідження. Розглянуто фрагмент мережі з підтримкою технології NFV. Надання сервісів з гарантованою якістю в даному фрагменті досягається за допомогою застосування механізмів резервування ресурсів RSVP (рис.1).

Вузла-обробники, що належать фрагменту мережі мають наступні показники: $Tb_1 = 3,04$ Кбіт, $Tb_2 = Tb_3 = 2,04$ Кбіт, $Tb_4 = 5,12$ Кбіт за умови максимального розміру пакетів у потоці $M=1500$ Біт; $d_{max1}(t)=600$ мс, $d_{max2}(t)=620$ мс, $d_{max3}(t)=612$ мс; $d_{max4}(t)=1000$ мс; $R_1=5,5$ Мбіт/с, $R_2=5,2$ Мбіт/с, $R_3=4,8$ Мбіт/с, $R_4=1,022$ Мбіт/с.

Графіки, що відображають час загальної затримки та час очікування у черзі за умови використання однакової дисципліни обслуговування наведено на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Графіки зміни значень затримки (а) при обробці потоку даних і завантаження буферу (б) для різних вузлів-обробників з різними характеристиками

Значення затримки для першого вузла-обробника складає 600 мс, мінімальна швидкість обробки при цьому становить 1,022 Мбіт/с. Очікування в черзі або час затримки складає 550 мс. Загальне значення затримки «із кінця в кінець» складає 1100 мс. Максимальна затримка виникає на вузлі R4, таким чином, даний вузол не дозволяє гарантувати належну якість послуг, що надаються. У процесі резервування ресурсів відбувається побудова наступного маршруту: R1-R2-R3.

ВИСНОВКИ

В роботі розв'язана актуальна науково-прикладна задача, що полягає у розробці нових та вдосконалення існуючих методів аналізу розподілу мережевих ресурсів та оцінки коректності функціонування та надання послуг у мультисервісних мережах з підтримкою технології NFV. Запропоновані у роботі методи та моделі дозволяють знизити рівень системних помилок, що пов'язані з різними етапами розробки NFV рішення, та, відповідно, підвищити рівень якості надання послуг і їх доступність.

За підсумками вирішення задачі можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз поточного стану та перспектив розвитку мультисервісних мереж показав, що ключові значення у процесі надання послуг, окрім ефективності системи управління, мають функціональні та фізичні характеристики мережевого обладнання. Все частіше виникають ситуації, коли обладнання провайдера не дозволяє надати весь спектр послуг, що потребують користувачі. Впровадження технології віртуалізації мережевих функцій дозволяє підвищити ефективність надання послуг, а також розширити їх спектр, за рахунок використання різних методів емуляції необхідного типу обладнання.

2. Аналіз основних складових компонентів архітектури та інтерфейсів, що забезпечують взаємодію між модулями NFV, показав, що більшість проблем, що виникають під час впровадження та надання послуг з використанням технології NFV пов'язано з відсутністю чітко визначених вимог та стандартизованих специфікацій, наявністю декількох версій платформ управління процесами віртуалізації та їх внутрішніми відмінностями, а також проприетарністю рішень, що пропонуються різними розробниками. Встановлено, що виявлення та усунення протиріч у вимогах специфікацій, функціональних розбіжностей та помилок дозволить удосконалити процес функціонування мережі та підвищити загальні показники QoS.

3. У якості методу формалізації вимог специфікації запропоновано використовувати математичний апарат темпоральних логік, зокрема логіку лінійного та розгалуженого часу. Важливою відмінністю темпоральних логік від існуючих математичних методів формалізації специфікації є можливість нотування паралельних процесів, відображення зміни їх послідовності у часі та загальної тривалості процесів. На основі базових правил темпоральних логік розроблено метод виявлення протиріч у вимогах та твердженнях специфікації. Запропонований метод базується на пошуку взаємо виключень атомарних висловлювань. Використання даного методу дозволило підвищити ефективність процесу аналізу вимог, а також скоротити ймовірність виникнення помилок у процесі надання послуг.

4. Аналіз коректності розподілу мережевих ресурсів запропоновано проводити за допомогою модельного підходу. Вибір методу обумовлено економічними показниками: виявлення помилок безпосередньо на стадіях впровадження та функціонування призводить до значних матеріальних витрат. У якості математичного апарату моделювання процесів надання послуг запропоновано використовувати E-мережі. Розроблено метод синтезу E-мереж за формалізмами темпоральних логік, що відображають вимоги та твердження специфікації. Під час проведення оцінки коректності розподілу мережевих ресурсів, а також з метою встановлення збереження функціональних, так у не функціональних вимог у моделі реалізації, запропоновано проводити аналіз таких алгоритмічних властивостей, як обмеженість, активність, досяжність та безпечність.

5. В якості методу аналізу алгоритмічних властивостей E-мереж запропоновано використання теорії формальних графіків, зокрема регулярної

контекстно-залежної граматики та породження ланцюгів мови Р-типу. Розроблено метод синтезу формальної граматики, зокрема мови Р-типу, що дозволяє однозначно відобразити кожний активний перехід моделі протоколу на основі Е-мережі відповідним до нього символом, що дозволяє однозначно інтерпретувати зміну станів моделі за допомогою символів алфавіту. Формування мовних ланцюгів або продукції виводу Р-типу дозволило встановити наявність циклів та послідовності процесів, що не призводить до виникнення помилок під час надання послуг.

6. Підтвердження відповідності властивостей розробленого мережевого рішення до усієї сукупності вимог запропоновано проводити за допомогою верифікації, зокрема, запропоноване використання класичного підходу «перевірки на моделях». Під час розробки методу верифікації до уваги прийнято основні відмінні особливості процесів надання послуг у віртуалізованих мережах з підтримкою технології NFV, а також обмеження існуючих методів. З метою усунення виявлених недоліків, таких як ефект «комбінованого вибуху» простору станів запропоновано використання декількох сценаріїв процесу верифікації. Процес проведення верифікації базується на послідовній перевірці еквівалентності мовних ланцюгів Е-моделі реалізації та специфікації відповідно. Застосування запропонованого методу дозволяє в алгебраїчному вигляді описати причини невідповідностей поведінки реалізації протоколу його специфікації та виявити шляхи їх усунення. У рамках оцінки ефективності запропонованого методу проведено експеримент: верифікацію фрагменту мережі двома методами – розробленим методом та методом SPIN. Встановлено, що виграш при використанні розробленого методу склав 15,9%.

7. Для моделювання зміни мережевих характеристик в процесі надання послуг запропоновано застосування теорії мережевого обчислення, на основі якої складено ряд визначень, що дозволяють найбільш повно моделювати елементи NFVI. Запропоновано методи аналізу поведінки NFVI у двох часових моделях: безперервному часі: криві навантаження і обслуговування та дискретному часі: функція прибуття і відправлення. Розроблено алгоритм резервування ресурсів під час надання послуг, що базується на використанні елементів теорії мережевих обчислень. В основу методу покладено алгоритми аналізу та оцінки граничних показників затримки і швидкості обробки, що характерні для кожного вузла. Наведено практичний приклад резервування ресурсів за допомогою RSVP.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ткачева Е. Б. Применение аппарата Е-сетей для решения задач анализа и верификации программно-конфигурируемых сетей / Е. Б. Ткачева, Иссам Саад, Мохаммед Джамал Салим // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2015. – № 32 (1141). – С. 148-159.

2. Ткачева Е. Б. Применение ASCR для верификации протоколов управления Software –Defined Network / Е.Б. Ткачева, Иссам Саад, Мохаммед Джамал Салим // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн. техн. сб., 2015. – Вип. 180. – С.48–56.
3. M. J. Salim. Mathematical models for analysis Software-Defined Network/ S. Issam, M. J. Salim, Tkachova O. // International Journal "Information Technologies & Knowledge", 2015. – Vol. 9 (2). – P. 111–123.
4. Ткачева Е.Б. Анализ и оценка масштабируемости уровня управления сетей, построенных на основе концепции SDN / Е.Б. Ткачева, Иссам Саад, Мохаммед Джамал Салим // Системи обробки інформації збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба. – Вип. 9(134). – 2015. –С. 133–137.
5. Mohammed Jamal Salim. Integration SDN controllers into Openstack. Evaluation of performance and reliability / Mohamed Jamal Salim, Tkachova O. B., Abdulghafoor Raed Yahya //Системи обробки інформації збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба. – 2015. – Вип. 13(135). – 2015. – С. 140-144.
6. Duravkin Ie. V. The application of formal grammars theory and E-network tools for behaviour analysis of NFV infrastructure / Mohamed Jamal Salim, Ie. V. Duravkin, O. B. Tkachova // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн. техн. сб. – 2016. – Вип. 186. – С. 202–206.
7. Mohammed Jamal Salim. An analysis of SDN-OpenStack integration / Abdulghafoor Raed Yahya, O.B. Tkachova, // Second International IEEE Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» PICS&T, 13–15 October 2015: proc. of the conf, Kharkiv, Ukraine. – 2015. – P. 60 – 62.
8. Мохаммед Джамал Салим. Modern data centers: current state and challenges / Мохаммед Джамал Салим, Ткачева Е. Б. // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Проблеми навігації і управління рухом» – Київ, Інститут аеронавігації НАУ. – 2015. – Р. 65.
9. Мохаммед Джамал Салим. Метод обеспечения надежности предоставляемых услуг в мультисервисных сетях / Материалы 19-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Часть 4. –Харьков: ХНУРЭ, 2015. – С. 159-160.
10. Мохаммед Джамал Салим. Network function virtualization: an analysis of current statement and main problems/ Материалы 20-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Часть 4. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – С. 118-119.
11. Mohammed Jamal Salim. A method of resource distribution analysis of NFV technological solution based on formal grammar and languages / Mohamed Jamal Salim, O.B. Tkachova, // Third International IEEE Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» PICS&T–2016, 4–7 October 2016: proc. of the conf. – Kharkiv, Ukraine, 2016. – P. 1-4.

АННОТАЦІЯ

Мохаммед Джамал Салім. Моделі і методи забезпечення якості обслуговування в віртуалізованих мережах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Міністерство освіти і науки України, Одеса, 2018.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню **актуальної задачі** забезпечення належного рівня якості обслуговування у віртуалізованих мережах за рахунок впровадження математичних моделей та методів аналізу та перевірки відповідності складових архітектури NFV.

У якості формалізації вимог специфікації NFV рішень запропоновано використання математичного апарату темпоральних логік. Застосування темпоральних логік, зокрема, як логіки лінійного часу, так і розгалуженого часу, у якості інструменту побудови специфікації дозволяє виявити протиріччя між твердженнями специфікації.

Аналіз розподілу мережевих ресурсів запропоновано звести до розв'язання задач перевірки відповідності таких функціональних та нефункціональних властивостей NFV рішень, як обмеженість, жвавість, досяжність, безпечність, покриваємість. З метою автоматизації процесу побудови моделі протоколу розроблений метод синтезу моделі E-мережі за формалізмами темпоральних логік.

Підтвердження відповідності властивостей розробленого мережевого рішення до усієї сукупності вимог запропоновано проводити за допомогою верифікації, зокрема, запропоноване використання класичного підходу «перевірки на моделях». Для моделювання зміни мережевих характеристик в процесі надання послуг запропоновано застосування теорії мережевого обчислення, на основі якої складено ряд визначень, що дозволяють найбільш повно моделювати елементи NFVI.

Ключові слова: темпоральні логіки, E-мережі, регулярні формальні граматики, віртуалізація мережевих функцій, система управління та оркестровки.

АННОТАЦІЯ

Мохаммед Джамал Салім. Модели и методы обеспечения качества обслуживания в виртуализированных сетях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Министерство образования и науки Украины, Одесса, 2018.

Диссертационная работа посвящена решению **актуальной задачи** обеспечению надлежащего уровня качества обслуживания в виртуализованных сетях. Решение поставленной задачи достигается за счет внедрения математических моделей и методов формализации спецификации, анализа эффективности распределения ресурсов в виртуализованных сетях, оценки граничных показателей качества обслуживания, а также проверки соответствия готовых решений требованиям спецификации.

В качестве формализации требований спецификации NFV решений предложено использовать математический аппарат темпоральных логик. Применение темпоральных логик, в частности, как логики линейного времени, так и разветвленного времени, в качестве инструмента построения спецификации позволяет однозначно установить последовательность выполнения требований с учетом возможности выполнения параллельных событий. Предложен метод поиска противоречий между утверждениями спецификации, в основе которого лежат формализмы темпоральных логик.

Анализ распределения сетевых ресурсов предложено свести к решению задач проверки соответствия таких функциональных и нефункциональных свойств NFV решений, как ограниченность, живость, достижимость, безопасность, покрываемость. С целью автоматизации процесса построения моделей E-сетей разработан метод синтеза модели E-сети по формализмам темпоральных логик.

Подтверждение соответствия свойств разработанного сетевого решения ко всей совокупности требований предложено проводить с помощью верификации, в частности, предложено использование классического подхода «проверки на моделях». Для моделирования изменения сетевых характеристик в процессе оказания услуг предложено применение теории сетевого вычисления, на основе которого составлен ряд определений, позволяющих наиболее полно моделировать элементы NFVI.

Предложен метод моделирования узлов-обработчиков NFVI в рамках сетевого исчисления, рассмотрены сценарии обработки одного потока данных и агрегированного типа трафика. Приведен алгоритм стабилизации агрегированного потока, который позволяет избежать снижение эффективности сетевой инфраструктуры при частичной редукции узлов-обработчиков. Выполнен анализ факторов, влияющих на изменение задержки и запаздывания потоков данных на узлах-обработчиках. Предложена модель расчета граничных показателей качества обслуживания в виртуализированных сетях, таких как задержка и производительность «из конца в конец» при наличии нескольких узлов-обработчиков. Модель предполагает наличие одного или нескольких агрегированных потоков данных.

Ключевые слова: темпоральные логики, E-сети, регулярные формальные грамматики, виртуализация сетевых функций, система управления и оркестровки.

ABSTRACT

Mohammed Jamal Salim. Models and methods for ensuring quality of service in virtualized networks. – The manuscript.

Dissertation for candidate of technical sciences degree in specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. – O.S. Popov Odesa National Academy of Telecommunications, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2018.

The thesis is devoted to the actual problem by ensuring an adequate level of quality of service in virtualized networks through the introduction of mathematical models and methods of analysis and verification of compliance of architecture NFV.

As formalize requirements specification NFV solutions offered use of mathematical tools temporal logics. The use of temporal logic, particularly as the logic of linear time, and branched time as a tool for building specifications can detect a contradiction between statements specification.

Analysis of the distribution network resources proposed to reduce to solving problems checking the conformity of functional and non-functional properties NFV solutions as limitations, agility, reach, security, reachability. In order to automate the process of constructing a model protocol developed the method of synthesis models E-network formalism temporal logics.

Conformity properties developed network solution to the totality of the requirements proposed spending by verifying, in particular, the proposed use of the classical approach "model checking". To simulate network characteristics, change in the provision of services proposed an application of the theory of network computing, which is made from a number of definitions that enable the complete model elements NFVI.

Key words: temporal logic, E-network, regular formal grammar, network virtualization features, system management, and orchestration.

Підписано до друку 19.12.2018 р.
Формат 60/88/16. Обсяг 0,9 др. арк.
Тираж 100 прим. Зам. № 6298.
Віддруковано у редакційно-видавничому відділі ОНАЗ ім. О.С. Попова
м. Одеса, вул. Ковалевського, 5
тел. 70-50-494
© ОНАЗ, 2018

