

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

ТИХОНОВА ОЛЕНА ВІКТОРІВНА

УДК 621.391.8/004.738.5.057.4

**КОНВЕЄРНО-МОДУЛЬНИЙ МЕТОД ІНТЕГРАЦІЇ
МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПОТОКІВ З КОНТРОЛЕМ ЗАТРИМОК
В ПАКЕТНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії зв'язку ім. О.С.Попова Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – заслужений працівник освіти України, лауреат Державної премії України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, доктор технічних наук, професор

Воробієнко Петро Петрович,
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, ректор академії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кичак Василь Мартинович,
Вінницький національний технічний університет, декан факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем;

доктор технічних наук, професор
Нестеренко Сергій Анатолійович,
Одеський національний політехнічний університет, проректор з науково-педагогічної та виховної роботи.

Захист дисертації відбудеться 04 грудня 2019 р. о 12.00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.816.01 в Одеській національній академії зв'язку ім. О.С. Попова за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

Автореферат розісланий « 01 » листопада 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Д.М. Степанов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Відмінною рисою сучасних і перспективних телекомунікаційних систем та мереж є розширення асортименту послуг, удосконалення якості обслуговування (QoS) та інтеграція технологій у напрямку створення всеохоплюючого Інтернету речей і мережевих послуг (Internet of Things – IoT, Internet of Everything – IoE). Одним з ключових завдань розбудови перспективних мереж на платформі IMS (IP Multimedia Subsystem) є інтеграція мультимедійних послуг з різними вимогами QoS, у тому числі, таких, що є критичними до затримок в реальному часі (телефонія, телеконференції, трафік телеметрії в автоматизованих сенсорних мережах), разом з іншими послугами, що є менш критичними до часових затримок (трансляція IPTV, завантаження файлів тощо). Важливу роль у цьому процесі відіграє оптимальний розподіл ресурсів і цифрових потоків у концепції програмно конфігурованих мереж SDN (Software-Defined Networking). Аналіз відомих методів передачі мультимедійних даних показав, що слабкою ланкою конвергенції різних типів мереж (зокрема, телефонних і комп'ютерних мереж, а також сенсорних мереж IoT) є інтеграція потоків реального часу в загальний мультимедійний пакетний трафік на основі протоколу між-мережевої взаємодії IP у стеку TCP/IP.

Згідно концепції міжнародного союзу електрозв'язку (ITU), конвергентні мережі майбутнього мають спиратися на перехід до версії IPv6, який суттєво розширює адресний простір. Натомість, контроль та обмеження затримок даних реального часу, у т.ч. на основі концепції IMS поверх IPv6, залишається невирішеною задачею, а відомі підходи до побудови телекомунікаційних мереж на базі стеку TCP/IP не в повній мірі задовольняють зростаючі вимоги споживачів до якості мультимедійних послуг. Внаслідок сказаного вище, *виникає актуальна науково-прикладна задача – створення ефективного механізму для сумісної передачі мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу у пакетних телекомунікаційних мережах.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Дисертаційна робота пов'язана з положеннями «Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», «Національної програми інформатизації України», і є продовженням наукових досліджень, які проводились в ОНАЗ ім. О.С. Попова у 2012–2017 роках: «Дослідження та розробка технологічних рішень створення національної мережі наступного покоління» (шифр «Технології», ДР № 0113u004761, 2012-2013), виконавець розділу 2 (Дослідження статистичних характеристик динамічного управління цифровими потоками в IP-мережах); «Дослідження наукоємних технологічних рішень в інфокомунікаціях» (шифр: «Інфокомунікації», ДР № 0114u006572, 2013-2014), виконавець розділу 6 (Дослідження методу динамічного управління пакетними повідомленнями з контролем часу затримки); «Методи моделювання та управління цифровими потоками в мережах» (шифр: «Інфокомунікації», ДР № 0115U005947, 2014-2015), відповідальний виконавець роботи, виконавець підрозділу 2.1 (Метод передавання даних реального часу з контролем затримок по IP-мережі); «Дослідження існуючих та розробка нових принципів і методів передачі трафіка ре-

ального часу по пакетних мережах» (ДР № 0116U006063, 2015-16), виконавець розділу 3 (Вдосконалення протоколів мережевого рівня для передачі мультимедійного трафіка) та розділу 4 (Принципи побудови мережного інтерфейсу для реалізації методу конвеєрно-модульної передачі даних); «Удосконалення технологій побудови та методів проектування телекомунікаційних мереж із використанням адекватних математичних моделей трафіка» (ДР № 0116U003632, 2016-17), співвиконавець розділу 2.2 (Принципи оптимізації розподілу потоків у мережі), виконавець розділу 9.1 (Моделювання та оптимізація інформаційних потоків у транспортній мережі NGN) та 9.2 (Методи інтеграції мультимедійних даних в пакетній мережі NGN).

Мета і завдання роботи

Метою дисертаційної роботи є *розробка методу інтеграції мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу в пакетних телекомунікаційних мережах*. Для досягнення даної мети в роботі вирішувались наступні взаємопов'язані задачі.

1) Визначення технологічних особливостей і вимог QoS при передачі мультимедійних даних методами комутації каналів та методами комутації пакетів, обґрунтування передумов подальшого розвитку методів управління мультимедійними потоками і підвищення якості сервісів реального часу в пакетних телекомунікаційних мережах.

2) Розробка та дослідження конвеєрно-модульного методу інтеграції мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу на основі нового методу агрегації даних у каналі зв'язку, а також удосконаленого методу пакетної передачі агрегованого потоку між вузлами телекомунікаційної мережі.

3) Оптимізація розподілу потоків мережі на основі нового методу розрахунку максимального потоку та удосконаленої тензорної моделі відкритої мережі.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження у дисертаційній роботі є процеси передачі мультимедійних даних у телекомунікаційних мережах. Предметом дослідження є методи інтеграції мультимедійних потоків у застосуваннях реального часу в пакетних телекомунікаційних мережах.

Методи дослідження. При розробці методу інтеграції мультимедійних потоків в роботі використовувались методи системного аналізу, теорія інформації та мереж зв'язку. Синтез математичної моделі відкритої мережі та оптимізація розподілу потоків здійснювалися на основі теорії графів, матричного і тензорного аналізу. У дослідженні алгоритмів інтеграції мультимедійних потоків застосовувались методи імітаційного комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є *вперше розроблений* конвеєрно-модульний метод інтеграції мультимедійних потоків з контролем затримок на основі групової потокової агрегації даних у пакетних мережах. *На відміну від існуючих*, даний метод запроваджує на мережевому рівні сумісну передачу IP-пакетів і потокових даних реального часу за протоколом віртуальних з'єднань VCP та інших потокових даних за протоколом логічних з'єднань LCP, а також оптимізує розподіл потоків у відкритій навантаженій мережі. *За*

рахунок цього обмежуються затримки даних реального часу, прискорюється передача інших поточкових даних, зменшується обсяг службових даних, а також підвищується продуктивність мережі.

У межах головного наукового результату отримано наступне:

1. *Уперше* розроблено метод групової потокової агрегації мультимедійних даних у телекомунікаційному каналі, *відмінний від існуючих тим*, що на мережевому рівні формується послідовність сегментів трьох типів даних за протоколами VCP, LCP та IP для сумісної передачі поточкових даних реального часу за принципом комутації каналів з резервуванням ресурсів, інших поточкових даних за принципом комутації по мітках, а також IP-пакетів відомими методами. *За рахунок цього* прискорюється передача поточкових даних і зменшується обсяг службових даних.

2. *Удосконалено* метод пакетної передачі мультимедійних даних *шляхом* розділення вихідного агрегованого потоку на конвеєрні модулі СТМ, які вкладаються у періодично циркулюючі кадри каналного рівня; при цьому на приймальній стороні каналу послідовність модулів реконструюється у вхідний агрегований потік, а затримка передачі конвеєрного модуля дорівнює періоду циркуляції кадрів. *За рахунок цього* затримки даних окремих потоків реального часу обмежуються в залежності від індивідуальних вимог QoS для кожного потоку.

3. *Уперше* розроблено метод обчислення та розподілу максимального потоку на відкритому вільно-орієнтованому графі мережі, *відмінний від існуючих* наявністю трьох відкритих полюсів та гнучким перерозподілом ваги ребер у прямому та зворотному напрямках, *за рахунок чого* збільшується продуктивність мережі з динамічною конфігурацією каналів зв'язку.

4. *Удосконалено* тензорну модель потоків у відкритій триполюсній мережі *шляхом* доповнення тензора провідності мережі тензором генераторів потоків, *за рахунок чого* забезпечується динамічна адаптація мережі до зовнішнього інформаційного навантаження.

Практичне значення отриманих результатів

Дисертаційна робота створює науково-технічне підґрунтя для нових протоколів та апаратно-програмних засобів інтеграції мультимедійних потоків у телекомунікаційних мережах. Для практичного застосування теоретичні положення роботи доведено до конкретних алгоритмів та імітаційних моделей, що підтверджено трьома відповідними актами впровадження.

Практично значущими результатами дисертаційної роботи є наступні.

1) Програмний симулятор групової потокової агрегації мультимедійних даних (у середовищі Linux/Python), як основа для розробки апаратно-програмного інтерфейсу між-мережевої взаємодії з контролем затримок у потоках реального часу, а також протокол конвеєрно-модульної передачі мультимедійних даних через інтерфейс Raw Socket Ethernet як основа для розробки протоколу потокової передачі з контролем затримок в пакетних мережах, у ДП «НДІ мікроприладів» НАН України;

2) Метод та програмний алгоритм для обчислення і оптимального розподілу інформаційних потоків, а також метод і протоколи інтеграції мультимедійних

даних у пакетній мережі як складова частина НДР № ДР 0116U003632 «Удосконалення технологій побудови та методів проектування телекомунікаційних мереж із використанням адекватних математичних моделей трафіка», що виконувалась в ОНАЗ ім. О.С. Попова у 2016-2017 рр.

3) Метод і комп'ютерна методика тензорного моделювання та оптимізації потоків у відкритій програмно конфігурованій мережі, як частини курсу «Моделювання та оптимізація систем та мереж» за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка в ОНАЗ ім. О.С. Попова.

Особистий внесок здобувача

Основні наукові, теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи одержані та опубліковані автором особисто [7, 8, 11-13, 24, 26, 28, 29, 31-35, 42, 44, 46-48]. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належать: [1, 6, 23, 19, 20] – побудова і моделювання тензорних операцій у Mathcad; [2, 9, 16, 25, 45, 52, 53] – симуляція протоколів взаємодії у середовищі Linux/Python; [3, 4, 10, 50] – розробка алгоритмів комп'ютерного моделювання; [5, 56] – аналіз коректності протоколу динамічної системи адресації; [14, 41, 49, 55] – дослідження задачі про максимальний потік на вільно-орієнтованому зваженому графі; [15, 17, 51, 54] – побудова та верифікація тензорної моделі в середовищі Mathcad; [18] – аналіз методів маршрутизації пакетів; [22] – розробка функціональної схеми мережевого адаптера; [27] – обчислення статистичних параметрів пакетного трафіку для маршрутизатора ядра мережі доступу; [30] – розробка алгоритму для контролю рівня помилок при варіації швидкості передачі даних; [36, 40, 50, 52, 53] – розробка конвеєрно-модульного методу інтеграції мультимедійних даних у послідовному каналі; [37-39] – спосіб кодування даних за принципами формальної граматики; [43] – обчислення швидкодії алгоритму для передавання даних.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались на 28 міжнародних та 10 всеукраїнських конференціях, у т.ч.: International Scientific and Practical Conf. “High-Tech Technologies in Infocommunications” (Kamyanec-Podilsky, 2019); II International Conf. on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (Odessa, 2017); II International Conf. on Advanced Information and Communication Technologies (Lviv, 2017); XVII міжнародна НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Одеса, 2017); X міжнародна НПК «Інтернет, Освіта, Наука» (Вінниця, 2016); II міжнародна НПК «Інформаційні технології та взаємодії» (Київ, 2015 р.); XV міжнародна НТК «Проблеми інформатики та моделювання» (Харків-Одеса, 2015); XII International Conf. “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science” (Lviv-Slavske, 2014); I International scientific-practical conf. “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (Харків, 2014); IV міжнародна НПК «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» (Одеса, 2014); XII міжнародна конференція “The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics” (Львів, 2013); XI міжнародна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії» (Львів-Славське, 2012).

Публікації

Результати дисертаційної роботи відображені у 56 публікаціях: 17 статей згідно Переліку наукових фахових видань України [1-17] (у т.ч. 5 одноосібних [7, 8, 11-13]; стаття [16] індексована у Scopus, 15 статей індексовано в інших наукометричних базах); 38 публікацій у збірниках матеріалів конференцій [18-55], у т.ч. 28 міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій (з них 3 індексовано у Scopus [20, 25, 42]); 1 патент України [56].

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних джерел і семи додатків. Загальний обсяг роботи становить 196 сторінок, із них 136 сторінок основного тексту з 41 рисунком і 10 таблицями, 21 сторінка списку використаних джерел з 207 найменувань, 35 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано науково-прикладну задачу, відображено її зв'язок з науковими програмами і темами, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про публікації і особистий внесок автора за темою роботи.

У *першому розділі* проведено огляд методів передачі мультимедійних даних і забезпечення якості обслуговування в телекомунікаційних мережах. Досліджено особливості комутації каналів і пакетів, а також потокової передачі інформації. Зазначено, що пакетна комутація традиційно застосовується при передачі файлів, а також поширюється для переносу аудіо/відео контенту і спілкування у реальному часі. Незважаючи на певні обмеження, IP-платформа залишається основним засобом інтеграції мультимедійних сервісів в телекомунікаціях. Натомість, складність забезпечення QoS в додатках реального часу пакетних мереж поки не дозволяє відмовитися від систем з часовим ущільненням. Недоліками останніх є висока собівартість трафіку і неефективне використання ресурсу каналу. Зроблено висновок, що перехід від IP до нових принципів міжмережевої взаємодії є необхідним та очікуваним, але достатньо тривалим. Тому у найближчому майбутньому необхідно забезпечити ефективне використання існуючого мережевого обладнання та адаптацію базових технологій до зростаючих вимог. Сформульовано актуальну науково-прикладну задачу перехідного етапу, яка полягає у створенні ефективного механізму для сумісної передачі мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу у пакетних телекомунікаційних мережах.

У *другому розділі* представлено два наступні наукові результати.

1) Уперше розроблено метод групової потокової агрегації мультимедійних даних у телекомунікаційному каналі, який забезпечує сумісну передачу поточкових даних реального часу за принципом комутації каналів з резервуванням ресурсів, інших поточкових даних за принципом комутації по мітках, а також IP-пакетів відомими методами.

2) Удосконалено метод пакетної передачі мультимедійних даних, який обмежує затримки даних потоків реального часу в залежності від індивідуальних вимог QoS для кожного потоку.

В рамках першого наукового результату розроблено розширену трирівневу модель взаємодії відкритих систем, яка спирається на відому концепцію IMS у моделі NGN/ITU, але при цьому доповнюється двома новими протоколами мережевого рівня – протоколом віртуального з'єднання (VCP) та протоколом логічного з'єднання (LCP), рис. 1. Протокол VCP запроваджує передачу поточкових даних реального часу з резервуванням ресурсів і контролем затримок. Протокол LCP прискорює передачу інших поточкових даних.



Рисунок 1 – Розширена трирівнева модель взаємодії відкритих систем

Сутність методу групової потокової агрегації мультимедійних даних полягає у наступному. Драйвер другого рівня у комутаторі пакетів і потоків, виконуючи комутацію та/або маршрутизацію протокольних одиниць даних трьох типів (VCP, LCP, IP), формує три черги на вході кожного мультиплексу MUX у вихідних портах комутатора, рис. 2. Черги VCP та LCP є довільні послідовності сегментів даних типу VCP і LCP, які обробляються через таблиці віртуальних та логічних з'єднань відповідно. Кожен VCP та LCP сегмент має двобайтову мітку потоку і корисне навантаження. Черга IP-пакетів є послідовність IP-пакетів за стандартом IP/v4/v6. За допомогою тегів розмітки, мультиплексор відображує три вихідні черги (VCP, LCP, IP) у послідовність конвеєрно-транспортних модулів (CTM). Для VCP-даних резервується ємність модулів CTM на етапі встановлення віртуального з'єднання.

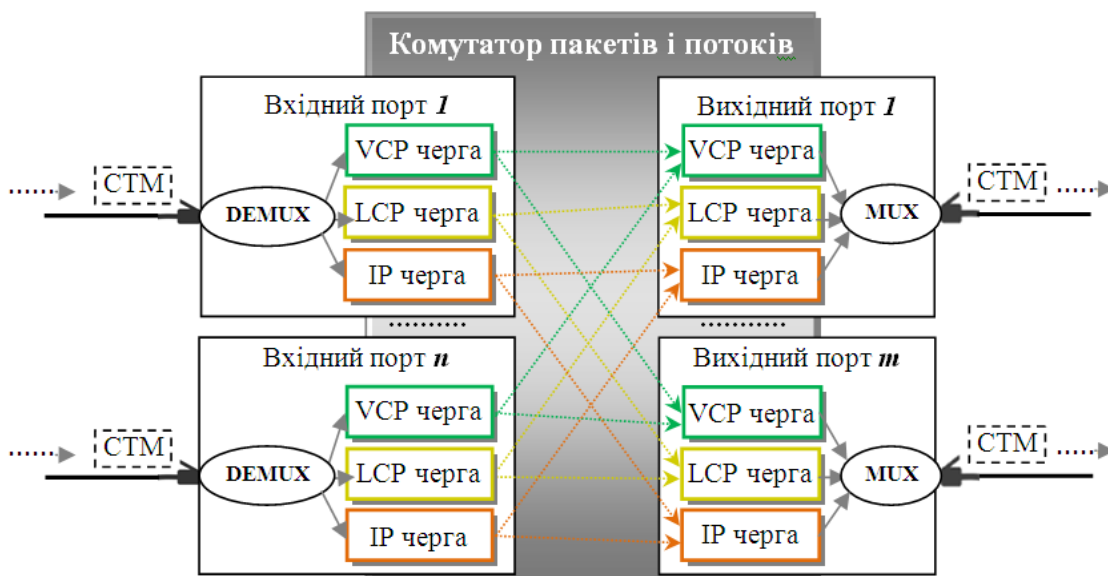


Рисунок 2 – Модель комутатора пакетів і потоків

У разі неприбуття чергового VCP-сегменту, його місце в модулі СТМ надається даним з черг LCP або IP, що забезпечує повне використання ємності модуля за умови непустих черг LCP та/або IP.

В рамках другого наукового результату удосконалено метод пакетної передачі мультимедійних даних, який передбачає модифікацію підрівня MAC технології Ethernet в режимі Raw Socket (формування нестандартної структури фрейму). А саме, між суміжними вузлами пакетної мережі з періодом T циркулюють фрейми Raw Socket Ethernet, кожен з яких містить один модуль СТМ. Період T залежить від швидкодії каналу зв'язку та розміру фрейму. VCP-сегменти надходять з періодом $\Theta \geq T$ і гарантовано потрапляють у модуль СТМ в межах інтервалу $\Delta t = (0, \Theta)$. Отже, затримка t передачі VCP-сегменту між суміжними вузлами мережі обмежується величиною $\tau \leq t \leq \tau + \Theta$, де τ – час доставки фрейму по каналу зв'язку. На приймальній стороні каналу послідовність модулів СТМ відображується у відповідні черги IP-пакетів і сегментів даних протоколів VCP та LCP.

В даному розділі також досліджено властивості методу групової потокової агрегації та удосконаленого методу пакетної передачі мультимедійних даних за новими протоколами LCP та VCP.

Перевагами LCP є: а) підвищення швидкості $V2$ комутації LCP-сегментів по мітках потоків порівняно зі швидкістю $V1$ обробки пакетів по таблицях маршрутизації; б) зменшення інформаційної надлишковості за рахунок заміщення частини службової інформації міткою потоку. Основним недоліком LCP є збільшення часу сигналізації порівняно з процедурою “three-hand-shake” у логічному ТСП-з'єднанні. Перевагою пакетної передачі по протоколу VCP є обмеження затримок даних у застосуваннях реального часу.

Оцінка швидкодії LCP. На відміну від ТСП-з'єднання між кінцевими абонентами мережі, логічне з'єднання LCP здійснюється на мережевому рівні між суміжними комутаторами вздовж всього маршруту. Тому в роботі передбачено 5-крокова сигналізація: «запит клієнта (SYN-C) – підтвердження сервера (ACK-S) – підтвердження клієнта (ACK-C) – маршрутизація з'єднання (PATH-S) – встановлення з'єднання (LINK-C)», рис. 3. Кількість пакетів, що передано по IP за час $t_{IP} = 3 \cdot T1 + T2$, є $N = V1 \cdot T2$. Нехай t_{LCP} – час передачі N пакетів по LCP. Звідси $t_{LCP} = 5 \cdot T1 + N/V2 = 5 \cdot T1 + (T2 \cdot V1)/V2$. Позначимо $\alpha = T2/T1$. Тоді $t_{IP} = T1 \cdot (3 + \alpha)$; $t_{LCP} = T1 \cdot (5 + \alpha \cdot (V1/V2))$. Оцінимо швидкодію протоколу LCP показником $\beta(\alpha, V1/V2) = t_{LCP}/t_{IP} = (5 + \alpha \cdot V1/V2)/(3 + \alpha)$.

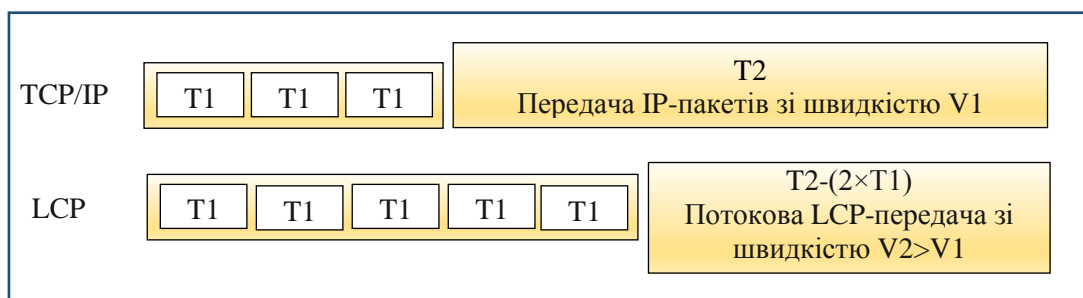


Рисунок 3 – Діаграма передачі даних за ТСП та LCP.

$T1$ – затримка сигнального пакету; $T2$ – час передачі корисних даних

Параметричне сімейство функцій $\beta(\alpha, V1/V2)$ для різних значень $V1/V2$ і фіксованого $T1$ зображено на рис. 4. Переваги LCP досягаються при $\beta < 1$ для заданого $\alpha = T2/T1$, тобто при передачі достатньо великої кількості пакетів в межах одного логічного з'єднання. Натомість, короткі повідомлення швидше передаються по IP. При $V1/V2 \rightarrow 0$, значення $\beta = 1$ досягається для $T2 = 2 \cdot T1$.

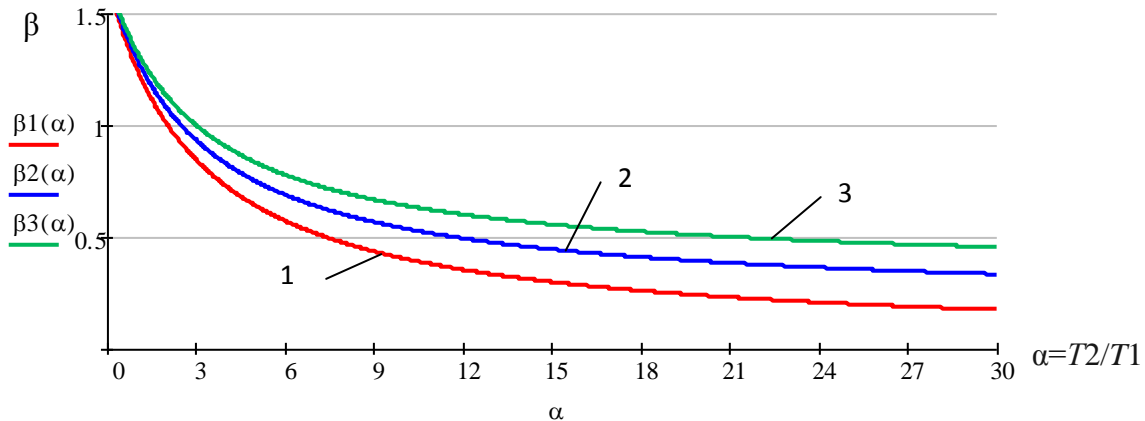


Рисунок 4 – Швидкодія протоколу LCP проти TCP/IP в залежності від α .
1) $V1/V2=1/40$; 2) $V1/V2=1/5$; 3) $V1/V2=1/3$

Оцінка зменшення інформаційної надлишковості протоколу LCP проведена для трьох модифікацій LCP: LCP1 – інкапсуляція пакетів IPv4 у LCP-сегменти; LCP2 – інкапсуляція IPv6 у LCP-сегменти; LCP3 – безпосередній перенос даних через LCP-сегменти. Відповідні коефіцієнти інформаційної надлишковості β_{IPv4} , β_{IPv6} , β_{LCP1} , β_{LCP2} , β_{LCP3} розраховано як співвідношення корисної інформації Q до повної. Кожний LCP-сегмент має 3 службових байти: тег (1 байт) і мітка потоку (2 байти); окрім того, два з шести байтів заголовку модуля СТМ визначають розмір блоку усіх LCP-сегментів модуля. На рис. 5 показано графіки відсоткового зменшення інформаційної надлишковості в залежності від Q для трьох модифікацій LCP. Переваги передачі даних по LCP залежать від розміру корисного навантаження. Найбільші переваги LCP мають місце для невеликих блоків корисних даних. Найбільш ефективним за цим критерієм є застосування версії LCP3 (3-тя функція на рис. 5).

інформаційна надлишковість передачі даних, β

$\beta_{LCP1}(Q) - \beta_{IPv4}(Q)$

$\beta_{LCP2}(Q) - \beta_{IPv6}(Q)$

$\beta_{LCP3}(Q) - \beta_{IPv4}(Q)$

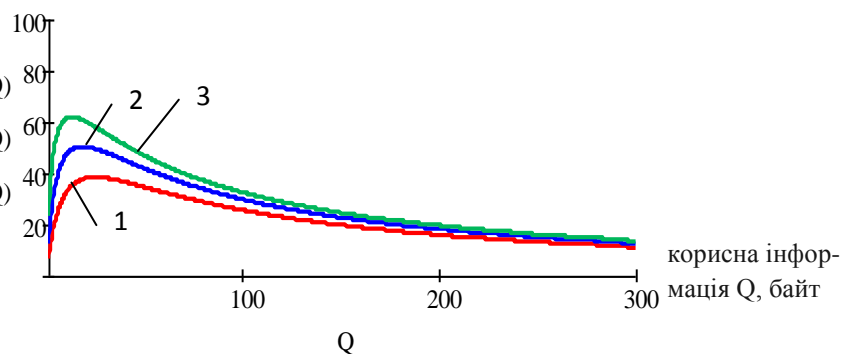


Рисунок 5 – Зменшення інформаційної надлишковості:
1) $\beta_{LCP1} - \beta_{IPv4}$; 2) $\beta_{LCP2} - \beta_{IPv6}$; 3) $\beta_{LCP3} - \beta_{IPv4}$

Оцінка ефективності передачі даних по протоколу VCP

Протокол VCP забезпечує поточкову передачу даних реального часу за віртуальними з'єднаннями з резервуванням ресурсів і трьома основними параметрами для кожного k -го з'єднання: τ_k – максимальна затримка VCP-сегменту даних; f_k – частота генерації сегментів; d_k – розмір сегменту. Як зазначено вище, затримка t передачі VCP-сегменту знаходиться в межах $\tau \leq t \leq \tau + \Theta$, де τ – час доставки фрейму між суміжними вузлами мережі; $\Theta \geq T$ – часовий інтервал, в межах якого VCP-сегменти гарантовано потрапляють у модуль СТМ; T – період циркуляції модулів СТМ для даного каналу і розміру фрейму. Якщо $\Theta = T$ (тобто, VCP-сегмент має гарантований слот у кожному модулі СТМ), то $\tau \leq t \leq \tau + T$.

Затримка t IP-пакету на маршрутизаторі може перевищувати величину $\tau + T$ (зокрема, через очікування у черзі). Відомо, що затримка IP-пакетів – це не стаціонарна і не ергодична функція часу (тобто її статистичні характеристики змінюються у часі одного експерименту та в різних паралельних експериментах). Поширеними апроксимаціями розподілу щільності ймовірності для затримок IP-пакетів $\rho(t)$ є експоненціальний та логарифмічно нормальний закони, а також деякі інші закони.

Погіршення якості (втрати) від затримки t оцінимо зростаючою функцією $W(t)$, яка обумовлюється конкретними вимогами клієнта до окремого VCP-з'єднання. На рис. 6 показано три типових нормованих функції втрат: релейна $W1(t)$, лінійна $W2(t)$, квадратична $W3(t)$. В якості оцінки втрат від затримок обере

ремо інтегральну характеристику очікуваних середніх втрат $R = \int_0^{\infty} W(t) \cdot \rho(t) \cdot dt$.

Затримки IP-пакетів апроксимуємо логарифмічно нормальним законом розподілу ймовірностей. В якості мінімальної та максимальної затримки VCP-сегментів розглянемо варіант $t_{min} = \tau$, $t_{max} = \tau + T$; розподіл ймовірностей затримок VCP-сегментів на цьому інтервалі вважатимемо рівномірним. Час t визначимо у відносних одиницях t/T на інтервалі $(0, 14)$, рис. 6.

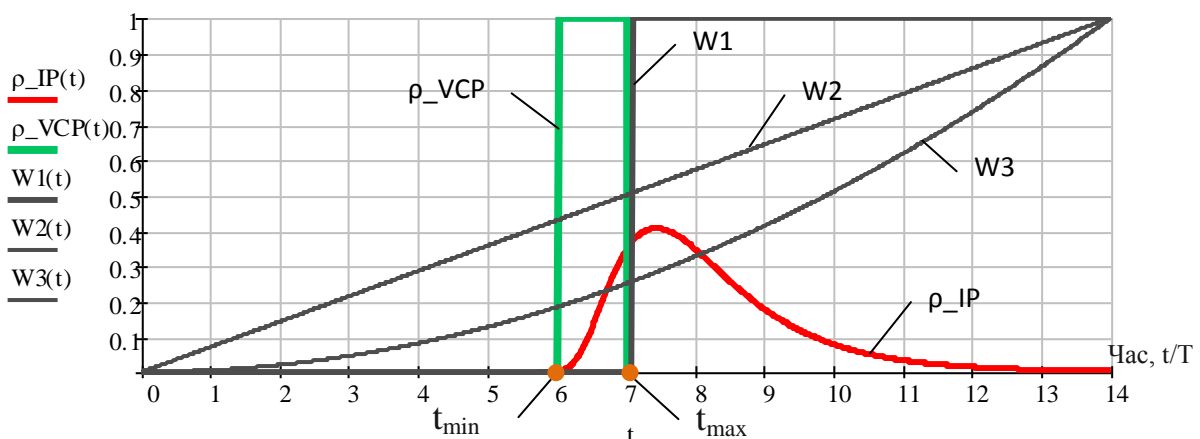


Рисунок 6 – Розподіл ймовірності затримок та типові функції втрат

Результати розрахунку нормованих середніх втрат відповідно до рис.6 наведено у табл. 1. В залежності від заданої функції розподілу втрат, зменшення нормованих середніх втрат при потоковій передачі даних за протоколом VCP по відношенню до пакетної передачі даних за IP становить від 0,11 до 0,84.

Середні нормовані значення втрат від затримок
для IP та VCP для трьох типових функцій втрат $W1(t)$, $W2(t)$, $W3(t)$

	$W1(t)$	$W2(t)$	$W3(t)$
R_{IP}	0,84	0,58	0,35
R_{VCP}	0	0,47	0,22
ΔR	0,84	0,11	0,13

У третьому розділі представлено 3-й та 4-й наукові результати.

Третій науковий результат. Уперше розроблено метод обчислення та розподілу максимального потоку на відкритому вільно-орієнтованому графі мережі, що збільшує продуктивність мережі з динамічною конфігурацією каналів зв'язку. В рамках цього результату досліджено питання математичного моделювання, оптимізації і динамічного розподілу інформаційних потоків мережі. Систематизовано методи аналізу потоків на зваженому орієнтованому графі як моделі логістичної мережі, зокрема, способи формалізації та алгоритми розв'язання задачі про максимальний потік мережі.

Показано, що орієнтований зважений граф відповідає процесам транспортування натуральних товарних продуктів в системах логістики, в яких симплексні канали постачання є природно орієнтованими в одному напрямку від виробника (відображається на графі вузлом-витоком продукту) до споживача (відображається на графі вузлом-стоком продукту). Поширення такого підходу до мереж з двонаправленими каналами не завжди є виправданим. Зазначено, що головна відмінність телекомунікаційної мережі від традиційної логістичної мережі полягає у тому, що телекомунікаційні мережі мають двосторонній характер потоків даних у більшості телекомунікаційних каналів. За цих обставин, кожен відкритий мережевий полюс слід розглядати як одночасне джерело та приймач (виток і стік).

Для моделювання програмно конфігурованих мереж з дуплексними каналами, введено поняття «вільно орієнтованого каналу зв'язку», а також його представлення у «вільно орієнтованому зваженому графі». Сформульовано задачу про максимальний потік у багатополісній мережі на відкритому вільно орієнтованому зваженому графі, особливості якої показано на рис. 7.

При однакових ресурсах мережі, запропонована модель збільшує максимальний потік ($f1 + f2 + f3 = 15$ проти $f1 + f2 = 10$).

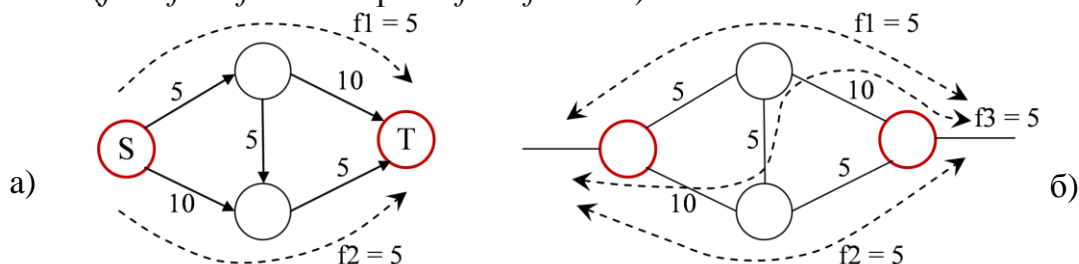
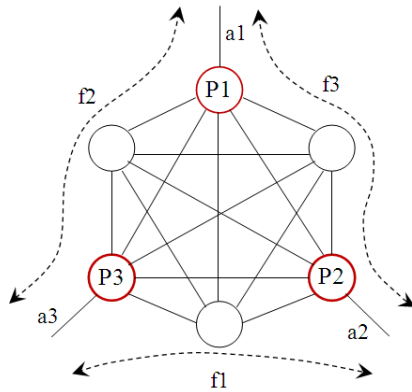


Рисунок 7 – Задача про максимальний потік: а) для замкнутого орієнтованого графу; б) для відкритого вільно-орієнтованого графу

Також, в рамках третього наукового результату розроблено математичний метод і комп'ютерний алгоритм для пошуку максимального потоку у триполюсній мережі з динамічно конфігурованими каналами зв'язку. Даний метод формулює оптимізаційну задачу (з трьома обмеженнями-нерівностями), рис. 8.

В залежності від співвідношення вхідних даних, рішення задачі (максимальний потік та його розподіл по ребрах графу) визначається аналітично (у вигляді формул) або алгоритмом обчислення.



$$f1 + f2 + f3 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} (f2 + f3) \leq a1 \\ (f1 + f3) \leq a2 \\ (f1 + f2) \leq a3 \end{cases}$$

Рисунок 8 – Оптимізаційна задача на триполюсному вільно орієнтованому графі

Четвертий науковий результат. Удосконалено тензорну модель потоків у відкритій програмно конфігурованій триполюсній мережі, що забезпечує динамічну адаптацію мережі до зовнішнього інформаційного навантаження. В рамках цього результату зазначено, що відомі тензорні моделі телекомунікаційних мереж відображують властивості структури мережі, але не враховують зовнішнє навантаження.

Удосконалена модель доповнена поняттям «тензор зовнішніх генераторів потоків» відкритої мережі, що забезпечує динамічну адаптацію мережі до змінного інформаційного навантаження. Для представлення потоків мережі в геометричній тензорній формі, введено N -мірний евклідовий простір \mathbf{R}^N через дійсну ермітову матрицю \mathbf{R} потокової взаємодії відкритої мережі, яку відображено у нормовану позитивно обумовлену дійсну ермітову матрицю \mathbf{H} . Матриця \mathbf{H} задовольняє умови метричного тензору Рімана.

На основі розкладу матриці \mathbf{H} через діагональну матрицю власних чисел \mathbf{L} та унітарну матрицю власних векторів \mathbf{Z} , визначено тензор потоків 1-го рангу $\underline{\mathbf{V}}$: $\underline{\mathbf{V}} := +\sqrt{\mathbf{H}} = +\sqrt{\mathbf{Z}^* \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{Z}} = \mathbf{Z}^* \cdot (+\sqrt{\mathbf{L}}) \cdot \mathbf{Z}$, де $\underline{\mathbf{V}}$ – дійсна унітарна ермітова матриця, кожна строчка якої є набором проєкцій одного вектору в ортонормованому базисі N -мірного евклідового простору \mathbf{R}^N .

Геометричним змістом матриці \mathbf{H} є скалярний добуток векторів системи $\underline{\mathbf{V}}$, що відображають потоки у мережі. Розроблений в роботі ітераційний алгоритм для розрахунку потоків навантаженої мережі з урахуванням тензора зовнішніх генераторів потоків відображено на рис. 9.

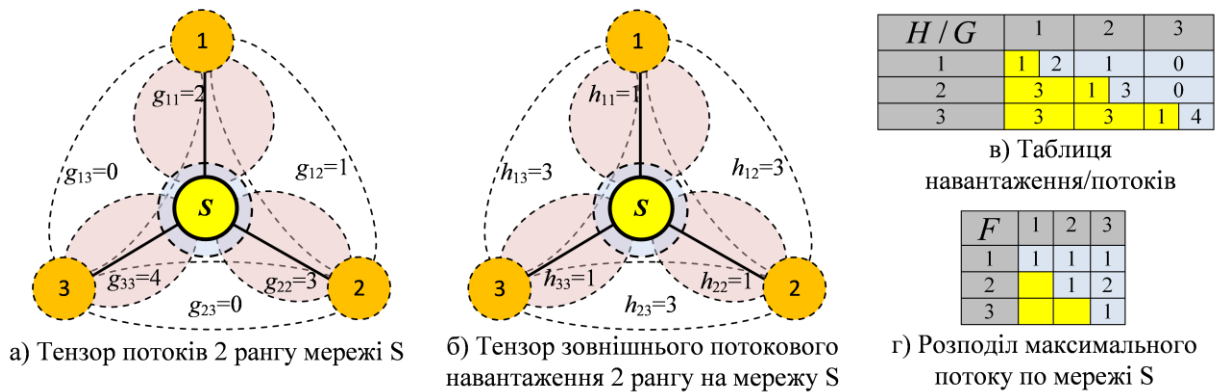


Рисунок 9 – Розрахунок потоків навантаженої мережі з урахуванням тензора зовнішніх генераторів потоків

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі сформульована і вирішена актуальна науково-прикладна задача, яка полягає у створенні ефективного механізму для сумісної передачі мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу у пакетних телекомунікаційних мережах. Основними результатами роботи є наступні.

1) Визначено технологічні особливості та вимоги QoS при передачі мультимедійних даних методами комутації каналів та методами комутації пакетів. Обґрунтовано передумови подальшого розвитку методів управління мультимедійними потоками і підвищення якості сервісів реального часу в пакетних телекомунікаційних мережах, на основі чого сформульовано основні принципи для досягнення мети дисертаційної роботи.

2) Розроблено та досліджено конвеєрно-модульний метод інтеграції мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу на основі нового методу агрегації даних у каналі зв'язку, а також удосконаленого методу пакетної передачі агрегованого потоку між вузлами телекомунікаційної мережі. За рахунок цього, на мережевому рівні обмежуються затримки поточкових даних реального часу, прискорюється передача поточкових даних, не критичних до часових затримок, а також зменшується службовий трафік.

3) Оптимізовано розподіл потоків мережі на основі нового методу розрахунку максимального потоку на відкритому вільно-орієнтованому триполюсному графі та удосконаленої тензорної моделі відкритої мережі. За рахунок цього, підвищується продуктивність мережі та забезпечується її динамічна адаптація до зовнішнього інформаційного навантаження.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у тому, що вона створює науково-технічне підґрунтя для нових протоколів та апаратно-програмних засобів інтеграції мультимедійних потоків у телекомунікаційних мережах. Теоретичні положення роботи доведено до конкретних алгоритмів та імітаційних моделей, що підтверджено трьома відповідними актами впровадження. Практично значущими результатами є: програмний симулятор групової потокової агрегації мультимедійних даних; протокол конвеєрно-модульної передачі мультимедійних даних; програмний алгоритм оптимального розподілу інформацій-

них потоків; протоколи інтеграції мультимедійних даних у пакетній мережі; комп'ютерна методика тензорного моделювання та оптимізації потоків у відкритій програмно конфігурованій мережі. Результати дисертаційної роботи впроваджено у ДП «Науково-дослідний інститут мікроприладів» НАН України, а також в ОНАЗ ім. О.С. Попова (НДР № ДР 0116U003632 та навчальний курс «Моделювання та оптимізація систем та мереж» за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тихонов В.И., Тихонова Е.В. Тензорная модель фильтрации трафика в сети доступа // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. 2010. № 2. С. 50-59.
2. Воробийенко П.П., Тихонов В.И., Тихонова Е.В. Принципы построения сетевых протоколов по интегрированной технологии телекоммуникаций UA-IT // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. №5/9 (53). С. 15-19.
3. Тихонов В.И., Тихонова Е.В. Фрактальная модель открытой однопродуктовой системы // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2011. № 6/9(54) . С. 35-39.
4. Тихонов В.И., Тихонова Е.В. Нормализация модели взаимодействия объектов инфо-коммуникационной сети // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. 2011. №53. С. 101-109.
5. Воробийенко П.П., Тихонов В.И., Смирнов И.В., Тихонова Е.В., Голубова О.В. Открытая иерархическая адресация объектов многоуровневой кольцевой сети // Радіотехніка. 2011. №167. С. 95-101.
6. Тихонов В.И., Радкевич С.Д., Тихонова О.В. Тензорна модель потоків у відкритій транспортній мережі // Вісник НТУ, ч.2. 2011. №24. С. 224–229.
7. Тихонова О.В. Метод передавання даних реального часу з контролем затримок по IP-мережі // Наукові праці ОНАЗ. 2014. № 2. С. 207-213.
8. Tykhonova O.V. Quantum field model of data transfer in telecommunication network // Наукові праці ОНАЗ. 2015. № 1. С. 118-126.
9. Tikhonov V.I., Taher A., Tykhonova O.V. Conveyor module resource scheduling in packet based communication channel // Вісник НТУ "ХПІ", Серія: Інформатика та моделювання. 2016. № 21 (1193). С. 152–161.
10. V. Tikhonov, A. Taher, O. Tykhonova. Simulation the algorithm of multimedia data integration in packet based digital channel // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2016. № 2. Р. 151-155.
11. Tykhonova O.V. The principles of maxflow task study for multi-pole software defined network // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2017. № 2. С. 159-163.
12. Tykhonova O.V. Scope extension in a converged network // Information and Telecommunication Sciences. 2017. No. 2. P. 11-17.
13. Tykhonova O.V. The maxflow problem analysis on free-oriented network graph // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2018. № 1. Р. 139-143.

14. Тихонова Е.В., Яворская О.М., Березовский В.В. Верификация алгоритма максимального потока для трехполюсного графа сети // Вісник ХНУ (технічні науки). 2018. № 5. С. 36-41.

15. Tikhonov V.I., Tykhonova O.V. Cognitive tensor model of a system based on von Neumann classes // Вісник НТУ "ХПІ", серія: "Інформатика та моделювання". 2018. № 42. С. 82-97.

16. Tikhonov V., Tykhonova O., Tsyra O., Yavorska O., Taher A., Kolyada O., Kotova S., Semenchenko O., Shapenko E. Modeling the conveyor-modular transfer of multimedia data in a sensor network of transport system // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol 2, No. 2 (98). P. 6-14.

17. Tikhonov V.I., Tykhonova O.V. The math modeling cognitive issues of general system theory // Вісник НТУ "ХПІ", серія: «Інформатика та моделювання». 2019. № 13 (1339). С. 132-149.

18. Воробиенко П.П., Тихонова Е.В. Описание динамики очередей в задаче маршрутизации пакетов // Матеріали міжнародної НПК «Інфокомунікації: проблеми та перспективи розвитку» (Одеса, 8-10 вересня 2010 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2010. С. 62-64.

19. Тихонов В.І., Тихонова О.В. Методика побудови матриці потоків для відкритої мережі підприємства // Матеріали 66-ї НТК професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 4-6 грудня 2011р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2011. С. 74-77.

20. Vorobiyenko P., Tykhonova O., Smirnov I. Computation Technique for IP-Traffic Tensor Modeling // Proceedings of the XI International conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" (Lviv-Slavske, February 21-24, 2012). Lv.: Lviv Polytechnic National University, 2012. P. 237.

21. Воробієнко П.П., Тихонов В.І., Голубова О.В., Тихонова О.В. Принципи управління цифровими потоками у інтегрованій технології телекомунікацій // Матеріали VIII міжнародної НПК «Інтернет-Освіта-Наука-2012» (Вінниця, 1 – 5 жовтня 2012 р.). В.: ВНТУ, 2012. С. 134–135.

22. Vorobiyenko P.P., Smirnov I.V., Tykhonova O.V., Ovcharenko P.V. Computer Aided Design of Enhanced Network Adapter // Proceedings of the XII International conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics" (Lviv, February 19-23, 2013). Lv.: Lviv Polytechnic National University, 2013. P. 374.

23. Тихонова О.В., Василенко І.П., Луценко В.П. Аналіз комплексної тензорної моделі комутатора цифрових потоків // Матеріали 68-ї НТК професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 4-6 грудня 2013 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2013. С. 21-24.

24. Tykhonova O. Analysis of the Access Network Traffic // Proceedings of the International conference TCSET'2014 "Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science" (Lviv-Slavske, February 25 – March 1, 2014). Lv.: Lviv Polytechnic National University, 2014. P. 566-567.

25. Tykhonova O., Tikhonov V., Golubova O. Integrated telecommunication technology UA-ITT: Adaptation approach to Ethernet networks // Proceedings of the

I International scientific-practical conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (Kharkiv, October 14-17, 2014). Ministry of education and science, KhNURE, Academy of sciences of applied radioelectronics. Kh.: KhNURE, 2014. P. 83-84.

26. Tykhonova O. Multimedia QoS-aware data transfer over the packet-based network // Proceedings of the 9 International scientific-practical conference “Internet, Education, Science” (Vinnytsia, October 14-17, 2014). V.: VNTU, 2014. P. 92.

27. Тихонова Е.В., Русначенко П.А. Статистический анализ пакетного трафика в сети доступа предприятия // Матеріали IV міжнародної НПК «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», частина 2 (Одеса, 30-31 жовтня 2014 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2014. С. 104-107.

28. Тихонова О.В. Представлення інформаційних потоків мережі тензорним полем // Матеріали 69-ї НТК професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 3-5 грудня 2014 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2014. С. 107-113.

29. Tykhonova O.V. Method of real-time data protection from uncontrollable delays in packet network // Матеріали I всеукраїнської НПК «Перспективні напрями захисту інформації» (Одеса, 7-9 вересня 2015 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2015. С. 98-99.

30. Tikhonov V.I., Tykhonova O.V. The error control method for symbol transfer in OFDM radio channel with I/Q-phase modulation // Матеріали I всеукраїнської НПК «Перспективні напрями захисту інформації» (Одеса, 7-9 вересня 2015 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2015. С. 100-101.

31. Tykhonova O.V. The principle of multimedia data flow aggregation in packet based network // матеріали XV міжнародної НТК ВОТТП-15-2015 (Одеса, 10-14 вересня 2015 р.). С. 83.

32. Tykhonova O.V. The modular conveyor transfer of multimedia data in packet based network // матеріали XV міжнародної НТК «Проблеми інформатики та моделювання» (Харків-Одеса, 14-18 вересня 2015 р.). С. 95.

33. Tykhonova O.V. An enhanced information technology for object interaction in a packet based network // Матеріали II міжнародної НПК «Інформаційні технології та взаємодії» (Київ, 3-5 листопада 2015 р.). С. 177-178.

34. Tykhonova O.V. An enhanced method of real time data transmission in IP-network // Матеріали V міжнародної НПК «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» (Одеса, 29-30 жовтня 2015 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2015. С. 122-124.

35. Тихонова О.В. Метод мультиплексування потоків віртуальних з'єднань у пакетній мережі // Матеріали 70-ї НТК професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 1-3 грудня 2015 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2015. С. 87-89.

36. Тихонова Е.В., Радкевич С.Д. Конвейерно-модульний принцип управління нестационарным транспортным потоком // Матеріали XVI міжнародної НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Одеса, 10-15 червня 2016 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2016. С. 174.

37. Тихонов В.И., Тахер А., Тихонова Е.В. Применение принципов многоуровневой грамматики к защите персональных данных // Матеріали ІІ всеукраїнської НПК «Перспективні напрями захисту інформації» (Одеса, 3-7 вересня 2016 р.). О.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2016. С. 77-80.

38. Tikhonov V.I., Taher A., Tykhonova O.V., Radkewich S.D. The formal grammar approach to multiproduct flow presentation // Матеріали ХVІ міжнародної НТК «Проблеми інформатики та моделювання» (Харків-Одеса, 12-16 вересня 2016 р.). С. 10.

39. Тихонов В., Тахер А., Тихонова О. Кодування цифрового потоку мережевого рівня за принципами формальної граматики // Матеріали Х міжнародної НПК «Інтернет, Освіта, Наука» (Вінниця, 11-14 жовтня, 2016). В.: ВНТУ, 2016. С. 64-66.

40. Tykhonova O.V., Tikhonov V.I., Berezovsky V.V. The issues of telephone and computer networks convergence // Матеріали ХVІІ міжнародної НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Одеса, 08-13 червня 2017 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2017. С. 23-24.

41. Tykhonova O.V., Tikhonov V.I. The maxflow problem statement for multi-pole software defined network // Матеріали ХVІІ міжнародної НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Одеса, 08-13 червня 2017 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2017. С. 161-164.

42. Tykhonova O.V. Conveyor Transporting Latency Control in Heterogeneous Packet Based Network // Proceedings of the IEEE 2nd International Conference “Advanced Information and Communication Technologies-2017” (Lviv, Ukraine, 4-7 July, 2017). P. 129-132.

43. Тихонов В.И., Тихонова Е.В., Березовский В.В. Алгоритм шифрования данных в канале связи на основе квантовых регистров с троичными разрядами // Матеріали ІІІ всеукраїнської НПК «Перспективні напрями захисту інформації» (Одеса, 2-6 вересня 2017 р.). О.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2017. С. 84-88.

44. Тихонова Е.В. Принципы классификации типов задач о максимальном потоке в транспортной сети // Матеріали ХVІІ міжнародної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (Харків-Одеса, 11-15 вересня 2017 р.). С. 83.

45. Vorobiyenko P., Tykhonova O., Tikhonov V. Interoperability Scope Extension in Converged Packet Based Network // Proceedings of the 2-nd International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics UkrMiCo'2017 (Odesa, September 11–15, 2017). P. 497-500.

46. Тихонова Е.В. Обобщенный алгоритм расчета максимального потока для многополюсной транспортной сети // Матеріали 72-ї НТК професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 13-15 грудня 2017 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2017. С. 69-72.

47. Тихонова О. Оптимізація потоків у багатополісній мережі // Матеріали ХІ міжнародної НПК «Інтернет, Освіта, Наука» (Вінниця, 22-25 травня, 2018). В.: ВНТУ, 2018. С. 70-72.

48. Tykhonova O.V. Scheduling algorithm for conveyor-modular method of multimedia data transfer // Матеріали ХVІІІ міжнародної НТК «Вимірювальна та

обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Одеса, 08-13 червня 2018 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2018. С. 187-189.

49. Тихонова О.В., Яворська О.М., Тихонов В.И. Побудова дерева сценаріїв для тестування алгоритму оптимізації потоків у телекомунікаційній мережі // Матеріали XVIII міжнародної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (Харків-Одеса, 15-15 вересня 2018 р.). С.70.

50. Тихонова О.В., Яворська О.М. Інтерфейс каналного рівня для Інтернету речей // Матеріали VIII міжнародної НПК «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», ч.3 (Одеса, 14-16 листопада 2018 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2018. С. 51-53.

51. Тихонов В.І., Тихонова О.В. Побудова інваріантного тензора першого рангу для потоків вузла мережі // Матеріали VIII міжнародної НПК «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє», ч.3 (Одеса, 14-16 листопада 2018 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2018. С. 54-58.

52. Тихонов В.И., Тихонова Е.В., Яворская О.М., Березовский В.В., Негальчук А.Л., Глущенко В.А. Построение симулятора для передачи данных телеметрии через модифицированный интерфейс Ethernet // Матеріали 73-ї НТК професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 12-14 грудня 2018 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2018. С. 100-103.

53. Tykhonova O., Berezovsky V. Conveyor-modular method of multimedia data integration with time delay control // Proceedings of the international scientific and practical conference НІСТ'2019 (Kharkiv-Kamyranets-Podilsky, May 23-25, 2019). P. 95-96.

54. Tikhonov V., Tykhonova O., Radkevich S. The space of states design in network system math models // Матеріали XIX міжнародної НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Одеса, 14-17 червня 2019 р.). Од.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2019. С. 75-77.

55. Tykhonova O., Yavorska O., Berezovskiy V. The max-flow problem statement on the three-pole open network graph // Proceedings of the IEEE 3rd International Conference “Advanced Information and Communication Technologies – 2019” (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019).

56. Спосіб динамічної адресації об'єктів телекомунікаційних мереж / Воробієнко П.П., Лемешко О.В., Смірнов І.В., Тихонова О.В. // Патент 76720, Україна, № u 2012 08535. Заявл. 10.07.2012. Опубл. 10.01.2013, бюл. № 1.

АНОТАЦІЯ

Тихонова О.В. Конвеєрно-модульний метод інтеграції мультимедійних потоків з контролем затримок в пакетних телекомунікаційних мережах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі». – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, МОН України, Одеса, 2019.

Дисертація присвячена створенню ефективного механізму сумісної передачі мультимедійних потоків з контролем затримок даних реального часу у пакетних телекомунікаційних мережах. Уперше розроблено метод групової поточної агрегації мультимедійних даних у телекомунікаційному каналі, відмінний від існуючих тим, що на мережевому рівні формується послідовність сегментів трьох типів даних за протоколами VCP, LCP та IP для сумісної передачі поточних даних реального часу за принципом комутації каналів з резервуванням ресурсів, інших поточних даних за принципом комутації по мітках, а також IP-пакетів відомими методами. За рахунок цього прискорюється передача поточних даних і зменшується обсяг службових даних. Удосконалено метод пакетної передачі мультимедійних даних шляхом розділення вихідного агрегованого потоку на конвеєрні модулі СТМ, які вкладаються у періодично циркулюючі кадри каналного рівня; при цьому на приймальній стороні каналу послідовність модулів реконструюється у вхідний агрегований потік, а затримка передачі конвеєрного модуля дорівнює періоду циркуляції кадрів. За рахунок цього затримки даних окремих потоків реального часу обмежуються в залежності від індивідуальних вимог QoS для кожного потоку. Уперше розроблено метод обчислення та розподілу максимального потоку на відкритому вільно-орієнтованому графі мережі, відмінний від існуючих наявністю трьох відкритих полюсів та гнучким перерозподілом ваги ребер у прямому та зворотному напрямках, за рахунок чого збільшується продуктивність мережі з динамічною конфігурацією каналів зв'язку. Удосконалено тензорну модель потоків у відкритій триполюсній мережі шляхом доповнення тензора провідності мережі тензором генераторів потоків, за рахунок чого забезпечується динамічна адаптація мережі до зовнішнього інформаційного навантаження.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, мультимедійний потік, якість обслуговування, дані реального часу, контроль затримок, потокова передача даних, конвеєрно-модульний метод, відкритий вільно-орієнтований зважений граф, максимальний потік, тензорна модель мережі, тензор генераторів потоків.

АННОТАЦИЯ

Тихонова Е.В. Конвейерно-модульный метод интеграции мультимедийных потоков с контролем задержек в пакетных телекоммуникационных сетях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 «Телекоммуникационные системы и сети». – Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, МОН Украины, Одесса, 2019.

Диссертация посвящена созданию эффективного механизма совместной

передачи мультимедийных потоков с контролем задержек данных реального времени в пакетных телекоммуникационных сетях. Впервые разработан метод групповой потоковой агрегации мультимедийных данных в телекоммуникационном канале, отличный от существующих тем, что на сетевом уровне формируется последовательность сегментов трех типов данных по протоколам VCP, LCP и IP для совместной передачи потоковых данных реального времени по принципу коммутации каналов с резервированием ресурсов, других потоковых данных по принципу коммутации по меткам, а также IP-пакетов известными методами. За счет этого ускоряется передача потоковых данных и уменьшается объем служебных данных. Усовершенствован метод пакетной передачи мультимедийных данных путем разделения исходного агрегированного потока на конвейерные модули СТМ, которые вкладываются в периодически циркулирующие кадры канального уровня; при этом на приемной стороне канала последовательность модулей реконструируется во входной агрегированный поток, а задержка передачи конвейерного модуля равна периоду циркуляции кадров. За счет этого задержки данных отдельных потоков реального времени ограничиваются в зависимости от индивидуальных требований QoS для каждого потока. Впервые разработан метод вычисления и распределения максимального потока на открытом свободно-ориентированном графе сети, отличный от существующих наличием трех открытых полюсов и гибким перераспределением веса ребер в прямом и обратном направлениях, за счет чего увеличивается производительность сети с динамической конфигурацией каналов связи. Усовершенствована тензорная модель потоков в открытой трехполюсной сети путем дополнения тензора проводимости сети тензором генераторов потоков, за счет чего обеспечивается динамическая адаптация сети к внешней информационной нагрузке.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, мультимедийный поток, качество обслуживания, данные реального времени, контроль задержек, потоковая передача данных, конвейерно-модульный метод, открытый свободно-ориентированный взвешенный граф, максимальный поток, тензорная модель сети, тензор генераторов потоков.

ABSTRACT

Tikhonova O.V. Conveyor-modular method of multimedia flows integration with delay control in packet based telecommunication networks. – Manuscript copyright.

Dissertation for a Candidate Degree in Engineering Sciences, specialty 05.12.02 "Telecommunication Systems and Networks". – O.S. Popov Odesa National Academy of Telecommunications, Ministry of education and science, Odessa, 2019.

The dissertation focused on the creation of an effective mechanism for the joint transfer of multimedia streams with control of real-time data delays in packet based telecommunication networks. For the first time, the method of the group streaming aggregation of multimedia data in a telecommunication channel is developed, which differs from the existing ones in that a sequence of segments of three types of data is formed at the network level using the VCP, LCP and IP protocols for the joint trans-

fer of real-time streaming data according to the principle of channel switching with resource reservation, other streaming data according to the principle of label switching, as well as IP packets by known methods. Due to this, the transfer of streaming data is accelerated and the amount of data overhead is reduced. The method of packet transfer the multimedia data was enhanced by dividing the initial aggregated flow into conveyor modules CTM which are placed in periodically circulating channel level frames; in turn, at the receiving side of the channel, the sequence of modules is reconstructed into the input aggregated flow, and the conveyor module transfer delay is equal to the circulation period of frames. Due to this, the data delays of the individual real-time flows are limited depending on the individual QoS requirements for each flow. For the first time, the method is developed for calculating and distributing the maximum flow on an open, freely oriented network graph, which differs from the existing ones in that there are three open poles and the weight of edges are flexibly redistributed in the forward and backward direction, due to this the performance is increased of the network with dynamic communication channels configuration. The tensor model of flows was enhanced in an open three-pole network by supplementing the network conductivity tensor with the tensor of flows generators, due to this ensures dynamic adaptation of the network to the external information load.

Keywords: telecommunication network, multimedia flow, quality of service, real-time data, delay control, data streaming, conveyor-modular method, open freely-oriented weighted graph, maximum flow, tensor network model, tensor of generators of flows.

Підписано до друку 29.10.2019.
Обсяг 0,9 друк. арк. Формат 60x88/16 Зам. № 7376/10.
Наклад 100 прим.

Надруковано у ФОП Бондаренко М.О.
м. Одеса, вул. В. Арнаутська, 60.
т. +38 0482 35 79 76
info@aprel.od.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців ДК № 4684 від 13.02.2014 р.

