

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Романчука Василя Івановича "Методи та алгоритми управління ресурсами мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж", подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми дисертації

На сьогоднішній день спостерігається чітка тенденція до інформатизації та цифровізації соціально-економічної сфери, що призводить до появи численної кількості мережевих застосувань та сервісів і, відповідно, спричиняє зростання обсягів трафіку в мережах доступу. Класичний підхід забезпечення гарантованої пропускнуої здатності поступово заміщується функціонально-орієнтованим підходом до синтезу мережної інфраструктури, який передбачає наскрізне забезпечення параметрів QoS в усіх сегментах мережі. В умовах стрімкого зростання обсягів трафіку в транспортних та корпоративних мережах, забезпечення параметрів якості обслуговування потребує нових методів та алгоритмів управління ресурсами, які б дали змогу більш ефективно використовувати наявні ресурси та забезпечити стабільне функціонування мережі.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертація Романчука Василя Івановича присвячена вирішенню проблеми забезпечення якості надання інфокомунікаційних послуг шляхом покращення оперативності обміну інформацією в мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мережах на основі створення методу адаптивного управління структурними параметрами мережних пристроїв та розвитку математичних моделей і алгоритмів обслуговування черг.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Робота викладена на 346 сторінках, включаючи 235 сторінок основного тексту. Перелік використаних джерел містить 252 найменування.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення та подано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі проведено аналіз останніх релевантних робіт та існуючих концепцій побудови функціонально-орієнтованих корпоративних мереж. Розглянуто особливості еволюції мереж до концепції NGN, яка базується на підтримці якості обслуговування. Визначено основні недоліки, які притаманні сучасним телекомунікаційним мережам та обмежують їх ефективність. Сформульовано основні технічні завдання, які потребують вирішення для підвищення рівня якості обслуговування та ефективного розподілу доступного мережного ресурсу.

У другому розділі формалізовано задачу адаптивного структурно-функціонального синтезу логічної корпоративної мережі за основними параметрами ефективності функціонування мультисервісної телекомунікаційної мережі, такими як середня тривалість передавання інформаційних повідомлень, продуктивність та завантаженість мережі, параметри надійності, вартості та інші. Запропоновано удосконалений метод узгодженого балансування різно пріоритетного навантаження між чергами у відповідних мережних інтерфейсах телекомунікаційних вузлів функціонально-орієнтованих корпоративних мереж. Розроблено оригінальний алгоритм керування чергами інформаційних потоків, який полягає у забезпеченні максимальної доступності послуги високого пріоритету при збереженні ефективного розподілу мережних ресурсів між іншими потоками, що забезпечується зваженим механізмом кругового обслуговування черг. Запропоновано метод декомпозиції структури мережного маршрутизатора на основі теорії систем та мереж масового обслуговування, що дав змогу зменшити флуктуації часових параметрів обслуговування різних видів трафіку.

У третьому розділі розроблено імітаційну модель функціонування корпоративної мультисервісної мережі для дослідження показників якості обслуговування інфокомунікаційних послуг Triple Play. Результати моделювання показали, що найкращим механізмом надання гарантованої якості обслуговування є Int-DiffServ та MPLS. Крім того, підтверджено, що в умовах нестаціонарності потоків даних в мережі, інтенсивність яких в окремі періоди часу може суттєво перевищувати середньостатистичні значення, існуючі механізми не гарантують забезпечення якості обслуговування. Проведено дослідження основних параметрів трафіку мультисервісної мережі за допомогою RS методики. Для перевірки адекватності підбору теоретичного закону розподілу використано статистичні критерії узгодженості Колмогорова, Пірсона та Колмогорова-Смірнова, за якими найбільш адекватним є показниковий закон розподілу.

У четвертому розділі побудовано дискретну стохастичну імітаційну модель процесу функціонування маршрутизатора з віртуалізацією для апробації запропонованої концепції віртуалізації мережевого пристрою і

перевірки отриманих аналітичних залежностей. Встановлено область ефективності функціонування віртуальних маршрутизаторів зі статичним виділенням ресурсів за критерієм мінімальної затримки, необхідної для забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування. Встановлено, що динамічний розподіл обчислювальних ресурсів адаптується під інтенсивність вхідного потоку для забезпечення необхідного рівня QoS. Представлено апробацію запропонованої структурно-функціональної моделі, яка дає змогу відповідно до заданих параметрів затримки та втрат пакетів вибрати оптимальні структурні параметри віртуальних систем обслуговування із гарантуванням необхідного QoS за означеними критеріями.

У п'ятому розділі розроблено програмну модель IP-маршрутизатора та генератор мережного трафіку. Проведено оцінювання адекватності функціонування розробленого програмного маршрутизатора до реальних маршрутизаторів серії CISCO 2800 за розподілом тривалостей оброблення пакетів за умов їх проходження через декілька вузлів маршрутизації. З отриманих результатів для IPTV потоку зроблено висновок, що затримка пакетів в деякі моменти зростала до 150-300 мс, що на 150 мс більше, ніж критична допустима затримка. При використанні запропонованого у роботі алгоритму затримка пакетів IPTV потоку зменшилася у 2 рази, що забезпечило якісне сприйняття відеопотоку при втратах до 3%.

У шостому розділі розвинуто модель програмного маршрутизатора, який володіє здатністю до самоорганізації віртуальних аналогів апаратних маршрутизаторів різної продуктивності в залежності від функціонально-орієнтованого призначення корпоративних мереж, а також можливістю автоматизованого відновлення працездатності і гарантування заданого рівня якості обслуговування з мінімальними затратами мережних ресурсів в реальному часі. На основі запропонованих у роботі рішень щодо управління ресурсами корпоративної мережі проведено експеримент для оцінювання їх ефективності та впливу на якість сприйняття клієнт-орієнтованої послуги реального часу. Визначено, що запропонована технологія динамічної віртуалізації мережного пристрою та метод управління чергами дають змогу в процесі динамічного програмного конфігурування мережних ресурсів забезпечити виконання вимог щодо продуктивності мережі, оперативності доставки даних і якості обслуговування корпоративних користувачів.

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

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та

рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Романчука Василя Івановича, впливають з наступного:

- отримані результати не суперечать класичним положенням теорії електрозв'язку та систем масового обслуговування;
- достовірність отриманих претендентом науково-практичних результатів засвідчено актами впровадження;
- отримані нові результати гармонійно доповнюють відомі;
- матеріали дисертації обговорювались на 25 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також на наукових семінарах, і отримали схвальну оцінку.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

1. Удосконалено метод узгодженого балансування різнопriorитетного навантаження між чергами у призначених мережних інтерфейсах телекомунікаційних вузлів шляхом встановлення priorитетності його оброблення за принципами диференціації сервісів, який відрізняється від відомих урахуванням тривалості передавання й очікування пакетів для проведення обміну пакетами між чергами із різним priorитетом, що дало змогу першочергово передавати пакети, які спізнюються, наслідком чого стає адаптація процесів обслуговування навантаження до змін станів мережних вузлів, що дало змогу забезпечувати необхідні показники якості сервісу.

2. Набула подальшого розвитку структурно-функціональна модель мережного вузла, яка відрізняється від відомих урахуванням процесів статичної та динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів і дала змогу описати процес адаптивної віртуалізації маршрутизаторів із оптимізацією заданого рівня параметрів якості обслуговування для визначених типів інфокомунікаційних послуг відповідно до множин властивих їм вимог до забезпечення якості сервісу, а також підвищити загальну стійкість системи (корпоративної мережі) до кібератак шляхом ізолювання атакованої віртуальної машини.

3. Вперше запропоновано метод декомпозиції структури мережного маршрутизатора, який, на відміну від відомих, базується на структурно-функціональній моделі віртуалізації його ресурсів, який дав змогу зменшити флуктуації часових параметрів обслуговування різних видів трафіку, що виникають унаслідок коливань їх інтенсивності, а також підтримувати задані показники параметрів якості обслуговування та оцінювати ефективність застосування масштабованих мережних рішень корпоративного класу.

4. Вперше запропоновано метод виявлення аномалій мережного трафіку, який, на відміну від відомих, заснований на виконанні статистичного аналізу поведінкових залежностей і ентропії інтенсивності трафіку, що дало змогу

забезпечити виявлення, блокування або фільтрацію небажаних інформаційних потоків в програмно-базованих корпоративних мережах.

5. Набула подальшого розвитку функціональна модель програмно-керованого маршрутизатора, яка, на відміну від раніше відомих, у процесі адаптивного вибору алгоритму обслуговування черг під час виникнення флуктуацій користувацького навантаження передбачає врахування накопиченої інформації щодо минулих рішень, що дало змогу зменшити характерні для мультисервісних мереж нового покоління коливання часових показників якості сервісу.

6. Набула подальшого розвитку модель програмного маршрутизатора, яка, на відміну від відомих, враховує особливості виділення ресурсів при самоорганізації віртуальних аналогів апаратних маршрутизаторів різної продуктивності, в залежності від функціонально-орієнтованого призначення корпоративних мереж, а також можливості автоматизованого відновлення їх працездатності і забезпечення заданого рівня якості обслуговування з мінімальними затратами мережних ресурсів, що дало змогу підвищити ефективність функціонування корпоративних мереж.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковано у 49 наукових публікаціях, серед яких 20 статей, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 2 монографії, 2 патенти, 25 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи Романчука В.І. пройшли всебічну апробацію на семінарах та конференціях, в тому числі міжнародних, і отримали схвалення провідних фахівців телекомунікаційної галузі.

6. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт, а також чинним вимогам Постанов Кабінету Міністрів України. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

7. Важливість для науки і народного господарства одержаних результатів та шляхи їх використання

1. Зменшено до 2 разів затримку часу обслуговування «з кінця в кінець» при наданні інфокомунікаційних послуг реального часу та

забезпечено високий рівень якості сприйняття відеопотоку при втратах пакетів до 3% із застосуванням удосконаленого алгоритму зваженого кругового обслуговування черг у мережних вузлах мультисервісної мережі.

2. Покращено якість обслуговування критично важливих даних у корпоративній мережі за середньою затримкою на 18,8%, а для потоків, чутливих до втрат та нечутливих до затримок вдалося зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів шляхом використання запропонованої моделі віртуалізації мережного вузла з адаптивним управлінням структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів при збереженні одних і тих самих обсягів апаратних мережних ресурсів.

3. Запропоновано технологію динамічної віртуалізації мережевого пристрою, яка забезпечує можливість призначення мінімального обсягу мережних ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та покращує часові показники якості обслуговування потокового трафіку в режимі реального часу до 25-30%.

4. Підвищено достовірність оцінювання оптимальної кількості віртуальних вузлів мультисервісної корпоративної мережі від 1,1 до 5,1 разів та прогнозування затримки обслуговування різнорідного трафіку з кінця в кінець в умовах його флуктацій від 4 до 30 %, в залежності від цільового орієнтування мережної інфраструктури.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсів лекцій з дисциплін «Телекомунікаційні та інформаційні мережі, ч.1», «Системне програмування інфокомунікацій»; для створення нових курсів лекцій з дисциплін «Розподілені сервісні системи та Cloud-технології», «Побудова та протоколи гетерогенних мереж мобільного зв'язку».

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено з метою підвищення параметрів якості обслуговування та гнучкості управління ресурсами в телекомунікаційних корпоративних мережах Національного університету «Львівська політехніка», ТОВ ВТФ «Контех», ТОВ «Телекомунікаційна компанія», ПП «Цифрові технології», що підтверджено актами впровадження. Результати роботи можуть застосовуватись при розробленні методів адаптивного управління ресурсами у спеціалізованих мультисервісних інфокомунікаційних мережах з високими вимогами щодо якості, оперативності і гарантованості обміну інформацією, зокрема – для системи використаних віртуалізованих і програмно-конфігурованих мережних пристроїв, а також у межах розвитку архітектури мереж наступного покоління.

8. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Перший розділ роботи перенасичений аналізом існуючих стандартизованих технологій забезпечення QoS та управління чергами. Натомість питання комплексного управління ресурсами в функціонально-орієнтованих корпоративних мережах описані лише поверхнево.

2. У виразі (2.1) другого розділу дисертації присутня невідповідність нижніх індексів у правій частині, що ускладнює розуміння функції оцінювання ефективності функціонування мережевого пристрою функціонально-орієнтованої корпоративної мережі на підмножині параметрів (вираз 2.2).

3. З тексту дисертаційної роботи незрозуміло, чи запропонована структурно-функціональна модель мережевого вузла з статичною та динамічною віртуалізацією обчислювальних ресурсів враховує надлишкове використання ресурсів мережного вузла при віртуалізації, і який відсоток цього надлишку.

4. Часові залежності інтенсивності надходження пакетів на рис. 3.24, 3.25 та 3.27 у третьому розділі дисертаційної роботи доцільніше було б представити у вигляді статистичних розподілів, для кращого їх розуміння.

5. В тексті роботи присутні незначні стилістичні та граматичні помилки (наприклад, потрібно писати не «число» каналів, а кількість).

Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Романчука Василя Івановича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку гетерогенних мереж мобільного зв'язку.

2. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих у дисертаційній роботі, має практичну цінність і становить вирішення наукової проблеми забезпечення якості надання інфокомунікаційних послуг шляхом покращення оперативності обміну інформацією в мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мережах на основі створення методу адаптивного управління структурними параметрами мережних пристроїв та розвитку математичних моделей і алгоритмів обслуговування черг.

3. Дисертаційна робота за змістом відповідає вимогам Паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, висвітлені в наукових публікаціях.

5. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

6. Структура дисертації є обґрунтованою.

7. Наведені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості і практичної цінності дисертаційної роботи.

8. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", і може бути представлена до розгляду спеціалізованою вченою радою за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
Лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки,
завідувач кафедри комутаційних систем
Одеської національної академії
зв'язку ім. О.С. Попова



А.Г. Ложковський



ПІДПИС ЗАВІРЯЮ:
УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
ОІА З ІМ. О.С. ПОПОВА
Руда Г.В.

