

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Селюченка Мар'яна Олександровича "Моделі та алгоритми підвищення якості обслуговування у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах"**, подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми дисертації

Технологія програмно-конфігурованих мереж (ПКМ) повсюдно впроваджується операторами зв'язку. Основною її перевагою є можливість здійснювати керування всіма мережевими пристроями за допомогою контролера, який є центральним вузлом управління всієї мережі. Архітектура ПКМ, у якій рівень передавання даних фізично відділений від рівня управління, забезпечує можливість конфігурувати та змінювати компоненти обох рівнів у процесі функціонування мережі. Інтелектуальний рівень управління дає змогу реалізувати складні алгоритми маршрутизації мережеских потоків та знайти найоптимальніший маршрут набагато швидше у порівнянні з децентралізованими системами керування мережею. Тривалість та спосіб реакції мережі на зміну характеристик мультисервісного трафіку має важливе значення для забезпечення якості обслуговування потоків відповідно до встановлених вимог.

Постійне зростання кількості та різноманітності інформаційних сервісів призводить до збільшення обсягу та неоднорідності мережеских потоків. Джерелами трафіку є не тільки користувачі, але і програмні компоненти інфо-комунікаційних систем. За рахунок цього у мережеских каналах виникає мультисервісне середовище, в якому статистичні характеристики агрегованого потоку даних суттєво залежать від активності та того чи іншого сервісу. Основна проблема існуючих мереж передавання даних полягає у тому, що вони не в змозі гарантувати якість обслуговування окремих потоків відповідно до вимог користувача. Причиною цього є відсутність ефективних засобів контролю за роботою мережеских пристроїв та процесом передавання даних у мережі. Як наслідок алгоритми маршрутизації є неефективними в умовах динамічної зміни характеристик навантаження, оскільки у процесі пошуку шляху вони оперують неточною інформацією про стан мережі. Саме тому актуальним завданням на сьогодні є розроблення моделей та алгоритмів підвищення якості обслуговування у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах шляхом підвищення точності оцінювання характеристик процесів передавання даних та

удосконалення алгоритмів маршрутизації потоків, звертаючи особливу увагу на якість обслуговування потоків реального часу в умовах перевантаження мережних каналів.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Селюченка Мар'яна Олександровича стосується задачі розроблення методів та моделей управління процесами передавання даних у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах для підвищення якості обслуговування користувачів та ефективного використання мережних ресурсів. Варто відзначити, що результати дисертаційної роботи отримано шляхом проведення експериментів з реальним телекомунікаційним обладнанням.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Робота викладена на 156 сторінках, включаючи 120 сторінки основного тексту. Перелік використаних джерел містить 107 найменувань.

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 моделей та алгоритмів функціонування програмно-конфігурованих мереж, зокрема детально розглянуто: алгоритми обробки потоків в OpenFlow комутаторах, методи моніторингу стану мережних елементів та параметрів якості обслуговування мультисервісних потоків, а також методи маршрутизації потоків. Встановлено існуючі методи маршрутизації не враховують пріоритетність окремих потоків та вимоги користувачів до якості обслуговування, а у якості критерію пошуку шляху використовують або граничне значення одного з параметрів якості обслуговування для певного класу трафіку, або рівномірність завантаження каналів по всій мережі. Зроблено висновок, що методи маршрутизації необхідно удосконалити для знаходження шляху одночасно за критеріями якості обслуговування та рівномірності завантаження мережних каналів. Всі рішення, що приймаються контролером, повинні базуватися на точній та актуальній інформації про стан комутаторів та процес обробки потоків.

У другому розділі роботи викладено основну частину методичної бази досліджень, в якій розроблено емпіричну модель адаптації системи моніторингу до завантаження мережних каналів. Розроблено метод вимірювання затримки передавання пакетів окремого потоку по вибраному шляху. Розроблено архітектуру системи моніторингу, яка надає засоби для ефективного збору інформації з різнорідних мережевих елементів, а також забезпечує можливість нарощування функціональності. Удосконалено аналітичну модель маршрутизації потоків, яка враховує відносні пріоритети

всіх потоків, що проходять мережею, а також удосконалено модель балансування навантаження, що дозволяє зменшити втрати пакетів при високому завантаженні мережних каналів.

У третьому розділі проведено дослідження процесів обслуговування навантаження та моніторингу мережних ресурсів. Зокрема, досліджено ефективність моделі адаптації системи моніторингу до завантаження мережних елементів та ефективність удосконаленої моделі балансування навантаження. Показано, що використання змінної частоти опитування комутатора на предмет завантаження його інтерфейсів дає змогу підвищити точність оцінки завантаження мережних каналів не менше ніж на 10% залежно від статистичних характеристик мультисервісного трафіку. При цьому зміна завантаження центрального процесора не впливає на швидкість комутації. У результаті експерименту доведено, що удосконалена модель балансування навантаження дає змогу зменшити втрати пакетів у 6 разів при високому завантаженні усіх доступних шляхів передавання даних.

У четвертому розділі програмно реалізовано удосконалену модель маршрутизації потоків та метод вимірювання затримки. Побудовано тестову мережу з використанням шести програмно-конфігурованих комутаторів. На основі побудованої мережі проведено порівняльне дослідження ефективності удосконаленого методу вимірювання затримки та методу, що використовується програмою Traceroute. Встановлено, що розроблений метод дає змогу підвищити точність оцінки затримки у 2,5 рази при високому завантаженні каналу. Для перевірки ефективності удосконаленої моделі маршрутизації потоків використано систему генерації мультисервісного трафіку та розроблену систему моніторингу. Потоки поділено на три категорії та визначено їх відносні пріоритети. Критерієм ефективності маршрутизації вибрано затримку передавання пакетів потоків з високим пріоритетом та рівномірність завантаження мережних каналів. В результаті експерименту встановлено, що з використанням удосконаленої моделі маршрутизації вдалося зменшити середню затримку пакетів потоків реального часу на 15% та підвищити рівномірність завантаження мережних каналів на 30% у порівнянні з протоколом EIGRP. Подано рекомендації, щодо інтеграції розробленої системи моніторингу у систему керування програмно-конфігурованою мережею з урахуванням модульної структури існуючих контролерів.

В додатку до роботи подано акти впровадження її результатів.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Селюченка Мар'яна Олександровича, впливають з наступного:

- достовірність отриманих претендентом науково-практичних результатів засвідчено актами впровадження;
- отримані нові результати гармонійно доповнюють відомі;
- матеріали дисертації обговорювались на 24 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також на наукових семінарах, та отримали схвальну оцінку.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

1. Вперше запропоновано модель адаптації системи моніторингу програмно-конфігурованої мережі, зокрема частоти опитування стану мережних ресурсів, до завантаження вузлів та каналів, що дало змогу підвищити адекватність оцінки характеристик процесу передавання даних.

2. Набув подальшого розвитку метод вимірювання затримки передавання пакетів окремого потоку, у якому, на відміну від існуючих, у площину передавання даних вводиться тестовий пакет із заголовком, ідентичним до пакетів вимірюваного потоку, що дає змогу оцінити рівень забезпеченої якості обслуговування відповідно до вимог окремих користувачів та гарантій оператора мережі.

3. Удосконалено модель балансування навантаження, у якій, на відміну від існуючих, критерієм переспрямування пакетів вибрано допустимий рівень завантаження каналу, що дало змогу зменшити імовірність втрат, підвищити ефективність використання пропускної здатності каналу та пропорційно розподілити трафік в мережі.

4. Удосконалено модель маршрутизації потоків, яка, на відміну від відомих, використовує значення відносного пріоритету для ідентифікації потоку, що дало змогу розв'язати оптимізаційну задачу управління потоками за критеріями якості обслуговування та рівномірного використання мережних каналів.

Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковано в 35 наукових публікаціях, з них: 3 статті в іноземних наукових фахових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних; 5 статей у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних; 3 статті у наукових фахових виданнях України згідно переліку МОН та 24 публікації у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи. Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на міжнародних конференціях, і отримали схвалення провідних фахівців телекомунікаційної галузі.

5. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт, та

вимогам Постанови КМУ від 28.06.97р. за № 644, а також змінам і доповненням до цієї Постанови. 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.

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

1. Розвинутий метод вимірювання затримки дає змогу підвищити точність вимірювання затримки передавання пакетів уздовж вибраного шляху до 2,5 разів, якщо завантаження цього шляху наближається до 100%.

2. Запропонована модель адаптації системи моніторингу дає змогу підвищити точність оцінки завантаження мережних каналів не менше, ніж на 10% залежно від статистичних характеристик мультисервісного трафіку.

3. Розроблений алгоритм перерозподілу потоків дає змогу уникнути перевантаження інтерфейсу комутатора та покращити параметри якості обслуговування пріоритетного трафіку.

4. Удосконалена модель маршрутизації дає змогу зменшити середню затримку потоків реального часу на 15% та підвищити рівномірність завантаження каналів на 30% порівняно з протоколом EIGRP.

5. Удосконалена модель балансування навантаження, за умов середнього завантаження каналів 90% та середньоквадратичного відхилення інтенсивності вхідного навантаження 10%, дає змогу знизити втрати пакетів у середньому в 6 разів.

6. Зауваження до дисертаційної роботи

1. У першому розділі роботи автор наводить незначну кількість посилань на роботи інших вчених стосовно методів та моделей управління якістю обслуговування потоків саме у програмно-конфігурованих мережах.

2. Не зовсім зрозуміло аргументацію автора щодо необхідності розроблення моделі адаптації системи моніторингу, а також відсутність прикладів подібних досліджень в інших наукових працях.

3. Результати вимірювання затримки з використанням запропонованого методу можуть значно відрізнятись у реальній мережі, де навантаження в каналах між комутатором та контролером буде впливати на час передавання OpenFlow повідомлень. Також, не досліджено в якій мірі миттєве завантаження центрального процесора на кінцевих вузлах шляху буде впливати на тривалість обробки OpenFlow повідомлень, необхідних для роботи методу.

4. Розроблена модель балансування навантаження досліджена в умовах сталих статистичних характеристик вхідного навантаження, що не зовсім

підходить для мультисервісних мереж, оскільки, як зазначено автором у першому розділі, статистичні характеристики мультисервісного трафіку можуть суттєво змінюватися за короткі інтервали часу. Це ставить під сумнів ефективність використання моделі для будь-яких інших ситуацій, за виключенням наведеної в роботі.

5. У четвертому розділі подано рекомендації, щодо способів інтеграції програмних компонентів у існуючі контролери ПКМ, проте не наведено яким саме чином здійснено практичну реалізацію та інтеграцію розроблених у роботі рішень.

6. Невелика кількість повторень експериментів щодо оцінки ефективності удосконаленої моделі маршрутизації. Слід провести більшу кількість експериментів, зокрема з іншою топологією мережі, вхідним навантаженням та розподілом потоків по категоріях.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Селюченка Мар'яна Олександровича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку телекомунікаційних програмно-конфігурованих мереж, зокрема досліджено принципи передавання даних у програмно-конфігурованих мережах, моделі управління потоками та алгоритми вимірювання параметрів якості обслуговування. Розроблено рішення, які дають змогу підвищити якість обслуговування потоків в залежності від вимог кожного користувача. Проведені експерименти на побудованій програмно-конфігурованій мережі дали змогу підтвердити ефективність запропонованих у роботі моделей та алгоритмів.

1. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих у дисертаційній роботі, має практичну цінність і становить вирішення наукової задачі розроблення методів та моделей управління процесами передавання даних у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах для підвищення якості обслуговування користувачів та ефективного використання мережних ресурсів.

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

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

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

5. Структура дисертації є обґрунтованою.

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

7. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, "Порядку

присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а її автор – Селюченко Мар'ян Олександрович – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри телекомунікаційних систем

Державного університету телекомунікацій

О. Г. Варфоломеєва



Підпис к.т.н., доцента Варфоломеєвої О. Г. засвідчую.

Учений секретар

Державного університету телекомунікацій

О.В. Попов