

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Львівська політехніка"

Бешлей Микола Іванович



УДК 621.391

**Підвищення якості обслуговування пріоритетного трафіку реального часу
у вузлах мультисервісної мережі**

05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 2015

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
Лемешко Олександр Віталійович, Харківський
національний університет радіоелектроніки, професор
кафедри телекомунікаційних систем

кандидат технічних наук, доцент
Гринкевич Ганна Олександрівна, Державний
університет телекомунікацій, доцент кафедри
телекомунікаційних систем

Захист дисертації відбудеться "26" листопада 2015р. о 13:00 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 "24" жовтня 2015 р.

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., професор*



А.П. Бондарєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З впровадженням нових технологій і запуском високошвидкісних мобільних мереж зростає інтенсивність споживання IP трафіку і контент-послуг. Високі вимоги до якості передавання інформаційних потоків спонукають науковців розробляти нові і більш досконалі методи підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж.

Дослідженням задач управління інформаційними потоками та забезпечення якості обслуговування активно займаються фахівці в Україні та закордоном. Зокрема, надання абоненту послуг із заявленими параметрами якості та побудову моделей забезпечення гнучкого управління мережею розглядали Семенов Ю.А., Лемешко А.В., Ложковський А.Г., Захарченко М.В., Беркман Л.Н., Іванов А.Б., Шехтман Л.И., Вишневський В.М., Семеняка М.В., Башарін Г.П., Безрук В.М., Євсєєва О.Ю. Серед іноземних дослідників слід відзначити роботи з питань забезпечення якості в мультисервісних мережах Kleinrock L, Blake S, Grossman D, Wang Z.

Основна частка робіт спрямована на покращення якості надання послуг за рахунок ефективного використання ресурсів мультисервісної мережі та модернізації алгоритмів управління чергами. До основних недоліків у розглянутих роботах можна віднести, по перше, неможливість адаптивно керувати ресурсами обслуговуючих вузлів з метою уникнення перевантажень та покращення параметрів якості обслуговування у випадку, коли кількість класів трафіку не обмежується встановленими ІТУ-Т різновидами та різними потребами користувачів. По друге, виникнення високого ризику блокування низькопріоритетних потоків потоками з найвищим пріоритетом у вузлах мультисервісної мережі при використанні існуючих механізмів управління чергами, що значно погіршує QoS менш пріоритетних потоків. Таким чином, перелічені недоліки існуючих технологічних рішень визначають актуальність завдань ефективного управління мережними ресурсами, вирішення яких досі залишається відкритим і вимагає подальшого дослідження.

Для одночасного забезпечення різних вимог до параметрів QoS мультисервісних послуг в системі зв'язку необхідно впроваджувати нові алгоритми керування трафіком, які, в свою чергу, повинні враховувати особливості різних видів послуг і забезпечувати ефективне використання ресурсів мережі. Потрібні гнучкі рішення, які ґрунтуються на оцінюванні і прогнозуванні стану ресурсів, обсягів навантаження та полягають у правильному їх балансуванні.

Таким чином, постійне розширення спектру надаваних послуг та зростаюча складність структур телекомунікаційних мереж і систем потребує вирішення задачі розробки адекватних методів аналізу і синтезу цих систем з метою отримання достовірних оцінок їх характеристик, оптимізації щодо вибраного критерію якості обслуговування та створення відповідних нових алгоритмів управління ними

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки в рамках державних програм розвитку та

інформатизації Кабінету Міністрів України, координаційних планів науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України "Перспективні інформаційні технології, прилади комплексної автоматизації, систем зв'язку" та "Прикладні дослідження з найважливіших проблем природничих, суспільних і гуманітарних наук". Дисертаційна робота виконувалась в рамках держбюджетної науково-дослідної теми «Моделі та структури конвергентних телекомунікаційних мереж на основі CLOUD – технологій» ("ДБ/CLOUD"), (2013-2014 рр.), № 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.), № держреєстрації 0115U000444

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у покращенні часових параметрів якості обслуговування трафіку реального часу шляхом удосконалення методів керування інформаційними потоками у вузлах мультисервісної мережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз сучасних методів забезпечення гарантованої якості обслуговування при використанні відомих алгоритмів управління чергами в мультисервісних телекомунікаційних вузлах.
2. Розробити методику пріоритетизації класів мультисервісного трафіку.
3. Підвищити точність визначення часових параметрів QoS та допустиму кількість вузлів мультисервісної мережі.
4. Розробити метод пріоритетного обслуговування черг у маршрутизаторах телекомунікаційної мережі.
5. Розробити тестову програмну мультисервісну телекомунікаційну платформу та підтвердити її адекватність реальній мережі з використанням апаратних маршрутизаторів CISCO серії 2800.
6. Оцінити параметри обслуговування потоків реального часу програмними та апаратними вузлами на основі розробленої тестової платформи.
7. Оцінити ефективність модифікованого методу пріоритетного обслуговування черг на основі створеного програмного маршрутизатора та розробити рекомендації щодо практичного використання запропонованих у дисертації методів та моделей.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування пріоритетного трафіку реального часу у вузлах мультисервісної мережі.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми підвищення якості обслуговування пріоритетного трафіку реального часу у вузлах мультисервісної мережі.

Методи дослідження. Дослідження виконано на основі використання основних положень теорії ймовірності та математичної статистики, аналітичного та імітаційного моделювання, теорії фрактальних процесів, методів лабораторного експерименту.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що:

1. Вперше розроблено метод вибору оптимального вузла доступу на основі методів нечіткої логіки, який дає змогу підвищити ефективність управління мережевими ресурсами в нормальних та критичних умовах функціонування мультисервісних мереж.

2. Удосконалено метод обслуговування черг у вузлах мультисервісної мережі, який, на відміну від відомих, дає змогу гарантувати наскрізну затримку високопріоритетним потокам за рахунок обмеження ресурсів низькопріоритетних потоків без втрати даних.

3. Удосконалено метод оцінки буферного ресурсу вузла мультисервісної мережі, який на відміну від відомих, враховує ймовірність використання та пріоритет послуг та дає змогу підвищити точність визначення часових параметрів QoS та розмірності домену мультисервісної мережі.

4. Удосконалено модель генератора трафіку, який дає змогу контролювати генерований потік без необхідності синхронізації вхідного та вихідного інтерфейсу та визначити тривалість обігу петлі, що дає можливість оцінювати параметри обслуговування апаратних та програмних телекомунікаційних засобів будь-якого призначення.

5. Набула подальшого розвитку програмна модель маршрутизатора, яка на відміну від відомих, має модульну структуру та дає змогу в режимі реального часу відтворювати роботу телекомунікаційної мережі будь якої конфігурації, що забезпечить підтвердження і точність оцінок параметрів її функціонування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Підвищено точність оцінки допустимої кількості вузлів мультисервісної мережі в залежності від використовуваного типу послуг і цільової групи користувачів від 1.04 до 5.28 разів.

2. Підвищено часові параметри QoS мультисервісної мережі із застосуванням модифікованого пріоритетного обслуговування черг від 2 до 5 разів у залежності від конфігурації та завантаженості вузлів мережі із застосуванням різних засобів дослідження.

3. Підвищено точність визначення завантаженості буфера мультисервісної мережі за рахунок введення імовірності використання послуг та їх пріоритетів від 3,7 до 40 % у залежності від цільової групи користувачів.

4. Забезпечено похибку функціонування програмного маршрутизатора відносно апаратного не більше 0,4 % з точки зору тривалості затримки при реалізації дисциплін обслуговування черг FIFO та WFQ.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані 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 "Розподілені сервісні системи та Cloud-технології" та "Сигналізація та управління потоками в телекомунікаційних мережах".

Отримані результати дослідження допоможуть оцінити придатність мережі до передавання мультисервісних даних заданого виду, виявити потенційні вузькі місця в телекомунікаційній системі з метою її модернізації, сформувати

пропозиції по зміні топології мережі та програмної архітектури активного агрегуючого обладнання, сприятимуть введенню в експлуатацію нових мережевих технологій, а також дозволять покращити параметри мультисервісної неоднорідної мережі при мінімальних економічних затратах.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та всебічно обговорені на 18-ти міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, наукових семінарах та симпозиумах: TCSET'2012 (Львів-Славське, 2012), CADSM'2013 (Поляна-Свалява, 2013, 2015р.); XV науково-технічній конференції, ІТРЕ Національного університету "Львівська політехніка" з проблем електроніки та інфокомунікаційних систем (м. Львів, 2012); Науково-технічній конференції "Проблеми телекомунікацій" (м. Київ, 2012, 2014, 2015); Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T) (2014р., м. Харків, ХНУРЕ); науково-практичній та науково-методичній конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій" (м. Львів, 2012, 2013, 2014 pp.); International Black Sea Conference on Communications and Networking IEEE BlackSeaCom'2014 (Odessa, Ukraine – Chisinau, Moldova, May 27-30, 2014); 4-ї Міжнародній науково-практичній конференції присвяченої 25-річчю заснування кафедри "Радіотехніки та інформаційні безпеки" Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича, (2014р, Чернівці, Україна); Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: VII Міжнародній науково-практичній конференції (2014р., м. Запоріжжя); VI-му відкритому науковому семінарі ПММ-ТКС 2015 (2015р. м. Полтава). Крім цього, дисертаційна робота представлена на науковому семінарі кафедри телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка".

Публікації. За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, опубліковано 40 наукових праць, серед них 11 статей у фахових виданнях згідно з переліком МОН України [4-14], 3 статті за кордоном [1-3] та 26 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій [15-40].

Особистий внесок здобувача. Всі результати наукових, теоретичних і практичних досліджень, викладені в дисертації, одержані автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: у роботах [1, 4,11, 25-27, 33-39] – розробка імітаційної моделі генерації мультисервісних послуг в гетерогенних мережах [2, 12-15,16, 28-32,40] – розроблення методу вибору вузла доступу в диференційованих мережах при використанні модифікованого алгоритму пріоритетного обслуговування черг потоків реального часу, [3,19,24,38,12] – створення тестової платформи мультисервісної телекомунікаційної мережі, [5-7,10] – запропоновано методику пріоритезації послуг для ефективного використання ресурсів у вузлах мультисервісної мережі, [8,9,39,13] – розроблено імітаційну статистичну модель генерації мультисервісного трафіку для планування технологічних ресурсів мережі.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний

обсяг роботи складає 160 сторінок друкарського тексту, із них 7 сторінок вступу, 128 сторінок основного тексту, 96 рисунків, 25 таблиць на 7 сторінках, список використаних джерел зі 131 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність тематики дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі 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 методів забезпечення якості обслуговування та засобів управління трафіком в телекомунікаційних IP мережах" проаналізовано основні методи забезпечення якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах. В результаті вибрано технологію Diff-Serv, яка ґрунтується на методі пріоритезації навантаження, більш проста в реалізації та легко масштабується. Проте, основним недоліком використання диференційованого обслуговування є те, що оператор не в змозі надати гарантій користувачам щодо якості обслуговування трафіку.

Визначено, що в процесі побудови та експлуатації сучасних телекомунікаційних мереж, призначених для передавання мультимедійних потоків, одним із важливих завдань є забезпечення необхідної якості обслуговування (QoS) для різних типів трафіку. Пріоритезація передбачає розподіл трафіку різного роду за жорсткістю вимог до обсягу мережевих ресурсів, що необхідні для забезпечення якості сервісу. У сучасних роботах пріоритети класам трафіку надаються на основі відповідних рекомендацій ІТУ-Т чи емпіричних досліджень, що проводяться вже у процесі функціонування мережі. При цьому виникає ситуація, коли для уникнення перевантажень та покращення параметрів QoS трафіку необхідно гнучко керувати ресурсами мультисервісних вузлів та параметрами алгоритмів обслуговування, що базуються на сталих пріоритетах, які відображають поточні вимоги користувачів до якості обслуговування, кількість яких може бути необмеженою. Це найчастіше пов'язано з існуючими підходами до вирішення завдань визначення відносного пріоритету класів послуг, які базуються на одній чи кількох критеріальних характеристиках та не враховують всіх особливостей кожного окремого класу трафіку.

Методи забезпечення якості обслуговування особливу увагу фокусують на факті впливу черг в мережевих пристроях на параметри QoS при передаванні інформаційних послуг. Використання існуючих алгоритмів обслуговування черг зводиться до того, щоб забезпечити найкраще надання послуг з більш високим пріоритетом за умови, що і пакетові з низьким пріоритетом гарантується відповідне обслуговування. Проте висока інтенсивність потоків реального часу може призвести до перевантаження відповідних черг та втрати пакетів. У той самий час черги, які призначені для зберігання пакетів інших класів, можуть бути пустими. Така ситуація є наслідком не гнучкого методу управління чергами в буферах та призводить до низької ефективності

використання ресурсів маршрутизатора та часових ресурсів пакетів. Аналіз останніх досліджень пропонує вирішувати цю задачу шляхом динамічної зміни розміру черг у вузлах мультисервісної мережі. Такий підхід може вирішити зазначену проблему, проте він має серйозний недолік, що полягає у механізмах виділення пам'яті та доступу до неї. Повторне виділення чи створення нової черги може зайняти багато часу, впродовж якого інші процеси, такі як запис чи зчитування пакетів, будуть змушені очікувати закінчення процесу виділення черги. У процесі виділення черги також може виникнути необхідність переміщення пакетів у пам'яті, щоб створити черги з необхідними довжинами, і таким чином тривалість реорганізації системи черг може бути значно вищою.

Таким чином, в розділі обґрунтовано наукову задачу, яка полягає в забезпеченні якості надання послуг реального часу шляхом підвищення ефективності пріоритезації класів обслуговування в процесі управління чергами та розробки нових методів, алгоритмів і моделей управління інформаційними потоками у вузлах мультисервісної телекомунікаційної мережі.

У другому розділі "**Моделі та методи підвищення ефективності використання ресурсів і якості надання послуг мультисервісної мережі**" запропоновано моделі, методи та алгоритми управління ресурсами у вузлах мультисервісної мережі. З огляду на обмеженість мережевих ресурсів мультисервісна телекомунікаційна мережа повинна мати ефективні засоби забезпечення QoS.

Відповідно до сформульованих у першому розділі вимог до розроблення механізмів управління чергами, а також з урахуванням особливостей основних підходів до моделювання процесів управління чергами, представлено модель обслуговуючого пристрою мультисервісного трафіку зі спільним буфером та класифікатором послуг (рис.1.)

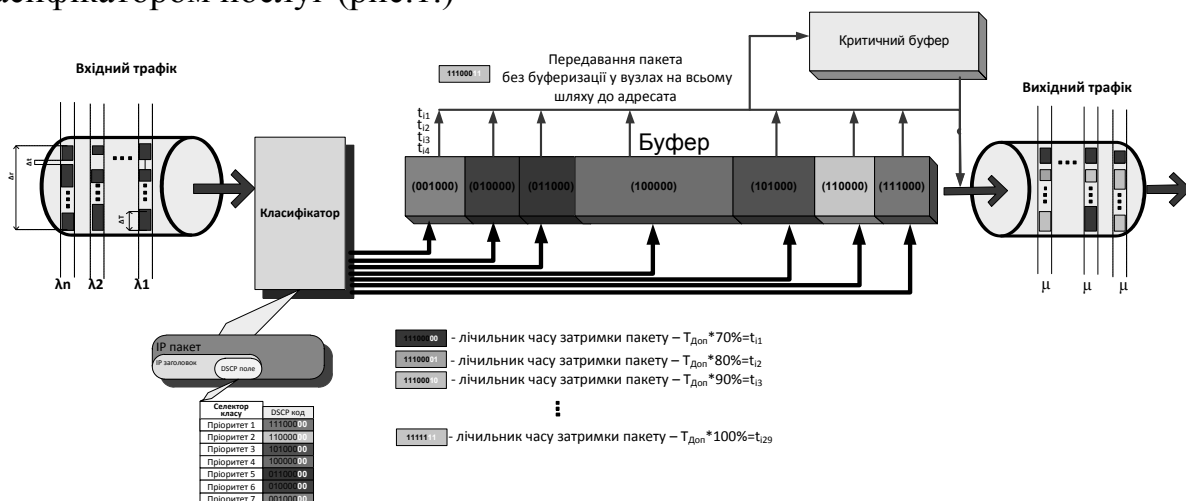


Рис.1. Модель системи пріоритетного обслуговування мультисервісного трафіку

Перевага даної моделі в тому, що пакети із пріоритетної зони оброблятимуться завжди першими, тим самим забезпечується необхідна якість надання пріоритетних послуг. Проте, при такому обслуговуванні можливе виникнення високого ризику блокування низькопріоритетних потоків потоками з найвищим пріоритетом, що значно погіршує якість надання послуг менш пріоритетним користувачам. Для вирішення цієї проблеми пропонується для

кожної зони пріоритетності буферного ресурсу встановлювати свій допустимий лічильник часу очікування пакетів. Для реалізації лічильника пропонується використовувати два зарезервовані (не використаних) біти у полі DSCP та два біти DS3-DS5, які в сумі сформуують поле довжиною 5 бітів, що дасть змогу зберігати 25 значень. Враховуючи те, що три комбінації використовуються для позначення високого, середнього та низького рівня інтенсивності відкидання пакетів в алгоритмах WRED, кількість відліків лічильника для зберігання тривалості перебування пакету у маршрутизаторі становить $25 - 3 = 22$. При цьому, кожному відліку може бути призначена конкретна величина часу перебування пакету у вузлі, що дає змогу визначити затримку пакету з будь-якою точністю в залежності від умов функціонування мультисервісної мережі. Також перевага даної моделі у тому, що гарантується забезпечення якості надання послуг на всьому шляху передавання за рахунок невикористаних ресурсів пріоритетних послуг.

Визначення прогнозованого розміру буфера протягом тривалості моделювання здійснюється на основі формули Норрса для середньої кількості пакетів, які містяться у буфері. Одним із недоліків даної формули є те, що вона не дає жодних результатів, щодо визначення кількості пакетів i -ї послуги, які перебувають у буфері. У роботі запропоновано удосконалено формулу Норрса для визначення середньої кількості пакетів певної послуги у буфері з врахуванням ймовірності використання послуг (1). Перевагою такої формули є точне прогнозування загального часу буферизації пакетів певного сервісу при проходженні через вузли із різним коефіцієнтом завантаження на етапі проектування. Запропоновано формулу для визначення тривалості затримки пакетів послуги i -го пріоритету на всьому шляху передавання від джерела до адресата (2) та допустимої кількості вузлів мережі (3).

$$N_i = \frac{\lambda}{\mu} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)^{1-H}} \cdot p_{\text{викор } i}, \quad (1)$$

$$t_i = \sum_{k=1}^M \tau_{ik} + \sum_{j=1}^N \sum_{m=0}^{i-1} \rho \frac{\rho^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{\rho^{\frac{H}{1-H}}} \cdot p_{\text{викор } (i-m)j} \cdot \frac{l_{\text{сер}(i-m)j} \cdot 8}{C_j} \quad (2)$$

$$N_{\text{вузлів}} = \frac{t_{\text{доп.}}}{\sum_{m=0}^{i-1} \rho \frac{\rho^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{\rho^{\frac{H}{1-H}}} \cdot p_{\text{викор } (i-m)} \cdot \frac{l_{\text{сер } i-m} \cdot 8}{C} \cdot 10^3} \quad (3)$$

де M – загальне число каналів зв'язку між двома абонентами сервісу; $\tau_{i,k}$ – величина часу затримки розповсюдження пакету послуги i -го пріоритету по k -го каналу зв'язку; N – загальне число комутаційних пристроїв (вузлів) розміщених між двома абонентами сервісу; C – пропускна здатність j -го каналу; $p_{\text{викор } (i-m)j}$ – ймовірність використання послуги i -го пріоритету в j -му вузлі; $l_{\text{сер}(i-m)j}$ – середня довжина пакету послуги i -го пріоритету в j -му вузлі; ρ

- коефіцієнт завантаження пристрою, λ_i – інтенсивність надходження пакетів на i -ому кроці моделювання; m – інтенсивність обслуговування; H – параметр Херста; N_i – миттєве значення завантаженості зон буфера .

Враховуючи інтенсивний розвиток телекомунікаційних мереж та щорічне зростання об'єму мережевого трафіку, виникає задача створення гнучкої системи управління інформаційними потоками, базуючись на покращених протоколах маршрутизації та нових методах вибору оптимального маршруту шляхом аналізу і оцінок характеристик мереж. Зазвичай пошук оптимального вузла доступу (маршруту) здійснюється в мережі з нечітко заданими параметрами або множиною параметрів.

Після підготовки параметрів для вибору оптимального вузла доступу введено шкалу оцінювання важливості застосування критеріїв за Лікертом \tilde{L}_{imn} (1 – не може бути застосований (0,0,0.25), 2 – не варто застосовувати (0,0.25,0.75), 3 – середній рівень (0.25,0.5,0.75), 4 – потрібно застосовувати (0.5,0.75,1), 5 – необхідно застосовувати (0.75,0.75,1)). Введено також п'ятибальну шкалу лінгвістичних змінних для оцінки відповідності стану вузла (1 – «дуже низька», 2 – «низька», 3 – «середня», 4 – «висока», 5 – «дуже висока»), а саме оцінки рівня індикатора ризику щодо відповідного критерію згідно наведеної шкали. Першим кроком є визначення усіх параметрів вузла на основі показників якості обслуговування, вага $w_{p_{imn}}$ кожного з яких на початку процесу оцінювання становить 0,5. В подальшому вага кожного показника може змінюватися в залежності від завантаження вузла $\rho_{mn_{transport}}$.

$$w_{p_{imn}} = 0.5 + 0.5 \cdot \rho_{mn_{transport}}, i = 1..4, \quad (4)$$

де i індекс параметра якості обслуговування.

Наступним кроком є знаходження ваги важливості параметру w_{imn} , яка розраховується перемноженням ваги параметру i відносного коефіцієнта значимості B_i запитуваного сервісу:

$$w_{imn} = w_{p_{imn}} B_i, i = 1..4. \quad (5)$$

Таким чином, нормалізація параметрів розраховується за наступною формулою:

$$W_{imn} = w_{imn} / \sum_{i=1}^4 w_{imn}, \quad (6)$$

Відповідно, TFN (трикутне нечітке число) оцінок обраного вузла доступу \tilde{Q}_{mn} розраховується за формулою :

$$\tilde{Q}_{mn} = (q_1, q_2, q_3)_{mn} = \sum_{i=1}^4 (W_{imn} \times \tilde{L}_{imn}), \quad (7)$$

$$q_{j_{mn}} = \sum_{i=1}^4 (W_{imn} \times l_{ij_{mn}}), \quad (j = 1,2,3; m = 1,2,...,6; n = 1). \quad (8)$$

де, q_1, q_2, q_3 - нижня границя загальної оцінки, її базове значення та верхня границя значення \tilde{Q} , відповідно, $\tilde{L}_{imn} = (l_{i1}, l_{i2}, l_{i3})_{mn}$ - трикутне нечітке число, що характеризує індикатор ризику за i -м критерієм m - вузла доступу та n

площини управління, l_{i1}, l_{i2}, l_{i3} - нижня границя лінгвістичної змінної, її базове значення та верхня границя відповідно.

Дефазифікація отриманого нечіткого числа проводиться згідно наступної формули:

$$Q_{mn} = 1/3 \times \sum_{j=1}^3 q_{jmn}. \quad (9)$$

В таблиці 1 на основі методів нечітких множин приведено чисельну оцінку вузлів транспортної площини управління інформаційними потоками та дефазифікація для кожного із параметрів якості обслуговування.

Таблиця 1

Чисельна оцінка вузлів транспортної площини управління інформаційними потоками

	Вузол 1 (\tilde{Q}_{mn})	Вузол 2 (\tilde{Q}_{mn})	Вузол 3 (\tilde{Q}_{mn})	Вузол 4 (\tilde{Q}_{mn})	Вузол 5 (\tilde{Q}_{mn})	Вузол 6 (\tilde{Q}_{mn})
\tilde{Q}_{mn}	(0,51;0,43; 0,56)	(0,51;0,29; 0,2)	(0,36;0,25; 0,51)	(0,78;0,69; 0,86)	(0,71;0,52; 0,70)	(0,46;0,48; 0,69)
Q_{mn}	0,402583333	0,26825	0,28015	0,68095	0,5509166	0,445583333

В результаті застосування запропонованого методу для площини, яка складається із 6-вузлів із різними характеристиками та параметрами якості обслуговування мережевого трафіку, найбільш оптимальним вузлом доступу буде маршрутизатор під номером 4 із найвищим загальним значенням Q_{mn} . Приклад визначення оптимального вузла доступу на основі запропонованої вище шкали представлено на рисунку 2.

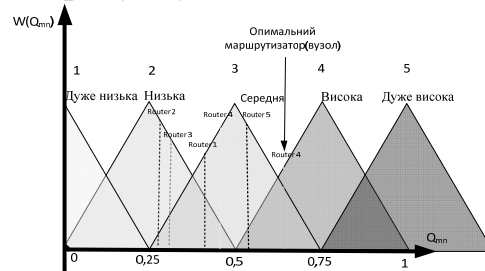


Рис.2. Шкала оцінок та функції належності відповідних лінгвістичних змінних при виборі оптимального вузла доступу

У третьому розділі "Моделювання та дослідження системи управління мережними ресурсами на основі методики визначення пріоритетів послуг" розроблено методику пріоритезації послуг, яка базується на формалізованому критерії визначення відносного пріоритету класів трафіку і враховує вимоги QoS, ймовірність використання послуг та відносний коефіцієнт значимості параметра відносно інших.

У роботі наведено один із можливих варіантів класифікації користувачів для реалізації даної методики: домашніх, офісних користувачів та центри обробки даних. Відносний пріоритет для кожної категорії послуг розраховано за формулою (10):

$$P_{vpr_i} = \frac{(p_i \cdot Vp_i \cdot Pp + t_i \cdot Bt_i \cdot Pt + j_i \cdot Bj_i \cdot Pj + c_i \cdot Bc_i \cdot Pc + tv_i \cdot Btv_i \cdot Ptv + prs_i \cdot Bprs_i \cdot Pprs) P_{викор_i}}{\sum_i (p_i \cdot Vp_i \cdot Pp + t_i \cdot Bt_i \cdot Pt + j_i \cdot Bj_i \cdot Pj + c_i \cdot Bc_i \cdot Pc + tv_i \cdot Btv_i \cdot Ptv + prs_i \cdot Bprs_i \cdot Pprs) P_{викор_i}} \quad (10)$$

де: $P_{викор}$ — ймовірність використання послуги; Vp , Bt , Bj , Bc , Btv та $Bprs$ — коефіцієнти значимості послуг, які приймають значення від 1 до 3, де вище значення означає більшу значимість певного параметра якості обслуговування

для даної категорії сервісу. $P_p, P_t, P_j, P_c, P_{tv}, P_{prs}$ – відносні коефіцієнти значимості параметрів; j, t, c, p, tv, prs – відносно узагальнюючі коефіцієнти послуг розраховуємо за формулами

$$p = \frac{P_{\min}}{P}, \quad t = \frac{T_{\min}}{T}, \quad j = \frac{J_{\min}}{J}, \quad c = \frac{C}{C_{\max}}, \quad tv = \frac{Tv_{\min}}{Tv}, \quad prs = \frac{Prs_{\min}}{T} \quad (11)$$

Результатом розрахунку методики є десяткове число $0 < P_{vpr} < 1$, яке для вищого пріоритету буде більше, ніж для меншого наведені в таблиці 2. Для адаптації методики на практиці пріоритети можуть бути промарковані в заголовках протоколу, призначених для ідентифікації послуг.

Таблиця 2

Формування відносних коефіцієнтів

	Втрати пакетів p	Затримка t	Джиттер j	Пропускна здатність c	Тривалість встановлення з'єднання tv	Ймовірність розриву з'єднання prs	Відносний пріоритет P_i	Абсолютний пріоритет P_a
Голосові дані	0,1	0,667	1	0,0063	0,556	10^{-5}	0,182	6(110)
Відеоконференція	0,0125	1	0,5	0,2	0,625	10^{-5}	0,073	5(101)
IPTV	0,067	0,1	0,2	0,4	0,5	10^{-2}	0,013	4(100)
Web	0,1	0,1	0,01	0,2	0,5	10^{-2}	0,012	3(011)
Інтерактивні дані	0,1	0,25	0,02	0,025	0,526	10^{-5}	0,004	1(001)
Медіа за запитом	0,2	0,2	0,333	1	0,714	10^{-5}	0,006	2(010)
Сигналізація	1	1	0,01	0,0063	1	1	0,711	7(111)

Формула може застосовуватися для будь-якої кількості інформаційних потоків і різних вимог щодо якості обслуговування.

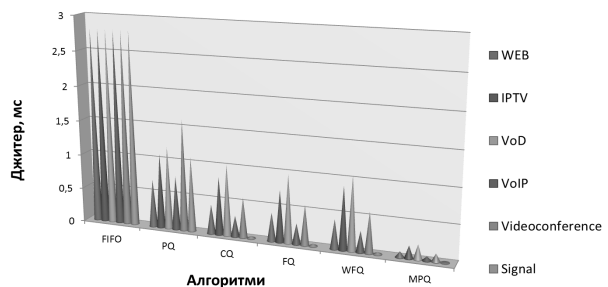
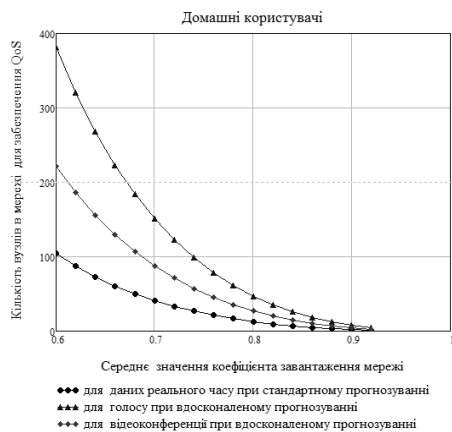
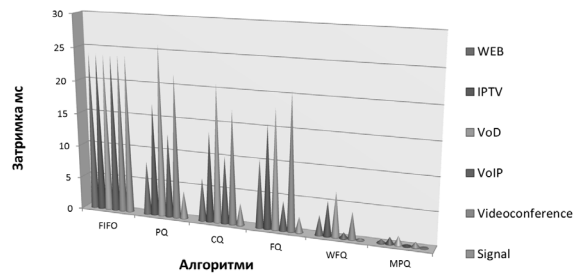
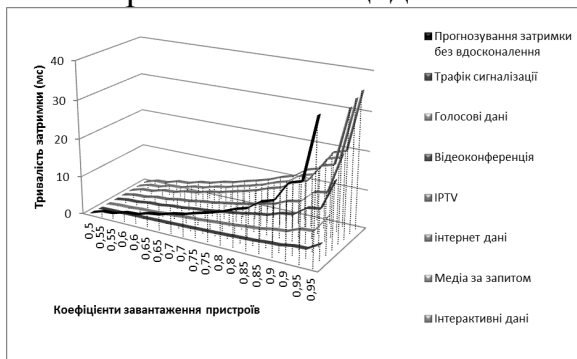


Рис.3. Прогнозування тривалості затримок послуг і-го пріоритету а) та допустимої кількості вузлів в мережі в) порівняльна оцінка затримки б) та джиттеру г) при використанні різних алгоритмів обслуговування черг

На основі запропонованого алгоритму в 2-му розділі роботи проведено моделювання та прогнозування зайнятості буфера системи розподілу мультисервісного трафіку для трьох груп користувачів. Моделювання проводилось при різних коефіцієнтах завантаження пристрою (ρ) для того, щоб дослідити рівень завантаженості буфера. Встановлено, що черги виникають при $\rho=0,5..0,99$. Отримані значення параметру Херста в межах від 0,6 до 0,66 свідчать про властивість самоподібності згенерованих потоків. Отримані розміри буфера – B в залежності від ρ визначались за формулою (1). При $\rho=0.923$ кількість пакетів у буфері становить $N=105$ - групи домашніх користувачів. Після вдосконалення формули точність прогнозування розміру буфера збільшилось на 3,7%. Проведено порівняльний аналіз запропонованого модифікованого алгоритму обслуговування черг з існуючими алгоритмами у вузлах мережі з використанням засобів Matlab та Opnet Modeler (рис.3) .

Як бачимо з рисунку 3 при використанні запропонованого алгоритму управління MPQ (Modified Priority Queuing), який працює на основі прогностичного керування мережевими ресурсами з використанням методики пріоритезації та динамічного управління затримкою пакетів мінючи комбінації DSCP поля забезпечує найкращу якість обслуговування.

У четвертому розділі "**Практична реалізація модифікованого алгоритму обслуговування черг у мережах з диференціацією сервісів**" на основі запропонованої методики динамічної пріоритезації та модифікованого алгоритму планування черг при обслуговуванні агрегованого навантаження, зокрема мультимедійних потоків реального часу, досягнуто зниження тривалості оброблення інформаційних потоків при передаванні великих обсягів даних та зменшено джиттер.

Для дослідження запропонованих рішень у роботі розроблено віртуальний програмний маршрутизатор та генератор трафіку. Розробка здійснювалася з використанням середовища програмування Qt5.2, яке використовує мову програмування C++ (стандарт C++11, 2011р.). Для проведення експериментів створено тестову платформу, що складається з 4-х настільних комп'ютерів. На яких встановлено генератор трафіку, який одночасно може генерувати та приймати трафік, і таким чином обчислювати різницю між моментами відправлення та отримання кожного пакету. За рахунок цього генератор обчислює час проходження пакетів по мережі та їх обробки на маршрутизаторі. Схема створеного експериментального макету експерименту зображена на рисунку 4.

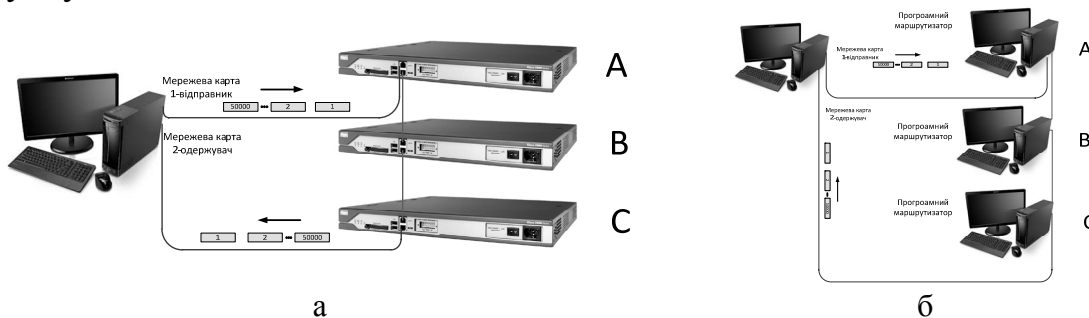


Рис.4. Схема проведення експерименту для визначення тривалості оброблення пакетів апаратним (а) та програмним (б) маршрутизатором

Для підтвердження адекватності застосування програмного маршрутизатора у роботі проведено порівняльний експеримент тривалостей оброблення пакетів з використанням апаратного (серії CISCO 2800) маршрутизатора та розробленого програмного з використанням алгоритму WFQ. Для цього протягом 30 хвилини як на апаратний, так і на програмний маршрутизатор передавався однаковий агрегований мультисервісний потік пакетів. Для генерації такого потоку використано 4 персональні комп'ютери, які агрегуються 24-ох портовим комутатором. Протягом 13 хвилин передавався трафік із 2 ПК для створення навантаження $\rho = 0.45$. Для завантаження мережевого пристрою на $\rho = 0.7$ на 13 хвилині використано додаткового ще 2 генератори.

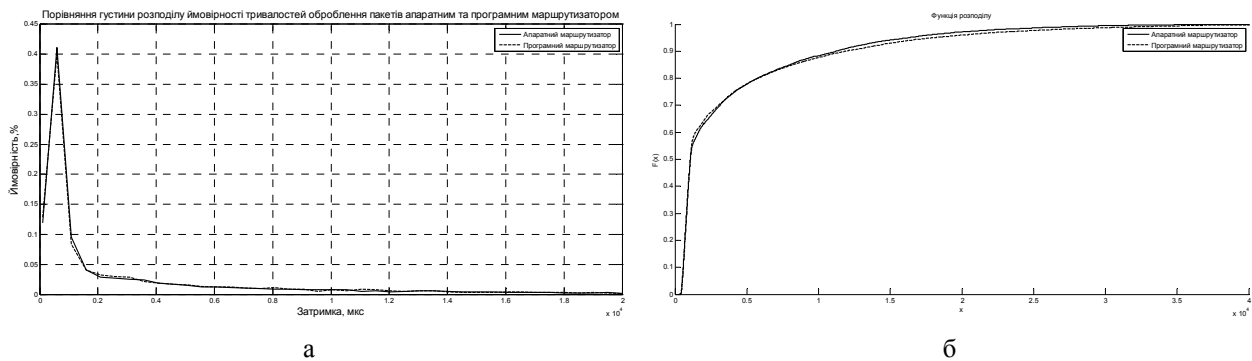


Рис.5. Порівняння густини (а) та функції (б) розподілу ймовірностей тривалості оброблення пакетів 3-ма апаратними та 3-ма програмними маршрутизаторами протягом 30 хвилин

На основі проведених досліджень доведено, що агрегований вхідний трафік експериментальної мультисервісної мережі створюваний 4-ма генераторами є самоподібним з параметром Херста, близьким до одиниці $H=0.971$. Порівняння розподілів тривалостей обігу петлі через програмний та апаратний маршрутизатор при використанні алгоритму WFQ представлено на рисунку 5.

Для дослідження запропонованого у роботі алгоритму MPQ використано схему проведення дослідів, зображену на рис.4. Через програмний маршрутизатор передаються одночасно два потоки. Перший потік - це агрегований потік. Для генерування довжини пакетів та міжпакетних інтервалів були обрані розподіл Парето та експоненціальний розподіл відповідно. Ці розподіли відповідають профілям трафіку в мережі Інтернет. Другий потік - це потік IPTV з інтенсивністю 100 пакетів на секунду. Графік на рис.6 відображає завантаженість маршрутизатора.

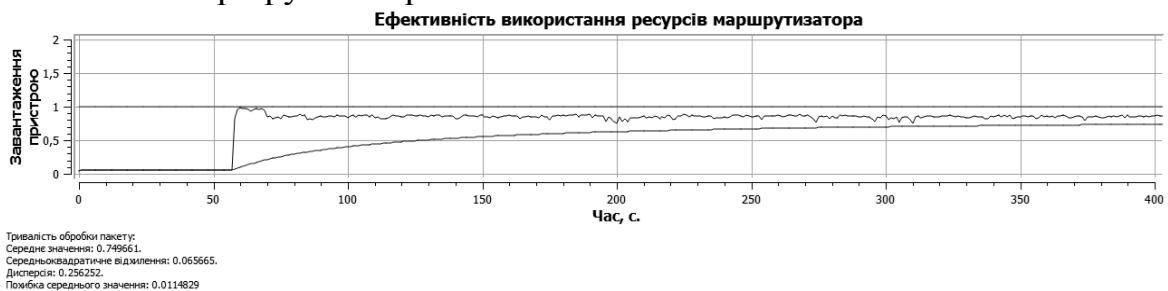


Рис.6. Завантаження програмного маршрутизатора рівня агрегації

На рисунку 7 показано затримки пакетів та джиттер для потоку IPTV протягом усього експерименту.

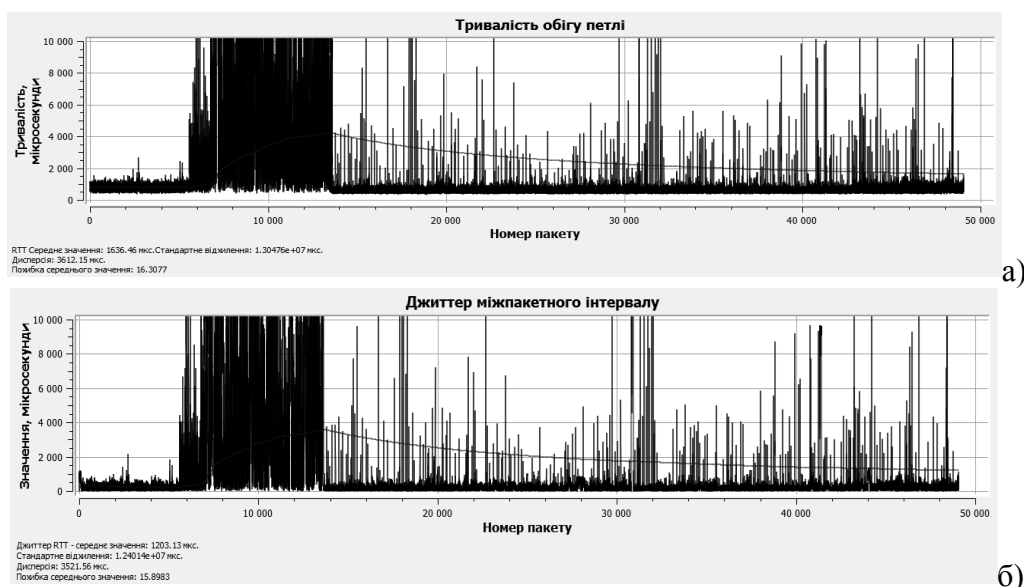


Рис.7. Затримка а) та джиттер б) з кінця в кінець при передаванні IPTV трафіку через агрегуючий маршрутизатор при використанні MPQ та без його застосування

Моделювання проводилося в три етапи. На першому етапі затримка і джиттер потоку IPTV були мінімальним. На другому етапі затримка і джиттер значно збільшилися за величиною в десять разів, що пов'язано із значним збільшення навантаження на мережевий пристрій (рис.6) на якому за замовчуванням використовується алгоритм WFQ. Після третього етапу було досягнуто зниження, затримки і джиттера трафіку IPTV до значень, які спостерігались в першій фазі при застосуванні алгоритму MPQ (рис.7). Алгоритм MPQ використовується в умовах, коли потоки реального часу, в нашому випадку, - сервіс IPTV з критичною затримкою необхідно передати з мінімальною затримкою при високому навантаженні мережі. В результаті проведення зазначених вище експериментів доведено, що застосування розроблених моделей та методів покращення якості обслуговування потоків реального часу забезпечує підвищення рівня сервісу у мережі в середньому до 5 разів, що може бути оцінено на основі визначення показника стабільності часових параметрів якості, яким є джиттер та затримка. Таким чином, якщо встановити MPQ на всіх маршрутизаторах мережі, то якість сервісу для потоків реального часу може бути суттєво підвищена.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу розроблення методів, моделей та алгоритмів управління інформаційними потоками з прогнозуванням часових параметрів якості обслуговування в мультисервісних мережах на етапі проектування та забезпечення якості надання послуг реального часу із підвищенням ефективності пріоритезації класів обслуговування в процесі управління чергами в вузлах телекомунікаційної мережі.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано основні методи забезпечення якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах. Встановлено, що основним недоліком використання диференційованого обслуговування в мультисервісних мережах є те, що оператор не в змозі надати гарантій користувачам щодо якості обслуговування трафіку.

2.3 метою забезпечення необхідного рівня якості обслуговування абонентів мультисервісних телекомунікаційних мереж розроблено методику визначення відносного пріоритету класів трафіку. Методика може бути використана для розмежування черговості обробки потоків мультисервісних мереж з використанням різних мережевих протоколів, які пристосовані для вказівки рівня пріоритету в заголовках пакетів. Перевага даної методики у тому, що вона враховує не тільки особливості забезпечення різних показників QoS для різних класів трафіку, але і політику оператора з розподілу пріоритетів відповідно до замовленої абонентом рівня якості.

3. Запропоновано метод прогнозування тривалості затримки пакетів мультисервісних послуг і-го пріоритету та завантаженості буфера послугою і-го пріоритету, яка дозволяє отримати результати з вищою точністю, загального часу буферизації пакетів певного сервісу при проходженні через вузли із різним коефіцієнтом завантаження на етапі проектування для різних груп користувачів. А також розраховано максимальну кількість вузлів, яка може бути встановлена для якісного надання мультисервісних послуг, а саме для голосових даних кількість прогнозованих вузлів збільшилась у 3.6 рази після проходження. Підвищено точність визначення завантаженості буфера мультисервісної мережі за рахунок введення імовірності використання послуг та їх пріоритетів від 3,7 до 40 % у залежності від цільової групи користувачів.

4. Проведено імітаційне моделювання обслуговування мережевого трафіку із параметрами, що відповідають реальним мультисервісним мережам, обрахунок якісних показників кожного типу потоку та порівняльну оцінку алгоритмів обслуговування черг. Встановлено, що при використанні запропонованого модифікованого алгоритму пріоритетного обслуговування черг з оцінюванням якісних параметрів кожного класу трафіку дає змогу більш ефективно використовувати ресурси мережі у разі обслуговування мультимедійних потоків даних у 3 рази при дослідженні засобами Matlab та у 2 рази використовуючи Opnet modeler.

5. Запропоновано систему управління якістю на основі методу моніторингу та балансування навантаження із використанням нечітких множин. Ґрунтуючись на використанні розробленого методу, в проєктантів телекомунікаційних мереж виникають нові можливості щодо створення модернізованих протоколів маршрутизації.

6. Удосконалено модель генератора мультисервісного трафіку, яка дає змогу визначати час обігу петлі пакетом з точністю до 10 наносекунд без необхідності синхронізації передавального та приймального процесів. Особливість генератора полягає у можливості генерування трафіку для довільної пакетної технології передавання даних з довільними імовірнісно-статистичними характеристиками.

7. Вперше розроблено універсальний програмний маршрутизатор, що побудований за модульною архітектурою та використовує технологію сокетів, яка дає змогу на основі фізичної локальної мережі сформувати віртуальну пакетну мережу з довільною, у тому числі повнозв'язною, топологією. В результаті експерименту встановлено, що з використанням модифікованого

алгоритму обслуговування черг вдалося покращити часові параметри якості обслуговування у 2-7 разів у залежності від завантаження вузлів мультисервісної мережі. Запропоновано використання даних методів та алгоритмів в телекомунікаційних структурах в якості основи для забезпечення якості сервісу при побудові гнучкої транспортної системи.

ОСНОВНІ РОБОТИ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Mykhailo Klymash, Bohdan Stryhalyuk, Ivan Demydov, Mykola Beshley, Marian Seliuchenko. A Novel Approach of Optimum Multi-criteria Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) . – 2014. - Volume 4 . - Issue 5(4). – P. 42-52.

2. Beshley M. SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / M. Beshley, M. Klymash, B.Strykhalyuk, O. Shpur, B. Bugil, I. Kagalo // International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE). – 2015 - Volume 4 - Issue 1 – P.10-21

3. 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. – P.76-88

4. Климаш М.М. Підвищення якості обслуговування в конвергентних мобільних системах на основі платформи UMA-A [Електронний ресурс] /М.М. Климаш, М.І. Бешлей, О.А. Лаврів, Б.М. Стрихалюк, Г.В.Проблеми телекомунікацій. – 2014. – № 1 (13). – С. 3 - 19.

5. Бешлей М.І. Модель системи динамічного управління пропускнуою здатністю каналу інтегрованої WI-FI/GSM мережі / М. І.Бешлей, В.П.Ткачук, Б.А. Бугиль, О.А. Лаврів // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2014.- № 796. - С. 83-96.

6. Бугиль Б.А. Методи оптимізації фізичної та логічної структур телекомунікаційних мереж / О.А. Лаврів, Б.А. Бугиль, В.В. Червенець, М. І. Бешлей // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2013. - № 766. - С. 76-81.

7. Климаш М.М. Дослідження побудови технологічних ресурсів у конвергентній мережі на базі мобільного оператора для надання послуги Triple Play / М.М. Климаш, О.В. Корецький, М.І. Бешлей, В.Б Янишин.// Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А.Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2011. - № 705. - С. 176-183

8. Климаш М.М. Модель системи управління ресурсами мультисервісних мереж в умовах самоподібності трафіку / М.М. Климаш, О.А. Лаврів, М. І. Бешлей // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А.Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2012. - № 738. - С. 168-175.

9. Лаврів О.А. Дослідження якості надання послуг абонентам мобільного зв'язку в IMS-мережі / О.А. Лаврів, Б.А. Бугиль, М. І. Бешлей // Збірник

наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім.Г.Є.Пухова, - 2012. – Вип. 65 - С.132-140.

10. Стрихалюк Б.М. Моделювання та тестування системи управління гетерогенної мережі доступу / Б.М. Стрихалюк, М.І. Бешлей, Г.В. Холявка, М.В. Брич // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – К.: - 2015. – №1 - С. 22-31.

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

12. Клиماش М. М. Модель надання сервісів на основі методу адаптації логічної структури cloud-системи / М. М. Клиماش, Б. М. Стрихалюк, О. М. Шпур, М. І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. –№5(33) – С. 27-36

13. Стрихалюк Б.М. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах / Б.М.Стрихалюк, І.В.Демидов, В.І. Романчук, М.І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. – №6(34) – С. 82-92

14. Клиماش М.М. Модель оптимізації багатошарових структур телекомунікаційних мереж за допомогою лінійного програмування методом діакOPTики. / М.М. Клиماش, М.В. Кайдан, М.І Бешлей, А.В. Редька // Комп'ютерні технології друкарства – Л.: УАД. - 2014. - №32. - С.59-68

15. Mykhailo Klymash System for Increasing Quality of Service of Multimedia Data in Convergent Networks / Mykhailo Klymash, Mykola Beshey , Bohdan Stryhaluk, Marian Seliuchenko // Problems of Infocommunications. Science and Technology. – IEEE First International Conference. Kharkiv, October 14-17, 2014. – 2014. P .63-66.

16. Klymash M. The model of prioritization of service for efficient usage of resource multiservice network. / M. Klymash, M. Beshley, V. Koval // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XI th International Conference TCSET'2012 (Lviv – Slavske, February 21–24), 2012. - P. 320-321

17. Klymash M. The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access. / M. Klymash, R. Savchuk, P. Pozdnyakov M. Beshley // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XI th International Conference TCSET'2012 (Lviv – Slavske, February 21–24), 2012. - P. 281-282

18. M. Beshley. Research and Development the Methods of Quality of Service Provision in Mobile Cloud Systems. / M. Beshley , T. Maksymyuk , B. Stryhaluk, M. Klymash. // The 2014 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (IEEE BlackSeaCom 2014), Odessa, Ukraine – Chisinau, Moldova, May 27-30, 2014. – Chisinau:TUM, 2014. - pp. 163-169.

19. Клиماش М.М. Система гнучкого управління мережними ресурсами на основі методу визначення пріоритетів послуг / Клиماش М.М., Лаврів О.А., Бешлей М. І.// XV науково-технічна конференція, ІТРЕ НУ“ЛП” з проблем

електроніки та інфокомунікаційних систем: Збірник тез доповідей.-, – 2012. С. 71.

20. Климаш М.М. Модель пріоритезації послуг для ефективного використання ресурсів мультисервісної мережі / М.М. Климаш, М. І. Бешлей // VI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2012: збірник матеріалів конференції (25-28 квітня 2012р., м. Київ, Україна), 2012 - К.: НТТУ «КПІ»– С. 47-50.

21. Климаш М.М. Модель забезпечення якості обслуговування в мультисервісних мережах з урахуванням властивостей фрактальності трафіку / М.М. Климаш, М. І. Бешлей, Г.В. Холявка // Сучасні проблеми телекомунікацій та підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: матеріали конференції (30 жовтня – 02 листопада 2012 р. м. Львів), 2012 – С.25-27

22. Климаш М.М. Забезпечення параметрів якості надання послуг в мультисервісних мережах з урахуванням самоподібності трафіку / М.М. Климаш, М. І. Бешлей // VII Міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні інформаційно- комунікаційні технології COMINFO’2012(01-05 жовтня 2012р., м. Київ-Livadia, Україна), 2012.- К.:ДУІКТ- С.177-179.

23. Климаш М.М. Моделювання та прогнозування параметрів і структур мультисервісної мережі з диференційованим обслуговуванням послуг / М.М. Климаш, М. І. Бешлей, О.А. Лаврів // VI Міжнародний науково-технічний симпозіум “Нові технології в телекомунікаціях” (21-25 січня 2013 р., ДУІКТ, с.Вишків), 2013.- К.: ДУІКТ. - С.28-31.

24. Klymash. M.M. Model of Network Resources Management on the Basis of Services Priorities Association / M. Klymash, M. Beshley, O. Lavriv // Proceedings of XIIth International conference”The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics” CADSM’2013. (24-27 February, Lviv-Poljana, Ukraine), 2013.- P. 146-148.

25. Климаш М.М. Моделювання та дослідження системи управління ресурсами фемтосоти в мережах IMS / М.М. Климаш, М. І. Бешлей // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2013: збірник матеріалів конференції (16-19 квітня 2013р., м. Київ, Україна), 2013 - К.: НТТУ «КПІ»– С. 25-28.

26. Стрихалюк Б.М. Модель управління радіо ресурсами фемтосоти для забезпечення якісного надання мультисервісних послуг / Б.М. Стрихалюк, Р.М.Савчук, М.І. Бешлей, Г.В.Холявка // VI Міжнародний науково-технічний симпозіум “Нові технології в телекомунікаціях” (21-25 січня 2013 р., ДУІКТ, с.Вишків), 2013.- К.: ДУІКТ. - С.43-46.

27. Климаш М.М. Визначення фізичного місцезнаходження абонентів за допомогою dncr option 82/ Р.М. Савчук, М. І. Бешлей, // Сучасні проблеми телекомунікацій та підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: матеріали конференції (30 жовтня – 02 листопада 2013 р. м. Львів), 2013 – С. 253-256.

28. Beshley M. Method of Resource Distribution for Mobile Cloud Computing Systems. / M. Beshley, B. Buhyl, V. Romanchuk, M. Klymash // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XII

th International Conference TCSET'2014 (Lviv – Slavske, February 19–23), 2014. - P. 581-584.

29. Климаш М.М. Динамічне управління якістю послуг на основі SOCCA в конвергентних телекомунікаційних мережах. / М.М. Климаш, М. І. Бешлей, М.О Селюченко // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2014: збірник матеріалів конференції (22-25 квітня 2014р., м. Київ, Україна), 2014 - К.: НТТУ «КПІ»– С. 50-53.

30. Бешлей М.І. Дослідження методів побудови конвергентної мережі оператора мобільного зв'язку для надання послуг Quad Play / М.І. Бешлей, О.А.Лаврів, Г.В.Холявка // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції (17–19 вересня 2014 р., м. Запоріжжя), 2014. – Запоріжжя: ЗНТУ. – С. 76-77.

31. Климаш М.М. Вдосконалення методів та алгоритмів управління інформаційними потоками в конвергентних телекомунікаційних мережах / М.М. Климаш, М. І. Бешлей, І.О. Кагало, Л.М. Готра // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (23-25 жовтня 2014 р. м. Чернівці), 2014. - С.106-107

32. 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 (23-25 жовтня 2014 р. м. Чернівці), 2014. - С.08-109.

33. Кайдан М.В. Оптимізація багат шарових телекомунікаційних мереж за критеріями якості надання сервісу / М.В. Кайдан, М.І. Бешлей, А.В. Редька // Сучасні проблеми телекомунікацій та підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: матеріали конференції (30 жовтня – 02 листопада 2014 р. м. Львів), 2014 – С. 184-185

34. Beshley M.I A novel approach for providing quality of service in multiservice network environment / Beshley M.I., Seliuchenko M.O // Сучасні проблеми телекомунікацій та підготовка фахівців в галузі телекомунікацій: матеріали конференції (30 жовтня – 02 листопада 2014 р. м. Львів), 2014 – С.34-37.

35. Климаш М.М. Забезпечення якості обслуговування в мультисервісних мережах на основі гібридних моделей/ М.М. Климаш, М. І. Бешлей, О.М.Шпур, Б.А. Бугиль // 69-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів: матеріали конференції (3-5 грудня 2014 р. м.Одеса), ч.2 – 2014р.-С.96-99.

36. Beshley. M. M. Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed /M. Beshley, V. Romanchuk, M. Seliuchenko, A. Masiuk // Proceedings of XIIIth international conference "The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics" CADSM'2015 (24-27 February, Lviv-Poljana, Ukraine), 2015. - P. 1-4

37. Klymash M.M. Mobility Management and Vertical Handover Decision in an Always Best Connected Heterogeneous Network / M. Klymash, M. Seliuchenko, M. Beshley, M. Brych // Proceedings of XIIIth international conference "The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics" CADSM'2015 (24-27 February, Lviv-Poljana, Ukraine), 2015. – P.103-105.

38. Бешлей М. І. Розробка та впровадження нового алгоритму планування черг у мережах з диференціацією сервісів. / М. І. Бешлей, М.О. Селюченко, Р.С.Колодій // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: збірник матеріалів конференції (22-25 квітня 2015р., м. Київ, Україна), 2015 - К.: НТТУ «КПІ»– С. 119-121

39. Климаш М.М. Модель адаптивного управління радіоресурсами в безпроводних гетерогенних мережах. / М.М.Климаш, М.І. Бешлей, А.Р. Масюк // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: збірник матеріалів конференції (22-25 квітня 2015р., м. Київ, Україна), 2015 - К.: НТТУ «КПІ»– С.40-42.

40. Климаш М.М. Модель пріоритезації послуг для ефективного використання ресурсів мережі / М.М.Климаш, М.І. Бешлей // V Міжнародний науково-технічний симпозиум "Нові технології в телекомунікаціях" (21-25 січня 2012 р., ДУІКТ, с.Вишків), 2012.- К.: ДУІКТ. - С.143-146.

Анотація

Бешлей Микола Іванович. Підвищення якості обслуговування пріоритетного трафіку реального часу у вузлах мультисервісної мережі. – 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, 2015.

Дисертаційну роботу присвячено моделюванню та дослідженню мультисервісних мереж з врахуванням удосконалених методів керування інформаційними потоками у мережевих пристроях. Досліджено часові параметри якості обслуговування, способи прогнозування та розподілу мережевих ресурсів. Розроблено модифікований алгоритм пріоритетного обслуговування черг на основі запропонованої методики пріоритезації послуг. Створено тестову платформу для моделювання мультисервісної мережі та підтверджено її адекватність. Розроблено алгоритм статистичного прогнозування розміру буфера, оцінки параметрів QoS та роботи класифікатора у маршрутизаторі при поступленні мультисервісного трафіку з допустимою кількістю вузлів у мережі. Розвинуто метод вибору оптимального вузла доступу на основі нечіткої логіки. На основі запропонованої методики динамічної пріоритезації та модифікованого алгоритму планування черг при обслуговуванні агрегованого навантаження, зокрема мультимедійних потоків реального часу, досягнуто зниження тривалості оброблення інформаційних потоків при передаванні великих обсягів даних та зменшено джиттер у 5 разів в порівнянні з існуючим алгоритмом WFQ.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, якість обслуговування, буфер, пріоритизація, самоподібність мультисервісного трафіку.

Аннотация

Бешлей Николай Иванович. Повышение качества обслуживания приоритетного трафика реального времени в узлах мультисервисной сети.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный университет "Львівська політехніка" Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Львов, 2015.

Диссертационная работа посвящена моделированию и исследованию мультисервисных сетей с учетом усовершенствованных методов управления информационными потоками в сетевых устройствах. Исследовано временные параметры качества обслуживания, способы прогнозирования и распределения сетевых ресурсов. Разработано модифицированный алгоритм приоритетного обслуживания очередей на основе предложенной методики пріоритизації услуг. Создано тестовую платформу для моделирования мультисервисной сети и подтверждена ее адекватность. Разработан алгоритм статистического прогнозирования размера буфера, оценки параметров QoS и работы классификатора в маршрутизаторе при поступлении мультисервисного трафика с допустимым количеством узлов в сети. Развiт метод выбора оптимального узла доступа на основе нечеткой логики. На основе предложенной методики динамической пріоритизації и модифицированного алгоритма планирования очередей при обслуживании агрегированной нагрузки, в частности мультимедийных потоков реального времени, достигнуто снижение длительности обработки информационных потоков при передаче больших объемов данных и уменьшен джиттер в 5 раз по сравнению с существующим алгоритмом WFQ.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, качество обслуживания, буфер, пріоритизація, самоподобие мультисервісного трафіка.

Annotation

Mykola Beshley. Increasing the quality of real-time priority traffic service in multiservice network nodes. – As a 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, youth and sport of Ukraine, Lviv, 2015.

The thesis is devoted to the modeling and investigation of multiservice networks and takes into account improved methods of information flows management in network nodes. Quality of service time parameters, methods of prognostication and distribution of network resources have been investigated. A modified algorithm of prioritized processing of queues based on the proposed methodic of services prioritization has been developed. A testbed for modeling multiservice network has been created and its adequacy has been proved. The analysis of tasks of ensuring quality of service has been conducted and its importance for the development of

modern multiservice telecommunication networks has been shown. It has been proved that the important aspect for improving the main indexes of QoS is solving the problem of routers buffer resource management when applying existing algorithms of queues processing and their modifications. A model and algorithm for resource management in multiservice network nodes have been proposed. The method of priority assignment has been improved. The algorithm for statistical prognostication of the buffer size, evaluation of QoS parameters and performance of the routers classifier under the conditions of multiservice traffic arrival has been developed. The algorithm of imitation model of dynamic distribution and channel throughput reservation has been developed. The method of optimal access node selection based on fuzzy logic has been perfected. The prognostication of the delay value for packets of service with i -th priority and nodes number for ensuring QoS based on the imitation model has been conducted. Based on the obtained dependencies the volume of necessary network node resources for ensuring the established level of QoS time parameters has been determined. Based on the proposed methodic of dynamic prioritization and modified algorithm of queue planning when processing aggregated load, in particular real time multimedia flows, the decrease in delay of processing and transmitting of the information flows of a great granularity in 5 times compared to existing algorithms WFQ has been achieved. Moreover the proposed solutions allow significant decreasing and stabilization of jitter which is very important for the real time flows. In this thesis it is proposed to use the developed methods and models in telecommunication structures as the basis for ensuring quality of service when constructing flexible long-haul transport systems with possibility of organization of scalable networks including broadband wireless networks. The system becomes especially effective under the conditions of significant load on the network communication core, since even slight decrease in delay of real time flows significantly increases quality of service, and in some cases is a major determining factor for ensuring responsiveness of network system on crisis situations.

Keywords: telecommunication network, quality of service, resource balancing, buffer, priorities, multiservice traffic self-similarity.

Здано в набір 19.10.2015. Підписано до друку 23.10.2015.

Формат 60x90 1/16. Зам. № 3005.

Тираж 150 прим. Обсяг 0,9 друк. арк.

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні ПП «Арк-сервіс».

79005, м. Львів, вул. Драгоманова, 16.

