

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Львівська політехніка"

Селюченко Мар'ян Олександрович

УДК 621.391

**Моделі та алгоритми підвищення якості обслуговування у
телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах**

05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Климаш Михайло Миколайович,
Національний університет "Львівська політехніка",
завідувач кафедри телекомунікацій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лісовий Іван Павлович,
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
професор кафедри телекомунікаційних систем;

кандидат технічних наук, доцент
Варфоломеева Оксана Григорівна,
Державний університет телекомунікацій,
доцент кафедри телекомунікаційних систем.

Захист дисертації відбудеться "18" листопада 2016р. о 12:00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, Львів-13, вул. С.Бандери, 12, ауд. 218 XI корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "12" жовтня 2016р.

*Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент*

І.В. Демидов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Телекомунікаційні мережі стають все більш динамічними, а системи управління – складнішими та інтелектуальнішими. Програмно-конфігурована мережа (ПКМ) – телекомунікаційна мережа, в якій рівень керування представлений програмним контролером і є відділеним від рівня передавання даних. Технологія ПКМ забезпечує високу гнучкість управління та суттєво спрощує віртуалізацію мережних ресурсів. Можливість динамічної конфігурації мережі з допомогою контролера без зміни апаратного чи програмного забезпечення мережних пристроїв зумовила те, що сьогодні більшість операторів телекомунікаційних мереж впроваджують цю технологію. Разом з тим, алгоритми управління трафіком та методи передавання даних залишаються незмінними, а отже, питання забезпечення якості обслуговування трафіку згідно з вимогами користувачів та ефективності використання мережних ресурсів не втрачають актуальності.

Задачі маршрутизації та управління інформаційними потоками для підвищення якості обслуговування в мультисервісних програмно-конфігурованих мережах досліджували провідні вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема такі: Лемешко О.В., Євсєєва О.Ю, Ложковський А.Г., Беркман Л.Н., Безрук В.М., Климаш М.М, Szu-Yuan Chen, Hongyan Qian, Wolfgang Kellerer, H. Hasan, Ken-Ichi Suzuki, Muhammad Aziz Muslim, Alexander Gelberger.

Незважаючи на значну кількість розроблених та впроваджених технічних рішень управління процесами передавання даних, невирішеними досі залишаються задачі ефективної маршрутизації потоків для забезпечення вимог якості обслуговування мультисервісного трафіку в умовах перевантажених каналів та обмежених мережних ресурсів. Основною причиною цього є відсутність засобів контролю за процесом передавання окремих потоків, внаслідок чого система управління не має змоги зафіксувати погіршення якості обслуговування для цих потоків, а тому не може гарантувати рівень обслуговування, узгоджений у сервісному договорі SLA (Service Level Agreement).

Відсутність можливості здійснювати диференційоване управління окремими потоками певних користувачів та враховувати вимоги кожного потоку до параметрів якості обслуговування призводить до низької ефективності маршрутизації, неоптимального розподілу навантаження та погіршення якості обслуговування потоків реального часу. Таким чином, в умовах постійного зростання обсягів трафіку та кількості користувачів сервісів потокового контенту актуальним є наукове завдання розроблення методів та моделей управління процесами передавання даних у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах для підвищення якості обслуговування користувачів та ефективного використання мережних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з науковим напрямом кафедри телекомунікацій «Інфокомунікаційні системи та мережі», з положеннями «Концепції національної інформаційної політики», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні», Закону України «Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки».

Дисертаційну роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи "Моделі та структури конвергентних телекомунікаційних мереж на основі CLOUD – технологій" ("ДБ/CLOUD"), (2013-2014 рр.), номер держреєстрації 0113U003184, держбюджетної науково-дослідної теми «Методи побудови та моделі інформаційно – телекомунікаційної інфраструктури на основі SDN – технологій для систем електронного урядування" ("ДБ/SDN"), (2015-2016 рр.), номер держреєстрації 0115U000444.

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні якості обслуговування в програмно-конфігурованих мережах шляхом зниження затримки і втрат пакетів та підвищення рівномірності завантаження мережних каналів.

Для досягнення визначеної мети поставлено такі **наукові завдання**:

1. Аналіз принципів побудови програмно-конфігурованих мереж та моделей управління процесом передавання даних.

2. Розроблення способу ідентифікації потоків з урахуванням класу трафіку та вимог користувача щодо параметрів якості обслуговування.

3. Підвищення точності вимірювання затримки пакетів для окремих потоків та шляхів передавання даних.

4. Підвищення точності оцінки стану мережевих ресурсів та характеризування процесів передавання даних.

5. Зменшення середньої затримки пакетів при обслуговуванні потоків, чутливих до флуктуацій часових параметрів передавання даних.

6. Розроблення рекомендацій щодо інтеграції запропонованих технічних рішень у систему управління програмно-конфігурованими мережами.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування інформаційних потоків у програмно-конфігурованих мережах.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми обслуговування інформаційних потоків у програмно-конфігурованих мережах.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань у роботі використано методи лінійного програмування, теорії ймовірностей та математичної статистики, аналітичного та імітаційного моделювання, методи планування експерименту.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що:

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.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

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

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

3. Розроблено алгоритм перерозподілу потоків, який 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.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використано в навчальному процесі, в лекційних курсах і лабораторних роботах, які проводяться для студентів кафедри "Телекомунікації" Національного університету "Львівська політехніка" за напрямом "Телекомунікації" та спеціальністю "Інформаційні мережі зв'язку", зокрема в дисципліні "Розподілені сервісні системи та Cloud-технології".

Результати роботи використано для покращення якості обслуговування телекомунікаційних мереж у ПАТ «Укртелеком», ТОВ "Літех", ПП "Цифрові технології", що підтверджено актами впровадження.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та всебічно обговорювалися на 18-ти міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, наукових семінарах та симпозіумах: CADSM (Поляна-Свалява, 2013, 2015 рр.); Науково-технічній конференції "Проблеми телекомунікацій" (м. Київ, 2014, 2015, 2016 рр.); Problems of Infocommunications, Science and Technology (PICS&T) (м. Харків, ХНУРЕ, 2014, 2015 рр.); науково-практичній та науково-методичній конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій" (м. Львів, 2012, 2013, 2014, 2015 рр.); 4-й Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 25-річчю заснування кафедри "Радіотехніки та інформаційної безпеки" Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича, (м. Чернівці, 2014р.); VI-му відкритому науковому семінарі ПММ-ТКС 2015 (м. Полтава, 2015р.). Крім цього, дисертаційну роботу представлено на

науковому семінарі кафедри телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка".

Публікації. За результатами досліджень, які викладено у дисертаційній роботі, опубліковано 35 наукових праць, з них: 3 статті в іноземних наукових фахових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних [1, 2, 6]; 5 статей у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних [3-5, 7-8]; 3 статті у наукових фахових виданнях України згідно переліку МОН та 24 публікації у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій [9-11].

Особистий внесок здобувача. Усі результати досліджень, викладені в дисертації, одержано автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: [3, 5, 8, 11, 14, 15, 17, 23, 30, 33, 35] – удосконалена модель балансування навантаження для підвищення ефективності використання каналів та зниження рівня втрат пакетів; [4, 8, 16, 18, 29, 30] – тестова платформа програмно-конфігурованої телекомунікаційної мережі; [2, 4, 5, 13, 15] – удосконалена методика розрахунку відносного пріоритету потоку для ідентифікації трафіку у вузлах мультисервісної мережі; [1-6, 14-17, 23-27] – система генерації мультисервісного трафіку для оцінювання стану мережних ресурсів; [8, 12, 18] – система моніторингу для програмно-конфігурованих мереж та модель адаптації системи моніторингу до характеру процесів передавання даних.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 156 сторінок друкарського тексту, із них: 6 сторінок вступу, 120 сторінок основного тексту, 60 рисунків, 20 таблиць, список використаних джерел зі 107 найменувань, додаток на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність тематики дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення, дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи та публікації, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами.

У першому розділі – "Аналіз моделей та алгоритмів функціонування програмно-конфігурованих телекомунікаційних мереж" – проведено порівняльний аналіз принципів побудови, архітектури та процесів функціонування традиційних (з децентралізованим керуванням) та ПКМ. В архітектурі ПКМ функції управління та передавання даних розділено на дві окремі площини, які реалізуються різними фізичними пристроями. Площина управління представлена контролером, який використовує протокол OpenFlow для управління комутаторами, що формують площину передавання даних.

У результаті аналізу існуючих систем управління ПКМ встановлено, що маршрутизація потоків, як і раніше, здійснюється за допомогою алгоритмів знаходження найкоротшого шляху за критеріями якості обслуговування та доступності мережеских ресурсів, що використовуються в існуючих протоколах маршрутизації OSPF (Open Shortest Path First) та EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol). Більше того, відсутні засоби контролю за процесом передавання

окремих потоків, внаслідок чого система управління не має змоги зафіксувати погіршення якості обслуговування для цих потоків, а тому не може гарантувати високий рівень обслуговування, узгоджений у сервісному договорі SLA. Аналіз останніх наукових праць показав, що маршрутизація потоків в ПКМ здійснюється в основному або за критерієм якості обслуговування, або за критерієм рівномірного завантаження мережевих ресурсів. Відсутність можливості здійснювати управління окремими потоками певних клієнтів призводить до низької ефективності маршрутизації, неоптимального розподілу потоків та погіршення якості обслуговування потоків реального часу.

Підсумовуючи вище зазначене, можна стверджувати, що розроблення методів та моделей управління процесами передавання даних у телекомунікаційних ПКМ для підвищення якості обслуговування користувачів та ефективного використання мережних ресурсів є актуальним науковим завданням.

У другому розділі – "Моделі та алгоритми обслуговування інформаційних потоків у програмно-конфігурованих мережах" – запропоновано методи та алгоритми управління процесами передавання даних в ПКМ для підвищення якості обслуговування мультисервісних потоків, уникнення перевантажень та підвищення ефективності розподілу мережних ресурсів. Відсутність актуальної інформації про завантаження мережних елементів (каналів, вузлів, інтерфейсів) може стати причиною суттєвого погіршення якості обслуговування потоків, оскільки система керування мережею не в змозі вчасно виявити перевантажений елемент. Тому в роботі розроблено емпіричну модель адаптації системи моніторингу, зокрема частоти опитування комутатора до завантаження мережних каналів (1):

$$f(\rho_i) = \begin{cases} 1 - \frac{\rho_i}{2}, & 0 < \rho_i \leq 0.5; \\ \frac{0.1}{(\rho_i - 0.367)}, & 0.5 < \rho_i \leq 1, \end{cases} \quad (1)$$

де f – функція завантаженості, що використовується для визначення інтервалу опитування комутатора; ρ – завантаження інтерфейсу комутатора, безрозмірний коефіцієнт; i – порядковий номер опитування.

Відповідно до цієї моделі частота опитування комутатора зростає зі зростанням завантаження його інтерфейсів, що дає змогу виявити миттєві стрибки інтенсивності навантаження, а, отже, більш адекватно охарактеризувати вхідне навантаження.

Існуючі методи вимірювання параметрів якості обслуговування характеризуються низькою точністю, внаслідок чого система керування не в змозі відстежити вихід значень цих параметрів за межі допустимого діапазону. За допомогою цих методів неможливо виміряти затримку пакетів для окремого потоку користувача в агрегованому мультисервісному потоці. Тому в роботі розроблено метод вимірювання затримки передавання пакетів окремого потоку по вибраному шляху. Згідно з цим методом контролер вводить в площину передавання даних тестовий пакет, заголовок якого є ідентичним до заголовку пакетів вимірюваного потоку. Тестовий пакет проходить по тому ж шляху, що і вимірюваний потік, та на останньому комутаторі перенаправляється назад на контролер. Після цього контролер визначає затримку передавання цим шляхом як

різницю між моментами відправлення та отримання тестового пакету, за виключенням часу передавання тестового пакету між контролером та комутаторами. Алгоритми вимірювання затримки потоку в мережі відображено на рис.1.

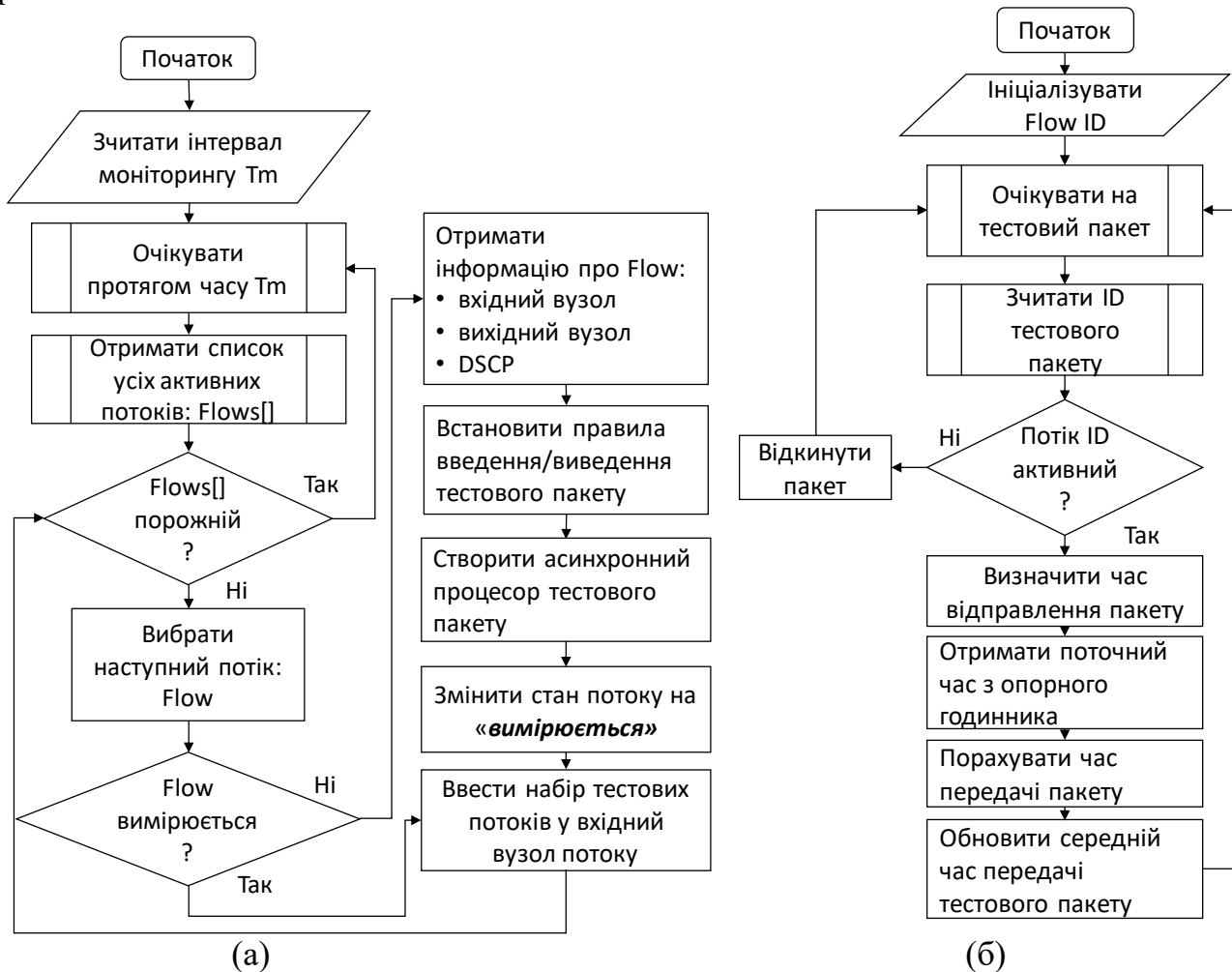


Рис. 1. Алгоритми вимірювання затримки пакетів на контролері: алгоритм відправлення (а) та приймання (б) тестового пакету

У роботі розроблено систему моніторингу (рис. 2) параметрів функціонування ПКМ, на основі якої впроваджено та перевірено метод вимірювання затримки пакетів та модель адаптації системи моніторингу.

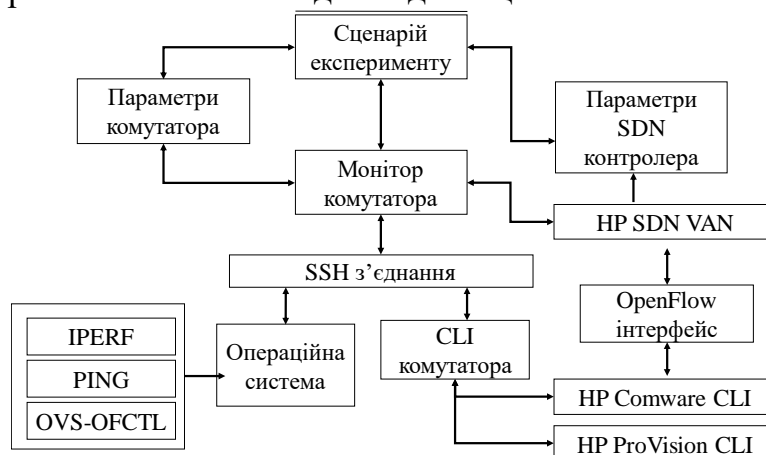


Рис. 2. Структурно-функціональна схема системи моніторингу ПКМ

Дані, отримані в результаті функціонування системи моніторингу, використовуються контролером для управління трафіком, зокрема для підвищення якості обслуговування з використанням розроблених у роботі моделей маршрутизації потоків та балансування навантаження.

Існуючі методи управління трафіком оперують з агрегованими потоками високої швидкості, але не в змозі керувати якістю обслуговування потоку окремого користувача.

У зв'язку з вище зазначеним у роботі розділено потоки мультисервісної мережі на три категорії: реального часу, потоковий та еластичний. Для ідентифікації потоку окремого користувача будь-якої категорії запропоновано використовувати значення відносного пріоритету, визначеного за таким співвідношенням:

$$\text{Pr}_i = \frac{\sum_{j=1}^4 X_{ij} Y_{ij}}{\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 X_{ij} Y_{ij}}, \quad (2)$$

де Pr_i – відносний пріоритет i -ої послуги; i – номер типу послуги; j – номер параметра якості обслуговування; X_{ij} – відносний пріоритет параметру j для послуги i ; Y_{ij} – важливість параметру j для послуги i .

На основі запропонованого способу ідентифікації удосконалено аналітичну модель маршрутизації потоків. У цій моделі мережу представлено графом $G=(V,E)$, де V – множина вершин та E – множина дуг між кожною парою вершин. Дуги, тобто канали, є дуплексними та характеризуються доступною пропускною здатністю b_{ij} , затримкою d_{ij} , втратами пакетів p_{ij} та вартістю передавання одиниці потоку c_{ij} . Змінна x_{ij}^k відображає частину потоку з відносним пріоритетом k , що проходить між вузлами i та j . Модель враховує умови збереження потоку (3), обмеження щодо мінімальної швидкості потоку в каналі (4), обмеження щодо допустимих значень затримки та втрат пакетів (5-6), обмеження щодо максимальної пропускної здатності каналу (7):

$$\sum_{(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{(i,j) \in E} x_{ji}^k = \begin{cases} f_k, & i = s_k; \\ -f_k, & i = t_k, \quad \forall i \in V, \forall k \in K; \\ 0, & i \neq s_k, t_k; \end{cases} \quad (3)$$

$$x_{ij}^k \geq \begin{cases} B_k, & k > TC_{HighPriority}, \quad \forall (i,j) \in E; \\ B_k^L, & TC_{BestEffort} < k < TC_{HighPriority}, \quad \forall (i,j) \in E; \\ 0, & k < TC_{BestEffort}, \quad \forall (i,j) \in E; \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} p_{ij} \leq \begin{cases} P_{\max}^k, & x_{ij}^k > 0, \quad \forall k \in K; \\ 0, & x_{ij}^k = 0, \quad \forall k \in K; \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} d_{ij} \leq \begin{cases} D_{\max}^k, & x_{ij}^k > 0, \quad \forall k \in K; \\ 0, & x_{ij}^k = 0, \quad \forall k \in K; \end{cases} \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq \begin{cases} \eta \cdot C_{\max}, & \forall (i,j) \in E, \quad k < TC_{HighPriority}; \\ b_{ij}, & \forall (i,j) \in E; \end{cases} \quad (7)$$

$$0 \leq x_{ij}^k \leq f_k \quad \forall (i, j) \in E, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

де $s_k \in N$ - вхідний вузол потоку k ; $t_k \in N$ - вихідний вузол потоку k ; f_k - інтенсивність потоку k , біт/с; $0 \leq TC \leq 1$ – граничне значення відносного пріоритету потоку для ідентифікації класу трафіку; $C_{\max} \geq 0$ - максимальна пропускна здатність каналу, біт/с; $P_{\max}^k \geq 0$ - максимально допустиме значення втрат пакетів; $D_{\max}^k \geq 0$ - максимально допустиме значення затримки, мс; $B_k \geq 0$ - мінімальна пропускна здатність для складової k -го потоку, біт/с.

Забезпечення необхідної якості обслуговування всім потокам відповідно до їх відносного пріоритету з урахуванням коефіцієнта рівномірності завантаження мережних каналів здійснюється шляхом мінімізації функції (9) з використанням методу лінійного програмування:

$$F(x) = \eta + r \sum_{(i,j) \in E} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ij}^k \rightarrow \min, \quad (9)$$

де $0 \leq \eta \leq 1$ - максимальне завантаження каналу по всій мережі; $0 \leq r \leq 1$ - відносний пріоритет вартості шляху над максимальним завантаженням каналу η ;

Параметром оптимізації є x_{ij}^k , а критеріями оптимізації - вартість c_{ij} та коефіцієнт максимального завантаження мережних каналів η . Вартість розраховується за співвідношенням:

$$c_{ij} = \alpha \cdot d_{ij} + \beta \cdot p_{ij}, \quad \forall (i, j) \in E, \quad (10)$$

де α та β – вагові коефіцієнти відповідно для затримки та втрат пакетів.

За результатами розв'язку оптимізаційної задачі контролер виробляє та встановлює на комутатори набір правил для оптимальної маршрутизації потоків.

У третьому розділі – "Дослідження процесів обслуговування навантаження та моніторингу мережевих ресурсів" – досліджено ефективність методу адаптації системи моніторингу до завантаження мережевих елементів та удосконалено модель балансування навантаження. Тестове середовище (рис. 3а) реалізоване з використанням апаратних комутаторів HP3500yl, мінімальний інтервал опитування яких відповідно до технічного паспорту становить 1 с.

У першому експерименті досліджено ефективність зміни частоти опитування завантаження каналу на основі (1). На рис. 3б відображено агреговане навантаження, яке передається між серверами С1 та С2 по двох шляхах: К1-К2-К4, К1-К3-К4.

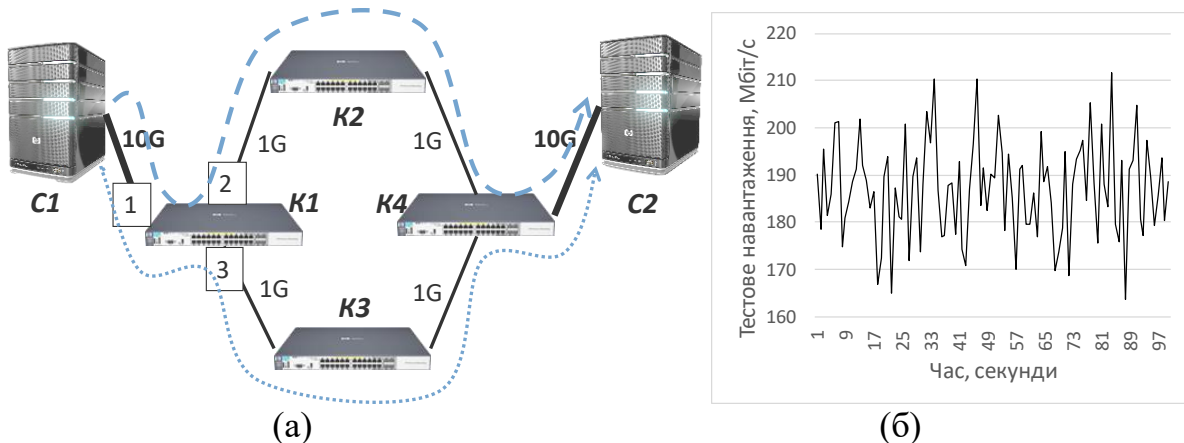


Рис. 3. Схема тестового середовища з маршрутами (а) та інтенсивність тестового навантаження (б) між серверами С1 та С2

У результаті експерименту отримано залежності (рис. 4а) завантаження інтерфейсу №2 комутатора К1 у випадку використання системи моніторингу із сталою частотою опитування та у випадку використання розробленої системи моніторингу зі змінною частотою опитування. Проведено експеримент для оцінки впливу частоти опитування на пропускну здатність та завантаження центрального процесора комутатора. Результати експерименту (рис. 4б) показують, що підвищення частоти моніторингу до максимального значення не впливає на пропускну здатність інтерфейсу, проте збільшує середнє значення завантаження центрального процесора на 25% (з 5 до 30%).

У наступному експерименті між серверами 1 та 2 передавався агрегований мультисервісний потік. Результати моніторингу завантаження інтерфейсу комутатора з використанням існуючого (статичного) та розробленого методів моніторингу представлено на рис. 4а та рис. 4б відповідно. Для обох методів обчислено середнє значення та середньоквадратичне відхилення завантаження інтерфейсу, які зведено в табл. 1.

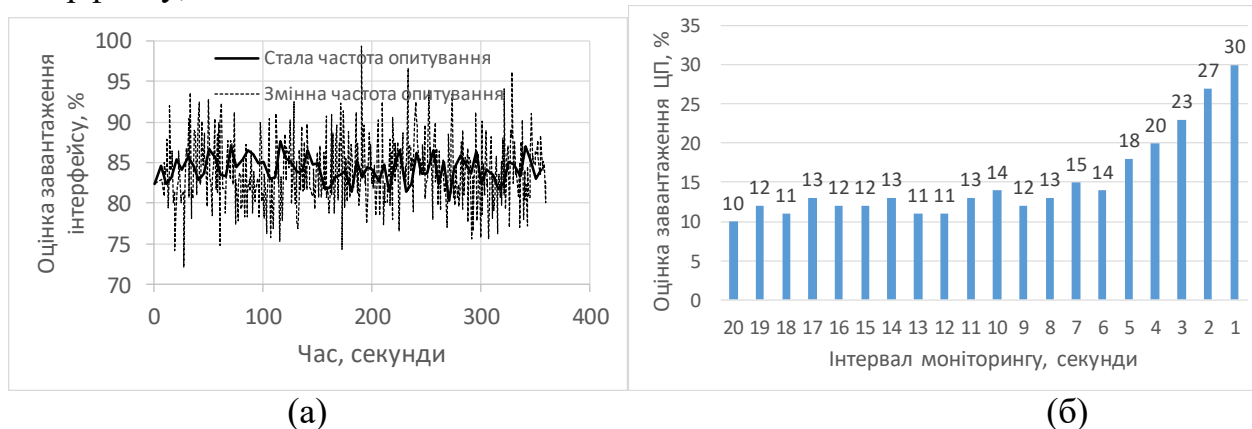


Рис. 4. Завантаження інтерфейсу №2 комутатора К1 (а) та вплив частоти моніторингу на параметри функціонування комутатора (б)

Таблиця 1
Статистичні характеристики отриманих значень завантаження інтерфейсу

Інтервал опитування	Середнє значення, %	Середньоквадратичне відхилення, %	Коефіцієнт варіації, %
Сталий (5 с)	84,2018	1,5719	1,86
Змінний (10с – 1с)	83,8865	9,0414	10,77
Сталий (1 с)	84,1581	10,1604	12,07

Результати показують, що система моніторингу зі змінною частотою опитування дає змогу більш точно оцінити розкид миттєвих значень завантаження від середнього значення і тим самим підвищити точність оцінки ймовірності блокування каналу.

Підвищена точність оцінки ймовірності перевантаження мережних інтерфейсів використовується системою керування для уникнення втрат пакетів внаслідок перевантаження каналів. Зокрема, у роботі удосконалено модель балансування навантаження, у якій критерієм перенаправлення пакетів вибрано не відносний пріоритет шляху, а максимально допустиме завантаження наступного каналу. Відповідно до такого критерію комутатор направляє всі пакети потоку в один канал, якщо його завантаження не перевищує максимально допустиме. У

випадку, коли сумарна кількість бітів, переданих в канал за одну секунду, перевищує 90% пропускної здатності, для передавання наступного пакету обирається інший доступний шлях. Якщо доступного шляху не знайдено, то пакет відкидається.

На основі розробленої схеми експерименту (рис. 3) у роботі проведено дослідження удосконаленої моделі балансування навантаження. Без балансування втрати пакетів у каналі K1-K2-K4 (рис. 5а) становили 10%, при цьому втрати у каналі K1-K3-K4 відсутні. Після застосування запропонованої моделі балансування завантаження каналу K1-K2-K4 не перевищувало 95% без втрат пакетів. Увесь надлишковий трафік перенаправлявся в канал K1-K3-K4, завантаження якого в середньому також не перевищувало 95%, проте в деякі моменти досягало 100%, за рахунок чого втрати в каналі K1-K3-K4 становили 1,5%. Це пояснюється тим, що трафік не міг бути переданим жодним шляхом унаслідок перевантаження обох каналів.

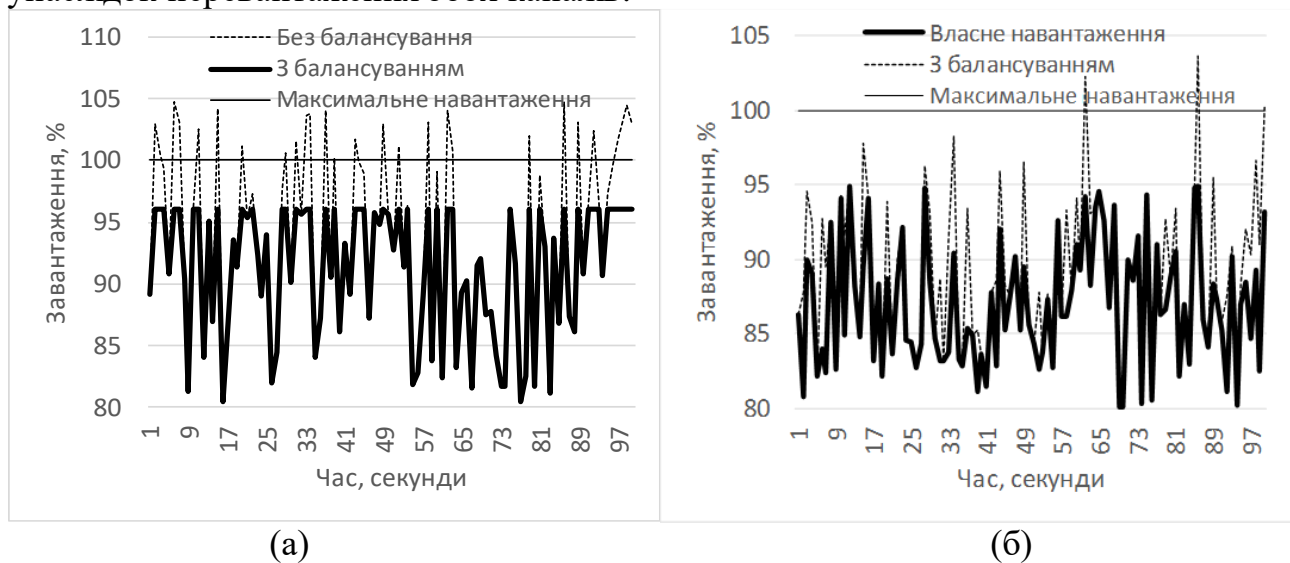


Рис. 5. Завантаження каналів K1-K2-K4 (а) та K1-K3-K4 (б) без балансування навантаження та з використанням удосконаленої моделі балансування навантаження

У результаті експерименту встановлено, що вдосконалена модель балансування навантаження, за умов середнього завантаження каналів 90% та середньоквадратичного відхилення інтенсивності вхідного навантаження 10%, дає змогу знизити втрати в середньому в 6 разів.

У четвертому розділі – "Практична реалізація розроблених моделей та алгоритмів програмно-конфігурованої мережі" – реалізовано тестове середовище на основі апаратних комутаторів та серверів (рис. 6).

Для побудови макету мережі використано 6 комутаторів моделі HP 3500yl-24G J8692A (\$K.15.17.0007\$) та 1 комутатор HPE FF 5700-32XGT-8XG-2QSFP+ (\$2422P01\$). До всіх комутаторів, окрім комутатора №7, під'єднано по два сервери через канали зі швидкістю 1 Гбіт/с.

На основі цього середовища проведено дослідження розробленого методу вимірювання затримки. На рис.7а штриховою лінією відображено шлях передавання тестового пакету відповідно до розробленого методу, а штрихпунктирною лінією – відповідно до методу вимірювання програмою *Traceroute*.

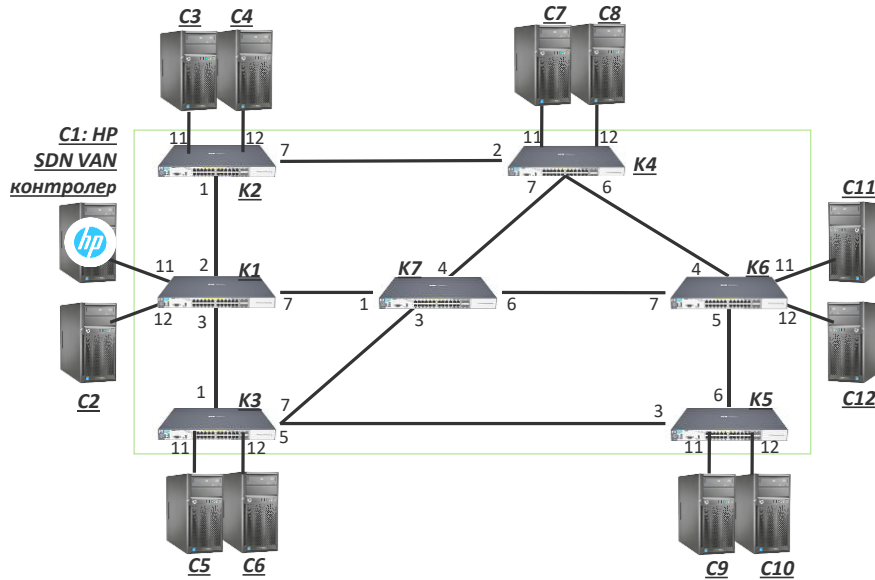


Рис. 6. Схема тестового середовища для оцінки ефективності методів підвищення якості обслуговування на основі реальних апаратних пристроїв

Затримку виміряно по черзі для двох методів за різного завантаження шляху. Порівняння результатів моніторингу затримки представлено діаграмою на рис. 7б.

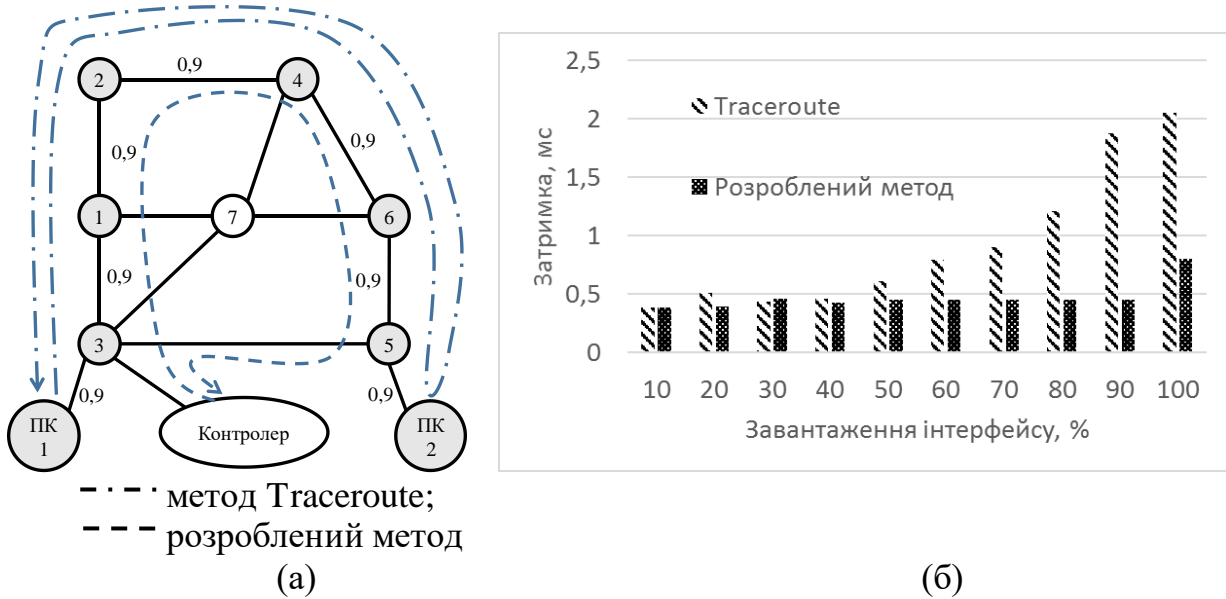


Рис. 7. Схема вимірювання затримки (а) та порівняння результатів вимірювання затримки (б) на основі *Traceroute* та розробленого методу

На основі розрахунку встановлено, що тривалість передавання пакету розміром 1500 байт відповідним шляхом, що складається з 7-ми каналів зі швидкістю 1 Гбіт/с та 6-ти комутаторів зі швидкістю комутації 4 мкс, становить 98 мкс. Порівнюючи результати оцінки затримки двома методами з розрахованим значенням, можна стверджувати, що запропонований алгоритм дає змогу підвищити точність вимірювання затримки передавання пакетів вздовж вибраного шляху в 2,5 рази, якщо завантаження цього шляху наближається до максимального значення. Низька точність вимірювання на основі методу *Traceroute* пояснюється тим, що у ньому використовується протокол ICMP для оцінки тривалості обходу петлі. У результаті обробка повідомлень ICMP на кінцевих вузлах та передавання пакету у два боки спотворюють кінцеве значення затримки.

На основі уточненої оцінки затримки передавання пакетів досліджено вдосконалену модель маршрутизації та продемонстровано ефективність її застосування в ситуаціях, коли мережа близька до стану перевантаження. Для цього використано сервіс трансляції IPTV контенту, програмне забезпечення якого встановлено на 11-му сервері. Встановлено критичну затримку для потоків реального часу, що становить 0,8 мс, а для потоків даних – 1 мс. На всіх інших серверах встановлено систему генерації мультисервісних потоків для наповнення мережі фоновим трафіком. У результаті маршрутизації за допомогою протоколу EIGRP в мережі утворилося нерівномірне завантаження каналів. Канали 4-6, 3-7 та 6-7 перебувають у стані, близькому до перевантаження (рис. 8а). Схема на рис. 8б відображає перевантажений канал 3-7.

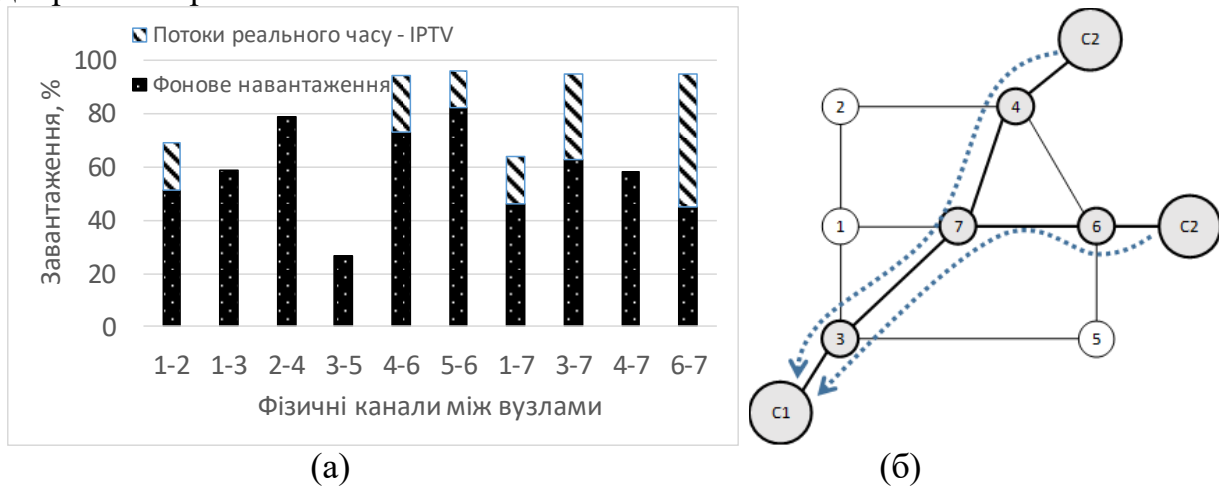


Рис. 8. Завантаження каналів мережі після маршрутизації IPTV потоків за допомогою протоколу EIGRP

Діаграма на рис. 9 демонструє середні затримки для всіх потоків, що проходять каналом 3-7.



Рис. 9. Середні затримки передавання пакетів для потоків, що проходять через канал 3-7, відсортовані за відносним пріоритетом та розділені на три класи

Потоки відсортовані на основі значення відносного пріоритету. З діаграми видно, що середня затримка для потоків реального часу (3-го класу) перевищує критичне значення 0,8 мс, в той час як затримка всіх потоків 2-го та 3-го класу не перевищує критичного значення 1 мс.

Для підвищення якості обслуговування потоків реального часу здійснено розвантаження каналу 3-7 з використанням алгоритму перерозподілу потоків. Відповідно до цього алгоритму, для потоків з найменшим відносним пріоритетом (рис. 9) перераховано маршрути на основі запропонованої моделі маршрутизації. Розподіл завантаження каналів та схему перерозподілу потоків після застосування методу відображено на рис. 10.

У результаті порівняння середнього значення та середньоквадратичного відхилення завантаження всіх мережних каналів встановлено, що з використанням протоколу EIGRP середнє завантаження каналів досягає 73%, а середньоквадратичне відхилення - 22,73%. Після застосування удосконаленого методу маршрутизації середнє завантаження каналів збільшилося до значення 79%, а середньоквадратичне відхилення зменшилося до 10,86%.

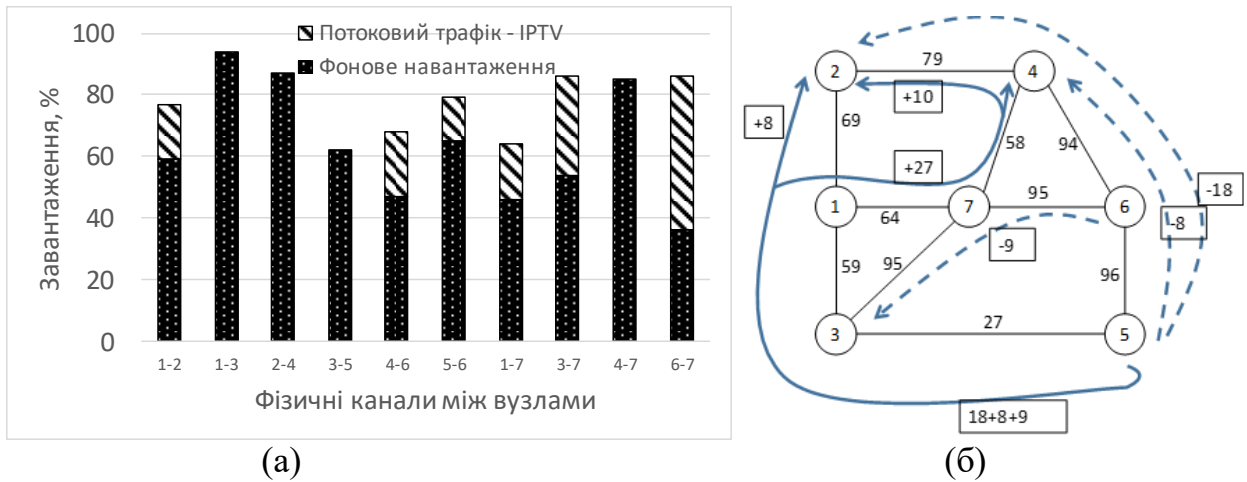


Рис. 10. Розподіл завантаження мережних каналів (а) та схема перерозподілу потоків (б) після використання удосконаленої моделі маршрутизації

Рівномірність завантаження каналів мережі оцінено за значенням коефіцієнта варіації, який після застосування розробленої моделі маршрутизації знизився з 0,31 до 0,14. Порівняння середньої затримки потоків першого класу з використанням протоколу EIGRP та удосконаленої моделі маршрутизації відображено на рис. 11а. Середню затримку потоків двох інших класів у каналі 3-7, в тому числі і переспрямованих потоків, відображено на рис. 11б.

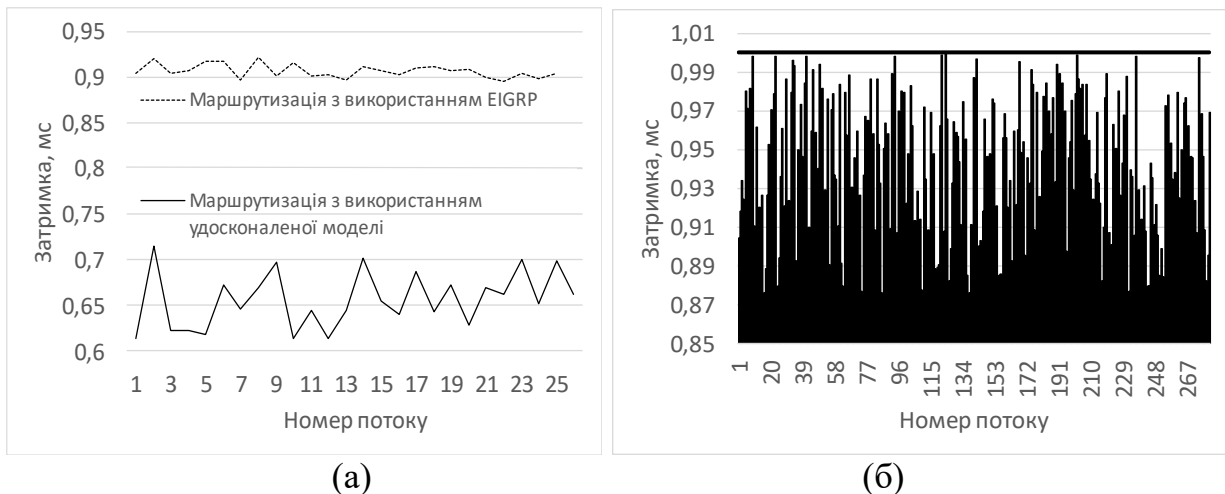


Рис. 11. Значення середніх затримок після застосування удосконаленої моделі маршрутизації для потоків реального часу (а) та потоків даних (б)

Показано, що удосконалена модель маршрутизації дає змогу досягнути більш рівномірного розподілу навантаження у мережі у порівнянні з протоколом EIGRP та забезпечити необхідну якість обслуговування для всіх потоків.

У результаті проведення описаних вище експериментів доведено, що комплексне застосування запропонованих у роботі наукових та технічних рішень дає змогу зменшити затримку для потоків реального часу на 15% та підвищити рівномірність завантаження мережних ресурсів на 30%.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано наукове завдання розроблення методів та моделей управління процесами передавання даних у телекомунікаційних ПКМ для підвищення якості обслуговування користувачів та ефективного використання мережних ресурсів.

Основні результати роботи такі:

1. Проведено аналіз основних моделей функціонування телекомунікаційних ПКМ. Встановлено, що існуючі моделі управління трафіком не забезпечують диференціювання окремих потоків користувачів. Система управління ПКМ не гарантує виконання вимог до якості обслуговування окремих потоків, оскільки оперує неточною інформацією про стан мережних ресурсів та не здатна оптимально обрати маршрут передавання даних. Оптимізація процесу передавання даних у ПКМ здійснюється або за критерієм якості обслуговування трафіку, або за критерієм рівномірності розподілу ресурсів, що у першому випадку призводить до перевантаження основних маршрутів, а в другому – до низької якості обслуговування потоків реального часу.

2. Запропоновано спосіб ідентифікації потоку даних певного класу окремого клієнта на основі визначення відносного пріоритету. Для розрахунку відносного пріоритету введено два додаткових параметри: чутливість до зміни порядку пакетів та пріоритет клієнта в межах одного класу трафіку. Область значень відносних пріоритетів перебуває в межах від нуля до одиниці та може бути розділена на окремі підобласті з метою вибору індивідуальної політики керування відповідними потоками. Перевагою запропонованого способу є можливість однозначно ідентифікувати потік та вимоги щодо якості його обслуговування.

3. Розроблено систему моніторингу структурно-функціональних параметрів ПКМ, яка надає засоби для збору, обробки та представлення інформації для гетерогенних апаратних та програмних OpenFlow комутаторів. Система використовує набір різномірних каналів доступу до параметрів мережі, включаючи програмні інтерфейси контролера та безпосередній доступ до закритих апаратних параметрів комутатора через віддалений термінал або спеціально виділений OpenFlow канал. Система надає змогу розширювати функціональність моніторингу та впроваджувати нові рішення на основі використання узагальнених моделей зберігання параметрів комутаторів та процесів передавання даних.

4. Вперше запропоновано модель адаптації системи моніторингу, яка дає змогу підвищити точність оцінки статистичних характеристик використання мережних ресурсів та ймовірності блокування певного елемента мережі. На основі експерименту з апаратними OpenFlow комутаторами встановлено, що запропонована модель дає змогу підвищити точність оцінки завантаження

мережевих каналів не менше, ніж на 10% залежно від статистичних характеристик мультисервісного трафіку.

5. Набув подальшого розвитку метод вимірювання затримки передавання пакетів окремого потоку, який, порівняно з існуючими методами, дає змогу підвищити точність оцінки затримки у 2,5 рази, якщо завантаження цього шляху наближається до максимального значення. Метод використано в розробленій системі моніторингу.

6. Удосконалено потокову модель маршрутизації з використанням відносного пріоритету потоку, яка дає змогу підвищити якість обслуговування потоків реального часу та забезпечити необхідну якість обслуговування потоків передавання даних, а також досягнути рівномірного завантаження мережних каналів, що знижує імовірність виникнення втрат внаслідок різких перепадів інтенсивності навантаження мультисервісного трафіку.

7. Зменшено втрати пакетів у мережі у 6 разів за рахунок використання удосконаленої моделі балансування навантаження, яка, на відміну від базової моделі балансування OpenFlow, враховує завантаження наступного каналу та відносний пріоритет потоку.

8. Зменшено середню затримку пакетів потоків реального часу у мережі на 15% та підвищено рівномірність завантаження мережних каналів на 30% у випадку використання удосконаленої потокової моделі маршрутизації порівняно з протоколом EIGRP.

9. Запропоновані в роботі моделі та алгоритми впроваджено у розроблену систему моніторингу як програмні модулі. Цю систему використано для проведення експериментів на апаратній програмно-конфігурованій мережі, в результаті яких отримано значення всіх наведених у роботі кількісних показників та перевірено ефективність розроблених рішень.

ОСНОВНІ РОБОТИ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в журналах, що входять до наукометричних баз даних:

1. Shpur O. Improving the Quality of Composite Services Through Improvement of Cloud Infrastructure Management / O.Shpur, M.Klymash, M.Seliuchenko, B.Strykhaliuk, O.Lavriv // International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS). – 2015. – Vol. 13, No. 9. – PP.36-44 (Index Copernicus).
2. Beshley M.M. Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic / M.Beshley, M.Seliuchenko, O.Lavriv, V.Chervenets, H.Kholiavka, M.Klymash // Smart Computing Review. – 2015. – Vol. 5, No. 2. – PP.76-88.
3. Климаш М.М. Метод підвищення ефективності використання мережних ресурсів інформаційно-телекомунікаційних систем / М.М.Климаш, О.М.Шпур, М.О.Селюченко, Б.В.Киричук, Т.В.Мельник // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – Львів, 2015. – №818. – С.137-151 (Index Copernicus, Google scholar).
4. Бешлей М.І. Оцінка адекватності функціонування програмного маршрутизатора у процесі обслуговування мультимедійного трафіку / М.І.Бешлей, О.М.Селюченко, О.А.Лаврів, А.Р.Масюк, Г.В.Холявка // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – Львів, 2015. – №818. – С.162 – 173 (Index Copernicus, Google scholar).

5. Klymash M.A. Novel approach of optimum multicriteria vertical handoff algorithm for heterogeneous wireless networks / M.Klymash, B.Strykhaluk, I.Demydov, M.Beshley, M.Seliuchenko // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). – 2014. – Vol. 4. – Issue 5(4). – PP.42-52 (Index Copernicus).

6. Strykhaluk B. Implementation of wireless heterogeneous network based on LTE core virtualization for military communication systems / B.Strykhaluk, I.Kahalo, M.Brych, M.Beshley, M.Seliuchenko // Системи озброєння і військова техніка: наук. журнал. – Х: Харк. ун-т повітр. сил ім. Івана Кожедуба, 2014. – №4(40). – С.125-132 (Index Copernicus).

7. Стрихалюк Б.М. Алгоритми пошуку шляху за критерієм мінімальної затримки для центру обробки даних / Б.М.Стрихалюк, О.М.Шпур, М.О.Селюченко, Т.В.Андрусів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – Львів, 2014. – №796. – С.176-181 (Index Copernicus, Google scholar).

8. Коваль Б.В. Дослідження площини управління програмно-конфігурованих мереж на основі розподіленої системи функцій віртуалізації / Б.В.Коваль, М.О.Селюченко, Г.В.Мельник, А.В.Ковальчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – Львів, 2014. – №796. – С.164-175 (Index Copernicus, Google scholar).

Статті в журналах, що входять до переліку наукових фахових видань України:

9. Стрихалюк Б.М. Визначення доступності програмних комплексів у системах з сервісно-орієнтованою архітектурою / Б.М.Стрихалюк, О.М.Шпур, М.О.Селюченко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2014. – №2 (27). – С.109-120.

10. Климаш М.М. Забезпечення якості обслуговування та оптимізація бізнес-процесів у розподілених системах на основі сервісно-орієнтованої архітектури / М.М.Климаш, І.В.Демидов, М.О.Селюченко, І.Д.Орлевич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – Львів, 2013. – №766. – С.150-155.

11. Климаш М.М. Дослідження методів побудови та доступу до спільного транспортного середовища у мережах нового покоління (NGN) / М.М.Климаш, Б.А.Бугиль, М.О.Селюченко, Л.В.Голейчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – Львів, 2012. – №738. – С.123-129.

Публікації у матеріалах конференцій, що входять до міжнародних наукометричних баз:

12. Seliuchenko M. Development of monitoring system for end-to-end packet delay measurement in Software-Defined Networks / M.Seliuchenko, M.Beshley, O.Panchenko, M.Klymash // Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science. Proceedings of the International Conference TCSET'2016 (Lviv-Slavske, Ukraine, February 23–26, 2016). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2016. – PP.667-670.

13. Beshley M. Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network testbed / M.Beshley, V.Romanchuk, M.Seliuchenko, A.Masiuk // Proceedings of The XIIIth International Conference “The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics” CADSM'2015 (Lviv-Poljana, Ukraine, February 24-27, 2015). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2015. – PP.1-4.

14. Klymash M. Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network / M.Klymash, M.Seliuchenko, M.Beshley, M.Brych //

Proceedings of The XIIIth International Conference “The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics” CADSM’2015 (Lviv-Poljana, Ukraine, February 24-27, 2015). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2015. – PP.103-105.

15. Klymash M. Increasing wavelengths utilization efficiency in OTNoDWDM network based on local resource distribution method / M.Klymash, M.Seliuchenko, M.Beshley, S.Redchuk // Second IEEE International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T’2015): Conference proceedings (Kharkiv, Ukraine, October 13-15, 2015). – Kh: KHNURE, 2015. – PP.157-160.

16. Klymash M. Enhancing reliability of transport software-defined networks using flow table mutual reservation method / M.Klymash, M.Seliuchenko, A.Kovalchuk, O.Lavriv // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: Proceedings of the International Conference TCSET’2014 dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University (Lviv-Slavske, Ukraine, February 25 – March 1, 2014). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2014. – PP.573-576.

17. Seliuchenko M.O. Efficiency optimization of distributed systems using mechanism of “multivariate access” / M.O.Seliuchenko, M.M.Klymash // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM’2013): Proceedings of the 12th International Conference (Polyana-Svalyava, Ukraine, February 19-23, 2013). – Lviv: Polytechnic National University Publishing, 2013. – PP.174-177.

Публікації в матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій:

18. Климаш М.М. Система моніторингу пакетної затримки в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах / М.М.Климаш, М.О.Селюченко, О.М.Панченко // X Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2016: Збірник матеріалів конференції (м. Київ, 19-22 квітня 2016 р.). – К.: НТТУ «КПІ», 2016. – С.345-347.

19. Бешлей М.І. Розробка та впровадження нового алгоритму планування черг у мережах з диференціацією сервісів / М.І.Бешлей, М.О.Селюченко, Р.С.Колодій // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: Збірник матеріалів конференції (м. Київ, 21-24 квітня 2015 р.). – К.: НТТУ «КПІ», 2015. – С.119-121.

20. Стрихалюк Б.М. Метод балансування навантаження на основі інтегрованої архітектури управління з використанням функції NVF / Б.М.Стрихалюк, О.М.Шпур, М.О.Селюченко // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: Збірник матеріалів конференції (м. Київ, 21-24 квітня 2015 р.). – К.: НТТУ «КПІ», 2015. – С.322-325.

21. Селюченко М.О. Багаторівневе управління ресурсами в гетерогенній мульти-операторській мережі / М.О.Селюченко, Г.В.Бешлей, А.Р.Масюк, М.І.Бешлей // 1st International Conference "Advanced Information and Communication Technologies-2015" (AICT’2015): Conference Proceedings (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2015. – PP.125-128.

22. Климаш М. Еволюція технологій оптичних WDM систем / М.Климаш, М.Селюченко // 1st International Conference "Advanced Information and Communication Technologies" (AICT’2015): Conference Proceedings (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2015. – PP.181-182.

23. Бешлей М.І. Підвищення ефективності роботи гетерогенних мереж методом динамічного перерозподілу ресурсів між різними безпроводовими технологіями / М.І.Бешлей, М.О.Селюченко, П.О.Гуськов, А.Р.Масюк // Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології»:

Матеріали науково-технічної конференції (м. Київ, 17-20 листопада 2015 р.). – К: ДУТ, 2015. – Т.2. – С.49-50.

24. Селюченко М.О. Динамічне управління якістю послуг на основі SOCCA в конвергентних телекомунікаційних мережах / М.О.Селюченко, М.М.Климаш, М.І.Бешлей // Проблеми телекомунікацій: Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції (м. Київ, 22–25 квітня 2014 р.). – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – С.50-52.

25. Klymash M. System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks // M.Klymash, B.Stryhaluk, M.Beshley, M.Seliuchenko / Международная научно-практическая конференция "Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии" (PIC S&T-2014) 5-го Международного радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" МРФ-2014: Сборник научных трудов: материалы форума в 4-х томах (Харьков, 14-17 октября 2014 г.). – Харьков, 2014. – Том 2. – РР.96-102.

26. Климаш М.М. Методи інтелектуального вертикального хендоверу в безпроводних системах доступу на основі хмарних технологій // М.М.Климаш, М.І.Бешлей, М.О.Селюченко // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернівці, 23-25 жовтня 2014 р.). – Чернівці, 2014. – С.108-109.

27. Beshley M.I. A novel approach for providing quality of service in multiservice network environment / M.I.Beshley, M.O.Seliuchenko // Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій-2014: Матеріали конференції (м. Львів, 30 жовтня – 2 листопада 2014 р.). – Львів, 2014. – С.34-37.

28. Климаш М.М. Підвищення ефективності функціонування мультисервісної мережі на основі адаптивного вибору алгоритму обслуговування черг / М.М.Климаш, І.О.Кагало, М.О.Селюченко // Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: Матеріали конференції (м. Львів, 30 жовтня – 2 листопада 2014 р.). – Львів, 2014. – С.133-134.

29. Климаш М.М. Забезпечення відмовостійкості багаторівневої ієрархії управління у програмноконфігурованих мережах / М.М.Климаш, М.О.Селюченко, О.А.Лаврів // Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: Матеріали конференції (м. Львів, 30 жовтня – 2 листопада 2014 р.). – Львів, 2014. – С.225-228.

30. Климаш М.М. Система підвищення ефективності управління потоками в програмно-конфігурованих мережах / М.М.Климаш, М.І.Олексін, М.О.Селюченко // Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: Матеріали конференції (м. Львів, 30 жовтня – 2 листопада 2014 р.). – Львів, 2014. – С.229-232.

31. Климаш М.М. Розподілена система електронного урядування на основі інтеграції програмно-конфігурованих технологій та моделей cloud сервісів / М.М.Климаш, М.О.Селюченко // Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: Матеріали конференції (м. Львів, 30 жовтня – 2 листопада 2014 р.). – Львів, 2014. – С.11-14.

32. Климаш М.М. Аналіз технологій впровадження мобільного веб-сервісу в системах стільникового зв'язку / М.М.Климаш, М.О.Селюченко // VI Международный научно-технический симпозиум «Новые технологии в

телекомунікаціях» (ГУИКТ-КАРПАТЫ'2013): Сборник тезисов (Київ, 21 – 25 янв. 2013г.). – К.: ГУИКТ, 2013. – С.62 – 64.

33. Seliuchenko M.O. Analysis of load balancing methods for improving of utilization efficiency of hardware resources of distributed systems / M.O.Seliuchenko, M.M.Klymash, O.A.Lavriv // 23rd International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo'2013): Conference Proceedings (Sevastopol, September 8-13, 2013). – Sevastopol: Weber Publishing, 2013. – Vol. 1. – PP.515-517.

34. Климаш М.М. Аналіз принципів побудови сучасних дата-центрів на основі Cloud-архітектури / М.М.Климаш, М.О.Селюченко // Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій-2013: Матеріали конференції (м. Львів, 30 жовтня – 2 листопада 2013 р.). – Львів, 2013. – С.110-113.

35. Климаш М.М. Оптимізація і балансування навантаження в мобільних мережах за допомогою методу «поліваріантного доступу» / М.М.Климаш, М.О.Селюченко // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» (COMINFO'2012-Livadia): Збірник тез (м. Київ, 1-5 жовтня 2012 р.). – К.: ДУИКТ, 2012. – С.32-34.

Анотація

Селюченко Мар'ян Олександрович. Моделі та алгоритми підвищення якості обслуговування у телекомунікаційних програмно-конфігурованих мережах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню наукового завдання розроблення методів та моделей управління процесами передавання даних у телекомунікаційних ПКМ для підвищення якості обслуговування користувачів та ефективного використання мережевих ресурсів. Досліджено основні принципи побудови та моделі функціонування телекомунікаційних ПКМ. Запропоновано спосіб ідентифікації потоку даних певного класу окремого клієнта на основі визначення відносного пріоритету. Розроблено систему моніторингу структурно-функціональних параметрів ПКМ, яка надає засоби для збору, обробки та представлення інформації для гетерогенних апаратних та програмних OpenFlow комутаторів. На основі розробленої системи запропоновано модель адаптації системи моніторингу, яка дає змогу підвищити точність оцінки статистичних характеристик використання мережевих ресурсів та ймовірності блокування певного елемента мережі. Розроблено метод вимірювання затримки передавання пакетів окремого потоку, який, порівняно з існуючими методами вимірювання затримки, дає змогу підвищити точність оцінювання затримки до 2,5 разів залежно від завантаження шляху. Удосконалено модель балансування навантаження на основі розподілу потоку по множині шляхів із урахуванням завантаження наступного каналу та відносного пріоритету потоку. Удосконалено потокову модель маршрутизації з використанням відносного пріоритету потоку, яка дає змогу підвищити якість обслуговування потоків реального часу, а також досягнути рівномірного завантаження мережних каналів.

Ключові слова: телекомунікаційна програмно-конфігурована мережа, моніторинг QoS, балансування навантаження, маршрутизація.

Аннотація

Селюченко Марьян Александрович. Модели и алгоритмы повышения качества обслуживания в телекоммуникационных программно-конфигурируемых сетях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный университет "Львовська политехніка" Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертационная работа посвящена решению научной задачи разработки методов и моделей управления процессами передачи данных в программно-управляемых телекоммуникационных сетях с целью повышения качества обслуживания пользователей и эффективного использования сетевых ресурсов. Исследованы основные принципы построения и модели функционирования программно-управляемых телекоммуникационных сетей. Предложен способ идентификации потока данных определенного класса отдельного клиента на основе определения относительного приоритета. Разработана система мониторинга структурно-функциональных параметров программно-управляемых сетей, которая предоставляет средства для сбора, обработки и представления информации для гетерогенных аппаратных и программных OpenFlow коммутаторов. На основе разработанной системы предложена модель адаптации системы мониторинга, которая позволяет повысить точность оценки статистических характеристик использования сетевых ресурсов и вероятности блокировки определенного элемента сети. Разработан метод измерения задержки передачи пакетов отдельного потока, который, по сравнению с существующими методами измерения задержки, позволяет повысить точность оценки задержки до 2,5 раз в зависимости от загрузки маршрута. Усовершенствована модель балансировки нагрузки на основе распределения потока по множеству маршрутов с учетом загрузки следующего канала и относительного приоритета потока. Усовершенствована потоковая модель маршрутизации с использованием относительного приоритета потока, которая позволяет повысить качество обслуживания потоков реального времени, а также достичь равномерной загрузки сетевых каналов.

Ключевые слова: телекоммуникационная программно-конфигурируемая сеть, мониторинг QoS, балансировки нагрузки, маршрутизация.

Annotation

Marian Seliuchenko. Models and algorithms for improving the quality of service in telecommunication software-defined networks. – On the rights of manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the Ph.D. degree in technical sciences on specialty 05.12.02 – telecommunication networks and systems. – Lviv Polytechnic National University of the Ministry of education and science of Ukraine, Lviv, 2016.

The thesis is devoted to solving scientific task of developing appropriate methods and models of data transmission process management in a software-defined telecommunication networks to improve the user experience and efficient use of network resources. The basic principles of construction and functioning model of software-

defined telecommunication networks is analyzed. The approach for identification of a flow of a certain class of individual user based on determining the relative priority is proposed. A system for monitoring the structural and functional parameters of software-defined network that provides tools for collecting, processing and presentation of information for heterogeneous hardware and software OpenFlow switches is developed. On the basis of this system, the model of adaptation of the monitoring system is proposed. The model allows to increase the accuracy of the statistical characteristics of the network resource utilization and blocking probability of certain network elements. The method for measurement of packet delay for a single flow is developed. It allows to improve the accuracy of the delay up to 2.5 times depending on the load path compared to existing methods of measuring delays. The model of load balancing based on distribution of flow among multiple paths with regard to next hop channel load and relative priority flow is improved. The flow routing model is improved using relative priority of the flow that allows to improve the quality of service for real time flows and achieve uniform loading of the network channels.

The suggested models and algorithms have been implemented in the developed monitoring system as software modules. This system has been used to conduct experiments on the hardware software-defined network in order test the effectiveness of proposed solutions. As a result, using the proposed load balancing model allows to reduce packet loss in the network by 6 times. Using the proposed flow routing model allows to reduce average delay of packet transmission for real-time flows by 15% and increased uniformity of network channels utilization by 30%, comparing to the case when routing the flows using EIGRP protocol. All quantitative indicators, presented in this work, have been obtained using the developed monitoring system.

Keywords: telecommunication software-defined network, QoS monitoring, load balancing, routing.

Підписано до друку 06.10.2016р. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Формат 60x84/16. Умов друк. арк. 0,9. Наклад 120 прим. Зам. № 97.

Друк СПДФО Марусич М.М. Свідоцтво №1252 від 30.12.1996

м. Львів, пл. Осмомисла, 5/11

тел./факс: (032) 261-51-31.

e-mail: interprint-m@rambler.ru

