

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Плесканка Назарій Михайлович



УДК 621.391

**Моделі та алгоритми буферизації мультисервісного трафіку у
телекомунікаційних мережах**

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, доцент
Євсєєва Оксана Юріївна, Харківський національний
університет радіоелектроніки, професор кафедри
телекомунікаційних систем

кандидат технічних наук, доцент
Отрох Сергій Іванович, ПАТ «Укртелеком», філія
«ДРІ», начальник науково-технічного відділу

Захист дисертації відбудеться “ 27 ” листопада 2015 р. о 12 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
навчального 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

Роботу присвячено дослідженню впливу буферизації даних, механізмів обслуговування черг та управління перевантаженнями на якість передавання даних у мультисервісних телекомунікаційних мережах.

Актуальність теми. Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій характеризується інтенсивним впровадженням мультисервісних послуг.

Згідно з дослідженнями Cisco Visual Networking Index, обсяг глобального мобільного IP-трафіку суттєво зростає завдяки введенню нових технологій доступу. Паралельно розвитку телекомунікаційних мереж розвиваються різні IP-послуги: IPTV (Internet Protocol Television), VoIP (Voice over IP), відео за запитом (VoD – Video on Demand) та інші, які зорієнтовані на передачу даних в режимі реального часу. Згідно цих тенденцій можна припустити, що найближчим часом обсяг IP-трафіку в світі різко збільшиться, а мультимедійні дані будуть займати значну частину цього обсягу. Все це приведе до підвищення вимог до каналів зв'язку та обслуговуючих пристроїв, які оброблятимуть цей трафік із забезпеченням вимог якості надання послуг (Quality of Service, QoS).

У зв'язку із зростанням телекомунікаційних мереж особливої актуальності набувають питання, що стосуються якості послуг, які надаються у цих мережах. Для забезпечення різних вимог параметрів QoS мультисервісних послуг в системах передачі даних необхідно впроваджувати алгоритми та механізми управління трафіком, які повинні враховувати особливості різних видів послуг, а також забезпечувати ефективне використання ресурсів мережі та вузлів обслуговування. Відповідно, одними з основних та найбільш важливих і критичних є буферний ресурс, та механізми управління чергами і перевантаженням.

Задачі буферизації, а також методи пріоритезації послуг у мультисервісних телекомунікаційних мережах можна віднести до питань забезпечення вимог якості обслуговування. Вони є досить актуальним на сьогоднішній день і широко розглядаються як українськими так і зарубіжними вченими. Серед дослідників, які займалися вивченням цієї теми, можна виділити таких вчених, як Бахарева Н.Ф., Карташевский И.В., Тарасов В.Н., Макаров И.С., К. Nichols and V. Jacobson., J. Gettys., Н. Jiang, I. Rhee. Роботи, які вийшли в світ, достатньо висвітлюють різні сторони цієї проблематики (методи управління маршрутизацією, методи управління інтенсивністю потоків, можливості реалізації методів управління процесами обміну інформацією в конкретних мережах і т. п.). Зустрічалось багато робіт, в яких розроблені методи та алгоритми перевірялись шляхом моделювання, при якому на вхід моделі подавались не реальні дані, а змодельований за певним законом розподілу тип трафіку. Недоліком такого підходу є те, що в них не враховуються особливості, характерні для мультисервісних мереж (різні види інформаційних потоків, ієрархічні топологічні структури, використання високошвидкісних цифрових каналів зв'язку).

Таким чином, визначення параметрів буферизації даних, аналіз існуючих, розроблення нових алгоритмів управління буферним простором та перевантаженням, а також їхня модифікація для забезпечення різних вимог до параметрів якості QoS мультисервісних послуг в системах передачі даних є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана із 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, системи зв'язку” та “Фундаментальні дослідження з найважливіших проблем природничих, суспільних і гуманітарних наук”.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є покращення якості послуг QoS у мультисервісних мережах та підвищення якості сприйняття QoE, шляхом розробки алгоритму багаторівневої буферизації мультисервісного трафіку у телекомунікаційній мережі із використанням технології адаптивної зміни буферного простору. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз трафіку діючих мультисервісних мереж передачі даних та визначити його імовірно-часові характеристики та властивості;
2. Вибрати математичну модель, за допомогою якої можна буде описати розрахунок буферної ємності у вузлі обслуговування мультисервісного трафіку;
3. Запропонувати метод оцінки роботи алгоритмів обслуговування черг на основі інтегрального критерію та оптимальний механізм, який зможе забезпечити середнє значення затримки при передачі даних по мережі в заданих межах і допустиму ймовірність втрати пакетів внаслідок переповнення буферів;
4. Розробити узагальнену модель багаторівневої буферизації даних у вузлах обробки та приймання мережевого трафіку із використанням технології адаптивної зміни буферного простору;
5. Провести оптимізацію роботи вибраного алгоритму обслуговування черг та управління перевантаженнями та перевірити достовірність розрахунків та методів вибору оптимальних параметрів буферизації на діючих системах.

Об'єкт дослідження – процеси буферизації мультисервісного трафіку.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми буферизації мультисервісного трафіку у телекомунікаційних мережах для забезпечення задовільної якості обслуговування.

Методи дослідження. Дослідження виконано на основі використання методів: теорії інформації, математичної статистики, теорії систем масового обслуговування, теорії ймовірностей, математичного та комп'ютерного моделювання, а також на основі результатів експериментів.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що:

1. Запропоновано метод оцінювання ефективності механізмів обслуговування черг та управління перевантаженнями за інтегральним

критерієм, що враховує значення затримки, джитера та імовірності втрати пакетів і дає змогу оцінити ефективність алгоритмів управління чергами та буферним простором та підібрати такий, який забезпечить задовільну якість обслуговування в мультисервісній мережі на основі врахуванням співвідношення параметрів трафіку.

2. Вперше запропоновано багаторівневу модель буферизації даних у вузлах обробки та приймання мультисервісного трафіку, що враховує взаємний вплив параметрів буферизації даних на всіх рівнях обслуговування, яка дозволяє знизити рівень втрат пакетів і покращити якість надання послуг у мультисервісних телекомунікаційних мережах.

3. Набув подальшого розвитку метод адаптивної буферизації даних за рахунок використання динамічних порогів черг та більш оптимального розподілу буферного простору, що дозволяє знизити рівень втрат та забезпечує ефективне використання ресурсів вузлів обслуговування.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

➤ проведено дослідження та аналіз трафіку діючих мультисервісних мереж та визначено його імовірно-часові характеристики та властивості;

➤ проведено аналіз та оцінка роботи алгоритмів обслуговування черг і управління перевантаженнями, запропоновано інтегральний критерій оцінки роботи алгоритмів, що дає змогу вибрати оптимальний механізм для забезпечення середнього значення затримки при передачі даних по мережі в заданих межах і допустиму ймовірність втрати пакетів

➤ розроблена узагальнена багаторівнева модель буферизації даних у вузлах обробки та приймання мережевого трафіку, яка дає змогу ефективно використовувати мережеві ресурси та ресурси вузлів обслуговування мультисервісного трафіку;

➤ здійснено оптимізацію роботи механізмів обслуговування черг та управління перевантаженням шляхом використання технології адаптивної (смарт) буферизації даних, що дає змогу знизити рівень втрат на 10% і тим самим покращити якість сприйняття послуг кінцевими користувачами QoE.

Наукові та практичні результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі використані в навчальному процесі, зокрема в лекційних курсах та лабораторних роботах, які проводяться для студентів Національного університету “Львівська політехніка” за напрямом “Телекомунікації” та спеціальністю “Інформаційні мережі зв’язку”, зокрема з дисципліни “Технології телекомунікаційних мереж”.

Результати роботи використано для планування і оптимізації структур телекомунікаційних мереж у ТОВ “ЛІТех”, ППФ “Фенікс ВТ”, ЛФ ВАТ “Фарлеп-Інвест”, ТОВ “Західтелесервіс” що підтверджено актами впровадження.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та результати дисертації доповідались та були обговорені на науково-технічних конференціях та семінарах. Окрім того дисертаційна робота у повному обсязі

представлена на семінарах кафедри телекомунікацій Національного університету “Львівська політехніка”.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи та її наукові положення опубліковані в статтях, науково-технічних журналах, в працях міжнародних конференцій та семінарів. Всього опубліковано 19 наукових праць, серед них 8 статей у фахових виданнях України, одна публікація у закордонному виданні, матеріали доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях – 9, патент на корисну модель – 1.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійно виконаною роботою, в якій відображено особистий авторський підхід та особисто одержані теоретичні та практичні результати. Роботи, які виконані разом із співавторами, наведені у переліку публікацій. Автору дисертації належать: аналіз передавання мультимедійного трафіку в мережах доставки контенту CDN [6, 9, 16]; алгоритми формування та обслуговування черг у мультисервісних мережах [2]; визначення та аналіз імовірно-часових характеристик трафіку діючої мультисервісної мережі передачі даних [5, 13] вплив параметрів відеокодеків на якість відеосигналу [15, 17]; буферизація трафіку у вузлах обслуговування даних мультисервісних мереж [3, 11]; дослідження якісних та часових параметрів вузла обслуговування трафіку мультисервісної мережі [1]; аналіз роботи механізмів формування та обслуговування черг у безпроводному середовищі [12, 18]; розробка багаторівневої моделі буферизації даних у вузлах обслуговування мультисервісного трафіку [4, 10, 14]; дослідження впливу буферизації у поєднанні із алгоритмом швидкого перемикання каналів на якість сприйняття послуг кінцевими користувачами [7, 8].

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 144 сторінок друкованого тексту, 35 рисунків та 15 таблиць. Список використаних джерел містить 88 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** подана загальна характеристика роботи, розкрито сутність тематики роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначені: мета, задачі, об’єкт, предмет та методи дослідження, вказані: наукова новизна та практична цінність результатів; зв’язок з науковими програмами і планами; відомості, що стосуються достовірності та апробації результатів, публікацій та особистого внеску автора.

У **першому розділі роботи “Аналіз технологій та протоколів передачі мультимедійних даних в телекомунікаційних мережах ”** проаналізовано основні принципи та методи передавання мультисервісного трафіку в глобальних телекомунікаційних мережах передачі даних. Основна увага акцентована на передавання потокового мультимедіа в режимі реального часу, що є характерним для ведення бізнесу загалом і на вирішення вузьких галузевих завдань.

Проаналізовано стандарти кодування мультимедійних даних, які найбільш широко використовуються для організації потокового мовлення. Встановлено, що для організації якісного передавання мультимедіа трафіку в режимі реального часу важливо знайти розумний компроміс між пропускною здатністю каналу зв'язку, якістю контенту та ресурсами які затрачаються на підготовку контенту.

Виділено механізми та протоколи, які використовуються для підтримки передавання даних в режимі реального часу та забезпечення гарантованої якості обслуговування. Також в даному розділі виконано постановку задач дослідження, зміст якої полягає у розробці алгоритму багаторівневої буферизації даних у вузлі обслуговування та передавання мережевого трафіку із використанням технології адаптивної зміни буферного простору.

У другому розділі роботи “Дослідження властивостей мультисервісного трафіку та основних механізмів обробки черг” проаналізовано мультисервісний трафік діючої телекомунікаційної мережі передачі даних; визначено імовірно-часові характеристики трафіку; обґрунтовано вибір теоретичного закону розподілу; визначено степінь самоподібності досліджуваного трафіку.

Проведено дослідження роботи механізмів обслуговування черг та розподілу каналних ресурсів в мультисервісних телекомунікаційних мережах. Представлено класифікацію мультимедійного трафіку та відповідно до вимог мережевих ресурсів, здійснено порівняння алгоритмів обслуговування черг на мережевому рівні для забезпечення заданої якості послуг.

В роботі проаналізовано трафік, який був представленим у вигляді одноадресних багатоадресних потоків, що пересилалися через мережу доставки контенту CDN. Схема структури CDN мережі подано на рис.1.

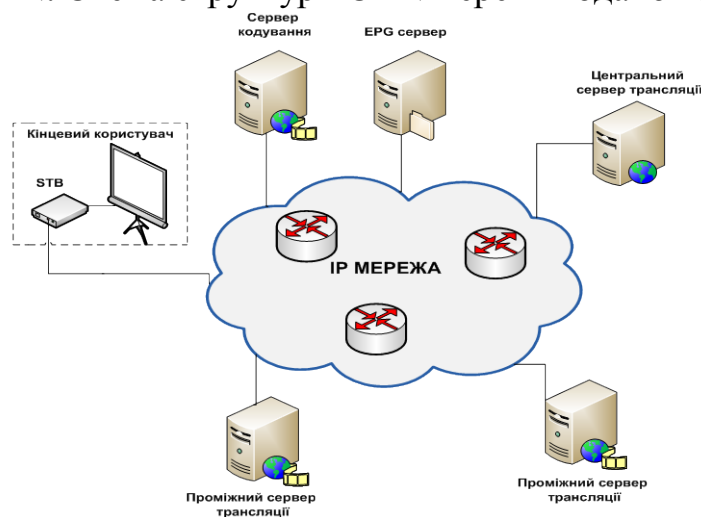


Рис.1 – Схематична структура мережі з передаванням трафіку згідно моделі CDN

Враховуючи результати проведених досліджень мультимедійного трафіку мережі зв'язку, можна стверджувати, що досліджуваний трафік є самоподібним. Для такого типу трафіку використання буферизації є бажаним з метою забезпечення задовільної якості послуг. Здійснено математичне

представлення самоподібного (фрактального) процесу та розраховано значення параметра Херста для різних типів мережевих додатків.

Проведено статистичний аналіз мережного трафіку діючої мультисервісної мережі передавання даних. Результати аналізу даних представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Опис виявлених потоків у реальній мультисервісній IP-мережі.

Тип трафіку	Протокол	Сер. довжина пакета L, байт	Смуга пропускання C, Кбіт/с	Пріоритет
Відеоконференція	RTSP	1370	3820	2
IPTV-multicast	UDP	1429	6044	4
Web-трафік	HTTP	1514	2436	6
IP-телефонія	UDP	574	530	3
Відео за запитом (VoD)	HTTP(TCP)	120	2100	5
Службові дані	-	66	36	1
Загальний потік	-	1300	14966	-

Кожен потік аналізувався окремо і для кожного з потоків визначались основні параметри та властивості. Обґрунтовано вибір теоретичного закону розподілу. Інтенсивність надходження пакетів для кожного типу трафіку зображено на рисунку 2.

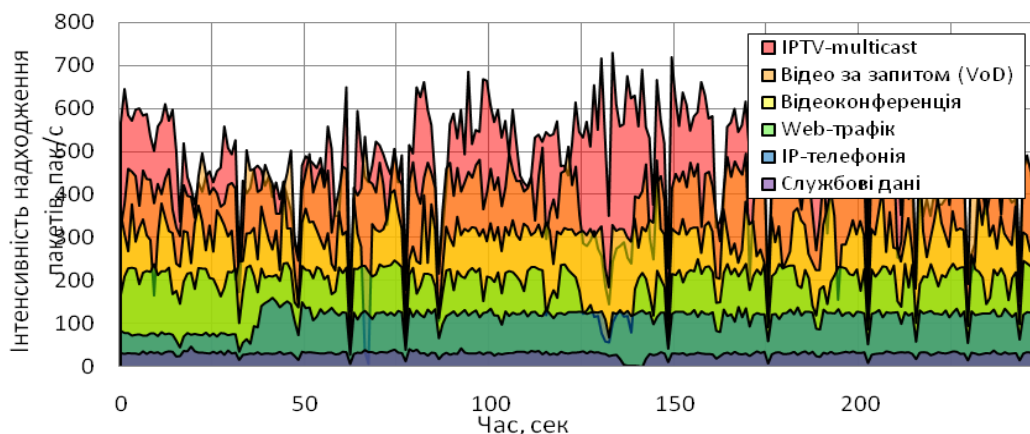


Рис. 2. Інтенсивність надходження пакетів для кожного сервісу.

Основними початковими параметрами вхідних потоків, що потрібно визначити для подальших обчислень та аналізу є середня інтенсивність поступлення пакетів, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, інтенсивність обслуговування, коефіцієнт завантаженості обслуговуючого пристрою, який буде опрацьовувати даний тип трафіку. Для оцінювання значення параметра Херста випадкового ряду існує багато методик. Найпростішою з них є RS-методика, проте вона має обмеження на застосування до процесів з малою дисперсією. Однак, для потреб задачі, вирішення якої пропонується в роботі, дана методика може бути використана. Отже, значення параметра Херста для кожного із досліджуваних потоків визначено за допомогою RS-методики та приведено в табл. 3.

Основні параметри мережевих потоків кожного типу

Тип трафіку	Коеф. варіації	Параметр Херста
Відеоконференція	0,200	0,513
IPTV-multicast	0,204	0,766
Web-трафік	0,207	0,685
IP-телефонія	0,370	0,981
Відео за запитом (VoD)	0,194	0,839
Службові дані	0,183	0,668
Загальний потік	0,154	0,604

У третьому розділі роботи “Модель оцінки ефективності обслуговування черг та управління перевантаженнями для забезпечення задовільної якості передавання мультисервісних даних” запропоновано інтегральний критерій оцінювання ефективності механізмів обслуговування черг та управління перевантаженнями, який дає змогу якісно оцінити результати роботи алгоритмів управління чергами та буферним простором. Оцінка якісних показників мережевих потоків проводилась на основі розрахунків системи масового обслуговування класу G/G/1. Використовуючи формули для оцінки втрат в системі G/G/1, наведені в роботі:

$$P_{loss} = \frac{1-\rho}{\frac{2}{1-\rho} \cdot \rho \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{C_a^2 + C_s^2} + n_b + 1} \cdot \rho \cdot \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} \cdot n_b \quad (1)$$

$$P_{loss} = 0.00861$$

де C_a^2 і C_s^2 - квадратичні коефіцієнти варіації розподілів вхідного потоку і часу обслуговування, відповідно;

n_b – розмір буфера; ρ – коефіцієнт завантаження системи.

Для оцінювання оптимального розміру буфера використана формула Норрса, яка виведена для нормального закону розподілу поступлення пакетів. У роботі Норрса було показано, що ймовірність того, що кількість пакетів n в системі перевищить задану величину N , визначається виразом:

$$P(n > N) = \Phi \left(\left(\frac{N}{\sqrt{\partial \lambda}} \right)^{\frac{(1-H)}{H}} \cdot \frac{\mu - \lambda}{\sqrt{\partial \lambda}} \right) \quad (2)$$

$$\text{де } \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot (1+x)} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (3)$$

Оцінку розміру буфера (у бітах) проводимо за формулою Норрса, яку запишемо у наступному вигляді:

$$B = \left(\frac{\left(H^H \cdot (1-H)^{1-H} \cdot \sqrt{-2 \ln P(n)N} \right)^{\frac{1}{H}} \cdot \frac{1}{\alpha 2 \cdot H} \cdot \frac{1}{m 2 \cdot H}}{C - m} \right)^{\frac{H}{1-H}} \quad (4)$$

Отримуємо $B = 2,794 \text{ Мбайт}$ за умов, коли

H – параметр Херста профілю трафіка;

$P(n > N) = 10^{-6}$ – імовірність втрати пакету, яку необхідно забезпечити;

$C = 100 \text{ Мбіт/с}$ – пропускна здатність прямого каналу (біт/с);

$m = 21,05 \text{ Мбіт/с}$ – швидкість поступлення пакетів (біт/с);

$a = 3,25 \text{ Мбіт/с}$ – коефіцієнт варіації швидкості поступлення пакетів (біт/с).

Розроблено імітаційну модель для оцінювання ефективності механізмів обслуговування черг у мультисервісній мережі з використанням пріоритезації даних для роботи кожного розглянутого алгоритму. Модель була реалізована в програмному середовищі Matlab. Алгоритм роботи моделі представлено на рис.3.

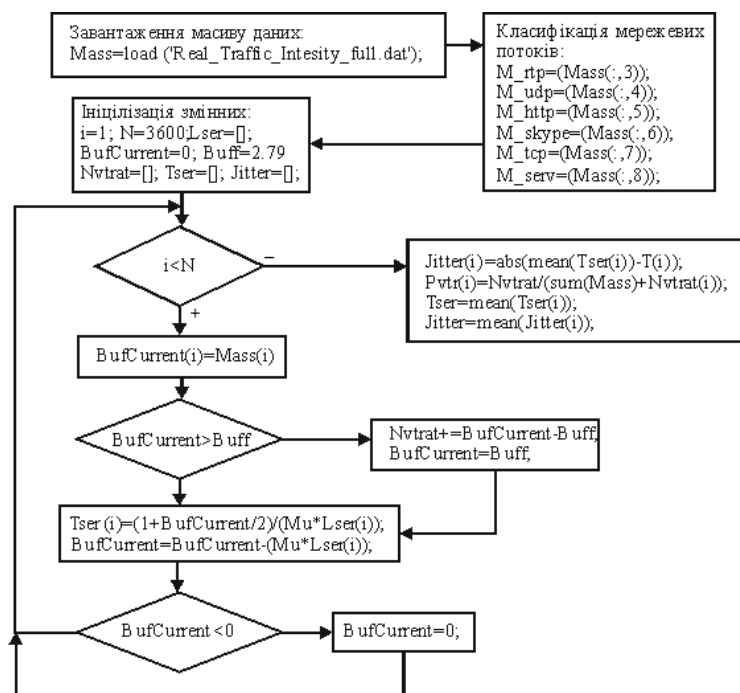


Рис. 3. Алгоритм роботи імітаційної моделі обслуговування черг у мультисервісній мережі.

Для визначення найбільш оптимального механізму обслуговування мультимедійного трафіку вибрано п'ять алгоритмів обслуговування, а саме:

- 1) Алгоритм обслуговування черг FIFO.
- 2) Алгоритм пріоритетного обслуговування черг PQ.
- 3) Алгоритм замовленого обслуговування черг CQ.
- 4) Алгоритм рівномірного обслуговування черг FQ.
- 5) Алгоритм зваженого справедливого обслуговування WFQ.

Критерієм оцінювання кожного з цих алгоритмів є можливість найякіснішого обслуговування кожного сервісу, тобто забезпечення найкращих параметрів якості обслуговування QoS. Визначення цих параметрів відбувалося наступним способом:

- імовірність втрати пакету – визначено як кількість втрачених пакетів до загальної кількості переданих пакетів

$$P_{\text{втрат}} = \frac{1}{N} \sum_k n_k \quad (5)$$

$P_{\text{втрат}}$ – ймовірність втрати пакету;

N – загальна кількість пакетів;

n_k – кількість втрачених пакетів за k -тий період.

- затримка – являє собою тривалість обслуговування пакету і визначається як сума часів тривалості опрацювання пакету і очікування обслуговування в буфері.

$$\Delta T_{\text{обс}} = \Delta T_{\text{буфер}} + 2 \cdot \frac{\Delta R_{\text{пак}}}{V_{\text{шини}}} + T_{\text{обробки}} \quad (6)$$

$V_{\text{шини}}$ – швидкість внутрішньої шини обслуговуючого пристрою

(прийнято, що швидкості вхідної і вихідної шин рівні);

$\Delta T_{\text{буфер}}$ – тривалість очікування пакетом у буфері;

$\Delta R_{\text{пак}}$ – довжина пакету;

$T_{\text{обробки}}$ – тривалість обробки пакету у процесорі обслуговуючого пристрою;

$\Delta T_{\text{обс}}$ – тривалість обслуговування пакету

- джитер – визначається, як різниця між середнім значенням затримки та конкретною затримкою.

$$dt = \frac{1}{N} \sum_i |T_{\text{сеп}} - T_i| \quad (7)$$

dt – середнє значення джитера;

T_i – затримка i -ого пакету;

$T_{\text{сеп}}$ – середнє значення затримки.

Для різних типів потоків трафіку визначено параметри якості обслуговування (QoS), а саме імовірність втрати пакетів, затримку та джитер, які можуть забезпечити відповідні алгоритми. Найкращий результат моделювання показав алгоритм WFQ, який може забезпечити задовільну якість обслуговування за всіма критеріями. Результати моделювання представлені на рис.4-6.

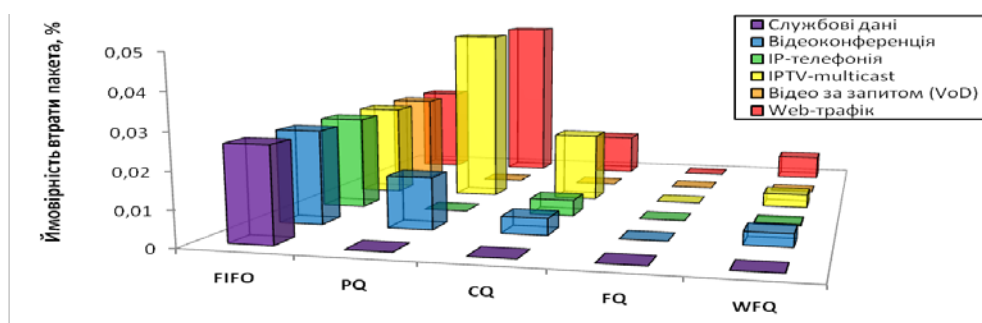


Рис. 4. Імовірність втрати пакетів для різних типів потоків мультисервісного трафіку при використанні відповідного алгоритму обслуговування

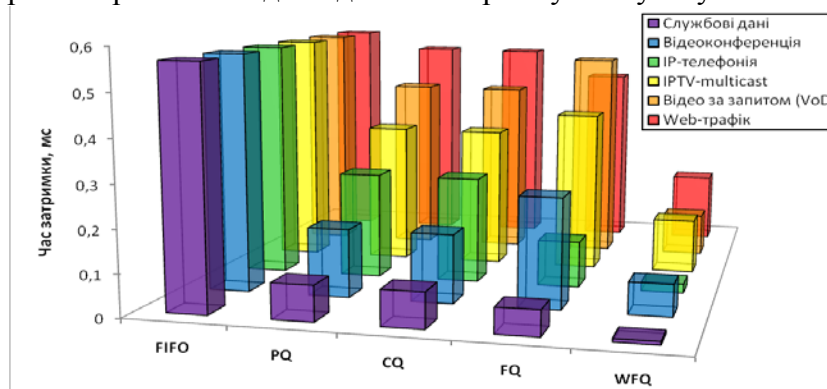


Рис. 5. Час затримки для різних типів потоків мультисервісного трафіку при використанні відповідного алгоритму обслуговування

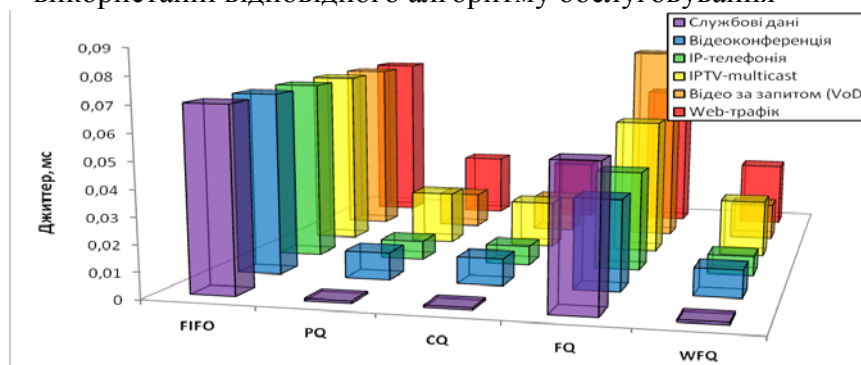


Рис. 6. Джитер для різних типів потоків мультисервісного трафіку при використанні відповідного алгоритму обслуговування

Представлена модель дає змогу обирати оптимальні алгоритми формування та обслуговування черг для різних типів потоків мультисервісного трафіку. Такий підхід може бути використано на етапі проектування, а також оптимізації роботи телекомунікаційної мережі.

Для порівняння параметрів QoS агрегованого потоку та вибору оптимального алгоритму обслуговування мультисервісного трафіку запропоновано інтегральний критерій оцінки якості обслуговування. Він показує на скільки покращився показник якості обслуговування із застосуванням обраного алгоритму, та визначається за наступною формулою:

$$K_x = \frac{1}{m} \sum_i \frac{A_{oi}}{A_{xi}} \cdot k_i \quad (8)$$

де, K_x – оцінка покращення параметра якості для x-ого алгоритму;

A_{oi} – початкове значення і-ого параметра якості;

A_{xi} – поточне значення i -ого параметра якості для x -ого алгоритму;

k_i – коефіцієнт важливості i -ого параметра якості;

m – кількість параметрів, що порівнюються.

Результати порівняння приведено в табл.4.

Таблиця. 4

Оцінка покращення параметрів якості для кожного алгоритму.

	K_{PQ}	K_{CQ}	K_{FQ}	K_{WFQ}
Втрати, раз	0,12	2,63	1045,91	6,79
Час затримки, раз	1,46	1,47	1,42	4,62
Джитер, раз	5,85	6,15	1,46	5,68
Загалом, раз	0,33	2,45	2,16	5,56

Отже, використання таких алгоритмів обслуговування черг, як замовленого обслуговування CQ чи рівномірного обслуговування FQ покращить більш ніж у два рази якість обслуговування, а алгоритму WFQ – до п'яти разів у порівнянні із алгоритмом без пріоритетного обслуговування FIFO.

У четвертому розділі роботи “Розробка та оптимізація роботи алгоритму багаторівневої буферизації мультисервісних даних” запропоновано алгоритм багаторівневої буферизації даних із використанням технології адаптивної зміни буферного простору у вузлах обслуговування мультисервісного трафіку. Подано основні характеристики кожного із рівнів та схеми взаємодії між ними. Проведено моделювання роботи алгоритму багаторівневої буферизації даних та подано графічно результати моделювання.

З метою запобігання нескінченному зростанню довжини черги потрібно відкидати частину пакетів. Які саме пакети будуть відкинуті вирішуватиме алгоритм обробки черг. Саме тут ми стикаємось із задачею вибору оптимального розміру буфера; занадто малий розмір приведе до втрати пакетів, зavelика черга буде вносити значну затримку, що є недопустимим для сервісів реального часу.

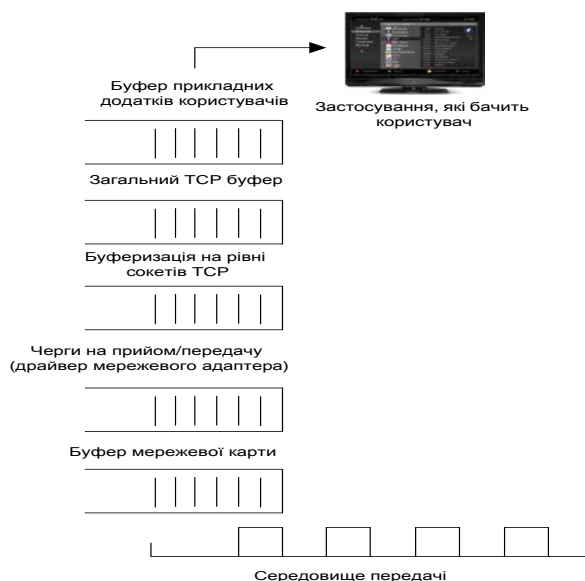


Рис.7. Підхід багаторівневої буферизації даних.

Запропоновано підхід багаторівневої буферизації даних у вузлах обслуговування мережевого трафіку. Він представлений на рис.7.

Кожен із представлених рівнів згідно рис.7 має свої характеристики і налаштування, і хоча вони відносно незалежні між собою, неправильні налаштування одного з них можуть призвести до некоректної роботи всієї моделі. Наприклад, неправильна робота фізичної частини призведе до того, що при великій інтенсивності трафіку система буде дестабілізована перериваннями, або ж невірно налаштований TCP/IP може стати причиною низької продуктивності протоколу.

Розроблена імітаційна комп'ютерна модель дає змогу визначити вплив параметрів буферизації на кожному із описаних вище рівнів на якість передавання та обслуговування мультисервісного трафіку. Результати моделювання при заданих значеннях інтенсивності обслуговування та розмірі буферного простору зображені на рис.8, рис.9.

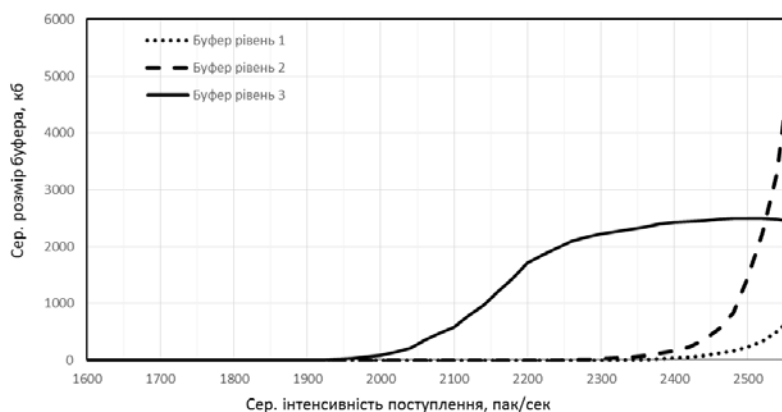


Рис.8. Залежність розміру буфера від інтенсивності надходження пакетів (інтенсивність обслуговування на кожному рівні $\mu_1 = 2700$, $\mu_2 = 2600$, $\mu_3 = 2300$; розмір буфера на кожному рівні $B_1 = 6000$, $B_2 = 9000$, $B_3 = 3100$).

Розмір буфера та інтенсивність обслуговування на третьому рівні є достатніми для забезпечення надання сервісів із задовільною якістю QoS. Як видно із рис.9, розмір буфера на двох нижніх рівнях є також задовільним, оскільки дає змогу забезпечити допустимий рівень втрат. Результати залежності втрат представлені нижче:

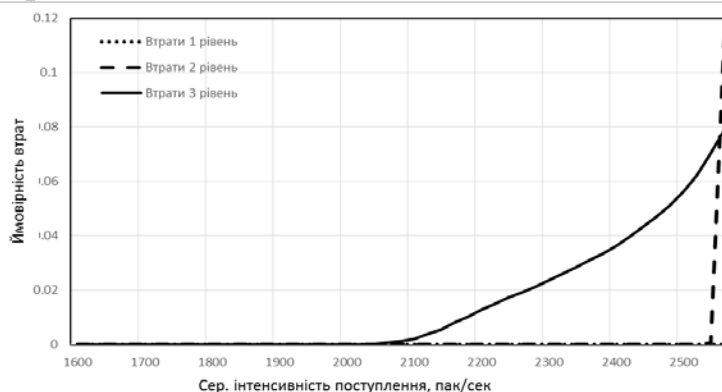


Рис.9. Залежність ймовірності втрат від навантаження мережі мультисервісним трафіком.

На основі отриманих результатів можна зробити висновки, що втрати на другому рівні значно перевищують втрати першого та третього рівнів. Це свідчить про те, що інтенсивність надходження пакетів на першому рівні перевищує інтенсивність обслуговування другого рівня. Через це пакети не встигають опрацюватися і поміщаються в буферний простір. В момент, коли рівень заповнення буфера досягає порогового значення, пакети починають втрачатись. Для боротьби з цим явищем можна збільшити інтенсивність обслуговування на другому рівні, або ж запропонувати використання технології адаптивної буферизації даних.

Запропоновано та обґрунтовано метод динамічної буферизації даних, який дає можливість встановлювати динамічно адаптуючі для кожної черги пороги. Саме завдяки динамічній адаптації під умови перевантаження, більш довгі і переповнені черги не можуть заповнити весь буфер.

Алгоритм роботи моделі із динамічним виділенням буферного простору представлено на рис.10.

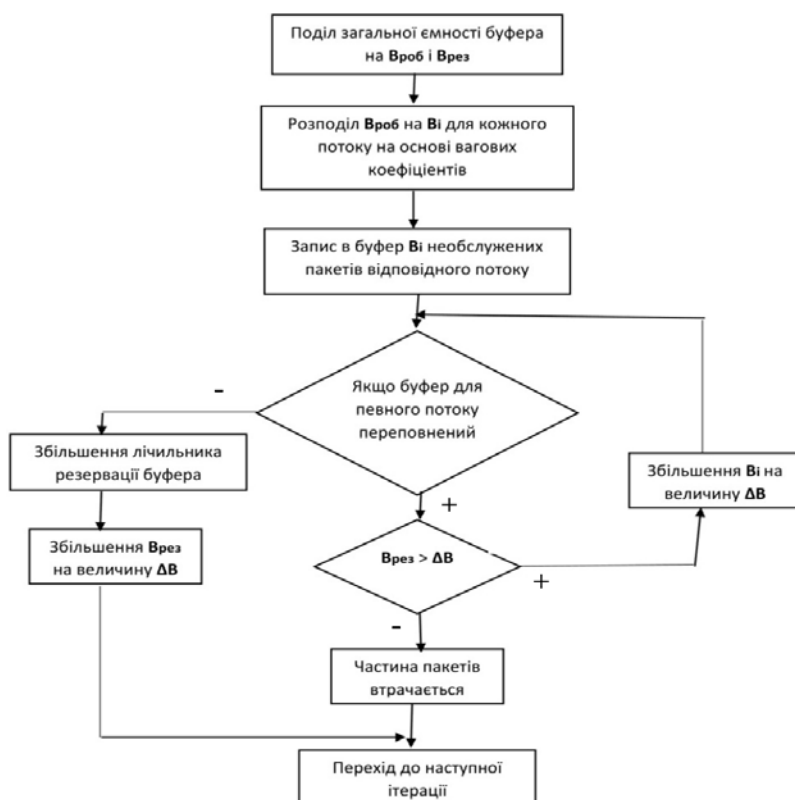


Рис.10. Алгоритм роботи моделі адаптивної буферизації

Використання технології динамічної зміни буферного простору в залежності від рівня втрат дає можливість більш раціонально використовувати ресурс буферного простору та мінімізувати втрати. Результати моделювання із використанням технології адаптивної буферизації показали наступні результати.

Як бачимо на рис.11, розмір буфера є практично незмінним при використанні технології адаптивної буферизації та без її використання. Тепер

проаналізуємо як змінився рівень втрат при однакових вхідних параметрах (рис.12):

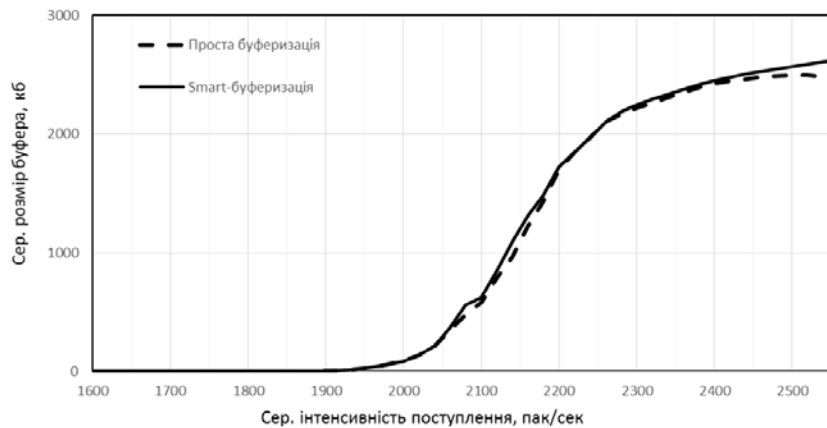


Рис.11. Порівняння розміру буфера із використанням технології адаптивної буферизації та без її використання.

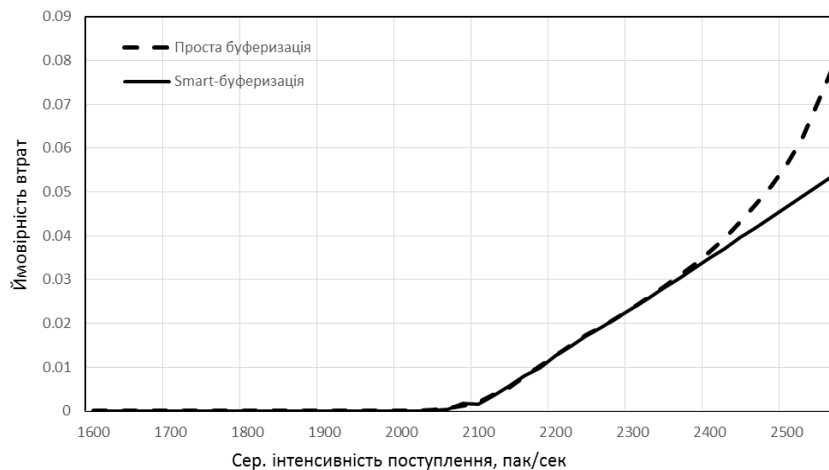


Рис.12. Залежність ймовірності втрат від інтенсивності надходження пакетів при використанні технології адаптивної буферизації та без неї.

Результати моделювання показують, що для невеликих інтенсивностей вхідних потоків рівень втрат є практично однаковий, однак при зростанні інтенсивності надходження пакетів, використання технології адаптивної буферизації дає кращі результати. В даному моделюванні можна побачити, що вже при невеликих значеннях розміру буфера рівень втрат стає меншим. Рівень втрат знизився більш ніж на 10% у порівнянні із використанням звичайних методів буферизації даних.

В роботі наведена оцінка впливу буферизації на якість обслуговування QoS/QoE. Запропоновано використання методики оцінювання QoE по параметру “час перемикання каналів”. Згідно рекомендацій ITU/T це: затримка отримання даних про канал, мережеві затримки, затримка очікування І-фрейму, буфер MPEG. Детально проаналізовано чинники які впливають на якісні показники.

Проведено експеримент по дослідженню специфіки роботи клієнтської частини сервісу інтерактивного телебачення IPTV. Оскільки QoE стосується в

першу чергу кінцевого користувача то проведені дослідження допоможуть визначити як і чому змінюється рівень задоволеності сервісом. Експеримент проводився в два етапи. Перший етап являв собою звичайний режим роботи сервісу без використання розробленого алгоритму. В другому етапі робота сервісу була представлена із використанням багаторівневої моделі адаптивної буферизації даних та алгоритму пришвидшеного перемикавання каналів. Результати отримані при звичайному режимі перемикавання представлені на рис. 13.

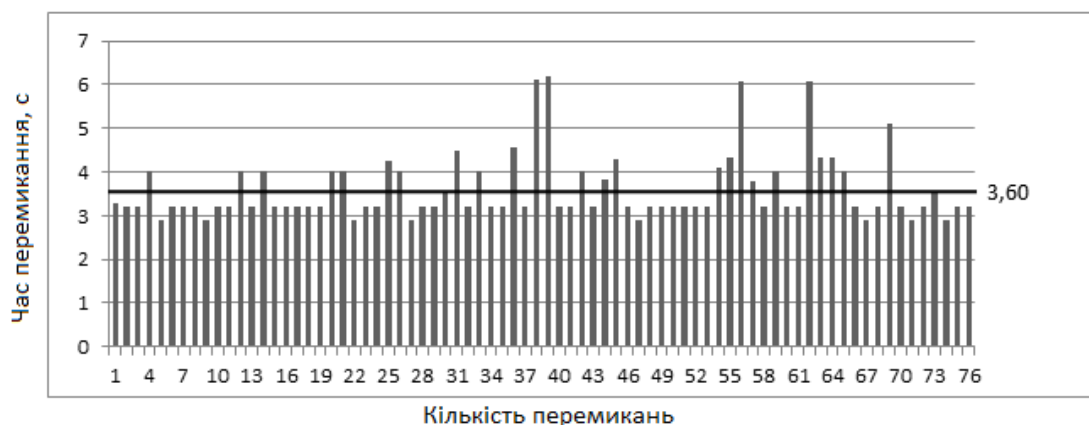


Рис 13. Час перемикання IPTV каналів під час сесії перегляду телебачення при роботі в звичайному режимі.

Середній час перемикання становить 3,6с, що є незадовільним показником. На даний час з такими показниками якості дуже важко конкурувати на ринку надання телевізійних послуг IPTV.

В наступному експерименті було використано розроблену багаторівневу модель адаптивної буферизації даних із використанням алгоритму пришвидшеного перемикавання каналів. Результати експерименту представлено на рис. 14.

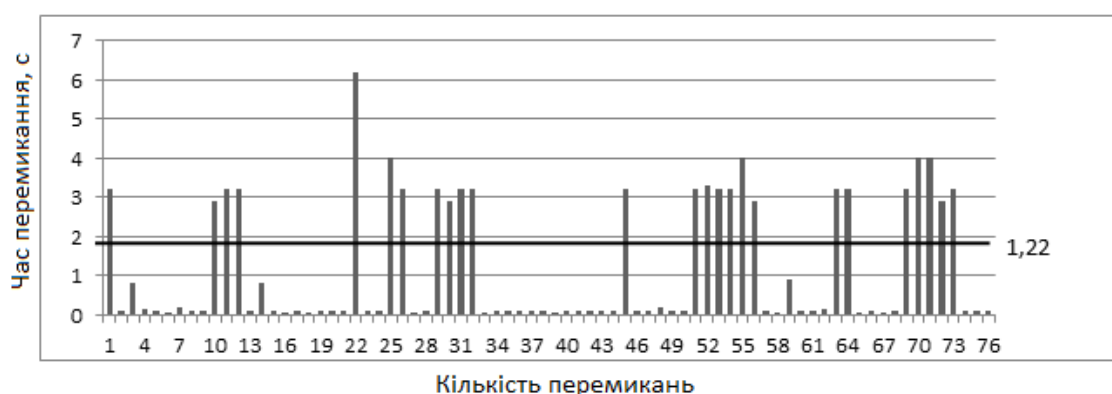


Рис 14. Час перемикання IPTV каналів під час сесії перегляду телебачення з використанням багаторівневої моделі адаптивної буферизації даних та алгоритму пришвидшеного перемикавання

Отже, порівнюючи сесії користувача зображені на рис. 13 та рис. 14, можна зробити висновок, що запропонований алгоритм дає можливість суттєво скоротити час затримки при послідовному перемиканні каналів і тим самим покращити якість сприйняття послуг інтерактивного телебачення.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу покращення якості послуг QoS у мультисервісних мережах та підвищення якості сприйняття QoE, шляхом розробки алгоритму багаторівневої буферизації мультисервісного трафіку у телекомунікаційній мережі із використанням технології адаптивної зміни буферного простору, що дає змогу знизити рівень втрат та мінімізувати затримку обслуговування мережевих даних. Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Детально проаналізовано мультисервісні потоки телекомунікаційної мережі, визначено імовірно-часові характеристики трафіку та встановлено, що він є самоподібним.

2. Запропоновано метод оцінювання ефективності обслуговування черг та управління перевантаженнями за інтегральним критерієм, який враховує значення затримки, джитера та імовірності втрати пакетів і дає змогу якісно оцінити результати роботи алгоритмів управління чергами та буферним простором.

3. На основі інтегрального критерію визначено алгоритм, який забезпечує задовільну якість обслуговування QoS в мультисервісній мережі передавання даних.

4. Вперше розроблено багаторівневу схему буферизації даних у вузлах обробки та приймання мультисервісного трафіку, яка враховує вплив параметрів буферизації на кожному рівні.

5. Здійснено імітаційне моделювання роботи алгоритму, що враховує буферизацію даних на всіх рівнях обслуговування, для покращення якості надання послуг у мультисервісних телекомунікаційних мережах, а також виконано перевірку адекватності запропонованої моделі на реально існуючих системах із подальшим впровадженням, зокрема в мережах, яких надаються послуги IPTV.

6. Запропоновано використання технології адаптивної буферизації даних із метою модифікації роботи алгоритмів управління чергами та перевантаженнями, що дає можливість встановлювати динамічно адаптовані пороги для кожної черги.

7. Встановлено, що технологія адаптивної зміни розміру буфера сприяє більш раціональному використанню буферного простору та мінімізує рівень втрат, а також дає можливість знизити їх рівень більш ніж на 10% у порівнянні із класичними методами буферизації даних.

8. В результаті моделювання та експериментальних досліджень доведено, що розроблена багаторівнева модель адаптивної буферизації даних в поєднанні із використанням алгоритму пришвидшеного перемикання каналів дає можливість скоротити час затримки при послідовному перемиканні каналів із 3,6с до 1,2с і тим самим суттєво покращує якість сприйняття послуг інтерактивного телебачення IPTV кінцевими користувачами.

ОСНОВНІ РОБОТИ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. М.М.Климаш, М.І.Кирик, Н.М.Плесканка, В.Б.Янишин. Дослідження та моделювання якісних та часових параметрів вузла обслуговування трафіку мультисервісної мережі // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку", №4(24), – Київ, 2012., – №4(24).,- сС.31-37.
2. М.І.Кирик, Н.М.Плесканка. Дослідження і моделювання механізмів формування та обслуговування черг. Вісник Національного університету «Львівська політехніка» №766. Радіоелектроніка та телекомунікації. – Львів. – 2013. С. 177-184.
3. М.І.Кирик, Н.М.Плесканка, Т.В.Андрухів, В.В.Червенець. Дослідження буферизації мультимедійного трафіку в мережах передачі даних // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, №738 “Радіоелектроніка та телекомунікації”, Львів, 2012, с.100-106.
4. Mykhailo Klymash, Maryan Kyryk, Nazar Pleskanka, Volodymyr Yanyshyn Data Buffering Multilevel Model at a Multiservice Traffic Service Node // Smart Computing Review. Korea – Vol. 4. No. 4. August 31, 2014, p. 294-306.
5. М.М.Климаш, М.І.Кирик, Н.М.Плесканка. Визначення параметрів мультимедійного трафіку в мультисервісній мережі // Матеріали конференції, науково-методична конференція “Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2012”, 1-4 листопада 2012 р., Львів, с.34-37.
6. О.В.Тимченко, М.І.Кирик, Н.М.Плесканка. Аналіз проходження мультимедійного трафіку в мережі доставки контенту // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць.– Львів: Українська Академія Друкарства , №25, 2011, с.109-115.
7. М.І.Кирик, Н.М.Плесканка. Алгоритм адаптивного забезпечення QoS шляхом регулювання довжини IP пакету // Збірник наукових праць, - Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. Київ–2011 Випуск 59, с.161-165.
8. Maryan Kyryk, Nazar Pleskanka, Maryan Sylyuchenko, Reducing Channel Zapping Time Based on Predictive Tuning Method // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012, Lviv-Slavske, Ukraine, February 21-24, 2010. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012. – P. 244-245.
9. Mykhailo Klymash, Bohdan Koval, Nazar Pleskanka, The analysis and modeling mechanisms of formation and processing queues in multiservice networks // Proc. of the XII Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2013). - Lviv - Polyana: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2013. - P. 172-173.
10. М.М.Климаш, М.І.Кирик, Н.М.Плесканка, І.О.Кагало. Багаторівнева модель буферизації даних у вузлах обслуговування мультисервісного трафіку // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, №796 “Радіоелектроніка та телекомунікації”, Львів, 2014, с.182-195.

11. Плєсканка Н.М. Модель взаємозалежної буферизації мультисервісного трафіку. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції “Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – СПТЕЛ-2014”, 30 жовтня-02 листопада 2014 р., Львів. – С.101-104.

12. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Алгоритми обслуговування черг у безпроводних мережах // Збірник наукових праць, - Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. Київ–2014 Випуск 70, с.159-162.

13. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Статистична модель самоподібного трафіку мультисервісної мережі // VI Міжнародний науково-технічний симпозиум «Нові технології в телекомунікаціях» ГУИКТ-КАРПАТЫ '2013. 21 - 25 январа 2013 г., с. Вышков Долинського району Івано-Франківської області. – С.89-90.

14. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Багаторівнева модель буферизації даних у вузлах обслуговування мультисервісного трафіку // IV міжнародна науково-практична конференція “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано та мікроелектроніки”, Чернівці, 2014. 23-25 жовтня. С.98-99.

15. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Дослідження впливу параметрів кодеку h264 на якість відеосигналу // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, №705 “Радіоелектроніка та телекомунікації”, Львів, 2011, с.161-166.

16. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Вивчення властивостей мультимедійного трафіку, що передається по мережі CDN // XXX Науково-технічна конференція “Моделювання”. ІПМЕ НАН України. Тези конференції. 12-13 січня 2011 року. – К.: 2011. – 70 с. – С. 56-57.

17. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Визначення залежності якості відеосигналу від параметрів кодеку H264 // Матеріали конференції, науково-методична конференція “Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2011”, 27-30 жовтня 2011 р., Львів, с.9-11.

18. М.І.Кирик, Н.М.Плєсканка. Системна модель обслуговування черг в безпроводних мережах // XXXIII Науково-технічна конференція “Моделювання”. Тези конференції. 15-16 січня 2014 року. - К.: 2014. – С. 42.

19. Заявка а 2014 13995 Україна, МПК H04L 12/861. Спосіб буферизації мультисервісного трафіку у вузлах обслуговування / Н. М. Плєсканка, М. М. Климаш, М. І. Кирик, Б. М. Стрихалюк. – № 177127; заявл. 26.12.2014.

АНОТАЦІЯ

Плєсканка Н.М. “Моделі та алгоритми буферизації мультисервісного трафіку у телекомунікаційних мережах”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2015.

Роботу присвячено розробленню алгоритму багаторівневої буферизації мультисервісного трафіку із використанням технології адаптивної зміни

буферного простору, що дає змогу покращити якість надання послуг та оптимально використовувати ресурси мережі та вузлів обслуговування.

В роботі проведено аналіз мультисервісного трафіку діючої телекомунікаційної мережі передавання даних. Вибрано математичну модель для опису імовірно-часових характеристик досліджуваного трафіку.

Досліджено роботу алгоритмів управління чергами та перевантаженнями та за результатами моделювання запропоновано використання найбільш оптимального алгоритму WFQ, який забезпечує задовільну якість обслуговування в мультисервісній мережі передавання даних.

Вперше розроблено багаторівневу схему буферизації даних у вузлах обробки та приймання мультисервісного трафіку для покращення якості надавання послуг. Запропоновано використання технології динамічної (адаптивної) буферизації даних із метою оптимізації роботи моделі, що дає можливість встановлювати динамічно адаптовані для кожної черги пороги, а також сприяє більш раціональному використанню буферного простору та мінімізує рівень втрат.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що у поєднанні із алгоритмом пришвидшеного перемикавання каналів, розроблена схема багаторівневої буферизації даних із використанням технології адаптивної зміни буферного простору дає можливість суттєво знизити час перемикавання каналів при використанні послуг інтерактивного телебачення і тим самим підвищити якість сприйняття послуг кінцевими користувачами.

Ключові слова: мультимедійний трафік, алгоритм управління перевантаженням, адаптивна буферизація, якість обслуговування QoS, буферний простір, цифрове інтерактивне телебачення.

АННОТАЦІЯ

Плесканка Н.М. "Моделі і алгоритми буферизації мультисервісного трафіка в телекомунікаційних мережах". - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети - Национальный университет "Львовская политехника", Львов, 2015.

Работа посвящена разработке алгоритма многоуровневой буферизации мультисервисного трафика с использованием технологии адаптивного изменения буферного пространства, что позволяет улучшить качество предоставления услуг и оптимально использовать ресурсы сети и узлов обслуживания.

В работе исследованы основные принципы и методы передачи мультисервисного трафика в глобальных телекоммуникационных сетях. Проведен анализ трафика действующей сети передачи данных. Выбрано математическую модель для описания вероятностно-временных характеристик исследуемого трафика. Опираясь на результаты проведенных исследований, установлено, что исследуемый трафик является самоподобным и именно потому необходимо использование буферизации с целью обеспечения удовлетворительного качества обслуживания.

Изучено работу алгоритмов управления очередями и перегрузками а также предложен интегральный критерий оценки эффективности обслуживания очередей и управления перегрузками, учитывающий значение задержки, джиттера и вероятности потери пакетов который позволяет оценить результаты

работы средств управления очередями и буферным пространством. По результатам проведенного моделирования предложено использование оптимального алгоритма WFQ, который обеспечит удовлетворительное качество обслуживания в мультисервисной сети передачи данных.

Впервые разработана многоуровневая схема буферизации данных в узлах обработки и приема мультисервисного трафика для улучшения качества предоставления услуг. Предложенная схема учитывает взаимное влияние параметров буферизации на каждом уровне обслуживания. Предложено использование технологии динамической (адаптивной) буферизации данных с целью оптимизации работы модели, что дает возможность устанавливать динамически адаптирующиеся для каждой очереди пороги, а также способствует более рациональному использованию буферного пространства и минимизирует уровень потерь. Использование этой технологии позволяет снизить уровень потерь на 10% по сравнению с классическими методами буферизации данных.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что в сочетании с алгоритмом ускоренного переключения каналов, разработана схема многоуровневой буферизации данных с использованием технологии адаптивной (смарт) буферизации позволяет существенно снизить время переключения каналов при использовании услуг интерактивного телевидения и тем повысить качество восприятия услуг конечными пользователями.

Ключевые слова: мультимедийный трафик, алгоритм управления перегрузкой, адаптивная буферизация, качество обслуживания QoS, буферное пространство, цифровое интерактивное телевидение.

SUMMARY

Pleskanka N.M. “Models and algorithms of multiservice traffic buffering in telecommunications networks”. – Manuscript.

The thesis for the competition of scientific degree of technical sciences candidate on specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2015.

The work is devoted to development of the multi-buffering algorithm for multi-service traffic using adaptive changes of buffer space technology. This will help to improve the quality of service and optimal use of network resources and resources of the services nodes.

A multimedia traffic of existing multiservice telecommunication data network were analyzed in the thesis. A mathematical model to describe the probabilistic-time characteristics of the traffic was selected.

The work queue management and congestion algorithms were studied. Using the optimal algorithm WFQ was proposed by the modeling results.

The multi-buffering scheme of the node of data processing and receiving was proposed. A dynamic (adaptive) buffering technology was proposed. This technology makes it possible to set dynamically adapting thresholds for each queue, and promotes a more efficient use of the buffer space and minimize losses.

The practical significance of the results is that, the developed scheme combined with a quick-change channels algorithm, makes it possible to significantly reduce switching channels time while using interactive television and so improve the quality of perception services to end-users.

Keywords: multimedia traffic, congestion control algorithm, adaptive buffering, quality of service QoS, buffer space, Internet Protocol television.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

QoS	Quality of service	Якість обслуговування, якість надання послуг, якість сервісу;
TOS	Type of service	Тип обслуговування пакетів IP;
QoE	Quality of Experience	Якість сприйняття послуг;
IPTV	Internet Protocol television	Цифрове інтерактивне телебачення;
WFQ	Weighted fair queueing	Зважене справедливе обслуговування;
MOS	Mean Opinion Score	Середня суб'єктивна оцінка
STB	Set-Top Box	Телевізійна приставка
CDN	Content Delivery Network	Мережа доставки контенту
EPG	Electronic Program Guide	Електронний телегід

Здано в набір 19.10.2015. Підписано до друку 23.10.2015.

Формат 60x90 1/16. Зам. № 3002.

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.

