

Голові разової спеціалізованої вченої ради ДФ.35.052.040
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук
Стрихалюку Богдану Михайловичу

ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента Соловської Ірини Миколаївни
на дисертацію Панченка Олексія Михайловича

«Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у
програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних
мережах»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Оцінка актуальності теми роботи.

Забезпечення необхідної якості обслуговування є основною тенденцією розвитку сучасних телекомунікаційних мереж побудованих на базі сервіс-орієнтованої архітектури (SOA). На сьогоднішній час збільшення кількості інформаційних сервісів і користувачів в телекомунікаційних мережах призводить до постійного погіршення параметрів якості обслуговування. Це насамперед пов'язано із використанням традиційних методів і моделей забезпечення якості обслуговування (QoS) інформаційного трафіку, які не дають змоги гарантувати необхідного рівня якості сприйняття сервісу, враховувати характеристики потоків та вимоги кінцевих користувачів щодо QoS, а також розширити перелік структурно-функціональних мережних параметрів, за якими здійснюється адаптація щодо зміни умов функціонування мереж. Відповідно, неминуче зростання обсягів інформаційного трафіку спонукає операторів телекомунікаційних послуг переглянути традиційні методи обслуговування в напрямку використання переваг програмно-конфігурованих мереж (SDN), що дають змогу в динамічному режимі функціонування мережі проводити централізоване управління ресурсами та якістю обслуговування. Важливим завданням гнучкого управління ресурсами є забезпечення якості обслуговування, таких параметрів QoS, як пропускна здатність, час затримки та втрати даних, які, в кінцевому випадку, впливають на якість сприйняття сервісів. Особлива увага щодо забезпечення заданих показників якості обслуговування у рамках мережного управління в програмно-конфігурованих мережах приділяється засобам маршрутизації та розподілу серверних ресурсів в умовах високого навантаження. Традиційні методи маршрутизації,

механізми балансування навантаження та способи призначення правил обробки трафіку в таких динамічних середовищах стають неефективними. З огляду на новизну концепції SDN, її розвиток і впровадження вимагають удосконалення існуючих методів управління ресурсами та якістю обслуговування, забезпечуючи адаптацію під вимоги кінцевих користувачів. Саме тому, тематика дисертаційної роботи здобувача, яка присвячена важливим аспектам щодо забезпечення якості обслуговування потоків у телекомунікаційних програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мережах в умовах комплексної реалізації удосконалених методів пріоритетизації, маршрутизації потоків та балансування навантаження на сьогоднішній день є досить актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота Панченка Олексія Михайловича виконана згідно з науковими програмами та планами науково-дослідних робіт кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка». Зокрема, робота виконувалась в межах держбюджетних науково-дослідних робіт: «Методи побудови гетерогенних інформаційно-комунікаційних систем для розгортання програмно-конфігурованих мереж 5G подвійного використання» (№ держреєстрації 0117U004449, (2017–2018 рр.)); «Розробка методів та уніфікованих програмно-апаратних засобів для розгортання енергоефективних інтенційно-орієнтованих інфокомунікаційних мереж подвійного призначення» (№ держреєстрації 0120U102201, (2020-2022 рр.)).

Аналіз змісту дисертаційної роботи.

Дисертація Панченка О.М. складається із вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел та 3-х додатків. Загальний обсяг роботи складає 200 сторінок з додатками. Список використаних джерел містить 150 найменувань розміщених на 19 сторінках.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, розкрито наукову і практичну цінність отриманих результатів, а також подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У першому розділі роботи проведено аналіз існуючих методів та моделей управління ресурсами в програмно-конфігурованих мережах. Встановлено, що проблема забезпечення якості обслуговування займає важливе місце в наукових працях закордонних та вітчизняних дослідників. Розглянуто параметри QoS, які є основними в процесі надання послуг користувачам мережі та сучасних технологіях забезпечення гарантованої

якості обслуговування. Проведений аналіз основних факторів, що впливають на управління розподілом трафіку, показав необхідність розробки концептуально-нового підходу побудови телекомунікаційних мереж на основі технології SDN, функціональність яких орієнтована на адаптивне управління мережними ресурсами для підвищення ефективності передавання інформації.

У другому розділі роботи запропоновано концептуальну модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі для реалізації адаптивного управління ресурсами та якістю обслуговування QoS. Удосконалено метод вимірювання затримки між компонентами SDN мережі для підвищення точності моніторингу часових параметрів якості обслуговування. Розроблено метод адаптивної маршрутизації потоків даних на основі багатокритерійного аналізу параметрів QoS, що характеризують поточний стан функціонування програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мереж. Обрано та аргументовано виконано вибір алгоритму пошуку оптимальних шляхів передавання даних, що базується на попередньому обрахуванні метрик, локальних критеріїв оптимальності, проведено нормування їх у вигляді інтегрального критерію та пошук оптимального шляху для різної топології мереж. Розроблений метод маршрутизації дає змогу визначати оптимальні шляхи уникаючи погіршення параметрів QoS та дозволяє забезпечити більш рівномірне завантаження мережі шляхом балансування трафіку. Удосконалено алгоритм пріоритезації інформаційних потоків, використання якого дозволило адаптивно до вимог користувача змінювати пріоритети мережних потоків у випадку погіршення параметрів якості обслуговування. Алгоритм застосовується, як для розмежування черговості оброблення потоків трафіку в SDN мережах з використанням різних мережних протоколів, які пристосовані для вказівки рівня пріоритету в заголовках пакетів потоку, так і для реалізації адаптивної багатошляхової маршрутизації потоків. Розроблено алгоритм розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимального сервера обслуговування даних з використанням інтегрального адитивного критерію.

У третьому розділі роботи розроблено імітаційну модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі в середовищі Mininet version 2.2.1. У процесі моделювання досліджено ефективність запропонованого методу адаптивної маршрутизації та пріоритезації потоків, використання яких спрямоване на гарантоване покращення QoE для конкретного сервісу користувача. Доведено, що розроблений алгоритм адаптивної пріоритезації сервісів телекомунікаційної мережі дав змогу в умовах обмеженості мережних ресурсів підвищити рівень якості сприйняття відеосервісу реального часу. Шляхом імітаційного моделювання проведено верифікацію запропонованої адаптивної маршрутизації у порівнянні із існуючими

алгоритмами маршрутизації OSPF та EIRGP. Встановлено, що з використанням адаптивної маршрутизації забезпечується необхідний рівень якості обслуговування для конкретного типу трафіку, маніпулюючи при цьому, ваговими коефіцієнтами метрики маршруту.

У четвертому розділі роботи розроблено прототип телекомунікаційної програмно-конфігурованої мережі SDN на основі мікрокомп'ютерів. Головною перевагою розробленого прототипу SDN мережі є низька вартість і доступність впровадження, що важливо для підготовки фахівців в області програмно-конфігурованих мереж в процесі навчання, тренінгів та досліджень. На основі розробленого прототипу мережі досліджено вплив застосування пріоритезації трафіку на якість сприйняття відеосервісу реального часу в умовах обмежених каналних ресурсів. Формалізовано математичну модель кореляції рівня задоволеності користувача за оцінкою QoE з технічними параметрами QoS, які забезпечуються в мережі при перегляді відеопотоків реального часу, що відрізняється від відомих пошуком необхідного нормалізованого значення інтегрального адитивного критерію QoS для розв'язанні завдання забезпечення замовленого рівня QoE шляхом здійснення багатокритерійної адаптивної маршрутизації потоків даних, метрика якої базується на цьому ж інтегральному адитивному критерії.

У висновках дисертаційної роботи викладено основні результати і рекомендації, які випливають з проведених досліджень, представлено та охарактеризовано кількісні оцінки показників ефективності в процесі використання запропонованих рішень.

У додатках до дисертації долучено обрані початкові коди розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список наукових праць і апробацій автора за темою дисертації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність.

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням досліджень із коректним застосуванням відомих теоретичних та чисельних методів, співпадінням теоретичних результатів із експериментальними даними та практичним ефектом, який підкріплений актами впровадження. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на загальновідомих фундаментальних положеннях теорії системного аналізу, теорії телекомунікаційних систем, моделювання, а отже є достовірними.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні методів та моделей для адаптивного управління ресурсами з метою забезпечення необхідної якості обслуговування в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах. Зокрема у роботі:

- вперше розроблено модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої телекомунікаційної мережі, яка, на відміну від відомих, використовує централізоване адаптивне управління ресурсами як мережної, так і серверної площини шляхом проведення моніторингу та узгодження динамічного стану їх функціонування, що дає змогу забезпечити адаптивне управління якістю обслуговування користувачі;

- удосконалено метод вимірювання затримки передавання даних в програмно-конфігурованих мережах, що дало змогу підвищити точність оцінки стану каналу за критерієм затримки передавання;

- формалізовано математичну модель кореляції рівня задоволеності користувача за оцінкою QoE з технічними параметрами QoS, які забезпечуються в мережі в процесі перегляду відеопотоків реального часу;

- набув подальшого розвитку метод багатокритеріальної маршрутизації потоків даних в програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих мережах. Новизна методу полягає у формуванні метрики маршруту, що базується на математичній моделі кореляції параметрів QoS/QoE.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження.

Розроблено прототип програмно-конфігурованої мережі на базі мікроконтролерних платформ, що дало змогу підтвердити на практиці ефективність запропонованих рішень та дослідити вплив технічних параметрів якості обслуговування в процесі передавання відеопотоків реального часу на рівень якості сприйняття сервісу, визначений методом експертного оцінювання за 5-бальною шкалою.

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено з метою підвищення параметрів якості обслуговування та гнучкості управління ресурсами в телекомунікаційних корпоративних мережах ТОВ ВТФ «Контех», ТОВ «Телекомунікаційна компанія», що підтверджено актами впровадження. Практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсу лекцій з дисципліни «Технології інформаційно-комунікаційних мереж».

Повнота викладу матеріалів дисертації в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.

За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі,

опубліковано 24 наукові праці, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України та 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав; 3 статті у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз; 16 публікацій у збірниках тез наукових конференцій.

У працях здобувача повністю висвітлені основні положення та результати дисертаційного дослідження.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора, зарахованих за її темою, порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

До зауваження дисертації слід віднести:

1. У першому розділі роботи автор наводить досить незначну кількість посилань на роботи інших вчених стосовно методів управління ресурсами саме у сервісно-орієнтованих мережах та які виклики стоять перед ними для удосконалення з метою забезпечення якості обслуговування.

2. На рис. 2.1 дисертаційної роботи запропоновано концептуальну модель програмно-конфігурованої сервісно-орієнтованої мережі SDN для адаптивного управління ресурсами та якістю обслуговування. Особливістю запропонованої автором моделі є те, що політика адаптивного управління ресурсами на рівні мережевих пристроїв та на рівні обчислювальних серверах відбувається узгоджено за допомогою контролера SDN. Проте як відбувається ця узгодженість в процесі моделювання мережі та оцінки ефективності запропонованих рішень у роботі не проведено.

3. На стор. 88 дисертант описує три способи проведення моніторингу стану функціонування мережі для визначення основних параметрів QoS необхідних для формування багатокритеріальної метрики маршруту. Автор стверджує, що інтервал моніторингу повинен скорочуватися, якщо у вхідному потоці виявлений сплеск трафіку з метою правильного аналізу стану функціонування мережі та проведення раціонального використання ресурсів. Проте насправді такий підхід може призвести до зворотнього ефекту, тобто погіршення якості обслуговування. Це пов'язано із тим, що значно зростає сигнальне навантаження створюване пробними пакетами, відповідно в моменти коли всі каналні ресурси виділенні для трафіку даних, сигнальне навантаження, яке є пріоритетним в обслуговуванні може призвести до втрат важливих даних.

4. У третьому розділі проведено моделювання та дослідження процесу покращення рівня якості сприйняття послуги IPTV користувача шляхом зменшення затримки, джитеру та втрат пакетів при використанні запропонованих методів адаптивної пріоритезації трафіку. Проте із

отриманих графічних залежностей моніторингу показників QoS показаних на рис. 3.16 та 3.23. видно, що покращення QoS дійсно відбувається для користувача під номером 7 проте не зрозуміло чому для інших користувачів QoS залишається без змін при проведенні переприоритезації трафіку, логічно для них би мала якість погіршитися.

5. У роботі не проведено порівняння розробленої адаптивної маршрутизації потоків даних із методами пропонованих інших авторів, що використовують багатокритеріальну QoS маршрутизацію. А проведено, лише порівняння із традиційними стандартизованим протоколами маршрутизації OSPF та EIRGP.

6. У третьому розділі слід провести більшу кількість експериментів, зокрема із іншою топологією мережі, вхідним навантаженням та розподілом по пріоритетах потоків, щоб вказати похибку оцінки ефективності запропонованих рішень для різних ситуацій мережі.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України.

Дисертаційна робота Панченка О.М. «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісо-орієнтованих телекомунікаційних мережах» є завершеною науковою працею. Сама робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами), «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року № 167, а здобувач, Панченко Олександр Михайлович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент
кандидат технічних наук, доцент
кафедри комутаційних систем
Державного університету інтелектуальних
технологій і зв'язку

Соловська І. М.

Підпис Соловської І. М. засвідчую.

