

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОТРАФІКУ В БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ»

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-216
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
ОП- Радіотехніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Березовський І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2025 р.

Рецензент: д.т.н., доц., проф., каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 12 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Березовському Іллі Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження методів передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку»

керівник роботи д.т.н., проф. професор каф. ІРТС Семенов А.О.

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” 03. 2025 року № 97

2. Строк подання студентом роботи 10 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: нижня межі зміни середньої довжини черги $\min_{th}$ 15;
верхня межі зміни середньої довжини черги $\max_{th}$ 45; максимальна ймовірність
відкидання 0,01; ваговий коефіцієнт середньої черги 0.031

4. Зміст текстової частини: Вступ. Класифікація й технології бездротових
мереж. Вимоги мультимедійних додатків до мережі та обмеження мереж
TCP/IP. Дослідження моделі мережі при передачі відео. Охорона праці.
Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Затримка пакетів в мережі. Схема роботи алгоритму RED.
Залежність імовірності відкидання пакета від середнього розміру черги.
Принцип роботи алгоритму Adaptive RED. Топологія досліджуваної мережі.
Залежності пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового
відеофрагменту при використанні відеофрагменту Drop Tail. Залежність
розміру черги на маршрутизаторів від часу, при застосуванні алгоритму Drop
Tail. Залежність розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні
алгоритму Adaptive RED.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф., професор каф. ІРТС. Семенов А.О.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

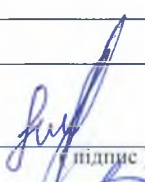
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	14.02.2025-28.02.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2025-19.03.2025	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БКР.	20.03.2025-25.03.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	26.03.2025-06.05.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2025-18.05.2025	
6.	Розробка графічної частини БКР	19.05.2025-22.05.2025	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2025-25.05.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.05.2025-05.06.2025	
9.	Нормоконтроль	07.06.2025-10.06.2025	
10.	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	11.06.2025-12.06.2025	
11.	Захист БКР ЕК	13.06.2025-17.06.2025	

Студент

Березовський І.М.

Керівник роботи

Семенов А.О.


(підпис)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Березовський І. М. Дослідження методів передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 86 с. Українською мовою. Бібліогр.: 35 назв; Рис.: 18, Табл. - 7.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено дослідження поведінки Wi-Fi мережі з відеотрафіком при різних алгоритмах керування чергою. Проведене моделювання передачі відео по бездротовій мережі, з використанням алгоритмів Drop Tail і RED керування чергою. Отримано й проаналізовано показники продуктивності мережі – розмір черги й час доставки пакета, оцінена якість передачі відео на основі критерію PSNR. Розглянуті алгоритми запобігання перевантажень і їхній вплив на передачу відеотрафіка. Також у бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблений розділ охорони праці, в якому розроблені технічні рішення щодо безпечного виконання роботи, розглянуто вимоги з гігієни праці та виробничої санітарії, здійснено аналіз пожежної безпеки.

Ключові слова: системний аналіз, мобільні системи радіозв'язку, якість передачі відео, бездротова мережа, черга, доступ.

ABSTRACT

Berezovsky I. M. Research of methods of video traffic transmission in wireless communication systems. Bachelor's qualification work. - Vinnytsia: VNTU, 2025. - 86 p. In Ukrainian. Bibliography: 35 titles; Figures: 18, Table -7.

In his bachelor's thesis, he studied the behaviour of a Wi-Fi network with video traffic under different queue management algorithms. The modelling of video transmission over a wireless network using the Drop Tail and RED queue management algorithms was carried out. The network performance indicators, such as queue size and packet delivery time, are obtained and analysed, and the video transmission quality is evaluated based on the PSNR criterion. The algorithms for preventing congestion and their impact on video traffic transmission are considered. The bachelor's thesis also includes a section on labour protection, which develops technical solutions for safe work performance, considers occupational health and safety requirements, and analyses fire safety.

Keywords: system analysis, mobile radio communication systems, video transmission quality, wireless network, queue, access.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 КЛАСИФІКАЦІЯ Й ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ	11
1.1 Класифікація бездротових мереж	11
1.2 Стандартизація в області телекомунікацій.....	15
1.3 Модель взаємодії відкритих систем.....	20
1.4 Методи доступу до середовища передачі в бездротових мережах	22
2 ВИМОГИ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДОДАТКІВ ДО МЕРЕЖІ ТА ОБМЕЖЕННЯ МЕРЕЖ ТСП/IP	32
2.1 Параметри якості обслуговування, що впливають на якість передачі мультимедійної інформації	33
2.2 Алгоритми якості обслуговування	35
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ МЕРЕЖІ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО	41
3.1 Опис моделі досліджуваної мережі	41
3.2 Алгоритм Drop Tail	43
3.3 Алгоритми RED	48
3.4 Алгоритм Adaptive RED	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	58
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	61
4.3 Пожежна безпека.....	66
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	75
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) кваліфікаційної роботи.....	85

ВСТУП

Актуальність роботи.

У сучасному цифровому світі відеоінформація займає провідне місце серед усіх типів трафіку, що передаються через телекомунікаційні мережі. За статистичними даними, понад 80% усього глобального інтернет-трафіку становить саме відеоконтент. Це зумовлено широким розповсюдженням стрімінгових сервісів, соціальних платформ, систем відеозв'язку, а також розвитком технологій відеоспостереження, телемедицини та дистанційного навчання.

Особливої актуальності набуває проблема ефективної передачі відеотрафіку в бездротових мережах зв'язку, таких як мобільні мережі четвертого та п'ятого покоління (4G/5G), Wi-Fi, а також мережі Інтернет речей (IoT), де пристрої активно використовують відео в реальному часі. Основними труднощами в таких умовах є обмежена пропускна здатність каналів, варіативність якості з'єднання, вплив перешкод, затримок і втрат пакетів. Усе це вимагає застосування ефективних методів кодування, адаптації та передачі відео з урахуванням особливостей бездротового середовища.

Забезпечення високої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) та якості сприйняття (Quality of Experience, QoE) під час передачі відео є критично важливим для задоволення потреб кінцевих користувачів. Тому дослідження методів оптимізації відеотрафіку, зниження затримок, підвищення надійності передачі даних та зменшення навантаження на мережу є актуальним завданням для сучасної інженерії зв'язку та інформаційних технологій.

Регіональні та локальні мережі охоплюють усі сфери людської діяльності, включаючи культуру, науку, економіку, освіту, промисловість тощо. Технологію Ethernet (10 Мбіт/с) замінює Fast Ethernet/Gigabit Ethernet

(100/1000 Мбіт/с), і ці зміни також вплинули на глобальний зв'язок (розмістивши X25 замість Frame Relay).

Сьогодні без них були б неможливі такі служби, як електронна пошта, факс і телефон, неможливий доступ до віддалених джерел даних у режимі реального часу, новини, менеджери і дистанційне навчання, відеоконференції тощо [4-5].

Наприкінці 20-го і на початку 21-го століття людство почало відходити від концепції бездротового телекомунікації, розвиток мікроелектроніки сприяв створенню великих, недорогих пристроїв для зв'язку за допомогою бездротових технологій.

Зростання стільникового зв'язку можна порівняти зі зростанням виробництва персональних комп'ютерів і смартфонів, але не зупиняється вже понад третини століття: зараз смартфонів вдесятеро більше, ніж стаціонарних телефонів. Бездротові локальні мережі швидко розвиваються, кількість особистих і регіональних бездротових мереж зростає.

Огляд сучасного стану.

Стрімкий розвиток бездротових технологій як у світі, так і в Україні пояснюється такими перевагами:

- універсальність архітектури;
- швидкість проектування та виконання;
- підвищена безпека від незаконного проникнення;
- Відкритість цін і відмова від дорогої, але не завжди можливої прокладки кабелю.

Важливо визнати, що сучасні комунікаційні технології стосуються не лише обсягу та дальності передачі даних, а й якості передачі та сумісності різних типів трафіку. Сьогодні методи забезпечення якості обслуговування (QoS) є одними з найважливіших питань у мережевих технологіях, оскільки без їх впровадження була б неможлива робота сучасних мультимедійних додатків, таких як IP-телефонія, відео та радіомовлення. Ці підходи

використовують параметри, які описують швидкість передачі даних, затримку пакетів і втрату пакетів.

Методи якісного обслуговування зосереджені на впливі заторів на транспортні засоби на комунікаційні пристрої. Вони використовують різні стратегії керування чергами, резервування та зворотній зв'язок, усі з яких спрямовані на зменшення негативних ефектів черг до допустимого рівня для користувачів [7-8].

Черги є загальним атрибутом мереж з комутацією пакетів. Сама ідея роботи цих мереж базується на наявності буфера на кожному вхідному та вихідному портах комутатора пакетів. Буферизація пакетів під час перевантаження є основним механізмом, відповідальним за підтримку трафіку, цей механізм забезпечує високу продуктивність зв'язку такого типу. І навпаки, черги є результатом невизначеної затримки в передачі пакетів через мережу, це основна причина проблем для чутливого до затримки трафіку.

Оскільки оператори пакетної мережі зараз дуже стурбовані надсиланням мультимедійного вмісту, їм потрібен спосіб збалансувати бажання перевантажити свою мережу з необхідністю підтримувати QoS, одночасно надсилаючи всі типи трафіку.

У методах забезпечення якості послуг використовуються різні механізми для зменшення негативного впливу пакетів у чергах, зберігаючи при цьому позитивну роль черг. Набір механізмів досить великий [10].

Щоб забезпечити необхідні умови для різних потоків даних, використовуються два підходи QoS: управління перевантаженням і уникнення перевантаження. Перший підхід базується на організації потоків за категоріями, і коли виникає перевантаження, потокам призначається якість, яка обмежується їх категорією та пріоритетом (наприклад, WFQ-Weighted Fair Queuing). Другий підхід пов'язаний із зменшенням розміру черги (наприклад, RED – випадкове раннє виявлення).

У даній роботі будуть розглянуті алгоритми запобігання перевантажень і їхній вплив на передачу відеотрафіка.

Мета роботи: дослідити поведінку Wi-Fi мережі з відеотрафіком при впровадженні різних алгоритмів керування чергою:

- Drop Tail;
- Random Early Detection In/Out Coupled (RIO-C);
- Random Early Detection In/Out De-coupled (RIO-D);
- Adaptive Random Early Detection (Adaptive RED).

Об'єкт дослідження: процеси передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку.

Предмет дослідження: методи та алгоритми ефективної передачі відеотрафіку в умовах змінних параметрів бездротового середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

- Розглянути вимоги до мережі з боку мультимедійного трафіка й обмеження TCP/IP мереж.
- Провести моделювання передачі по Wi-Fi мережі відео й web-трафіка, з використанням алгоритмів керування чергою пакетів Drop Tail, RIO-C, RIO-D, Adaptive RED, що працюють на маршрутизаторі.
- Проаналізувати вплив цієї технології на якість передачі відео. Оцінити розмір черги, загальну затримку в мережі, PSNR отриманого відео.
- Оцінити вплив параметрів алгоритму Adaptive RED на затримки в мережі, а так само якість передачі відео, ґрунтуючись на критерії PSNR.

Теоретична новизна отриманих результатів: виявлено, що використання алгоритму Drop Tail призводить до збільшення мереженої затримки пакету.

Практична новизна отриманих результатів: встановлено, що для розглянутої мережі найбільш оптимальним є алгоритм Adaptive RED, який має параметри $\min_{th}=15$, $\max_{th}=45$, $\max_p=0,01$, $\alpha=0,065$ і $w_q=0.031$.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ Й ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Класифікація бездротових мереж

Класифікація будь-чого – справа невдячна, оскільки існує багато різних критеріїв, за якими можна класифікувати об'єкти, і реальний світ може не вписуватися в визначені межі того чи іншого класу, в результаті розвиток існуючих систем класифікації призведе до відмови від них. Це також стосується бездротових мереж передачі інформації (WIN). У підсумку давайте обговоримо найпоширеніші методи ранжування різних бездротових систем. Як правило, WIN поділяються на:

- процес отримання первинної інформації - в цифровий чи аналоговий формат;
- за довжиною спектру передачі - на короткостроковий, середньостроковий і довгостроковий;
- сегментація абонентів - на мобільних і стаціонарних;
- географічну віддаленість - на особисту, локальну, регіональну та глобальну;
- вид інформації, що передається - в системи передачі голосу, відео та даних.

Також відносно точно класифікувати нахил на основі використовуваної технології (супутниковий зв'язок, оптичні волокна в атмосфері тощо), за призначенням тощо.

Майже всі технології, які були розглянуті, є частиною цифрової бездротової широкосмугової системи. Давайте виділимо унікальні атрибути цих систем, описуючи «навколо» системи. Термін «бездротовий» зрозумілий, фізичного з'єднання між проводом (волоконно-оптичним або мідним кабелем) немає. Також відносно просто визначити, чи є система цифровою чи ні. цифрові системи складаються з інформації, яка вводиться в аналоговій формі (наприклад, голос, аналоговий телевізійний сигнал тощо). спочатку

перетворюється в цифровий (дискретний) формат. Проте певна невизначеність тут присутня. В принципі, будь-який сигнал, який передається по фізичному каналу, є суто аналогічним: на практиці він не повинен мати дискретну форму (чим далі від нескінченної синусоїди, тим більше паразитних гармонік і пов'язаних з цим проблем), що досягається спеціальними методами.

Таким чином, термін «цифрова система» означає лише те, що вхідні аналогові дані перетворюються в цифрову форму і переважно обробляються цифровими методами.

Пропускна здатність ще більш складна. Незрозуміло, яке тут визначення. Зазвичай припускають, що якщо ширина спектральної смуги набагато менша за центральну частоту смуги, система вважається вузькосмуговою. В іншому випадку система має повну пропускну здатність. Критерій досить неоднозначний. Наприклад, система вважається широкосмуговою, якщо функція передачі каналу в цьому діапазоні значно відрізняється від частоти (наприклад, функція передачі в робочому діапазоні вузькосмугової системи майже не залежить від частоти). Очевидно, що ці визначення досить неоднозначні. Згідно з нашою термінологією, «широкосмугова система» - це система, яка демонструє певні ефекти та властивості, пов'язані з широкою смугою пропускання. Як наслідок, точне визначення не потрібне, і навіть неможливо досягти [3].

Різниця між мобільними та мобільними системами, яка здається простою, насправді заслуговує на увагу. Важливо розрізнити можливість пересування абонентів, що забезпечується технологією, і різницю між послугами мобільного та фіксованого зв'язку, яка пов'язана з питанням розподілу частот і плати за ліцензії. Найпоширенішим прикладом такої неоднозначності є розповідь про появу стандарту CDMA в Україні. Устаткування цього стандарту спочатку було дозволено використовувати в нашій країні тільки для надання послуг фіксованого зв'язку. Проте IS-95 - це мобільний стандарт мобільного зв'язку. З технологічної точки зору його

неможливо «змінити» або «модифікувати». Подібна нерішучість була прищеплена супутниковому зв'язку. З технічної точки зору мобільність може бути обмежена чутливістю технології до швидкості, труднощами переходу з однієї зони в іншу без втрати зв'язку та сприйнятливостю до короткочасних збоїв зв'язку.

Розмежування за розміром території також дещо умовне, якщо орієнтуватися на суміжні рівні. Персональні мережі (WPAN - wireless personal area network) мають радіус дії від сантиметрів до кількох метрів (до 10-15 м). Основна мета цих мереж — замінити кабельну систему, яка використовується для з'єднання комп'ютерів та інших пристроїв (наприклад, клавіатури та миші). У цьому контексті типова потужність передавачів випромінювання становить 1-10 мВт. Локальні мережі (WLAN для локальної бездротової мережі) мають відстань між пристроями до сотень метрів і потужність передавача приблизно 100 мВт. Це мережі, призначені для підключення пристроїв у локальній зоні (наприклад, вдома, в офісі чи школі). Важливо визнати, що мережі міського масштабу також будуються за допомогою успішного локального протоколу бездротової мережі. Наприклад, таким чином використовуються такі технології, як DECT і IEEE 802.11 [2].

Багато різних технологій використовуються в міських (національних) мережах. До них відносяться телевізійні та радіопрограми terrestre, стільниковий зв'язок і магістральні системи. Нещодавно було випущено сімейство універсальних стандартів для бездротових широкосмугових мереж у містах IEEE 802.16. Якщо говорити про глобальні бездротові системи передачі даних, то для них характерні супутникові системи зв'язку. Однак, враховуючи, що майже всі мережі стільникового зв'язку внутрішньо пов'язані, усі вони розроблені з урахуванням потенціалу взаємодії, ми можемо (з деякою натяжкою) говорити про глобальні стільникові мережі. Унікальним атрибутом є поділ за типом інформації, що передається, наприклад, на системи, що передають мову (або відео), а також асинхронну інформацію. З іншого боку, мовлення відносять до одного з видів знання.

Після перетворення мовні дані неможливо відрізнити від інших потоків мовлення.

Поширення цифрових технологій у різних сферах телекомунікацій продемонструвало ефективність цифрових методів обробки мови та даних. І навпаки, попит на інформацію різного типу вже призвів до інтеграції різноманітних інформаційних мереж (телефонії, телебачення, цифрових мереж передачі даних, телеметрії) на побутовому рівні. Всі види даних передаються по одному каналу передачі. У результаті можна відносно безпечно вважати, що не за горами той день, коли вся усна інформація буде оброблятися виключно цифровими методами. Можливо, тут можна зупинитися, але постає важливе питання. Кожен тип інформації має унікальний набір вимог, які мають бути виконані під час передачі. Людина відчуває затримку в передачі мови, коли вона перевищує 0,25 секунди. При затримках близько 0,5 секунди сприйняття мови стає неприйнятним. Крім того, проблема полягає не лише в затримці, а й у неминучому ехо-сигналі, наявному в подвійному зв'язку, який неможливо усунути із затримкою.

І навпаки, спорадичні перешкоди та втрата даних негативно впливають на мовні дані. Це означає, що при передачі пакетного мовлення важливість короткої затримки в поширенні сигналів у каналі є першочерговою, а також відновлення та маршрутизація даних із пакетів (незалежно від їх початкової послідовності) у реальному часі. У цьому випадку допускається навіть втрата окремих пакетів. Ситуація аналогічна передачі відеоінформації - затримка між прийомом окремих пакетів (наприклад, MPEG-2) не повинна перевищувати заданий поріг, але втрата пакетів зазвичай допускається. До передачі телеметричної інформації, текстових даних тощо висуваються різні вимоги. Тут типовим пріоритетом є не наявність важливого режиму реального часу (у певному діапазоні), а натомість уникнення втрати даних, наскільки це можливо. Врахування цих рис може призвести до розробки спеціальних технологій, орієнтованих на передачу певних типів інформації.

Поширеним прикладом є поява технології Frame Relay — методу передачі, при якому немає перевірки проходження окремих пакетів (на відміну від традиційних мереж X.25 із підтвердженням і повторною передачею кожного пакета) є прикладами цього типу).

Наведені вище міркування показують, що будь-яке визначення, незалежно від того, як і ким воно оцінюється, не слід розглядати буквально, і, що більш важливо, ми не повинні бути шоковані використанням тієї чи іншої технології для цілей, відмінних від її прямого призначення.

1.2 Стандартизація в області телекомунікацій

Найважливішою складовою модернізації телекомунікаційних систем є їх стандартизований розвиток. Стандартизація важлива для всіх учасників телекомунікаційної галузі, включаючи виробників електронних компонентів, обладнання, розробників мереж і кінцевих користувачів. Спочатку стандартизація - це виробництво технології, яка масово виробляється, що призводить до низьких цін і широкого використання технології. Звичайно, процес вибору та затвердження стандартів є не лише технічним, а й політичним. Як правило, різні компанії винаходять нові версії технології майбутнього. Загальний обсяг майбутніх доходів базується на кількості грантів, які затверджені на даний момент. У результаті загальний стандарт стане загальновизнаним, якщо організація, яка його стандартизує, є надзвичайно потужною, а процес затвердження сам по собі відкритий і неупереджений.

Головною організацією у світі в області стандартизації в телекомунікаціях є Міжнародний телекомунікаційний союз (ITU - International Telecommunications Union), що працює під егідою ООН. Після реорганізації 1 березня 1993 р. два його сектори увібрали в себе три найважливіші організації, що стандартизують. У сектор радіозв'язку (ITU-R, ITU Radio communication Sector) увійшли Міжнародний консультативний

комітет з радіомовленню (CCIR - International Radio Consultative Committee) і Міжнародний комітет з реєстрації радіочастот (IFRB - International Frequency Registration Board). До цього ключову роль у розподілі спектра грали саме ці організації. Вони також займалися питаннями супутникових систем зв'язку, глобальних радіосистем і ін. Сектор телекомунікацій Міжнародного телекомунікаційного союзу ITU-T (ITU Telecommunication Standardization Sector) став спадкоємцем Міжнародного консультативного комітету з телеграфії й телефонії (CCITT - Consultative Committee for International Telephone and Telegraphy), довгі роки видававшого свої знамениті - «кольорові книги» - збірники стандартів в області телекомунікацій. Третій сектор ITU дослідницький сектор ITU-D, був створений на базі організованого в 1989 р. Бюро телекомунікаційних досліджень (Telecommunication Development Bureau - TDB).

Треба відзначити, що не випадково саме ITU відіграє чільну роль в області міжнародних телекомунікаційних стандартів. Історія цієї організації нерозривно пов'язана з історією телекомунікаційної індустрії. Уперше аббревіатура ITU з'явилася 140 років тому, 17 травня 1865р., у Парижу, коли представники 20 держав прийняли першу міжнародну телеграфну конвенцію й заснували Міжнародний телеграфний союз - International Telegraph Union (ITU) Нагадаємо, тоді телеграф був єдиним видом електров'язку. З 1885 р. ITU займався й питаннями міжнародної стандартизації телефонії. В 1906 р. під егідою ITU у Берліні пройшла перша міжнародна конференція з питань радіотелеграфії, на якій була прийнята перша конвенція, що заклала основу того, що сьогодні називають частотним регулюванням[13].

До середини 20-х років були засновані міжнародні консультативні комітети в області телефонії (The International Telephone Consultative Committee - CCIF, 1924), телеграфії (The International Telegraph Consultative Committee - CCIT, 1925) і радіомовлення (CCIR, 1927). В 1932 р. у Мадриді ITU знайшов свою сучасну назву - International Telecommunication Union (офіційна дата перейменування - 1 січня 1934 р.). 15 жовтня 1947 р. в

Атлантик-Сіті ITU одержав статус агентства тільки що створеної ООН. У тому ж році був заснований і Міжнародний комітет з реєстрації радіочастот IFRB. В 1956 р. CCIT і CCIF злилися в єдину організацію CCITT. 1 березня 1993 р. завершилася одна з найбільших у практиці реорганізацій, у результаті чого ITU знайшов свій сучасний вид. Відзначимо, що сучасна структура ITU як не можна краще відбиває ситуацію в області сучасних телекомунікацій: тісне переплетення і єднання технологій провідних і бездротових, аналогових і цифрових.

Величезну роль в області твердження міжнародних стандартів грає Міжнародна організація по стандартизації ISO (International Organization for Standardization). Це мережа інститутів стандартизації 148 різних країн. Сама назва організації ISO - не скорочення (було б IOS), а похідне від грецького слова isos (рівний). Якщо ITU, як агентство ООН, являє собою міжурядову організацію, то ISO - неурядовий орган. Серед членів ISO не тільки урядові, але й частки організації. Прабатьком ISO стала заснована в 1906 р. і успішно діюча дотепер Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК, IEC - International Electro technical Commission), що займається питаннями стандартизації в області електротехніки й електроніки. В 1926 р. була створена ISA (International Federation National Standardizing Associations) - Міжнародна федерація національних організацій, що стандартизують. З початком другої світової війни ISA припинила існування, але була відроджена за назвою ISO на конференції національних організацій, що стандартизують (25 країн), що проходила з 14 по 26 жовтня в 1946 р. у Лондоні (офіційний початок роботи ISO - 23 лютого 1947 г). Важливу роль у народженні ISO зіграв створений в 1944 р. Координаційний комітет стандартів Об'єднаних Націй (United Nations Standards Coordinating Committee), що влився в ISO. Сьогодні ISO відіграє найважливішу роль в області стандартизації в телекомунікаціях, працюючи в щільній кооперації з IEC. Можна сказати, що IEC і ISO поділили сфери впливу: IEC - стандарти в області електроніки й електротехніки, ISO - все

інше. Вони використовують єдину систему нумерації, і в кодах стандартів найчастіше фігурує назва обох організацій, наприклад ISO/IEC 8802-3.

Відзначимо, що й ITU, і ISO, і IEC виступають скоріше як самі авторитетні стверджуючі організації. Сьогодні загальносвітова практика така, що властиво технічним проробленням майбутніх стандартів займаються провідні національні й міжнаціональні організації. Насамперед, це Європейський інститут стандартизації в області телекомунікацій ETSI (European communications Standards Institute), Європейська конференція поштових і телекомунікаційних відомств (CEPT - Conference of European Postal and Telecommunication Administrations), національні інститути стандартизації. У США це ANSI, у Японії - JESA (Japanese Engineering Standards Association) у Великобританії - Міністерство пошт і телекомунікацій (MPT - Ministry of Posts and Telecommunications). Досить значимі різні промислові асоціації й об'єднання, такі, як Асоціація електронної промисловості США EIA (Electronics Industries Association) і Інститут інженерів по електротехніці й електроніці IEEE (США). Очевидно, що ці організації самі по собі ніяких технологій не розробляють, але вони організують і координують всю роботу, необхідну для вибору оптимального варіанта з декількох запропонованих, його доробки, документального оформлення, твердження, дозволі конфліктів і т.п. Як правило, для кожний майбутній стандарт створюється робоча група, у яку входять представники всіх зацікавлених сторін, що і займається проробленням питання.

Окремо у переліку організацій, що стандартизують, є Інститут інженерів та електротехніків й електроніці - IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Досить сказати, що членами IEEE є ANSI і ISO. IEEE випускає свої власні стандарти, що мають загальносвітове значення. Як правило, вони потім затверджуються ISO і/або ITU, але це вже формальність.

Безумовно, IEEE явище американське. Але сама історія цієї організації показує, наскільки важливу роль вона грала й грає в розвитку телекомунікацій у світовому масштабі, наскільки її структура відбиває реалії

ції настільки динамічної індустрії. Корінь IEEE ідуть у позаминуле століття. 13 травня 1884 р. але ініціативі 25 найбільш авторитетних фахівців-електротехніків США, серед яких були Т. Едісон, Э. Томсон і Э. Х'юстон, був заснований Американський інститут інженерів-електротехніків AIEE (American Institute of Electrical Engineers). В області телекомунікацій ця організація займалася питаннями провідного електрозв'язку. Саме AIEE належить заслуга в створенні перших стандартів США в даному напрямку. В 1907 р. у Бостоні було організоване Суспільство інженерів по бездротовій телеграфії (Society of Wireless Telegraph Engineers - SWTE). Через два роки в Нью-Йорку створили Бездротовий інститут (The Wireless Institute - TWI). Однак до 1912 р. обох ці організації виявилися в кризі й вирішили об'єднатися. У результаті був створений Інститут радіоінженерів IRE (Institute of Radio Engineers). Ця організація, що відає питаннями стандартизації в бездротовому зв'язку, в 1963 р. об'єдналася з AIEE. Так 1 січня 1963 р. народився IEEE. Відзначимо, що, незважаючи на міжнародний статус, IEEE тяжіє до Північноамериканського континенту. Однак це не заважає йому бути законодавцем світової моди в області телекомунікацій. У рамках теми справжньої книги особливої уваги заслуговує комітет IEEE 802, що займається питаннями стандартизації технологій мереж передачі даних. Зусиллями цього комітету оформилися у вигляді стандартів такі технології, як Ethernet, Token Ring, бездротової Ethernet і ін. [5].

В Україні питаннями стандартизації в якості головного національного інституту займався й продовжує займатися Держстандарт у співробітництві з галузевими інститутами. На жаль, робота Держстандарту в області телекомунікацій у плані участі в міжнародній стандартизаційній діяльності не відрізняється оперативністю. Можливо, у цьому є й позитивна сторона, оскільки сьогодні вітчизняні фахівці оперують міжнародними стандартами - ISO, ITU, IEEE. Це гарантує, що не з'явиться черговий стандарт, або не погодиться із загальносвітовою практикою (як дотепер діючий в області телефонії ДЕРЖСТАНДАРТ 7163-85 з унікальною вимогою на опір

складального ключа телефонного апарата при замиканні шлейфа менш 50 Ом), або з явно не кращими технічними рішеннями (згадаємо частотну систему сигналізації «2 з 6» з рівномірним кроком між частотами 200 Гц у діапазоні 700-1700 Гц, що вимагає істотно різносмугових фільтрів). Але в міру інтеграції зі світовим телекомунікаційним співтовариством ситуація, сподіваємося, буде змінюватися на краще.

1.3 Модель взаємодії відкритих систем

Еталонна модель взаємодії відкритих систем (MBBC, OSI - open system interconnection) - це найбільш удача спроба стандартизувати протоколи обміну інформацією. Вона була розроблена й затверджена ISO у тісній взаємодії з ССІТТ в 1984 р. MBBC не тільки стала основою для розробки мережних стандартів, але й з'явилася гарною методологічною основою для вивчення й порівняння мережних технологій. Незважаючи на те що були розроблені й інші моделі, більшість розроблювачів і постачальників мережних продуктів використовують термінологію еталонної моделі MBBC [10].

Відповідно до MBBC всі протоколи взаємодії систем підрозділяються на сім рівнів - фізичний, каналний (ланки даних), мережний, транспортний, сеансовий, представницький і прикладний. Розглянемо коротко основні функції перерахованих рівнів.

Нижнім рівнем ієрархії є фізичний (Physical). Він визначає електричні й механічні характеристики підключення до фізичних каналів зв'язку, а також процедури передачі потоку бітів від одного вузла до іншого. Іншими словами, функції цього рівня - передати потік бітів між двома крапками по заданому каналі зв'язку. Фізичний рівень надає сервіс для каналного рівня або рівня ланки даних (Data link), відповідального за передачу даних по каналі зв'язку між двома крапками (вузлами мережі). До функцій каналного рівня в першу чергу ставляться упакування інформації в кадри певної

довжини, формування контрольних сум і перевірка вмісту кадрів після їхньої передачі, формування підтверджень про прийом кадрів, повторна передача непідтверджених кадрів і т.д. [4].

Мережний рівень (Network) забезпечує взаємодія між вузлом і мережею. Він формує мережні адреси пакетів, управляє потоками, адресацією, маршрутизацією, організацією й підтримкою транспортних з'єднань. Одиницею інформації протоколів мережного рівня є пакет, тому іноді цей рівень називають пакетним[4].

Транспортний рівень (Transport) призначений для трансляції потоків даних з одного порту в іншій. Під портом розуміється кінець логічного каналу мережі передачі даних, де фактично завершуються операції транспортування даних і починаються обчислювальні процеси. На цьому рівні відбувається прозора трансляція даних від передавача до приймача через як завгодно складне середовище передачі - через різні мережі за допомогою різноманітних мережні й фізичні технології. На транспортному рівні встановлюються й роз'єднуються транспортні з'єднання, формуються пакети, що належать переданому в сеансі зв'язку потоку. Транспортний рівень останній в ієрархії MBBC, що забезпечує транспортний сервіс; він звільняє більше високі рівні від організації передачі даних[4].

Основне призначення сеансового рівня (Session) організація, підтримка й закінчення сеансів (логічного зв'язку) між прикладними процесами. Сеанси встановлюються через рівень подання (Presentation). Ціль рівні подання - перетворення даних у форму, зручну для прикладної програми. На цьому рівні перетворюються формати даних і команд. Прикладний рівень (Application) являє собою процес обробки інформації (прикладні процеси). Він забезпечує роботу прикладної програми так, ніби обмін даними відбувався б не через мережу передачі даних, а автономно й обчислювальній машині.[5].

Відзначимо, що, незважаючи на безсумнівну корисність MBBC, не існує ні однієї комунікаційної системи, структурованої у відповідності з

усіма сьома рівнями цієї моделі. І якщо між фізичним і канальним рівнем ще можна провести досить чітку границю, то останній уже розпадається на два підрівня - контролю доступу до середовища передачі (MAC - Medium Access Control) і керування логічним з'єднанням (LLC - Logical Link Control). Однак MBBC внесла певний порядок в опис процедур взаємодії телекомунікаційних систем, і хоча б у цьому вона послужила добру службу [2].

1.4 Методи доступу до середовища передачі в бездротових мережах

Однією з головних проблем створення бездротових систем є вирішення проблеми надання доступу багатьом користувачам до обмеженого ресурсу середовища. Кілька основних методів множинного доступу також називаються методами стиснення або націлювання, усі вони засновані на відмінності між станціями, що відносяться до одного типу параметрів, таких як простір, час, частота та код. Завдання множинного доступу полягає в тому, щоб надати кожному каналу зв'язку власний простір, час, частоту та/або код з найменшою кількістю перешкод і максимально можливим використанням властивостей середовища.

Множинний доступ з просторовим поділом заснований на розподілі сигналів у просторі, коли кожен бездротовий пристрій може спілкуватися з іншими пристроями лише на своїй території (просторовій області), іншим пристроям заборонено надсилати їм повідомлення. Найпростіший метод просторового поділу - це зменшення потужності відправників.

До недавнього часу цей підхід вважався невдалим - до розробки промислових систем, які точно локалізують території, охоплені окремими передавачами. З появою обладнання (і відповідних стандартів), яке дозволяє регулювати потужність передавачів в абонентах і базових станціях, а також антен, які були модифіковані для отримання певної діаграми спрямованості, цей підхід став популярним. Типовим прикладом є стільникові телефони, які використовують цифрове представлення діаграм спрямованості тощо. У

схемах множинного доступу з частотним поділом (Frequency Division Multiplexing – FDM) кожен пристрій є частотнозалежним, що дозволяє кільком пристроям передавати в одній зоні. Це один із найпоширеніших методів, він або використовується в найновіших системах бездротового зв'язку, або застарів.

Типовим прикладом методу FDM є робота кількох радіостанцій на одній території, але з різними частотами. У цьому контексті їх дозволені робочі частоти повинні бути розділені захисним діапазоном частот, що дозволяє виключити взаємні перешкоди. Незважаючи на те, що ця схема полегшує використання кількох пристроїв на певній території, вона сама по собі призводить до невиправданої втрати зазвичай дефіцитних частотних ресурсів, оскільки вимагає окремого виділення певної частоти для кожного бездротового пристрою.

Більш універсальним є множинний доступ із тимчасовим поділом (Time Division Multiplexing TDM). У цьому методі канали організовані за часом, тобто кожен передавач випромінює сигнал на одній частоті, але з різними часовими інтервалами (як правило, це повторюється циклічно). Весь процес передачі суворо дотримується.

Ця схема вигідна тим, що інтервали між мережевими пристроями можна динамічно змінювати. Пристроєм, які мають більше відвідувачів, надаються більші інтервали, ніж пристроєм, які мають менше відвідувачів.

Однак метод стиснення часу неефективний в суто аналогових мережах, навіть якщо джерело даних є аналоговим (наприклад, мова), він вимагає перетворення в цифровий і поділ на пакети. Типова швидкість передачі готельного пакету значно вища за початкову швидкість передачі даних.

Типовим прикладом економії часу (в дротових мережах) є передача телефонної інформації за протоколом E1. У вузлі PBX кожен аналоговий телефонний канал перетворюється на потік даних зі швидкістю 64 кбіт/с (8

біт оцифрування $\times 8$ кГц частота дискретизації). Фрагменти 8 біт з 32 каналів (30 телефонних і 2 службових) завершують цикл.

Тривалість кожного циклу становить 125 мкс, а швидкість передачі даних становить $(32 \times 8 \text{ біт})/125 \text{ мкс} = 2048 \text{ кбіт/с}$ (що приблизно дорівнює 2048 000 байт/с). Цей потік передається по первинних каналах і реконструюється (дублюється) на приймальному кінці.

Основним недоліком мультиплексування з тимчасовим поділом є миттєва втрата інформації, коли синхронізація каналу порушується; це найчастіше трапляється, коли інформація передається між кількома каналами на одній частоті. Однак успішний досвід використання популярних систем TDM, таких як мережа стільникового зв'язку GSM, показує, що механізм розподілу часу є достатнім з точки зору надійності. Іншим методом множинного доступу є поділ коду CDM (CDM). Спочатку, через складність реалізації, ця схема в основному використовувалася у військових умовах, але пізніше стала широко використовуватися в цивільних системах. Протокол стільникового телефону IS-95a також призначений для механізму поділу каналів на основі CDM (CDMA CDM Access), а також кількох інших стандартів стільникового зв'язку третього покоління (CDMA2000, WCDMA тощо). У цьому методі всі передавачі випромінюють сигнали на одній частоті, але з різними початковими кодами [2].

Ідея скорочення коду демонструється на прикладі кількох людей у кімнаті, які розмовляють різними мовами. Крім того, кожна людина розуміє лише одну певну мову. Для кожної людини розмова незрозумілою ідіомою буде вважатися звуком безглузлого шуму, позбавленого будь-якої інформативної цінності. У контексті цього шуму він розпізнає передачу інформації мовою, яку він розуміє.

У методі CDM кожен передавач приймає кожен біт вихідного потоку даних і перетворює його в символ CDM, який є кодовою послідовністю довжиною 11, 16, 32, 64 тощо бітів (їх називають чіпами). Кодова послідовність є унікальною для кожного передавача, і вони вибираються так,

щоб мати найменшу кореляцію між будь-якими двома кодами CDM (і в деяких випадках автокореляція коду CDM зі зсувом фази також мінімізована). Як правило, якщо код CDM використовується для заміни 1 у початковому потоці даних, то той самий код, але з його інверсією, використовується для заміни 0 [1].

Приймач знає код CDM, який використовує передавач для сигналізації про свою присутність, цей код є постійним, і приймач отримує всі сигнали передавача, вони будуть перетворені в цифри. Далі в унікальному пристрої (кореляторі) він здійснює згортку (множення з накопиченням) вхідного цифрового сигналу з відомим йому кодом CDM і його дешифрування. У більш стислій формі це подібно до операції скалярного добутку вектора вхідного сигналу та вектора з кодом CDM. Якщо сигнал на виході корелятора перевищує певний поріг, приймач вважатиме, що він отримав 1 або 0. Щоб збільшити ймовірність отримання сигналу, передавач може повторно передавати той самий біт. У цьому випадку приймач розпізнає присутність інших передавачів з різними кодами CDM як додатковий шум. Крім того, завдяки великій кількості надмірності (кожен біт замінюється декількома мікросхемами), потужність прийнятого сигналу може бути порівнянна з інтегральною потужністю шуму.

Подібність сигналів CDM до білого шуму досягається за допомогою кодів CDM, які генеруються генератором небесної послідовності. Такі типи кодових послідовностей називаються шумоподібними, сигнали, які ними модулюються, вважаються власними шумоподібними сигналами. Очевидно, що при передачі через NSS вихідний спектр доповнюється багаторазово. У зв'язку з цим цей підхід також називають методом трансляції спектру сигналу за допомогою прямої послідовності (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum) [14].

Найпотужнішим аспектом цього стиснення є підвищена безпека та секретність передачі даних: без знання коду неможливо отримати сигнал, а в деяких випадках неможливо виявити його наявність. Крім того, кодовий

простір значно більший, ніж схема зниження частоти, що дозволяє без проблем персоналізувати код для кожного передавача. Основною проблемою зі стисненням коду була складність технічної реалізації приймачів, а також необхідність забезпечення правильної синхронізації передавача та приймача, щоб гарантувати прийом пакетів.

Важливо визнати, що поділ коду є синтетичним підходом, який означає, що він походить від частотного або часового методу. У найбільш крайньому вигляді метод стиснення коду використовується в контексті DSSS. Крім того, розпізнаються та використовуються методи розширення спектру за допомогою стрибків частоти та часу (FHSS та THSS відповідно).

Під час процесу розширення спектру за допомогою стрибкоподібної зміни частоти (також називається небесним методом стрибкоподібної зміни частоти) кілька передавачів одночасно працюватимуть у заданому частотному діапазоні F , кожен з яких працює у вузькому діапазоні, часто меншому за F . Центральна частота кожного передавача під час роботи змінюється унікальною кодовою послідовністю, яка є специфічною для методу. Приймач знає про цю кодову послідовність і одночасно регулює свою частоту відповідно до частоти передавача. Коди, які використовуються для вибору передавача, вибираються таким чином, щоб максимізувати ймовірність окремої роботи кожного передавача. Це допомагає захистити вас від прослуховування та перешкод. Цей підхід є ефективним у деяких випадках і використовується, зокрема, у популярній сьогодні реалізації Bluetooth.

Якщо метод стрибкоподібної зміни частот є формою зниження частоти зі зміною смуги частот, то метод стрибкоподібної зміни схожий на скорочення часу, але моменти початку передачі пакетів передавача не є повністю періодичними, а змінюються за небесним законом. Як правило, кодова послідовність відповідає за затримку передачі наступного повідомлення щодо поточного періоду. Подібна система, зокрема,

використовується для зв'язку з надзвичайно широкою смугою пропускання компанії Time Domain.

Іншим значним внеском у методи кодового та частотного поділу є механізм мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM). Його філософія полягає в тому, що весь доступний спектр частот розбивається на велику кількість менших піднесучих (від кількох сотень до тисяч). Один канал зв'язку (приймач і передавач) призначений для певної кількості носіїв, які вибираються з усього набору відповідно до певного правила. Передача виконується одночасно на всіх піднесучих, напр. у кожному передавачі вихідні дані розбиваються на N підсистем, N є кількістю піднесучих, призначених для конкретного передавача. Розподіл піднесучих під час роботи часто змінюється динамічно, що робить цей механізм більш гнучким, ніж метод стиснення часу [2].

Останнім часом поширення технології OFDM гальмується через складність її апаратної реалізації. Однак сьогодні, з розвитком напівпровідникових технологій, ця перешкода стала меншою проблемою. Таким чином, метод OFDM стає все більш популярним, особливо в системах зв'язку популярних стандартів IEEE 802.11 a/g і DVB. Це також частина механізму для універсального стандарту IEEE 802.16-2004 регіонів широкосмугового зв'язку.

Як правило, описані протоколи в бездротових мережах об'єднуються в комбінації. Наприклад, у стільникових мережах GSM схеми стиснення SDM, TDM і FDM одночасно використовуються в системах стандарту IEEE 802.16, технології OFDM, CDM, FDM/TDM і SDM поєднуються неефективно.

Механізми, розглянуті вище, призначені для розділення одного ресурсу на окремі канали передачі. Однак ці канали все одно мають бути призначені для конкретних комп'ютерів. Давайте обговоримо деякі з найпоширеніших схем розподілу каналів для технології TDM (з цією технологією можливі й інші методи).

Найбільш простим алгоритмом для схеми стиснення TDM є фіксований відсоток часових інтервалів, які виділяються різним пристроям. Розподіл здійснюється базовою станцією (центральною пристроєм), ця станція сповіщає кожен передплачений пристрій про час початку передачі. Ця схема корисна для бездротових мереж із попередньо встановленою смугою пропускання. Однак він не ідеальний для використання з нерегулярною передачею, оскільки під час мовчазного стану пристрою його слот не може бути використаний іншим пристроєм. У результаті кількість передплачених станцій (або максимальна швидкість передачі) є водночас обмеженою та значною.

Протилежністю цього підходу є механізм повністю довільного доступу або класичний підхід Aloha. У цьому методі дані передаються через мобільні пристрої без використання алгоритму, який би уникав колізій (одночасна робота двох передавачів одночасно на одній частоті). Це означає, що будь-який пристрій може передавати інформацію в будь-який момент часу, і немає гарантії, що інформація буде успішно передана призначеному одержувачу. Цей механізм є частиною найбільш ранніх методів доступу до системи бездротового зв'язку. Він був створений у Гавайському університеті в 70-х роках і використовувався в мережі ALOHANET для бездротового з'єднання кількох станцій (університетських будівель, розташованих на різних островах Гавайського архіпелу). Цей підхід ефективний у мережах з низьким трафіком або малою кількістю пристроїв чи інформації, яка передається за одиницю часу.

При розподілі Пуассона ступеня складності створення пакетів за пристроями максимально можлива продуктивність системи досягається вже при навантаженні 18%.

Еволюцією базового протоколу Aloha став метод множинного доступу з визначенням несучої (CSMA). Метод виявлення несучої частоти називається лише тим, що канал розпізнається пристроєм. Якщо канал зайнятий, передавач перейде в режим очікування, поки канал не стане

доступним. Такий підхід сприяє значному збільшенню пропускної здатності системи. Подібно до методу довільного доступу, у цьому підході відсутній централізований процес прийняття рішень, кожен пристрій приймає рішення щодо передачі на індивідуальній основі. Оскільки станція, яка ініціювала передачу, мала доступ до середовища, цей механізм також відомий як метод конкурентного доступу.

Доступно кілька варіантів протоколу CSMA. При використанні нестабільного протоколу CSMA станції спостерігають за каналом і, якщо він доступний, негайно починають трансляцію. Якщо канал зайнятий, станція чекатиме випадковий проміжок часу перед повторним визначенням стану каналу, після чого вона знову прослуховуватиме канал. Якщо канал порожній, передавач передає інформацію. У схемах P-CSMA, які є постійними, вузли також мають можливість визначати стан каналу, але дані передаються з імовірністю P . Пристрій може затримувати передачу даних до наступної можливості спільного використання середовища з імовірністю $1 - p$, що є додатковим спільним використанням середовища. У системах і-CSMA, які є постійними, усі станції, які бажають передавати інформацію одночасно, мають доступ до середовища, як тільки воно стає доступним.

Іншою версією методу є CSMA/CA (Collision Avoidance), який використовується в стандарті IEEE 802.11 IBS. Тут доступність каналу визначається шляхом вибору випадкового періоду часу як часу очікування. Протокол HIPERLAN 1 використовує подібний підхід - Усунення ворожою - Множинний доступ без випередження (EY - NPMA)[4].

Схема з цифровим виявленням (DSMA - Digital Sense Multiple Access) використовує подібний підхід до CSMA/CA. Цей підхід також відомий як множинний доступ із виявленням придушення (ISMA). Відмінність полягає в тому, що зайнятість каналу базується не на прослуховуванні, а натомість на надсиланні повідомлення на базову станцію, яка визначає стан каналу. У цьому методі базова станція має бути синхронізована з передавачами, щоб запобігти передачі даних передавачами під час статусу каналу.

Якщо канал зайнятий, станції чекатимуть наступної передачі протягом випадкового періоду часу. Декілька станцій можуть обмінюватися інформацією одночасно, тому центральна станція надішле повідомлення, яке підтверджує отримання інформації. Сучасні ВМРІ зазвичай поєднують кілька методів для централізації призначення часових інтервалів і використання конкурентних методів доступу. Загалом, робота цих систем ділиться на два етапи. Перший етап - це зберігання ресурсів (часових інтервалів) для подальшої передачі. На даний момент кожна станція визнає, що їм потрібен простір на каналі. На другому етапі вже відбувається пряма передача даних у відведений проміжок часу. У цих схемах використовується центральна станція, яка полегшує передачу інформації та резервування місця. Як правило, механізми резервування викликають збільшення затримки при низьких навантаженнях системи, але вони також забезпечують більш високу пропускну здатність.

Прикладом цього механізму є схема множинного доступу з розподіленим запитом (DAMA), яка також відома як схема Aloha із застереженням. Він в основному використовується в системах супутникового зв'язку. Протягом визначеного періоду часу, який поділено на менші інтервали, усі станції намагаються зарезервувати майбутні часові інтервали для передачі даних. Оскільки в період резервування виникають суперечки, деякі станції не заволодіють ресурсом каналу. Якщо станція може прийняти резервування, жодна інша станція не матиме можливості передавати в цей час. У результаті базова станція отримує всі успішні запити (інші ігноруються) і повертає список авторизованих прав доступу до наступних часових інтервалів. Усі станції дотримуються цього порядку.

Схема DAMA стосується схем, які мають певний період резервування для передачі, кожен із цих інтервалів явно зарезервований. Схема TDMA із резервуванням відрізняється від попередньої схеми тим, що етап резервування не базується на конкуренції, а натомість базується на типовому фіксованому протоколі TDMA. Кожному пристрою надається короткий

період часу, протягом якого він визначає, чи буде він передавати дані. У результаті на початку кожного циклу передачі базова станція передавала пакет, який був розділений на N інтервалів, кожен з яких вказував, зарезервований канал чи ні. Далі дані розділяються на N інтервалів. Цей підхід гарантує, що кожна станція, яка зарезервувала канал, певну кількість пропускної здатності. Інші станції можуть транслювати інформацію в періоди, які не були зарезервовані, але вже на основі конкурентного доступу без гарантії передачі пакетів.

Схема множинного доступу з резервуванням пакетів (PRMA) є прикладом неявного резервування, для цієї мети призначені інтервали. На початку кожного циклу центральний пристрій генерує список, який описує розподіл часових інтервалів. Резервування запускається іншим механізмом. Припустімо, що якийсь пристрій потрібен для передачі даних, але він не має певних часових рамок. Цей пристрій постійно отримує список із заздалегідь визначеними інтервалами. Наприклад, отриманий список вказує на те, що третій, п'ятий і восьмий інтервали не заплановані, тобто незарезервовані. Випадковий вибір інтервалів пристрою визначає, як довго він може намагатися передавати дані. Якщо передача була точною, пристрій отримає підтвердження цього. Базова станція зарезервує цей канал для нового пристрою та включить його у свій список. Якщо запит не надіслано на базову станцію, пристрій має спробувати знову встановити зв'язок в один із доступних безкоштовних періодів.

2 ВИМОГИ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДОДАТКІВ ДО МЕРЕЖІ ТА ОБМЕЖЕННЯ МЕРЕЖ TCP/IP

Доставка мультимедійного трафіка висуває тверді вимоги до продуктивності мереж, відмінні від тих, які накладаються для передачі тексту й зображень.

Затримки. Користувачі Інтернету випробовують затримку при завантаженні тексту й зображень. Ці затримки не роблять впливу на якість змісту після його повного одержання. Для мультимедійних додатків ситуація інша. Після початку відтворення аудіо - або відеопотоку наступні кадри повинні надходити вчасно. У противному випадку додаток повинне компенсувати відсутність даних. Наприклад, додаток може зробити паузу. Через це виникає переривчасте зображення або звук.

Втрати. Багато мультимедійних додатків можуть примиритися з невеликими втратами даних. Наприклад, відеоплеєр може відновити відсутню частину кадрів на основі найближчих кадрів. Однак, оскільки втрати й затримки знижують якість інформації, багато додатків мають обмежену підтримку для відновлення загублених пакетів.

Висока пропускна здатність. Передача потоків аудіо й відео вимагає досить високої пропускної здатності. Наприклад, незжате голосове повідомлення вимагає швидкості 64 Кбіт/с. Ефективна техніка стиску дозволяє зменшити цю вимогу до 9-10 Кбіт/с. Вимога до пропускної здатності для відео потоків сильно варіюється залежно від якості, частоти кадрів, розміру зображення [8].

Споконвічно мережі TCP/IP розроблялися й використовувалися для передачі текстів з невеликою кількістю зображень. Ці мережі забезпечують оптимальний і надійний транспорт, що добре підходять для більшості додатків Інтернету (WEB, FTP, електронна пошта), однак вони мають деякі обмеження, критичні для мультимедійних додатків:

Якість сервісу. IP надає оптимальний сервіс без установалення з'єднання, що допускає не тільки втрату пакетів, але й доставку їх не в правильному порядку.

Повторна передача даних. Передача інформації з використання протоколу TCP припускає повторну передачу загублених сегментів повідомлень, тобто повідомлення доставляються надійним способом. Надійна доставка не є головною метою мультимедійних додатків, оскільки повторна передача загубленого сегмента може викликати занадто більшу затримку при відтворенні [7].

2.1 Параметри якості обслуговування, що впливають на якість передачі мультимедійної інформації

Щоб правильно спроектувати мережа передачі трафіка реального часу, необхідно враховувати недоліки основних засобів міжмережної взаємодії, які впливають на якість передачі нацистської інформації.

Затримки.

Затримка - це період часу, за яке пакет проробляє шлях від джерела до одержувача. Прийнято виділяти причин затримок: затримки на поширення, затримки на серіалізацію, затримки на обробку й затримки черги. Затримка на поширення викликана довжиною шляху, що повинен пройти сигнал. Для оптоволоконної мережі, що охоплює 20 000 км, однобічна затримка становить 70 мілісекунд. Поява затримки на обробку обумовлюють пристрою, які передають кадри по мережі. Затримки на серіалізацію - це період часу, протягом якого біт переміщається в інтерфейс. Ці затримки впливають на загальну затримку незначно. Затримки черги відбуваються в результаті втримання пакетів у черзі через перевантаження вихідного інтерфейсу. Це відбувається, коли прийнято більше пакетів, чим інтерфейс може обробити за даний інтервал.

Рекомендація сектора стандартизації при Міжнародному телекомунікаційному союзі (ITU-T) говорить, що для гарної якості передачі нацистської інформації значення одnobічної сквoзної затримки не повинне перевищувати 150 мс. [9]

Джитер.

Інший спосіб затримки черги - це джитер. Джитер - це нерівномірність затримок на доставку пакетів. Відправник очікує, що пакети будуть доставлятися з однаковими інтервалами. Але ці пакети можуть затриматися в мережі й не досягти адресата за цей період. Різниця в часі тим часом, коли очікувалося одержання пакета й часом фактичного одержання, називається джитер. Як видно на рис. 2.1, час відправлення й одержання пакетів А и В. Однак пакет С зіштовхнувся із затримкою, тому отримано пізніше очікуваного моменту. От чому буфер компенсації джитера, що згладжує нерівномірність затримок пакетів, просто необхідний. Він затримує вступників пакети, щоб передавати їхньому додатку із заданим інтервалом. Крім того, він також фіксує помилки, контролюючи номер послідовності в полях повідомлень протоколу RTP. [9]

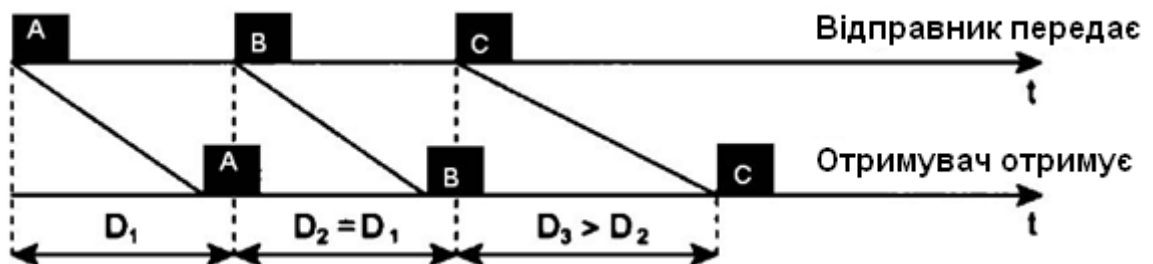


Рисунок 2.1 – Затримка пакетів в мережі

Чим більше нерівномірність затримок, тим більше повинен бути буфер компенсації джитера. Використання статичного буфера - не найкращий варіант. Він може виявитися або занадто більшим або занадто малим. Це може приводити до погіршення якості інформації через втрату пакетів при маленькому буфері або через надмірну затримку при занадто

великому буфері. Іноді краще просто видаляти деякі пакети, маючи буфер обмеженого обсягу, чим створювати додаткові затримки в буфері компенсації джитера. Адаптація встановлення розмірів буфера може ефективно компенсувати затримки. Динамічний буфер компенсації джитера збільшується або зменшується в залежності те варіації затримок останніх пакетів. Для визначення рівня джитера використовуються тимчасові мітки в заголовку протоколу RTP.[3]

Для рішення цих проблем необхідно використовувати GoS.

2.2 Алгоритми якості обслуговування

2.2.1 Диференційовані й інтегровані служби

Прийнято розділяти якість обслуговування на інтегровані й диференційовані служби. Диференційовані служби звичайно використовуються в більших мережах. В основі їхньої роботи - установка відповідного рівня ((про для певної частини трафіка. Це здійснюється за рахунок установки поля «тип обслуговування» у заголовку 1P пакета. Інтегральні служби використовуються, коли ще до відправлення необхідно впевнитися в тім, що певний тип трафіка буде поставлений з відповідним рівнем GoS. Для цього використовується резервування ресурсів [7]. В інтегральних служб є недолік. Їм потрібна попередня домовленість між пристроями мережі при установці каналу для кожного потоку. Це організувати складно у великій мережі й при наявності великої кількості потоків [8]. У той же час, диференціальні служби можна організувати локально на кожному пристрої, без попереднього налаштування всіх вузлів уздовж маршруту [9].

Хоча ці два механізми істотно відрізняються, основна їх ціль - забезпечення необхідної пропускної здатності й затримки для певного додатка. У даній роботі розглядаються диференціальні служби [7].

До основних завдань якості обслуговування можна віднести:

Маркування пакетів. Функція маркування пакетів використовується вузлами мережі для призначення пріоритету обслуговування трафіка шляхом установки відповідне значення в поле ((про у заголовку 1 Р-Пакета.

Розподіл ресурсів. Розподіл ресурсів припускає здатність диференціювати й визначати вимоги до обробки різних пакетів. Відповідно до цих вимог алгоритм обслуговування повинен планувати порядок передачі пакетів, поставлених у чергу. Тут можна виділити наступні технології: FIFO (First-in-First-out), WFQ (Weighted Fair Queuing)

- Запобігання перевантаження й відкидання пакетів. Це припускає використання активного алгоритму керування розмірами черги, що дозволяє передбачати перевантаження черги ще до її переповнення [7].

2.2.2 Random Early Detection

Алгоритм випадкового раннього виявлення (Random Early Detection - RED) являє собою алгоритм запобігання перевантаження, запропонований Саллі Флойдом (Sally Floyd) і Ваном Якобсоном (Van Jacobson) [16-18].

Випадкове раннє виявлення (RED) являє собою попереджувальне відкидання пакетів. При цьому підході з метою підвищення продуктивності мережі вузол відкидає кілька вхідних пакетів перш, ніж черга повністю переповниться. Основна мета цього алгоритму - попередження перевантаження. RED призначений не для реагування на виникнення перевантаження, а для її запобігання. Принцип роботи алгоритму представлений на рис. 2.2 [19].



Рисунок 2.2 – Схема роботи алгоритму RED

Основними параметрами алгоритму є: діапазон зміни середньої довжини черги ($\min_{th}$, $\max_{th}$), максимальна ймовірність прийняття ($\max_p$) і зважування середньої черги (wq).

Раніше згадувалося, що механізм RED використовує превентивний підхід, щоб уникнути перевантаження мережі. Замість того, щоб чекати переповнення фактичного обсягу трафіку, RED починає відкидати пакети з ненульовою ймовірністю, коли середній обсяг трафіку перевищує певний поріг. Ця ймовірність розраховується за формулою (2.1) [20]

$$P = P_{\max} \frac{avg - \min_{th}}{\max_{th} - \min_{th}} \quad (2.1)$$

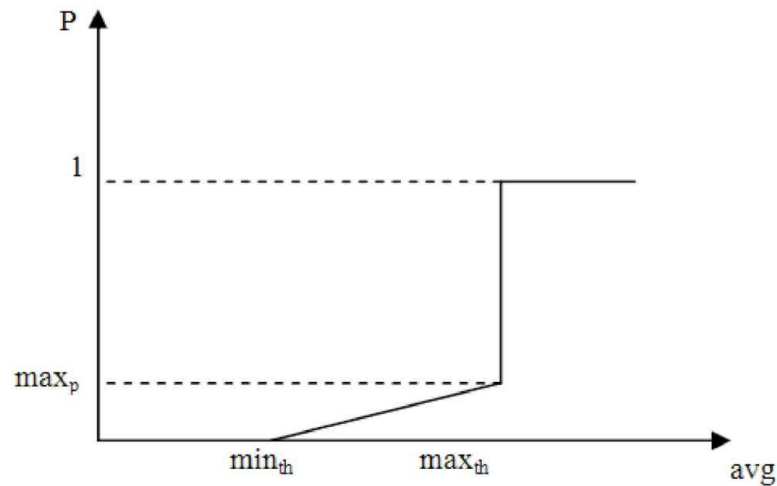


Рисунок 2.3 – Залежність імовірності відкидання пакета від середнього розміру черги

В результаті середня кількість черг в першу чергу обмежена максимальним порогом, оскільки в цьому сценарії ймовірність відхилення пакетів є його найбільшим значенням. Зрештою, основною метою механізму довільного раннього виявлення (RED) є мінімізація середньої кількості клієнтів у черзі [8].

Під час розрахунку ймовірності відкидання пакета механізм RED враховує експоненціально зважене середнє значення розміру черги. Поточна середня довжина черг розраховується на основі попередньої середньої та поточної фактичної кількості. Середній розмір черг у механізмі RED використовується для вимірювання тривалого перевантаження мережі та, таким чином, щоб не реагувати на короткочасні стрибки трафіку. Середня довжина черг визначається за формулою (2.2) [21]

$$avg = (1 - w_q) avg - w_q \cdot q \quad (2.2)$$

де q – це поточний розмір черги. Дослідники Sally Floyd і Van Jacobson [27] запропонували використати співвідношення (2.3) для визначення w_q

$$w_q = 1 - e^{1/C}, \quad (2.3)$$

де C - пропускна здатність каналу [пакет/с]. Симуляція продемонструє, що алгоритм RED має меншу кількість відкинутих пакетів, ніж алгоритм Drop Tail, але це не забезпечить збільшення затримки. Щоб вирішити цю проблему, можлива така процедура під назвою Adaptive RED (ARED).

2.2.3 Adaptive RED

Ву Чанг Фенг продемонстрував, що одним із головних недоліків RED є те, що середня кількість клієнтів у черзі залежить від конкретних параметрів. Алгоритм може бути як агресивним, так і консервативним. Щоб вирішити цю проблему, він задумав алгоритм ARED. Основною відмінністю між алгоритмом RED і алгоритмом LOST є різна максимальна ймовірність відхилення на основі середньої довжини черги. Весь принцип роботи алгоритму зображено на рис. 2.4 [24].

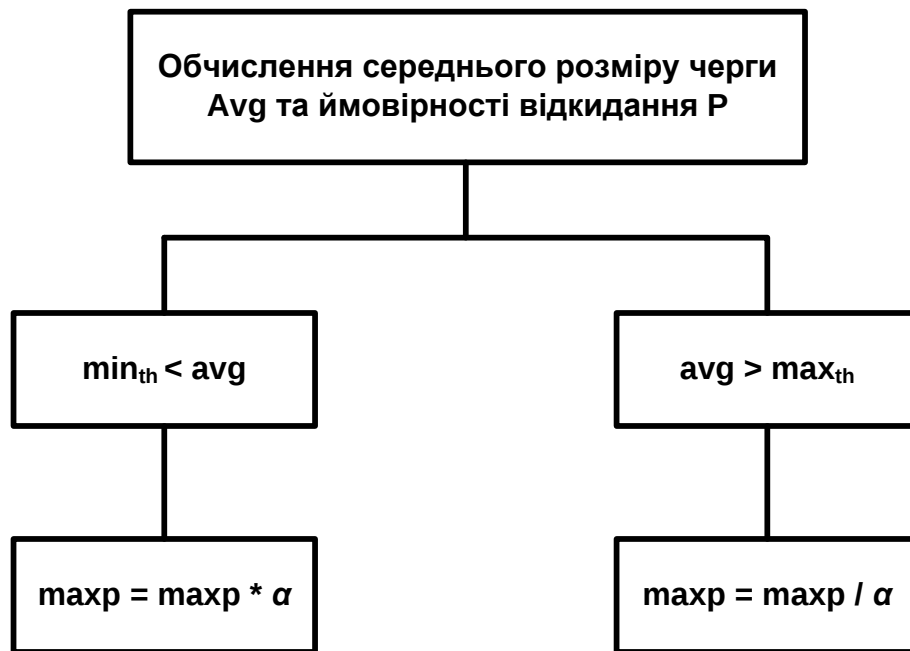


Рисунок 2.4 – Принцип роботи алгоритму Adaptive RED

Іншим додатковим параметром, який використовується в цьому алгоритмі, є параметр α ($\alpha < 1$). За допомогою цього параметра можна змінити максимальну ймовірність відмови. Це сприятиме більш суворому контролю розміру черги.

Незважаючи на обсяг досліджень на тему пом'якшення перевантажень [25-33], труднощі вибору значень параметрів для цих алгоритмів все ще залишаються. Багато вчених сходяться на думці, що вплив алгоритму на якість передачі потоку в першу чергу залежить від правильного налаштування його параметрів, однак наразі немає чіткої інструкції, як на практиці вибирати значення цих параметрів. У цьому дослідженні вплив параметрів цих алгоритмів на якість передачі оцінюється за допомогою комп'ютерного моделювання в N8-2 [34].

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ МЕРЕЖІ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО

3.1 Опис моделі досліджуваної мережі

У проведеному дослідженні імітується робота мережі на 50 комп'ютерів, виконаний по технології, поданий на рис. 3.1.

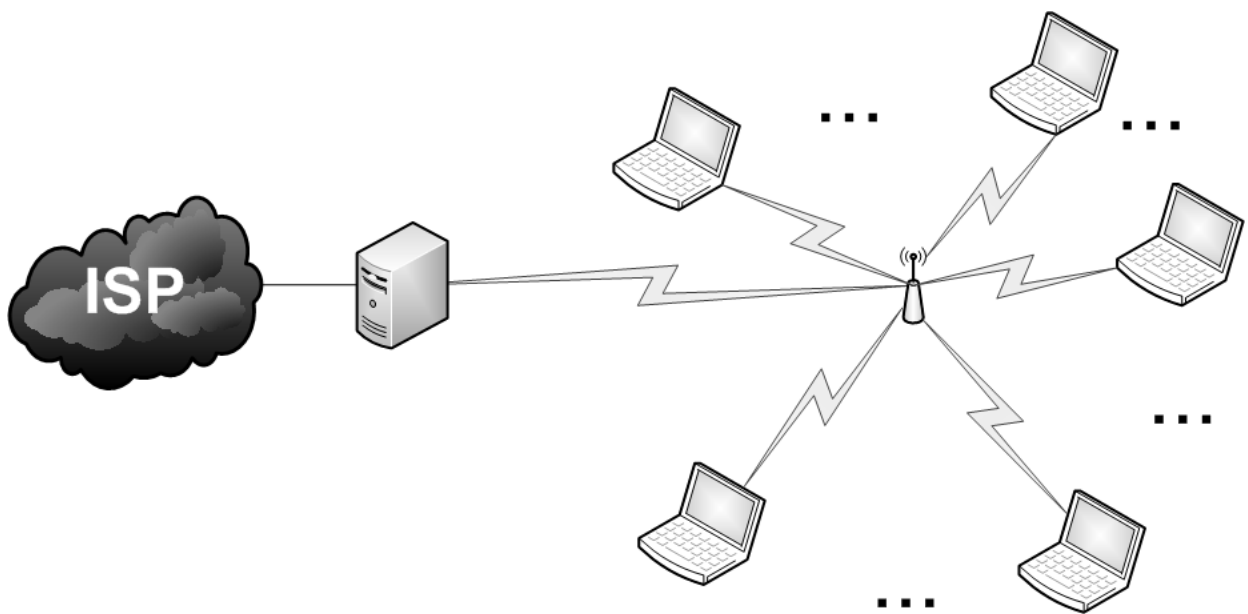


Рисунок 3.1 – Топологія досліджуваної мережі

Ця конфігурація є представленням мережі Інтернет-кафе, яка налічує 50 клієнтів, які користуються Інтернетом та IP-телебаченням. Постачальник послуг – це постачальник послуг Інтернету, який надає доступ до Інтернету та підключення до відеослужб. Інтернет-провайдер підключений до бездротового маршрутизатора Wi-Fi з каналом 100 Мбіт/с. Кожен користувач підключається до маршрутизатора через бездротове з'єднання з пропускнуою здатністю 54 Мбіт/с. Маршрутизатор може використовувати різні підходи до керування кадрами.

У ході дослідження до кожного користувача передається один із трьох видів трафіка. Час моделювання становить 10 секунд. Параметри потоків представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Інформаційні параметри переданих відеопотоків

Назва потоку	Пряма швидкість потоку	Зворотна швидкість потоку	Розмір пакета
Відеотрафік	2.5 Мбіт/с	-	1028 байт
Web-трафік	768 кбіт/с	48 кбіт/с	1024 байт
FTP-трафік	1 Мбіт/с	1 Мбіт/с	1024 байт

Розмір відео, яке передається, зменшується за допомогою відеокодека XVID [35]. Фрагмент відео є однаковим для всіх частин розслідування, це стандартне відео Формана, яке було обрано через велику кількість динамічного вмісту в зображенні. Цей вибір був не випадковий: відеопакети з більшою ймовірністю будуть втрачені на цьому типі відео. Розмір кадру відео 32x28 пікселів, частота 30 кадрів в секунду.

Під час розробки оцінюється якість відео, що передається за допомогою стратегій керування чергою кадрів на маршрутизаторі. У цьому дослідженні для оцінки якості отриманого відео використовується один із найпоширеніших показників оцінки якості переданого відео – PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), який визначається за формулою (3.1) [36].

PSNR вимірюється за допомогою логарифмічної шкали й обчислюється по середньоквадратичній помилці MSE (mean squared error) між вихідним відеокадром і отриманим відеокадром щодо числа $(2^k - 1)^2$ (квадрата найбільшого можливого значення пікселя, де k - бітова глибина кольору)

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{2^k - 1}{MSE} \text{ [дБ]}. \quad (3.1)$$

Високе значення PSNR (зазвичай більше 30 дБ) передбачає схожість отриманого кадру з вихідним. Одним із найбільш істотних недоліків використання PSNR в обробці цифрових зображень є те, що значення не є абсолютним. Безглуздо стверджувати, що якщо поріг PSNR становить 25 дБ, то це добре. PSNR зазвичай використовується для оцінки ефективності різних методів обробки або для дослідження впливу параметрів на ефективність конкретного методу. Важливо пам'ятати, що критерій PSNR стосується середньої якості зображення в цілому, а різні його частини теоретично можуть мати різні похибки. Значення PSNR легко обчислити, тому воно популярне в оцінці якості відео.

Для спостереження за роботою мережі відслідковується її завантаження й час затримки пакетів, залежно від часу. Для оцінки ефективності роботи алгоритму керування чергою розглядається залежність кількості пакетів у черзі від часу.

У роботі розглядаються такі алгоритми керування чергою:

- Drop Tail;
- RED;
- RIO-C;
- RIO-D;
- Adaptive RED.

3.2 Алгоритм Drop Tail

На рис. 3.2 і рис. 3.3 представлені графіки PSNR для відеокадрів і розміру черги залежно від часу. Для цього випадку максимальний розмір черги був установлений в 30 пакетів. Коли черга заповнюється до заданого максимального розміру, всі знову вступники пакети відкидаються, поки черга не буде мати місце, достатнє для надходження вхідного трафіка.

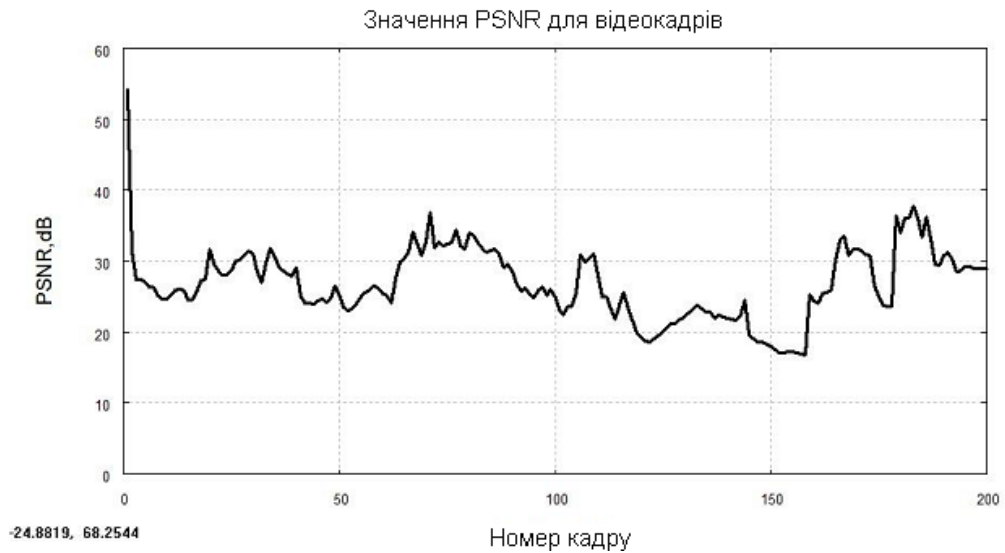


Рисунок 3.2 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при використанні відеофрагменту Drop Tail

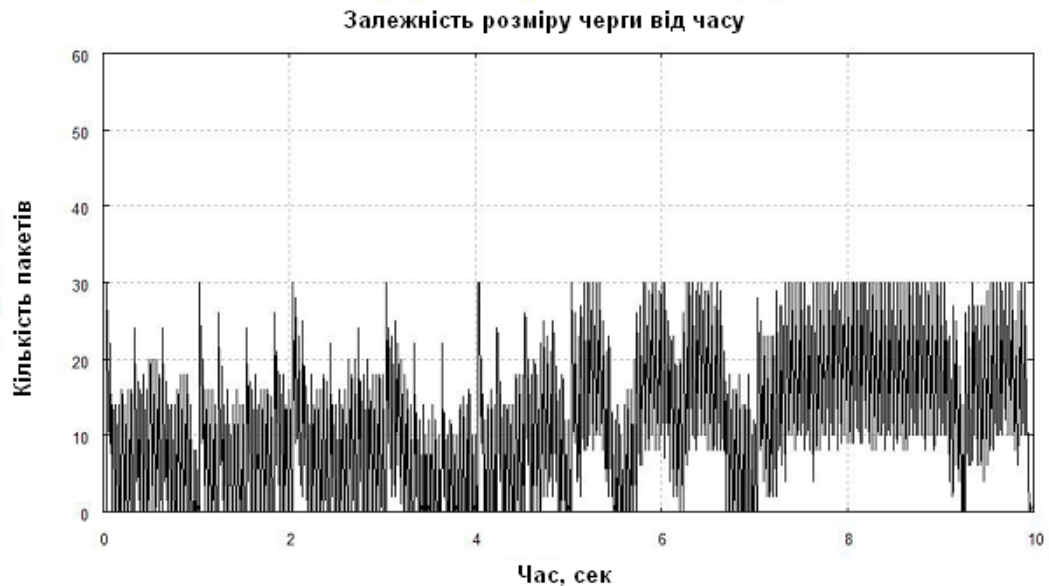


Рисунок 3.3 – Графік розміру черги на маршрутизаторів від часу, при застосуванні алгоритму Drop Tail

З рис. 3.2 і рис. 3.3 ми можемо спостерігати, що найбільше число таких переповнень зосереджено на інтервалі 5-10 сек. Це пояснюється тим, що динамічність картинки в дані моменти більше.

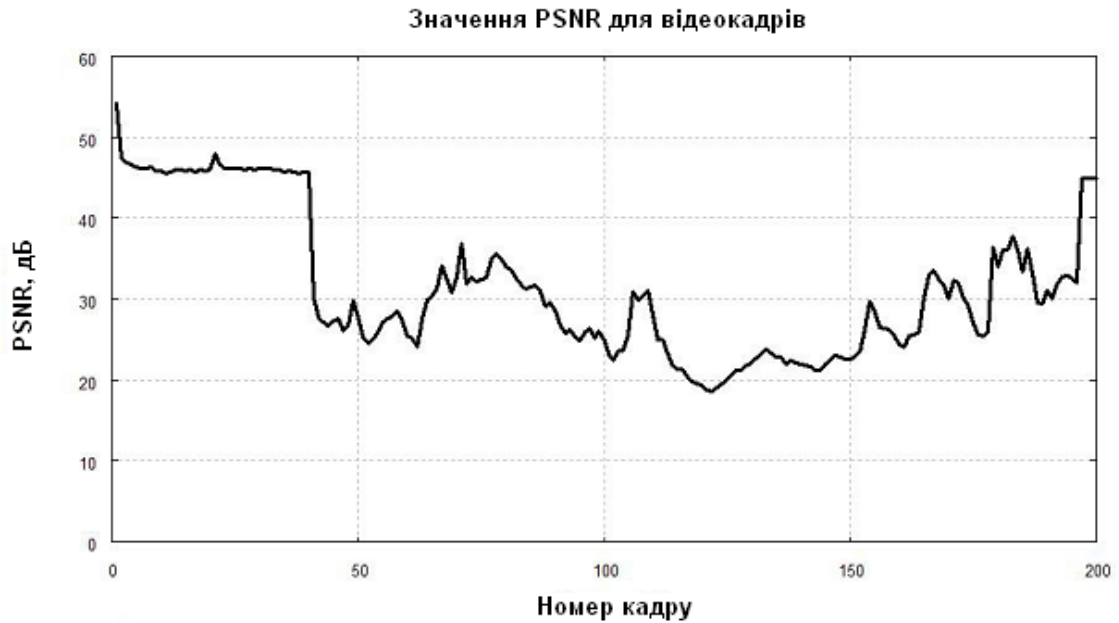


Рисунок 3.4 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при застосуванні Drop Tail

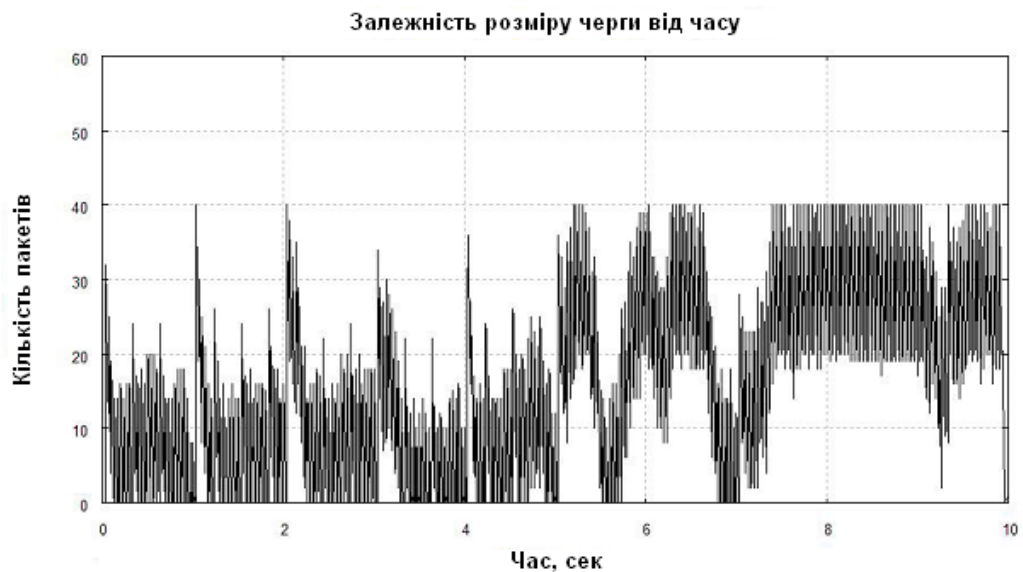


Рисунок 3.5 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Drop Tail

Графік PSNR ілюструє ступінь високої якості отриманого відео. Більшість кадрів розташовані на частоті нижче 30 дБ, провали на графіку чітко пов'язані з часом переповнення в черзі. Середня вартість становила

30,41 дБ. Однак, навіть якщо переповнення немає, якість відео все одно низька. Це можна пояснити втратою пакетів, що призводить до затримки зміни динамічного вмісту в оригінальному зображенні.

Щоб вирішити цю проблему, ми підемо шляхом збільшення максимального розміру черги.

Наступні графіки ілюструють поведінку в черзі максимум 40 пакетів. Цього обмеження досі немає. Багато відео отримується з низькою якістю, але кількість випадків, коли розмір черги приблизно дорівнює максимальному, зменшилася. Погіршення якості відео в цей час пояснюється функцією кодування. Багато інформації, що надсилається, не має прямого зображення, а натомість складається з вектора зрушень.

При втраті цих дані спотворення будуть відображатися на динамічній частині зображення. Втрата ж пакетів, що несуть інформацію про все зображення, більше критичної. Цим і викликаний різкий провал на графіку PSNR

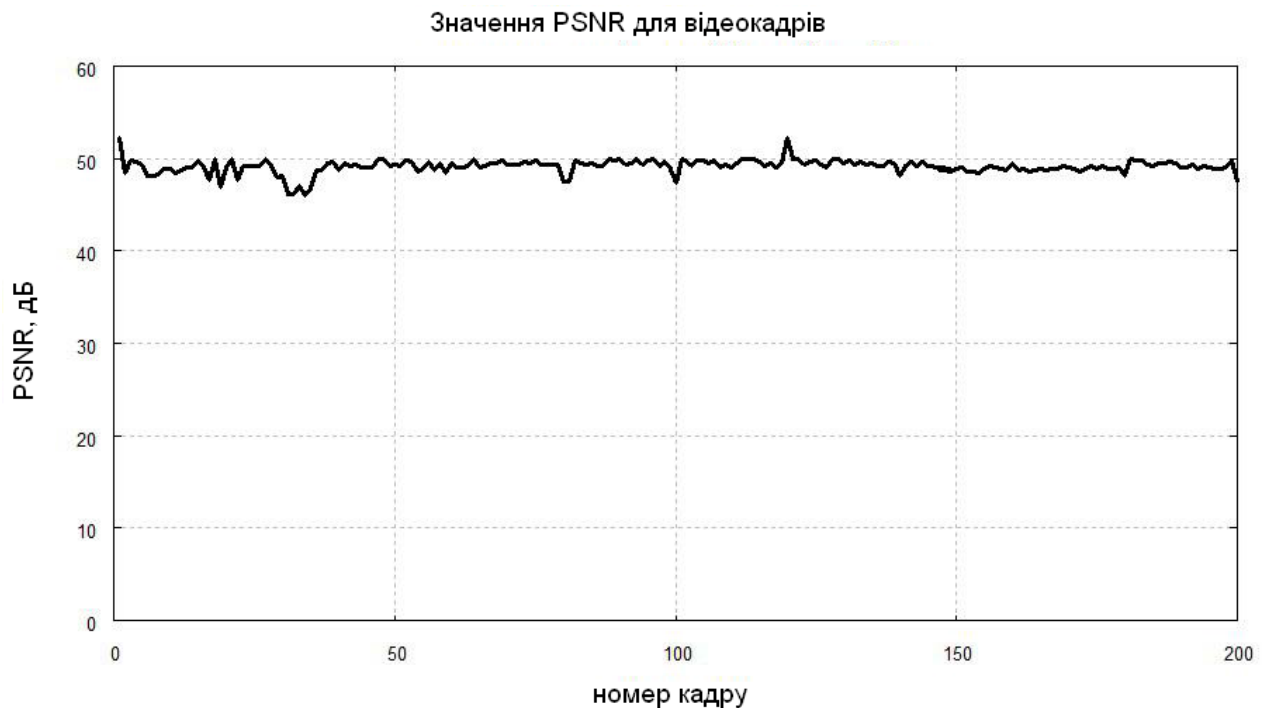


Рисунок 3.6 – Графік пікового значення сигнал/шум від номера кадру для тестового відео фрагменту при використанні алгоритму Drop Tail

Ці графіки представляють принципи роботи та якість передачі відео для максимального розміру черги 50 пакетів. Середній показник якості звуку склав 49,56 дБ. Розмір графіка черги все ще має області, в яких черга

максимальна. Оскільки алгоритм лише вказує, що черга заповнена, черги можуть заповнюватися довго. Через великий обсяг черг збільшується час передачі мережевого пакета від однієї станції до іншої. Графік затримки пакетів у черзі наведено на рис.3.8. Ми можемо спостерігати, що разом із лінією в черзі затримка збільшується, і вона продовжує збільшуватися, тому що маршрутизатор не виходить з режиму буферизації в черзі. Таким чином, Drop Tail, очевидно, ненавмисно використовує доступну пам'ять маршрутизатора. Нижче ми продемонструємо, що проблему можна вирішити за допомогою реалізації алгоритмів RED на маршрутизаторі.

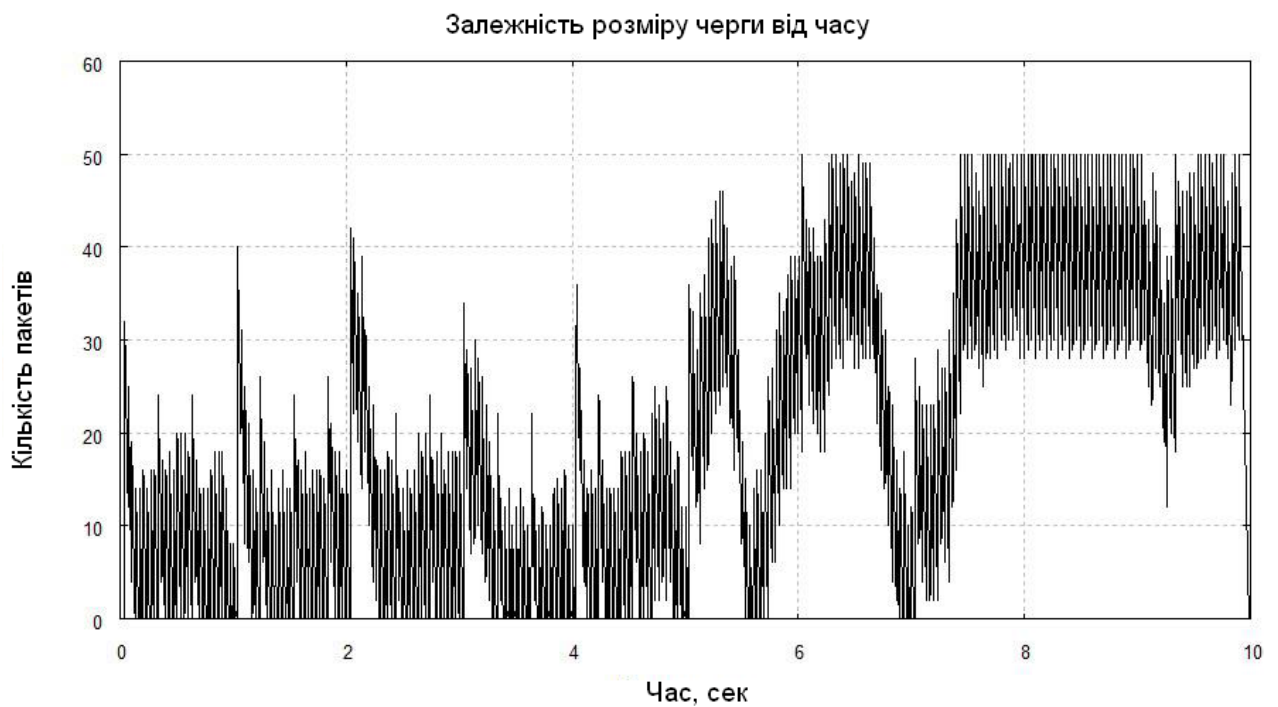


Рисунок 3.7 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Drop Tail

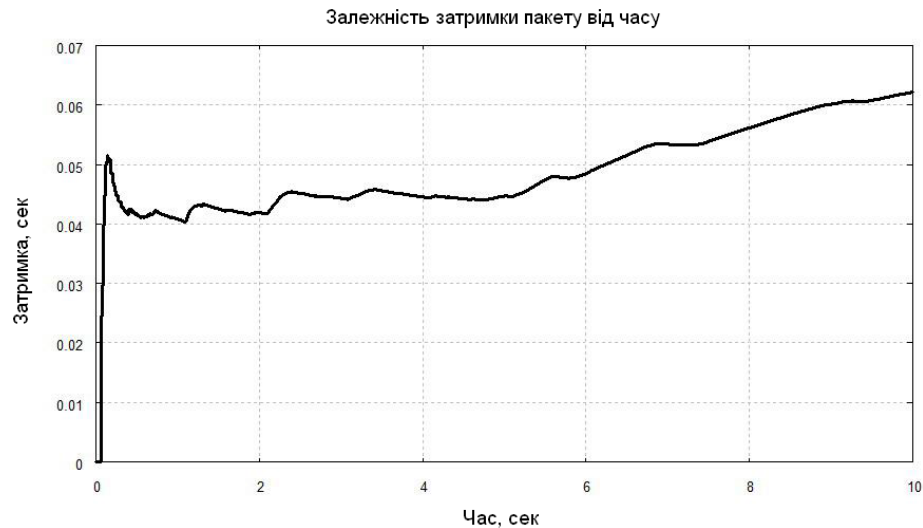


Рисунок 3.8 – Графік затримки пакету в мережі від часу, при використанні алгоритму Drop Tail

3.3 Алгоритми RED

Другою вивченою стратегією масового обслуговування було випадкове раннє виявлення (RED). Цей алгоритм має кілька вдосконалень, зупинимося на першому з них - RED In/Out Coupled (RIO-C), графіки зображені на рис. 3.9 - рис. 3.10. На основі попереднього дослідження стратегії Drop Tail для черги були обрані наступні значення: кількість віртуальних черг – 2, мінімальний розмір – 10 пакетів, максимальний – 30 пакетів, $\max p = 0,10$.

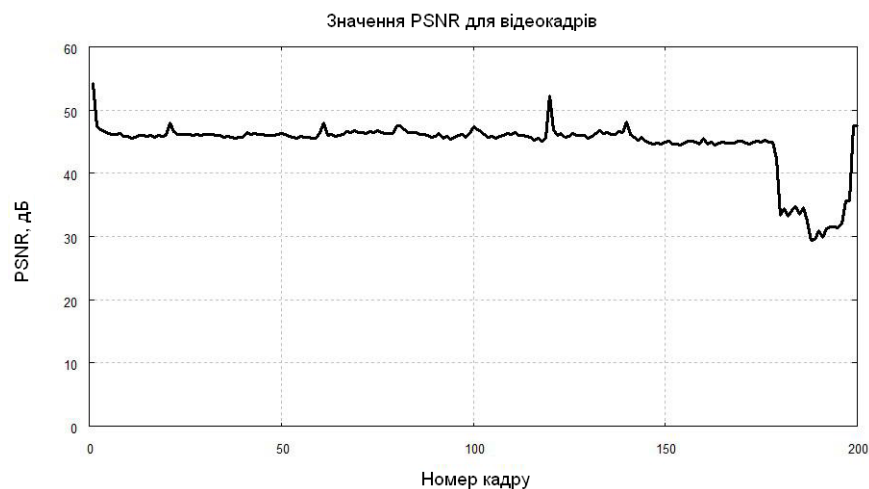


Рисунок 3.9 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при використанні алгоритму RIO-C

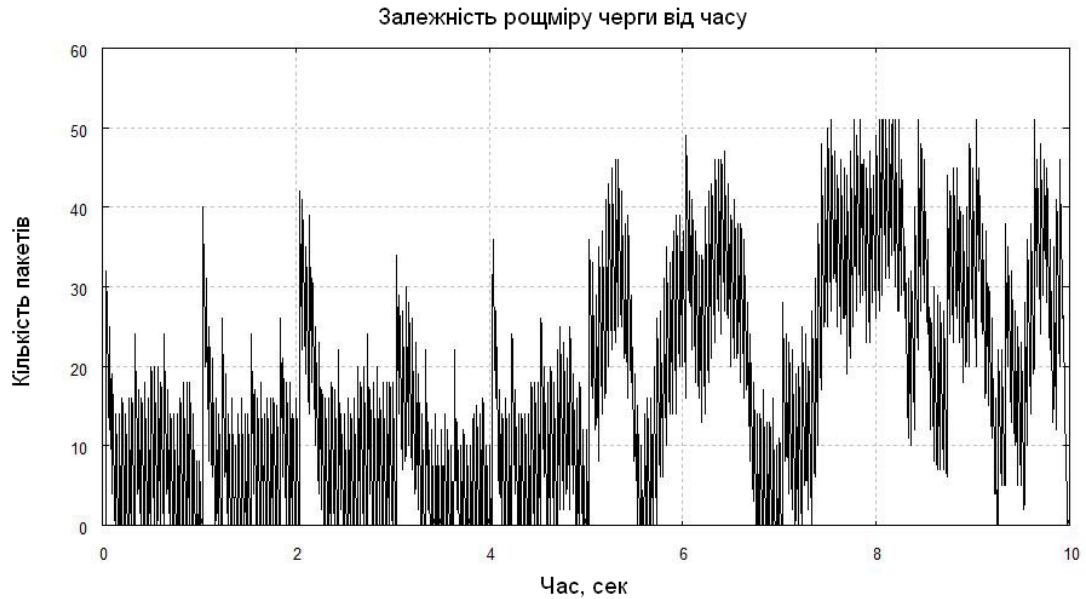


Рисунок 3.10 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму RIO-C

На графіку розміру буфера черги можна спостерігати поведінку алгоритму щодо пам'яті, звільненої маршрутизатором. Алгоритм визначає, чи потрібно скинути пакет, на основі статистики. Існує ймовірність того, що буде відкинуто пакет, максимальне значення якого заздалегідь визначено користувачем і має бути в діапазоні $[0,10; 0,50]$. Розмір черги постійно оцінюється, якщо він збільшується, збільшується ймовірність мати втрачений пакет, і це стосується як пакетів, що знаходяться в черзі, так і новодоставлених. Порівняно з Drop Tail, нам більше не потрібно спостерігати такі затори на великій відстані.

Відкидання пакетів неминуче вплине на якість відео, в кінцевому підсумку середнє значення PSNR знизиться до 30 дБ, але початкове значення було 45,27 дБ.

Розглянемо затримку пакетів у черзі (рис.3.11). Подібно до попередніх сценаріїв, коли поточне значення розміру буфера черги наближається до максимального, час затримки пакетів збільшується. У цьому випадку максимальна затримка становила 0,0527 с. Це менше, ніж затримка за

замовчуванням алгоритму Drop Tail, однак збільшення затримки впливає на отримане відео та роботу алгоритму буфера тремтіння, ці два аспекти не можна вважати позитивними.

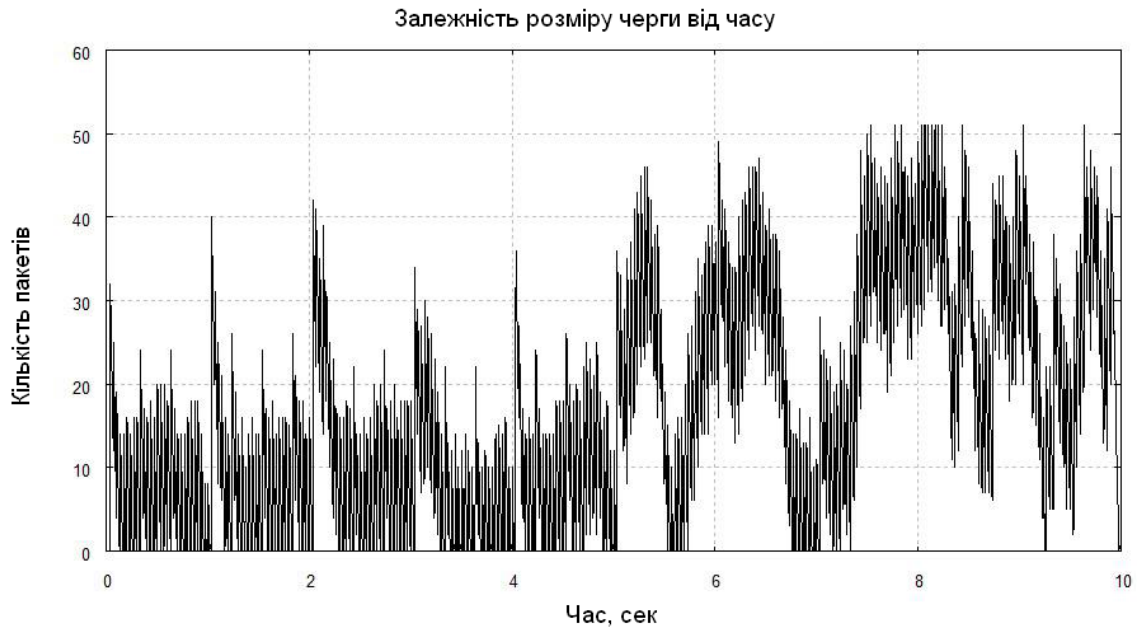


Рисунок 3.11 – Графік затримки пакета в мережі від часу, при використанні алгоритму RIO-C

Для версії алгоритму RED In/Out Decoupled (RIO-D) графіки зображені на рис. 3.12-3.13. Відмінність від попередньої версії полягає в тому, що ймовірність відхилення тепер присутня тільки для нових пакетів, ті, що вже стоять у черзі, відхилятися не будуть. Це ілюструють отримані графіки. Якщо порівняти графіки розміру черги, то можна помітити, що у випадку RIO-D розмір черги пакетів більш мінімізований на періоді (8;10) секунд, немає значних падінь за цей період, як у випадку RIO-C. Графіки затримки пакетів ідентичні в обох сценаріях і зображені на малюнку вище. Алгоритми не можуть повністю усунути збільшення затримки, але вони все ж більш м'які, ніж Drop Tail.

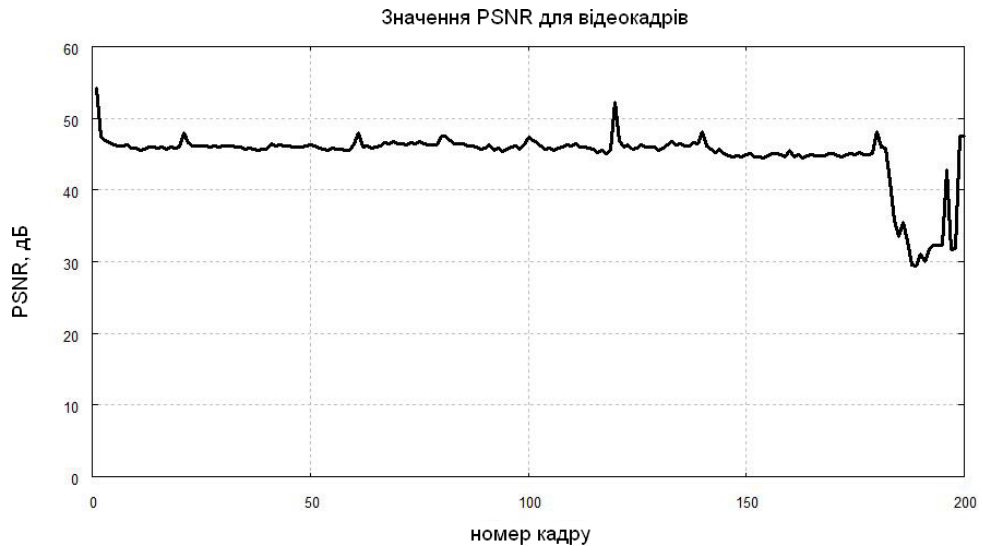


Рисунок 3.12 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номера кадру для тестового відеофрагменту при використанні алгоритму RIO-D

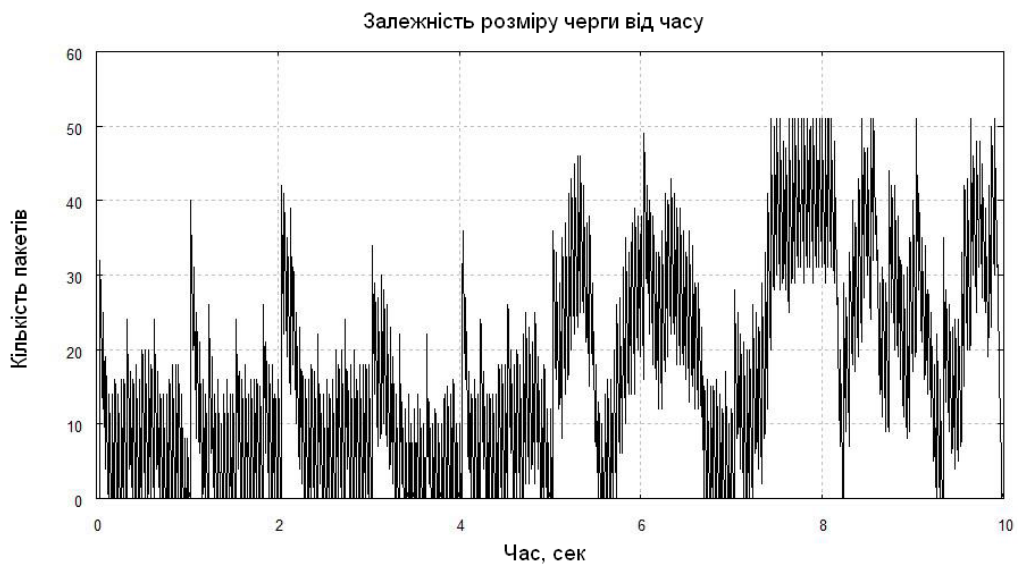


Рисунок 3.13 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму RIO-D

3.4 Алгоритм Adaptive RED

Рисунок 3.14 демонструє залежність довжини черги від часу для алгоритму ARED з параметрами 15, 45 і 0,01 як вихідні значення для α і 0,065 для β . У цьому випадку типове значення wq становить 0,002; це так найчастіше. У порівнянні з іншими залежностями можна помітити, що середня довжина середньої черги при використанні ARED менша, ніж при

використанні Drop Tail і RED. Графік є більш плавним, перехід алгоритму від одного кроку до наступного більш поступовий, а викиди, які є різкішими, пояснюються передачею I-Frames із закритої відеопослідовності.

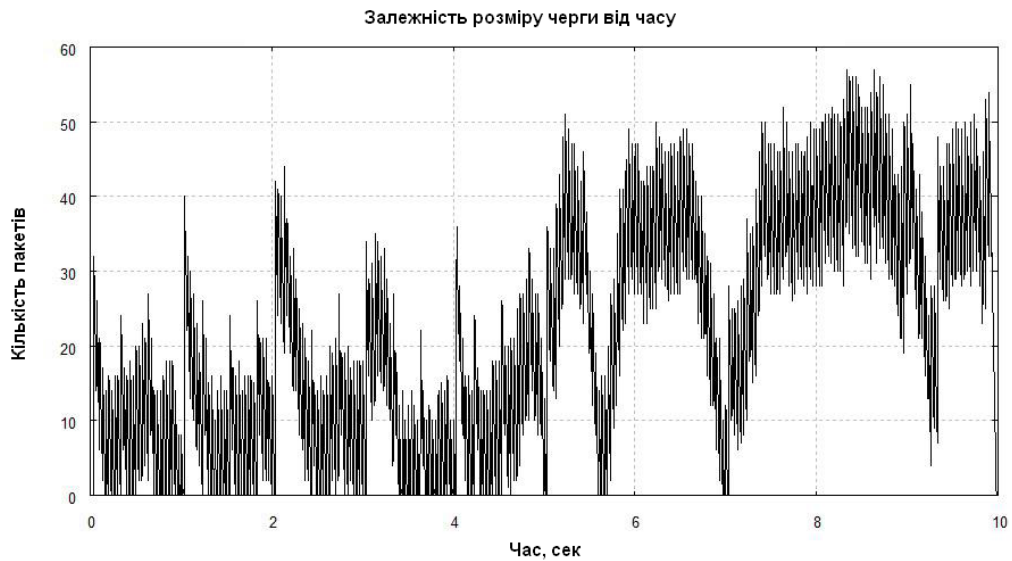


Рисунок 3.14 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номера кадру для тестового відеофрагмента при використанні алгоритму Adaptive RED

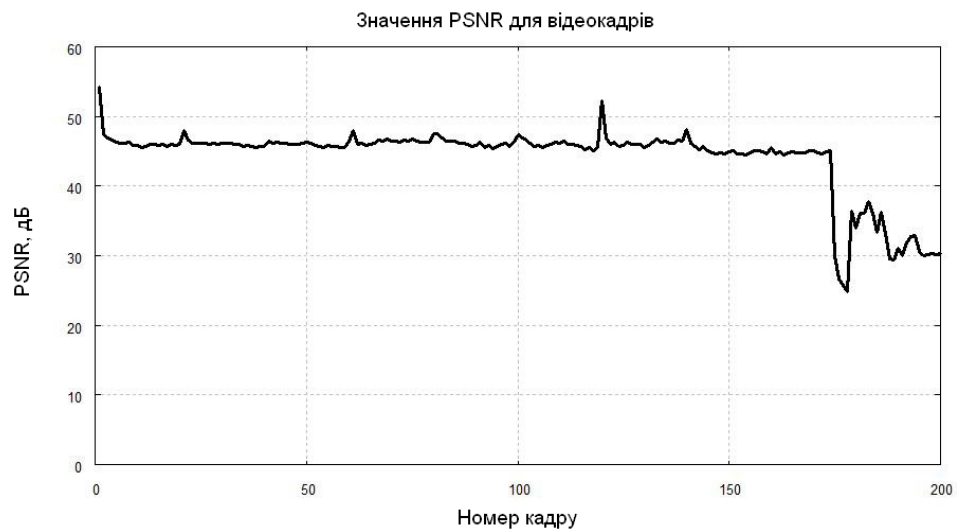


Рисунок 3.15 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Adaptive RED

Якість відео, яка вимірюється за допомогою графіка PSNR (рис. 3.15), також перевищує якість відео, пов'язану з випадками використання алгоритмів RED, але є нижчою за якість передачі відео при використанні алгоритму Drop Tail з максимальною кількістю елементів у черзі. Для деяких

відео з низьким динамічним діапазоном значення PSNR узгоджуються з алгоритмами Drop Tail і RED.

Для динамічної частини спочатку спостерігається значне падіння, оскільки алгоритму не вистачає часу для розвантаження пам'яті, після чого відбувається подальше збільшення значення PSNR, тоді як при використанні алгоритмів RED цей процес не спостерігається. Щоб максимально підвищити якість відео, ми підемо шляхом зміни параметрів алгоритму для конкретної ситуації, що розглядається. Щоб досягти цього, ми обчислимо значення wq для певної смуги пропускання каналу. Графіки залежності кількості користувачів у черзі від часу та PSNR кадрів, у яких вони поставлені в чергу, відображені на рис. 3.16 - рис. 3.20. Параметри ARED: $\min_{th}=15$; $\max_{th}=45$; $\max_r=0,5$; $\alpha=0,065$ $wq=0,031$.

У порівнянні з попереднім сценарієм ми підвищили якість відео, кадри передаються по мережі без спотворень. Розмір черги зменшився, але зазвичай не перевищує 20 пакетів. Збільшення черги пояснюється передачею І-кадрів, решту часу передаються лише вектори руху, ці викиди є одиничними, і алгоритм не може на них реагувати.

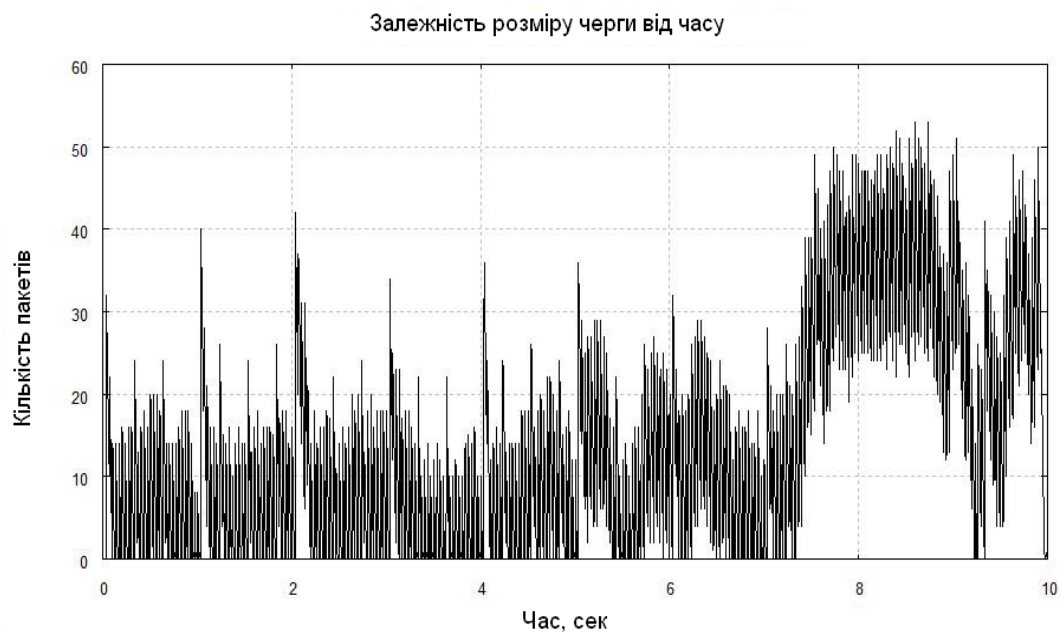


Рисунок 3.16 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відео фрагменту при використанні алгоритму Adaptive RED



Рисунок 3.17 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Adaptive RED

Порівняно часову залежність мережеских затримок для трьох алгоритмів, можна помітити, що через малий розмір q затримка пакетів при використанні ARED менша (рис.3.18).

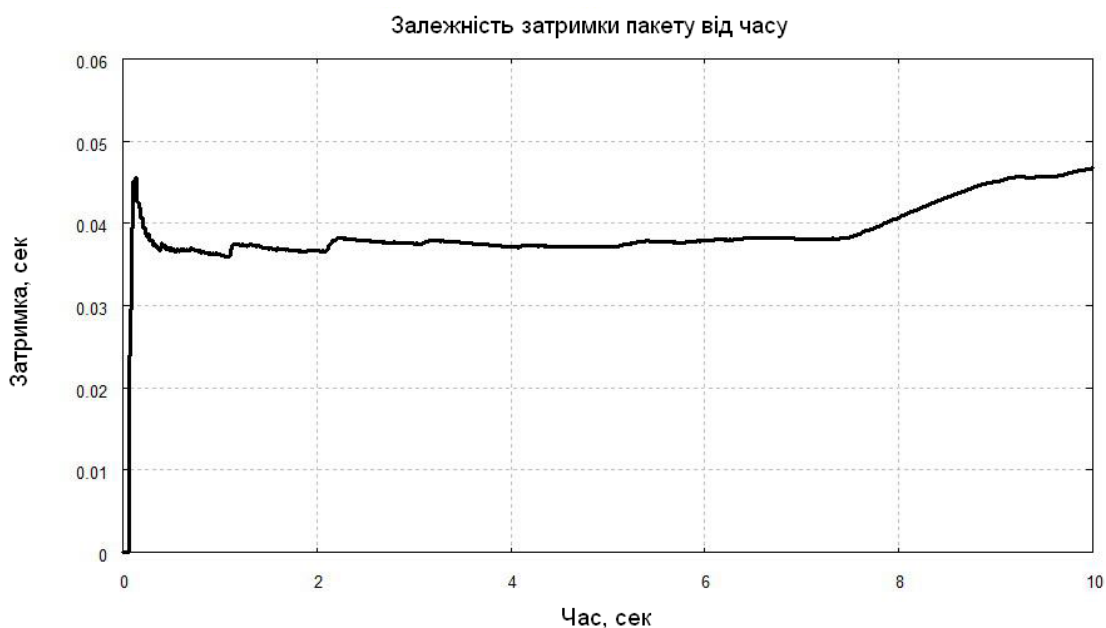


Рисунок 3.18 – Графік затримки пакету в мережі від часу при використанні алгоритму Adaptive RED

Рисунок 3.19 демонструє залежність довжини черги від часу для алгоритму ARED з параметрами $\text{minth}=15$; $\text{maxth}=45$; $\text{maxp}=0,014$ і пріоритет від нуля 0,0654. Як видно, довжина черги збільшується лише в інтервалі 8-9 секунд. Це викликано підвищеною динамічністю переданого відео в цей конкретний час. Коли обсяг переданої інформації зменшується, алгоритм зменшує розмір черги. Відео передається у високій якості, середній PSNR становить 46,3 дБ, це пов'язано з тим, що більшу частину часу розмір черги менше максимального.

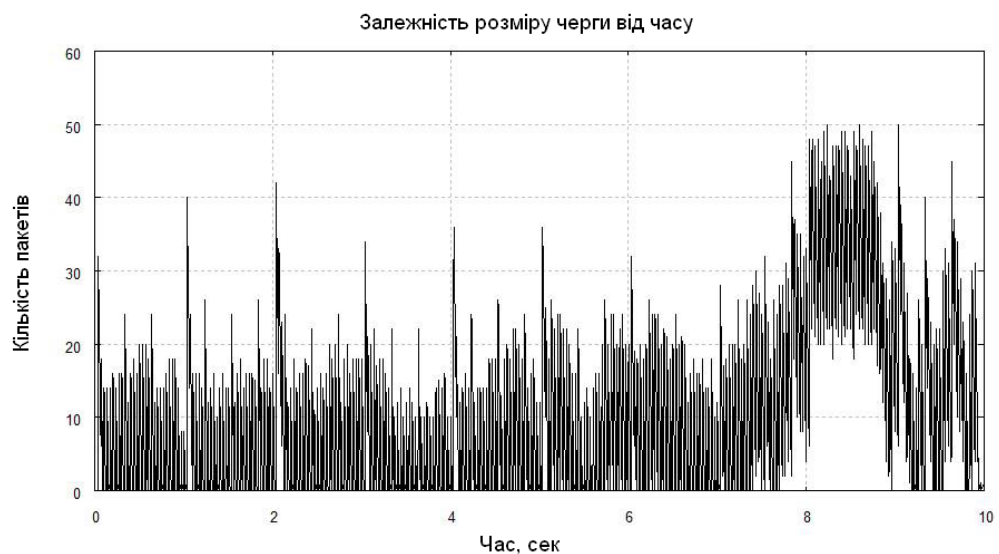


Рисунок 3.19 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номера кадру для тестового відеофрагменту при використанні алгоритму Adaptive RED



Рисунок 3.20 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Adaptive RED

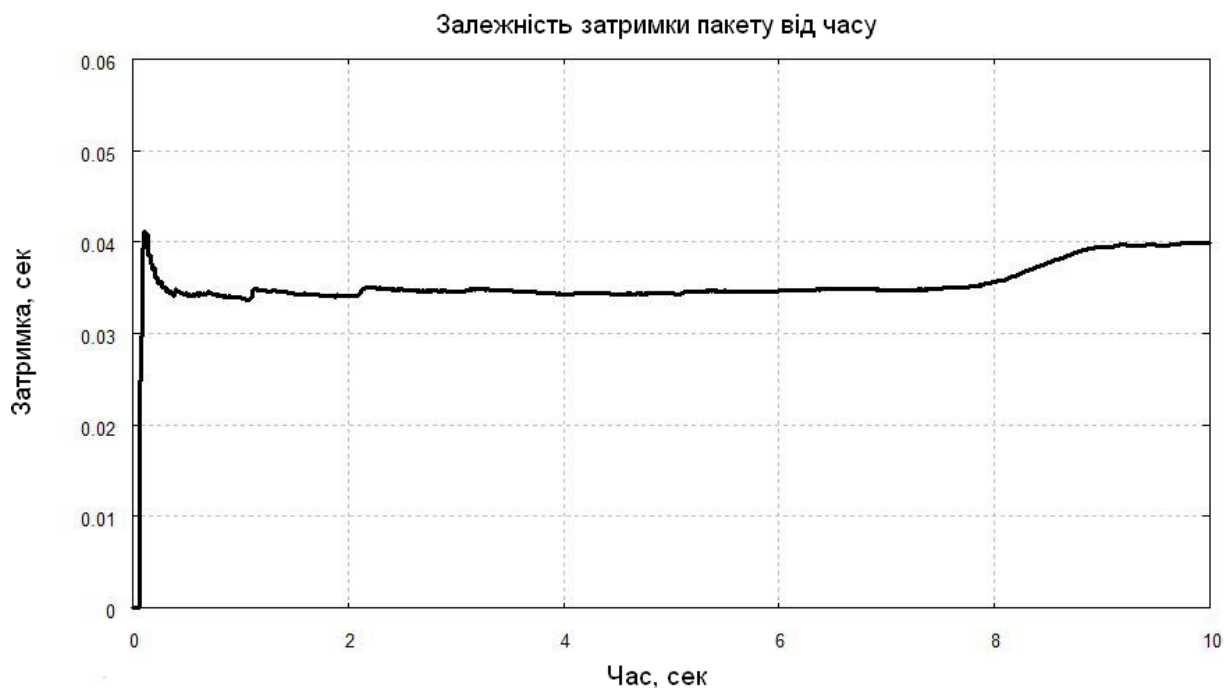


Рисунок 3.21 – Графік затримки пакету в мережі при використанні алгоритму Adaptive RED

Оскільки маршрутизатор не перевантажений, затримка пакетів у мережі залишається стабільною. Лише при зростанні динамічності відео спостерігається незначне збільшення черги та затримки — з 0.034 сек до 0.04 сек. Така робота алгоритму Adaptive RED демонструє оптимальне співвідношення між якістю відео та мережею затримкою.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Значимість охорони праці в контексті сталого розвитку підприємства базується на імперативі збереження та протекції людського капіталу як ключового фактора виробництва. Її центральним завданням є системне покращення ергономічних, гігієнічних та психофізіологічних умов праці, що корелює з підвищенням продуктивності праці та забезпеченням довготривалої операційної стійкості та конкурентоздатності суб'єкта господарювання. Дотримання нормативно-правових актів та галузевих стандартів у сфері охорони праці є необхідною умовою для ефективного управління виробничими ризиками. Це передбачає ідентифікацію, оцінку та мінімізацію потенційних небезпек і загроз, що забезпечує формування безпечного та сприятливого робочого середовища для всього персоналу.

Дослідження методів передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку відбувалося в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На дослідника, відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [21]:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищена чи понижена вологість повітря, підвищений рівень статичної електрики, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, пряма і відбита блискість, підвищена яскравість, понижена контрастність, недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження, перенапруга аналізаторів, статичне перевантаження, недостатня рухова активність.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Охорона праці на робочому місці дослідника є критично важливою з таких ключових причин:

1. Гарантування безпеки праці. Подібно до будь-якого іншого фахівця, розробник у сфері мікроелектроніки стикається з потенційними виробничими ризиками. До них належать травматизм внаслідок падінь, ураження електричним струмом, інтоксикація шкідливими речовинами або термічні ушкодження. Впровадження ефективних заходів з охорони праці спрямоване на мінімізацію зазначених ризиків шляхом створення та підтримання безпечного виробничого середовища [22].

2. Захист здоров'я: Специфіка дослідницької діяльності часто передбачає тривале перебування за комп'ютером. Це може провокувати виникнення специфічних проблем зі здоров'ям, таких як тунельний синдром, цефалгія та афективні розлади. Охорона праці відіграє ключову роль у збереженні здоров'я працівників через забезпечення ергономічних робочих місць та можливостей для регламентованих перерв і відпочинку.

3. Підвищення продуктивності праці. Співробітники, які працюють у безпечних та сприятливих для здоров'я умовах, демонструють вищу продуктивність. Забезпечуючи комфортне та ефективне робоче середовище, охорона праці сприяє зростанню продуктивності праці розробників мікроелектронних пристроїв.

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце дослідника має загальну площу $25,65 \text{ м}^2$, і висотою стелі $3,2 \text{ м}$. У приміщенні знаходиться 4 робочі місця обладнаних ПК. Відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 площа одного робочого місця працівника, який використовує під час роботи ПК не повинна бути меншою за 6 м^2 , а об'єм не менший за 20 м^3 . Відповідно на одного працівника припадає $4,4 \text{ м}^2$, що відповідає допустимій нормі. Об'єм даного

приміщення становить $82,1 \text{ м}^3$, відповідно на одного працівника припадає $20,5 \text{ м}^3$, що також відповідає допустимій нормі.

Для забезпечення ергономічних та комфортних умов праці при роботі в сидячому положенні необхідно керуватися вимогами ДСТУ 8604:2015 та Директиви № 90/270/ЄС. З метою оптимізації робочих поз та мінімізації статичного навантаження, меблі на робочому місці повинні відповідати антропометричним параметрам користувача та мати широкий діапазон регулювань. Додатково рекомендується використання спеціалізованої підставки для ніг. Щодо оптимального розміщення робочого обладнання, екран дисплея, клавіатура та вихідний документ повинні розташовуватися на приблизно однаковій відстані від очей оператора (близько 50 см). При цьому критично важливо, щоб верхня межа екрана не перевищувала горизонтальний рівень очей користувача, що сприяє зниженню напруження шийного відділу хребта та очей.

Основні вимоги до робочої пози дослідника такі:

- відстань між очима працівника і екраном комп'ютера має бути в межах 45-60 см, при цьому екран повинен знаходитися на відстані 15-20 см вище центру очей;
- руки розташовуються нижче рівня зап'ястя, а зап'ястя – нижче рівнів ліктів, щоб забезпечити оптимальну свободу руху пальців;
- плечі працівника повинні бути опущені та розслаблені, щоб забезпечити розслабленість м'язів рук;
- під час сидіння важливо випрямити спину, і спинка стільця має відповідати природному вигину спини та нижньої частини тулуба людини.

З метою збереження оптимального рівня працездатності та запобігання розвитку професійних патологій, ключовим є неухильне дотримання встановлених режимів праці та відпочинку. Рекомендується впровадження регламентованих 5-хвилинних перерв після кожної години безперервної роботи, окрім основної обідньої перерви. Упродовж цих коротких пауз доцільним є виконання спеціалізованих вправ, спрямованих на зменшення

зорової втоми та підтримання належного м'язового тону. Для ефективної нівеляції нервово-психічного напруження доцільно передбачити обладнання кімнати психоемоційного розвантаження.

4.1.2 Електробезпека

У виробничому приміщенні функціонують чотири комп'ютери, що підключені до мережі електроживлення з напругою 220 В. Згідно з класифікацією електробезпеки, визначеною НПАОП 40.1-1.32-01 [23], дане приміщення характеризується як таке, що не має підвищеної небезпеки ураження електричним струмом для працівників. Однак, навіть за таких умов, необхідно неухильно дотримуватися базових правил електробезпеки, включаючи візуальний контроль цілісності ізоляції кабелів та справності заземлення обладнання. Регулярне проведення інструктажів з електробезпеки для персоналу є обов'язковим заходом для запобігання електротравматизму. Крім того, слід передбачити наявність первинних засобів пожежогасіння, оскільки несправність електрообладнання може призвести до займання.

Для попередження електротравм в приміщенні проводять такі заходи:

- 1) ізолюють струмоведучі елементи електроустаткування відповідно до вимог нормативів;
- 2) забезпечують захисне заземлення з використанням природних заземлювачів;
- 3) регулярно проводять інструктаж з питань електробезпеки;
- 4) суворо дотримуються правил електробезпеки на робочих місцях.

Перед початком виконання робочих завдань необхідно здійснити ряд превентивних заходів для забезпечення безпечних та комфортних умов праці: ініціювати функціонування системи кондиціонування повітря в робочому приміщенні для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату; візуально переконатися у стабільності та надійності розміщення обладнання на робочій поверхні; провести ретельний огляд загального технічного стану апаратури, електропроводки, сполучних кабелів, штепсельних з'єднань,

розеток та інших елементів; налаштувати рівень освітленості робочої зони з урахуванням індивідуальних потреб для забезпечення оптимальної видимості та зниження зорового напруження.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Підтримання фізіологічного гомеостазу та забезпечення належного самопочуття працівників безпосередньо залежить від створення оптимальних мікрокліматичних умов у робочому середовищі. Людський організм продукує теплову енергію, ефективна дисипація якої в довкілля є критично важливою. Забезпечення оптимальних мікрокліматичних параметрів сприяє цьому природному процесу тепловіддачі. У випадку відхилення мікроклімату від комфортних значень, організм ініціює фізіологічні механізми терморегуляції, спрямовані на підтримання внутрішньої температури тіла в межах норми.

За енерговитратами проведене дослідження згідно Гігієнічної класифікації праці відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.4.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99) [25]

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для підтримання належних мікрокліматичних умов у робочому просторі передбачено комплекс інженерно-технічних рішень, а саме: функціонування централізованої парової системи опалення для забезпечення необхідного температурного режиму в холодну пору року; застосування системи

припливно-витяжної вентиляції для оптимізації метеорологічних параметрів повітря в будівлі. Додатково, в досліджуваному приміщенні встановлено кондиціонер для забезпечення більш точного контролю температури та вологості.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Контроль вмісту шкідливих речовин у повітряному середовищі робочої зони здійснюється шляхом регламентування гранично допустимих концентрацій (ГДК), що вимірюються в міліграмах на кубічний метр (мг/м³). Основними емітентами забруднюючих речовин у досліджуваному робочому приміщенні є комп'ютерне обладнання та автоматизовані системи. Нормативні значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для специфічних шкідливих речовин, що можуть бути присутні в повітрі робочої зони, наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ (CO ₂)	3	1	4
Формальдегід	0,35	0,03	2
Пил нетоксичний	25	10	4

Нормативні вимоги до іонізації повітря в приміщеннях, які використовуються для виробництва та громадських цілей, визначені в СанПіН 2.2.4.1294-03 [26]. Згідно з цим документом регулюються такі показники: мінімально припустимий рівень іонізації, максимально

припустимий рівень іонізації та коефіцієнт уніполярності, як вказано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Підтримання належної якості повітря в робочій зоні досягається за допомогою механічної вентиляційної системи, функція якої полягає у видаленні забруднюючих речовин, що надходять у повітря приміщення. Додатково, система кондиціонування забезпечує циркуляцію та фільтрацію повітря. Зниження концентрації пилу в повітряному середовищі забезпечується шляхом систематичного проведення вологого прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

Одним із визначальних факторів створення оптимальних умов праці є забезпечення адекватного освітлення як робочої зони загалом, так і окремих робочих місць. Правильно спроектована та організована система освітлення у виробничих приміщеннях дозволяє працівникам зберігати високу гостроту зору та здатність до чіткого розрізнення об'єктів і інструментарію протягом тривалого часу, мінімізуючи розвиток зорової втоми. Це, у свою чергу, сприяє зниженню ймовірності виробничого травматизму та професійних захворювань органів зору. Світлові джерела, зокрема світильники та віконні отвори, що продукують відблиски на поверхні екрана, здатні істотно знижувати візуальну чіткість та спричиняти фізіологічний дискомфорт, особливо при тривалій роботі з візуальними терміналами. Тому інтенсивність

відбитого світла, включаючи рефлексію від допоміжних джерел освітлення, повинна бути максимально зменшена.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018) [27] при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення систематично здійснюється чищення віконного скла та очищення ламп від пилу, а також вчасна заміна перегорілих світильників.

4.2.4 Виробничий шум

Виробничий шум є значущим негативним чинником, що впливає як на здоров'я працівників, так і на ефективність виробничих процесів. Тривалий вплив інтенсивного шуму може спричинити прогресуючу деградацію слухової функції, включаючи розвиток приглухуватості або повної втрати

слуху, а також інші патології слухової системи. Крім того, надмірний рівень шуму ускладнює сприйняття важливої інформації, інструкцій та попереджувальних сигналів, що підвищує ризик виникнення небезпечних ситуацій та нещасних випадків на робочому місці. З огляду на це, впровадження ефективних заходів з контролю та мінімізації шумового впливу на робочих місцях є першочерговим завданням для забезпечення безпеки та створення комфортних умов праці.

Джерелами шуму під час дослідження методів передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку є працююча техніка та транспорт, який рухається ззовні приміщення. Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку L_A в приміщенні наведені у таблиці 4.5. (згідно ДСН 3.3.6.037-99) [28].

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів, пасивного охолодження комп'ютерів, а також раціонального розташування виробничого обладнання.

4.2.6 Виробничі випромінювання

Оскільки дослідження методів передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку проводилася за допомогою ПК, то на робочому місці можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання. Вплив електромагнітного випромінювання на біологічні системи працівника детермінується комплексом взаємодіючих параметрів. До ключових факторів належать частотний спектр випромінювання, час експозиції, тип випромінювання (імпульсне, безперервне), режим його дії, площа тіла, що піддається впливу, а також індивідуальна чутливість організму. Відповідно до чинних нормативних документів, оцінка електромагнітного випромінювання здійснюється в діапазоні частот від 5 Гц до 400 кГц.

Гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти, які враховують тривалість їх впливу, регулюються відповідно до Санітарних правил і нормативів (СанПіН) 2.2.4.1191-03 [29]. Відповідно до цього нормативного документу, працівник може перебувати в електромагнітному полі промислової частоти із напруженістю до 5 кВ/м протягом усього робочого дня. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для працівника в радіочастотному діапазоні складають 25 В/м для електричного поля та 250 нТл для магнітного поля. Ці норми регулюються з метою забезпечення безпеки працівників, які працюють з ПК, та мінімізації можливих негативних впливів електромагнітних випромінювань на їхнє здоров'я.

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на дослідника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

4.3 Пожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах

підприємств. Забезпечення пожежної безпеки підприємств покладається на їх керівників і уповноважених ними посадових осіб, відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, ділянок тощо, технологічного та інженерного устаткування, утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту повинні бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

.Пожежна безпека підприємства забезпечується [30]:

- системою попередження пожежі (комплексом організаційних заходів та технічних засобів, направлених на попередження виникнення пожежі);
- системою пожежного захисту (комплексом організаційних заходів та технічних засобів, направлених на попередження дії на працюючих небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальної шкоди від неї).

З урахуванням вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек, визначаємо, що приміщення, в якому здійснюється робота, можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А, Б). Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.).

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Основними інженерно-технічними та організаційними заходами захисту системи запобігання пожежі в приміщенні є [31-33]:

- підвищення вогнетривкості будівель, а також споруд, що реконструюються та розширюються;
- заміна легкозаймистих матеріалів будівель;

- просочування вогнебезпечних конструкцій вогнезахисними речовинами;
- зниження пожежонебезпечних властивостей оздоблювальних матеріалів і покриттів;
- встановлення автоматичних систем відключення електромереж в разі виникнення пожеж;
- встановлення в приміщеннях систем контролю температури та вологості повітря;
- проведення протипожежного інструктажу та ознайомлення працівників з правилами поведінки під час пожежі;
- розміщення горючих матеріалів подалі від потенційних джерел виникнення пожеж;
- розміщення в приміщеннях знаків пожежної безпеки;
- розміщення планів евакуації в усіх приміщеннях та на усіх поверхах будівлі;
- раціональне взаєморозміщення меблів та обладнання та утримання проходів в приміщеннях у вільному стані;
- розміщення в приміщеннях засобів пожежогасіння та правил поведінки в разі виникнення пожеж;
- розробка і впровадження автоматичних систем виявлення і гасіння пожеж.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Засоби пожежогасіння, що використовуються в приміщенні – це вогнегасники, розміщення яких в приміщеннях здійснюється з урахуванням розміщення потенційних джерел виникнення пожеж і позначається встановленим поруч вказівним знаком.

Згідно категорії пожежовибухонебезпеки будівлі, класу приміщення і за вибухо- і пожежонебезпекою П-Іа та НАПБ Б.01.008-2018 [35] Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників в приміщенні має

бути встановлено 2 порошкових або вуглекислотних вогнегасники із зарядом речовини 2 кг, крім того на поверхах має бути розташовано по одному вуглекислотному вогнегаснику масою речовини не менше 10 кг.

У разі появи ознак загоряння (диму, запаху, полум'я) кожен працівник зобов'язується негайно повідомити про це органи пожежної охорони (101), посадову особу підприємства, а також задіяти систему оповіщення.

Посадова особа підприємства до прибуття пожежно-рятувальної служби має видалити за межі небезпечної зони всіх працівників, що не беруть участь у ліквідації пожежі і задіяти всі наявні засоби та сили на ліквідацію загоряння.

ВИСНОВКИ

У межах виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було досліджено особливості передавання відеоінформації в бездротових Wi-Fi мережах за умов застосування різних алгоритмів керування чергою на маршрутизаторі. Визначено основні чинники, що впливають на якість відеопередачі. У результаті дослідження виявлено недоліки найпростішого алгоритму – Drop Tail. Проаналізовано алгоритми групи RED, а також вивчено вплив їхніх параметрів на роботу мережі та виявлено нюанси, пов'язані з їх налаштуванням.

Було проведено моделювання процесу передавання відео із застосуванням різних алгоритмів керування чергою. За результатами моделювання отримано та проаналізовано ключові показники продуктивності мережі – розмір черги та час доставки пакетів. Якість відеопередачі оцінено на основі одного з найпоширеніших критеріїв – PSNR.

На основі аналізу отриманих результатів можна зробити такі висновки:

Найсуттєвіший вплив на продуктивність мережі та якість переданого відео має довжина черги.

Алгоритм Drop Tail забезпечує прийнятну якість відеопередачі лише за умов великого розміру черги.

Через специфіку своєї роботи Drop Tail неефективно використовує пам'ять маршрутизатора.

Алгоритми RED і Adaptive RED, за умови коректного налаштування, дозволяють покращити якість відеопередачі, водночас знижуючи навантаження на пам'ять маршрутизатора.

Найбільш ефективним для дослідженої мережевої конфігурації з точки зору затримки доставки пакетів і якості переданого відео виявився алгоритм Adaptive RED із параметрами: $\min_{th} = 15$, $\max_{th} = 45$, $\max_p = 0,01$, $a = 0,065$, $wq = 0,031$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Floyd.S., and Fall K. Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet // IEEE/ACM Transactions on Networking, August 1999, P.402 - 422.
2. Floyd S., Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance //IEEE/ACM Transactions on Networking, August 1999, P. 397–413.
3. Elloumi O., Afifi H. RED algorithm in ATM networks // IEEE ATM Workshop 1997. Proceedings, May 2003, P. 312 - 319.
4. Eddy W., Allman M. A comparison of RED's byte and packet modes //Computer Networks, June 2003, P. 103-125.
5. Le L., Aikat J., K. Jeffay. The effects of Active Queue Management and explicit congestion notification on Web performance // IEEE/ACM Transactions on Networking, August 2005, P. 134-147.
6. Feng W. A self-configuring RED gateway //Infocom, Mar 1999, P. 221 - 234.
7. Feng W., Kandlur D., Saha D. Techniques for eliminating packet loss in congested TCP/IP networks // U. Michigan CSE-TR-349-97, November 1999.
8. Fall K., Varadhan K. The NS manual. [Інформаційний ресурс]. Режим доступу: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
9. Aweya J. Enhancing TCP performance with a load-adaptive RED mechanism / Aweya J., Ouellette M., Montuno D.,Chapman A. // International Journal of Network Management. - V. 11, N. 1. – 2005. – P. 304-325.
10. Aweya J. An Optimization-oriented view of Random Early Detection / Aweya J., Ouellette M., MontunoM., Chapman C. // Computer Communications, 2001.
11. Braden R. Recommendations on queue management and congestion avoidance in the Internet / [Braden R., Clark D., Crowcroft J., Davie D., Deering

A., Estrin D., Floyd S., Jacobson V., Minshall G., Partridge C., Ramakrishnan K., Zhang L.] // RFC 2309, April 2005.

12. Chiu D. Analysis of the increase/decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks / Chiu D., Jain R. // Journal of Computer Networks and ISDN, 17(1), June 2003.

13. Lin D., Morris R. Dynamics of Random Early Detection // Proceedings of SIGCOMM 97, September 2001, P.127 - 138.

14. Mahajan, R., Floyd, S. Controlling high-bandwidth flows at the congested Router // ICSI Tech Report TR-01-001, April 2001, P. 235 - 247.

15. Ott T., Lakshman T., Wong L. SRED: Stabilized RED // Proceedings IEEE INFOCOM '99, New York, March 2003, P.123 - 129.

16. Rosolen V., Leduc G. A RED discard strategy for ATM networks and its performance evaluation with TCP/IP traffic // IEE/ACM Computer Communication Review, July 2006, P. 345 - 353.

17. Shenker S., Zhang L., Clark D. Some observations on the dynamics of a congestion control algorithm // ACM Computer Communication Review, October 2008, P.30 - 39.

18. Altaian E., Jimenez T. NS simulator for beginners // Lecture notes, 2003-2004 Univ. de Los Andes, Merida, Venezuela and ESSI, Sophia-Antipolis, France, 2003.

19. Chung J., Claypool M. NS by example. <http://nile.wpi.edu/NS/>

20. Kunniyur S., Srikant R. Analysis and design of an adaptive virtual queue (AVQ) algorithm for Active Queue Management // CSL Technical Report, University of Illinois, January 2007 P. 153 - 159.

21. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2

22. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених

[наказом](#) Міністерства охорони здоров'я України від 08 квітня 2014 року № 248.

23. Директива № 90/270/ЕЄС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями. Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

24. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ. Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

26. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

27. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.

28. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.

29. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.

30. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77160

31. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

32. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень». Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

33. НАПБ Б.01.008-2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82176

34. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>

35. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОТРАФІКУ В БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-216
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Березовський І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. проф., каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

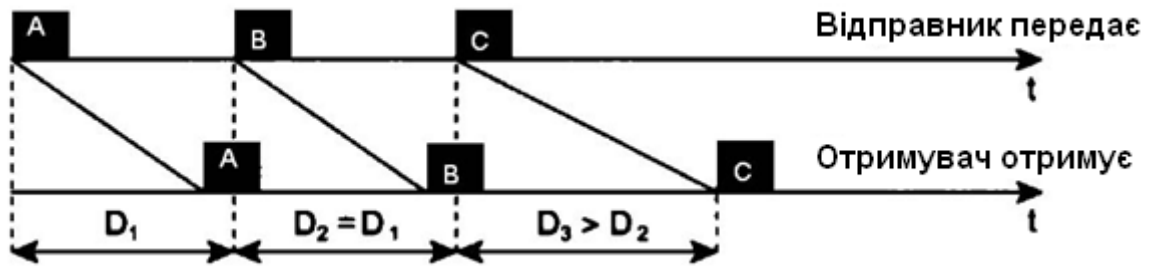


Рисунок 1 – Затримка пакетів в мережі



Рисунок 2 – Схема роботи алгоритму RED

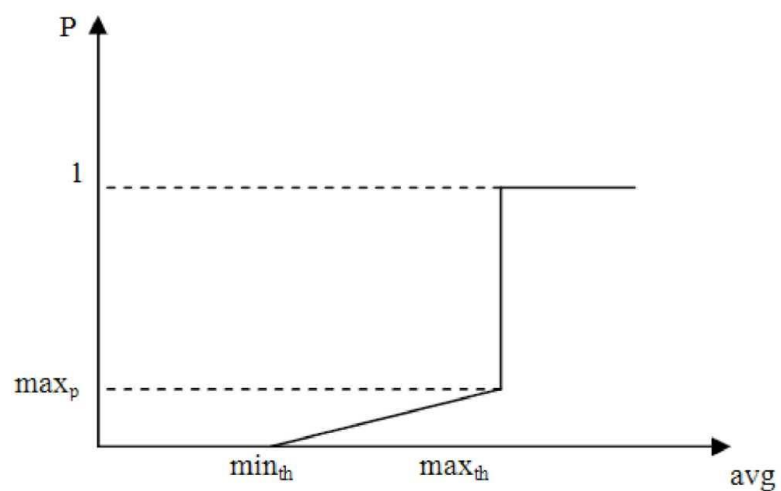


Рисунок 3 – Графік ймовірності відкидання пакета від середнього розміру черги

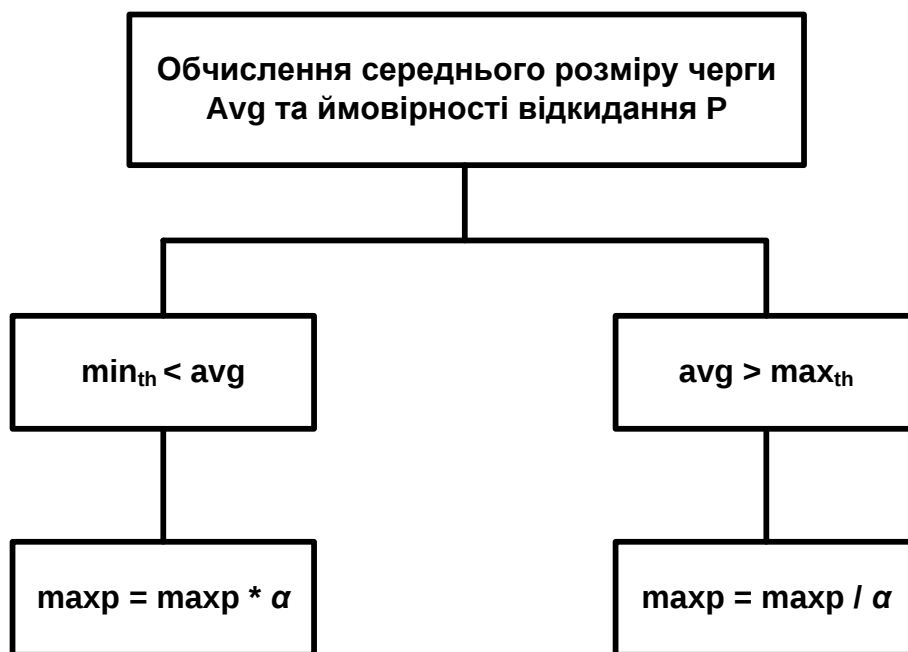


Рисунок 4 – Принцип роботи алгоритму Adaptive RED

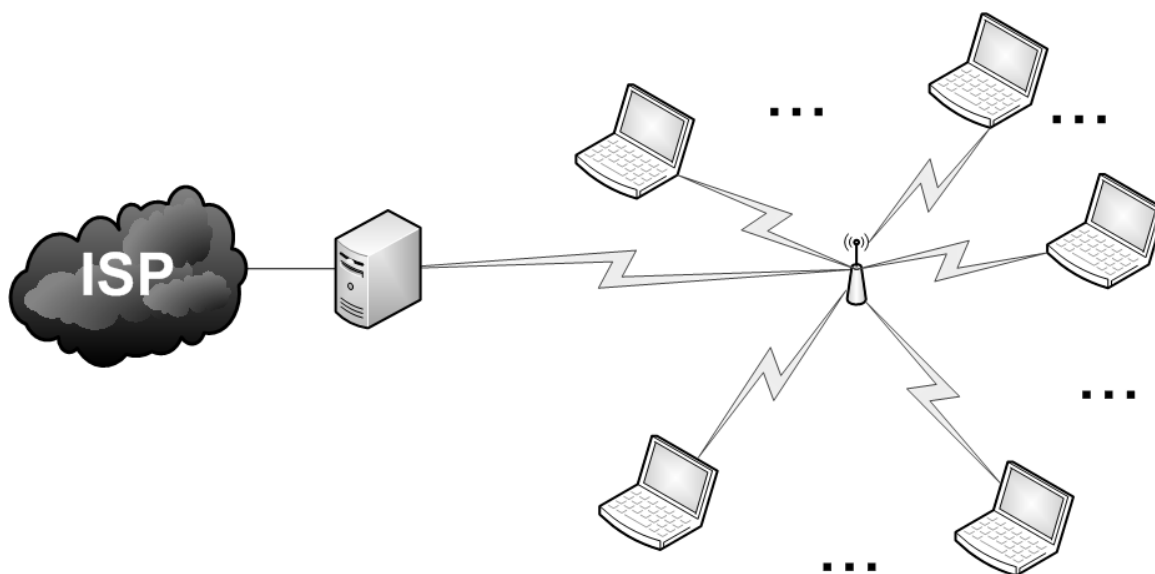


Рисунок 5 – Топологія досліджуваної мережі

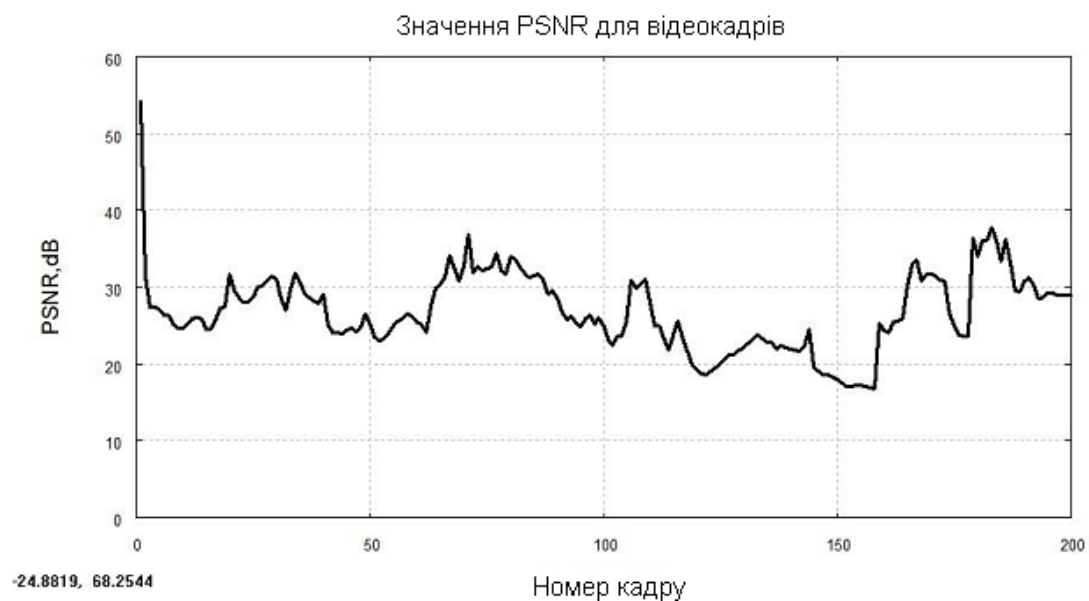


Рисунок 6 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при використанні відеофрагменту Drop Tail

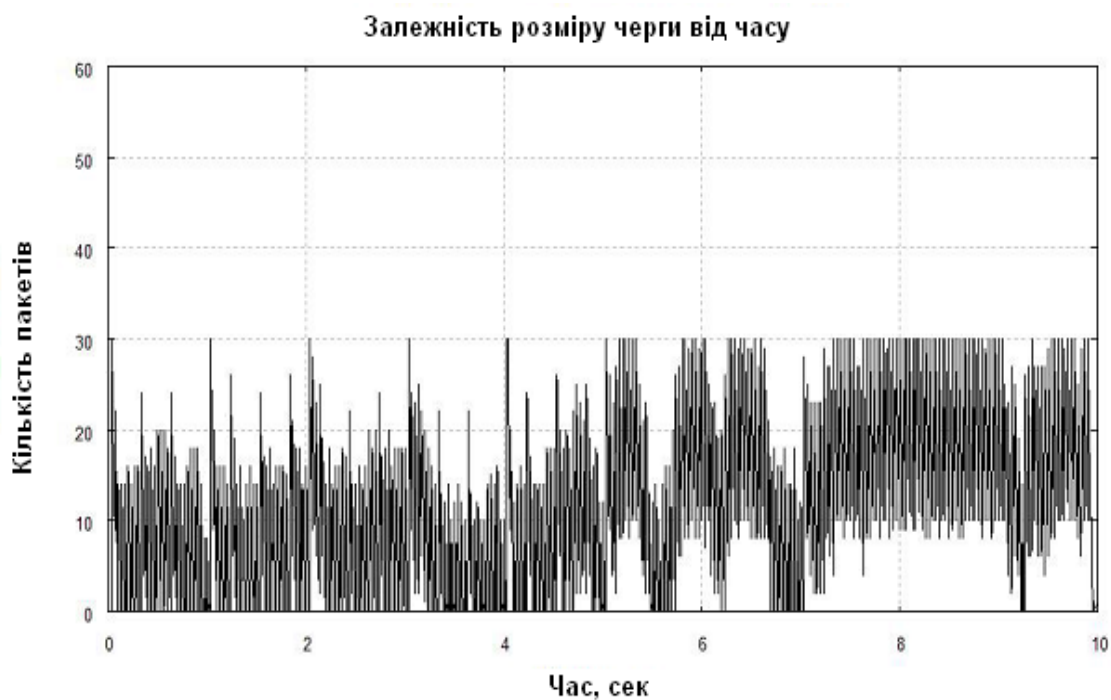


Рисунок 7 – Графік розміру черги на маршрутизаторів від часу, при застосуванні алгоритму Drop Tail

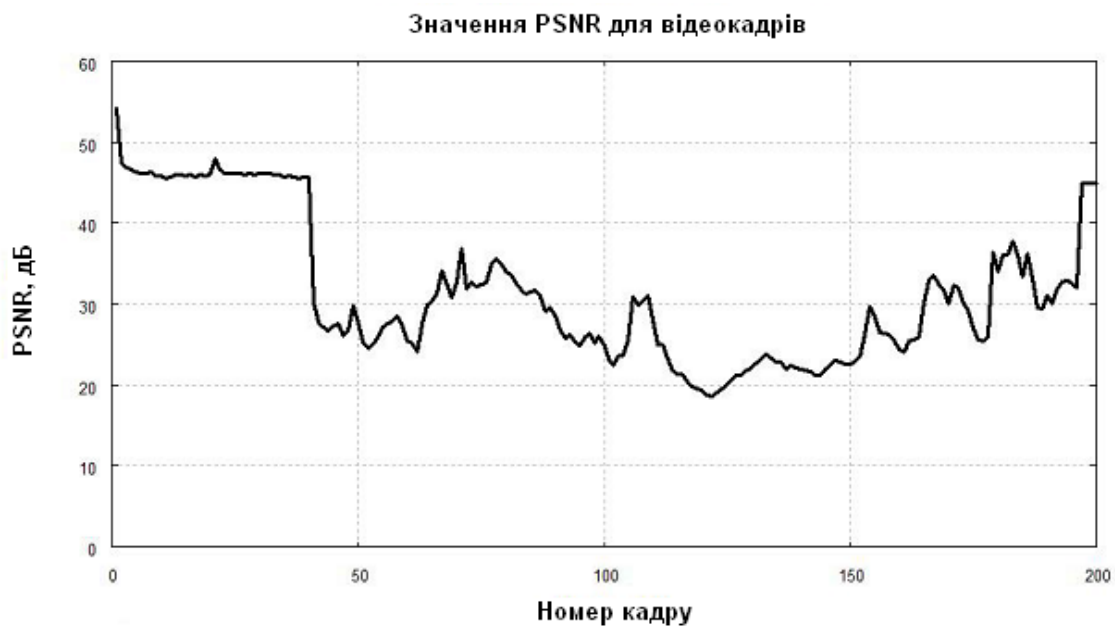


Рисунок 8 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при застосуванні Drop Tail

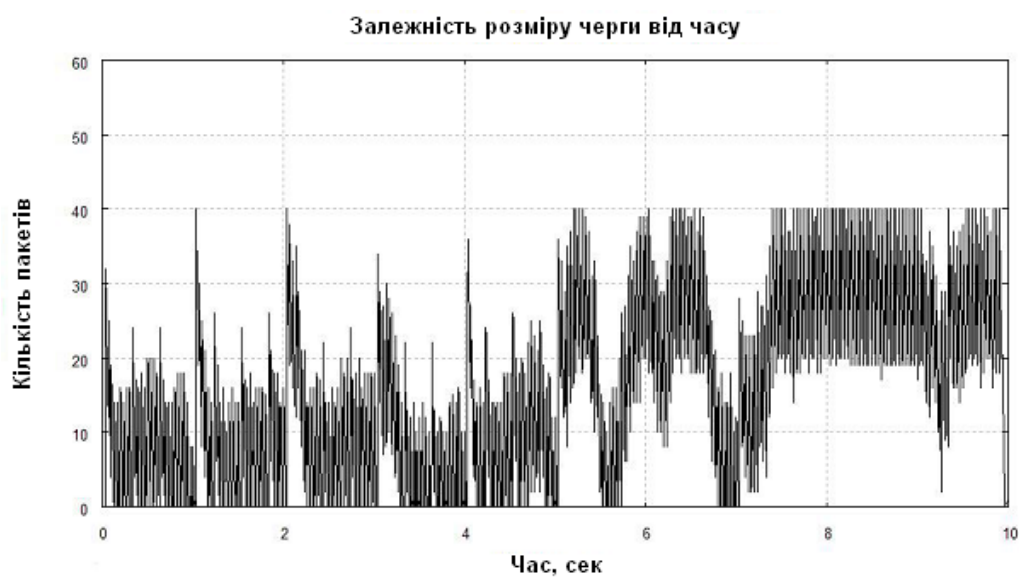


Рисунок 9 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Drop Tail

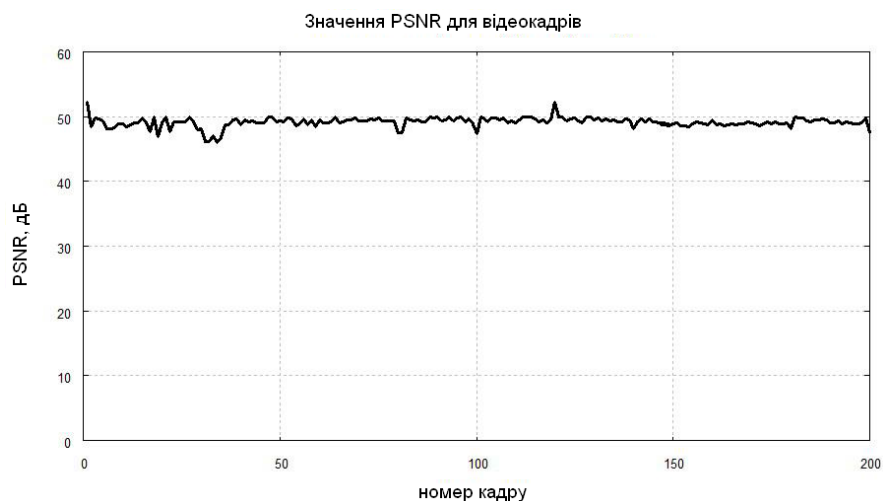


Рисунок 10 – Графік фрагменту при використанні алгоритму Drop Tail
Залежність розміру черги від часу

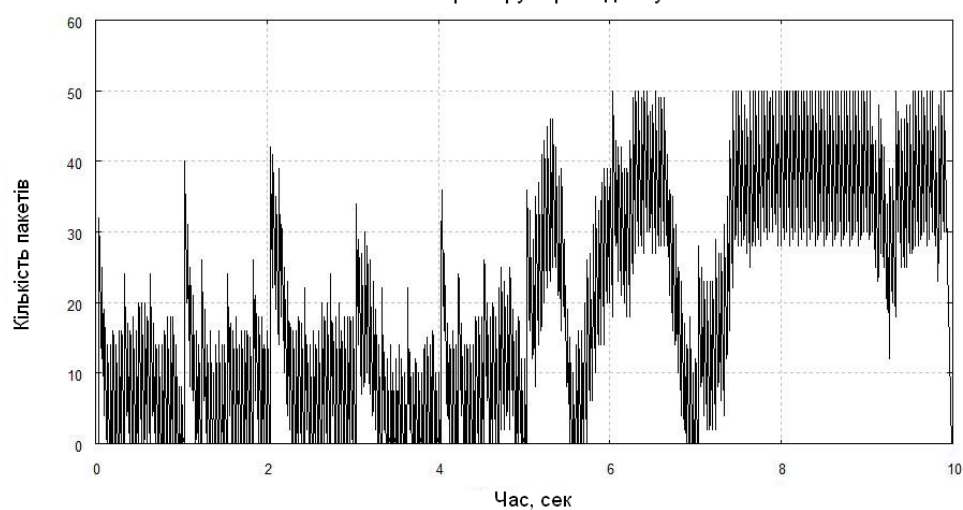


Рисунок 11 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Drop Tail
Залежність затримки пакету від часу

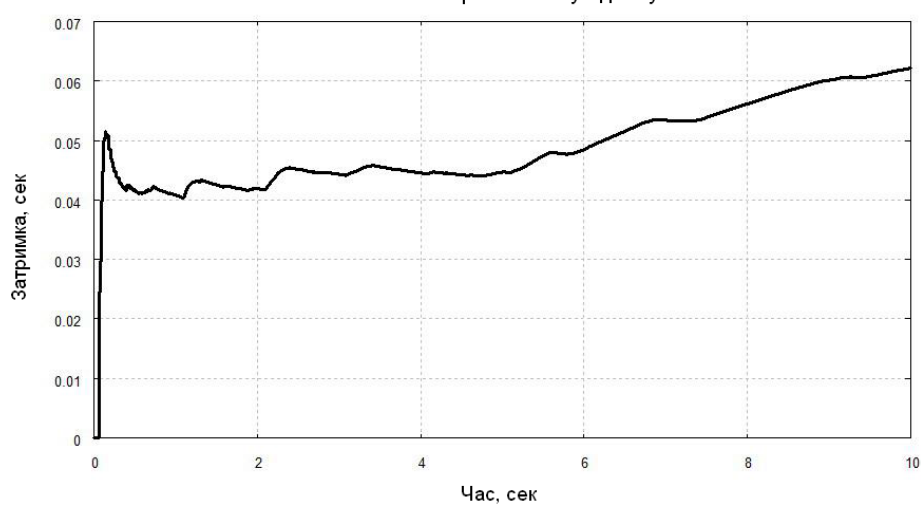


Рисунок 12 – Графік затримки пакету в мережі від часу, при використанні алгоритму Drop Tail

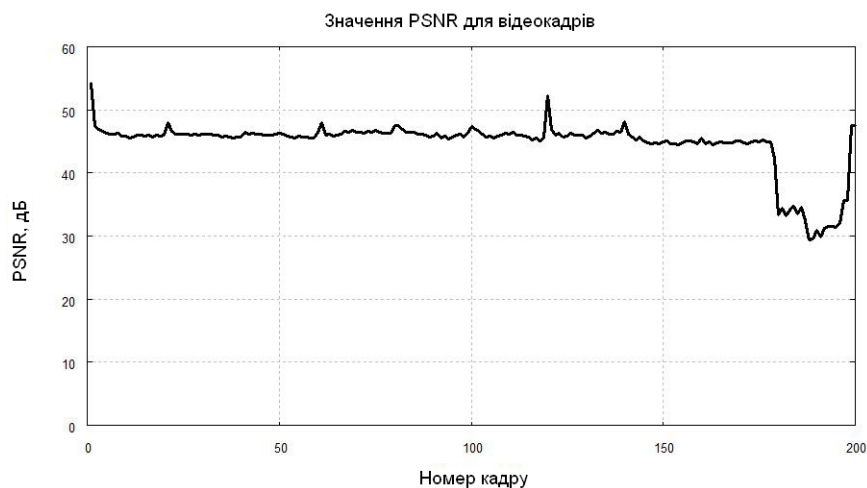


Рисунок 13 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при використанні алгоритму RIO-C

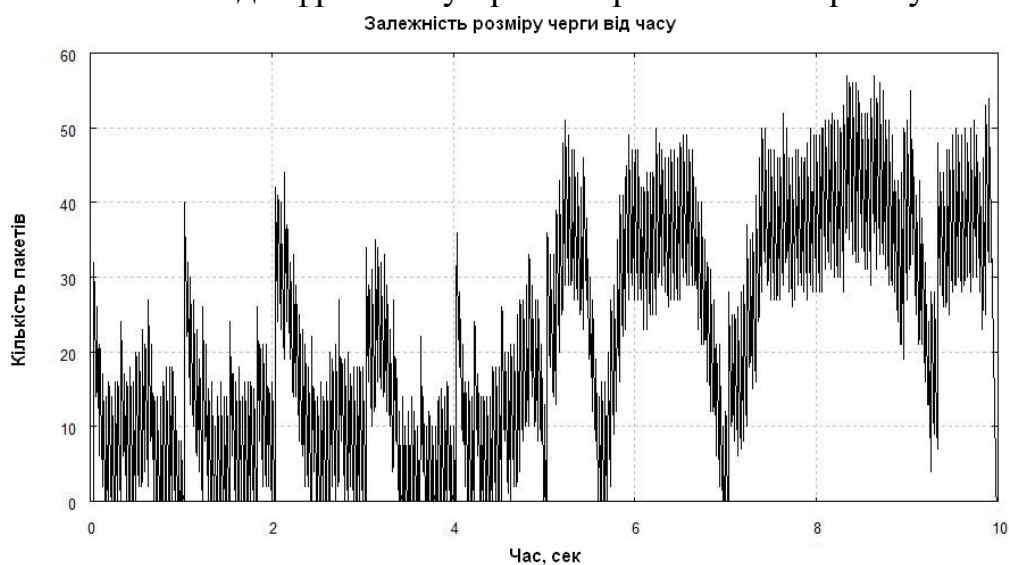


Рисунок 14 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номеру кадру для тестового відеофрагменту при використанні алгоритму Adaptive RED

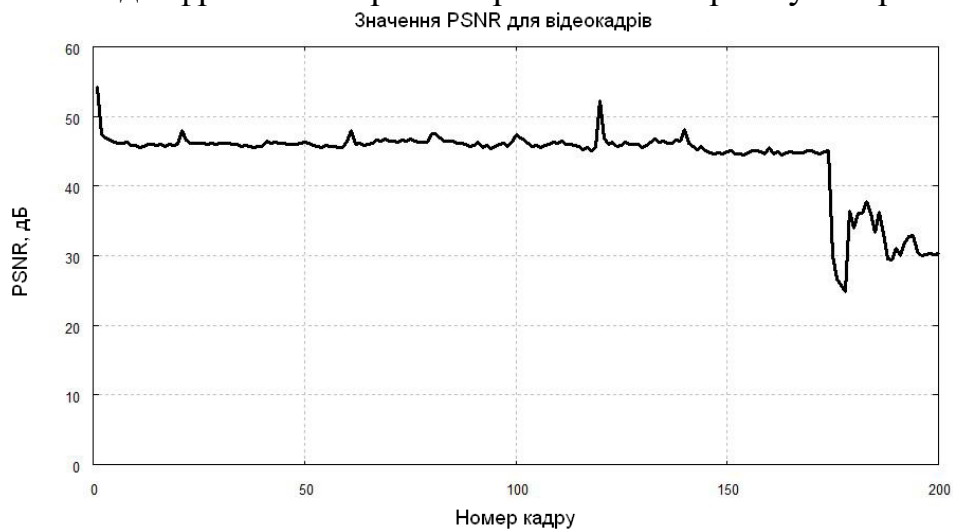


Рисунок 15 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Adaptive RED

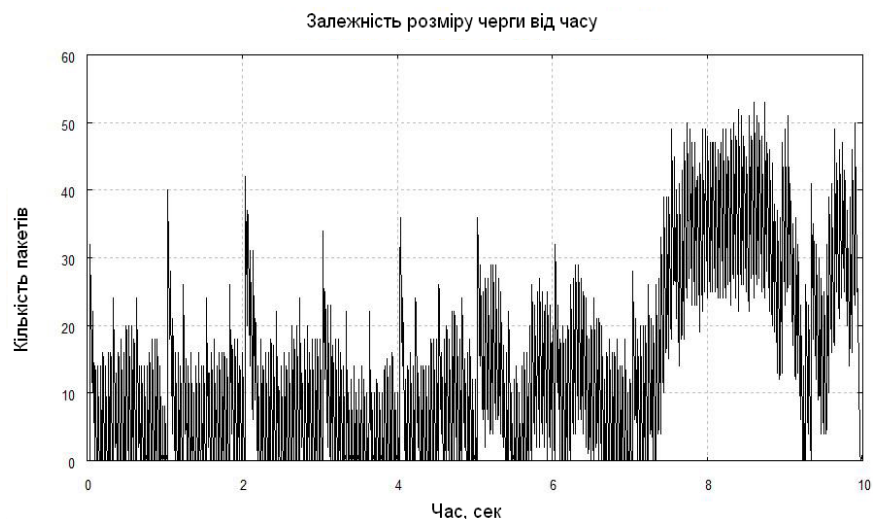


Рисунок 16 – Графік фрагменту при використанні алгоритму Adaptive RED

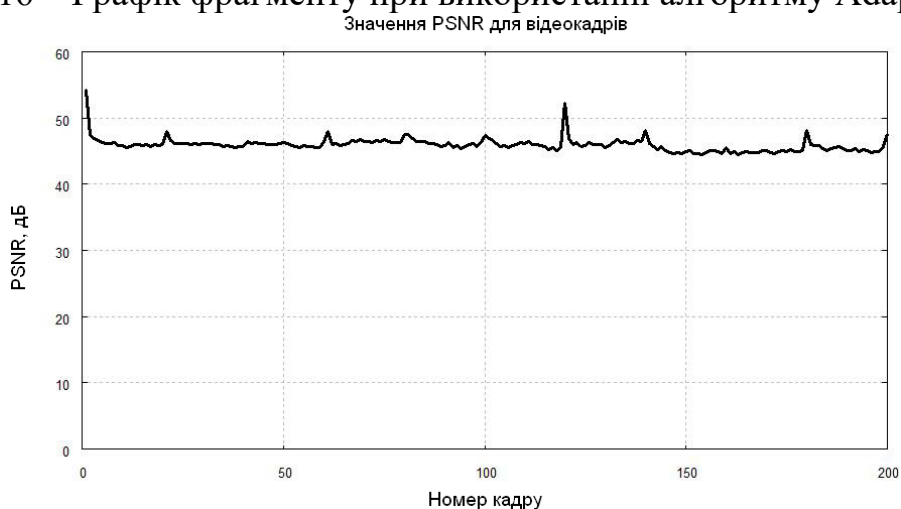


Рисунок 17 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Adaptive RED

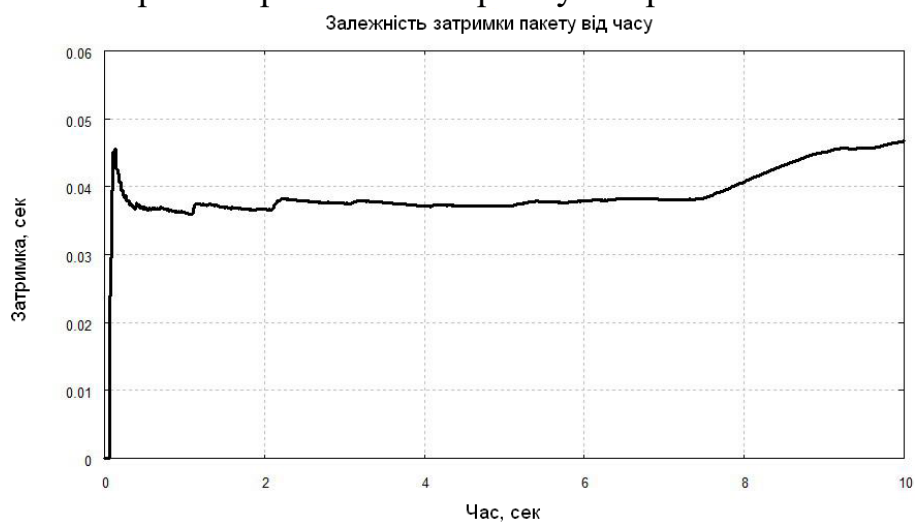


Рисунок 18 – Графік затримки пакету в мережі від часу при використанні алгоритму Adaptive RED

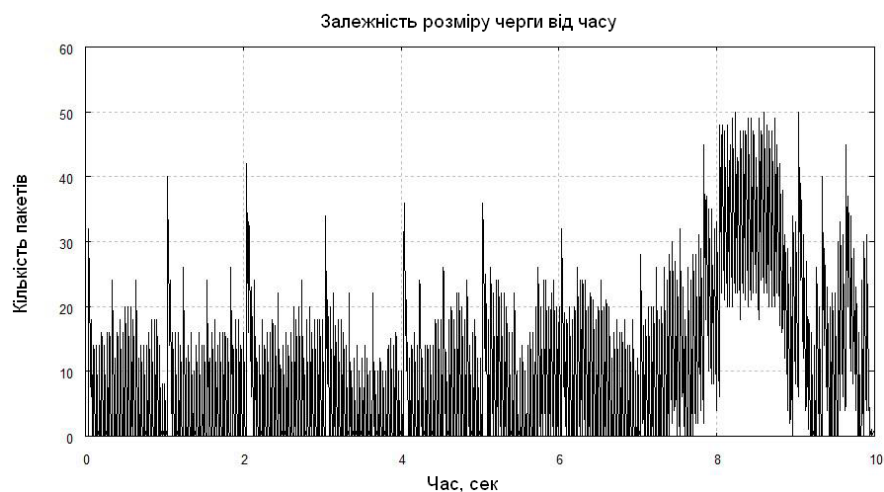


Рисунок 19 – Графік пікового відношення сигнал/шум від номера кадру для тестового відеофрагменту при використанні алгоритму Adaptive RED

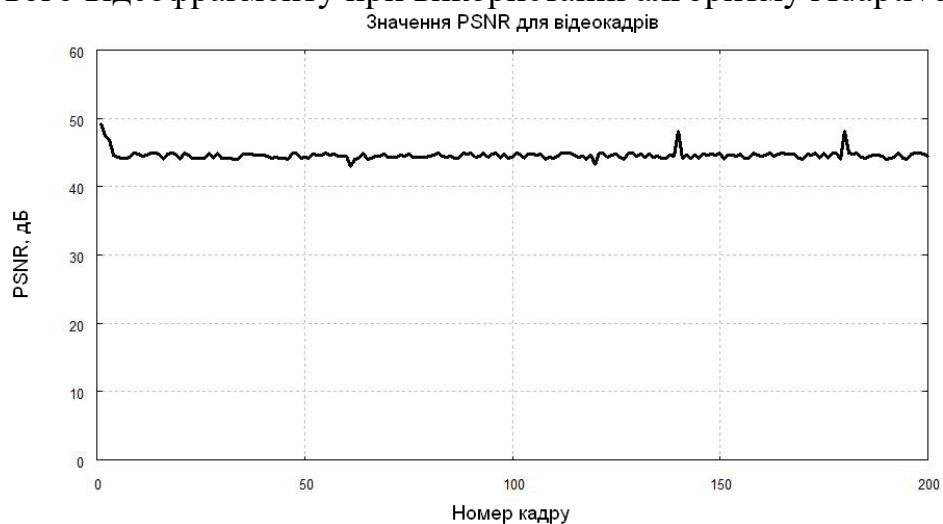


Рисунок 20 – Графік розміру черги на маршрутизаторі від часу, при використанні алгоритму Adaptive RED

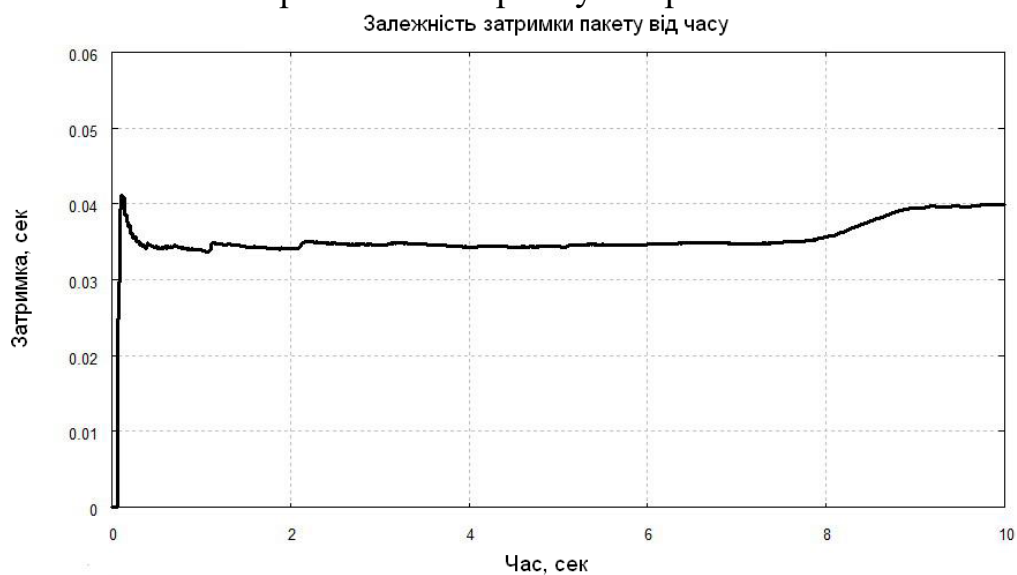


Рисунок 21 – Графік затримки пакету в мережі при використанні алгоритму Adaptive RED

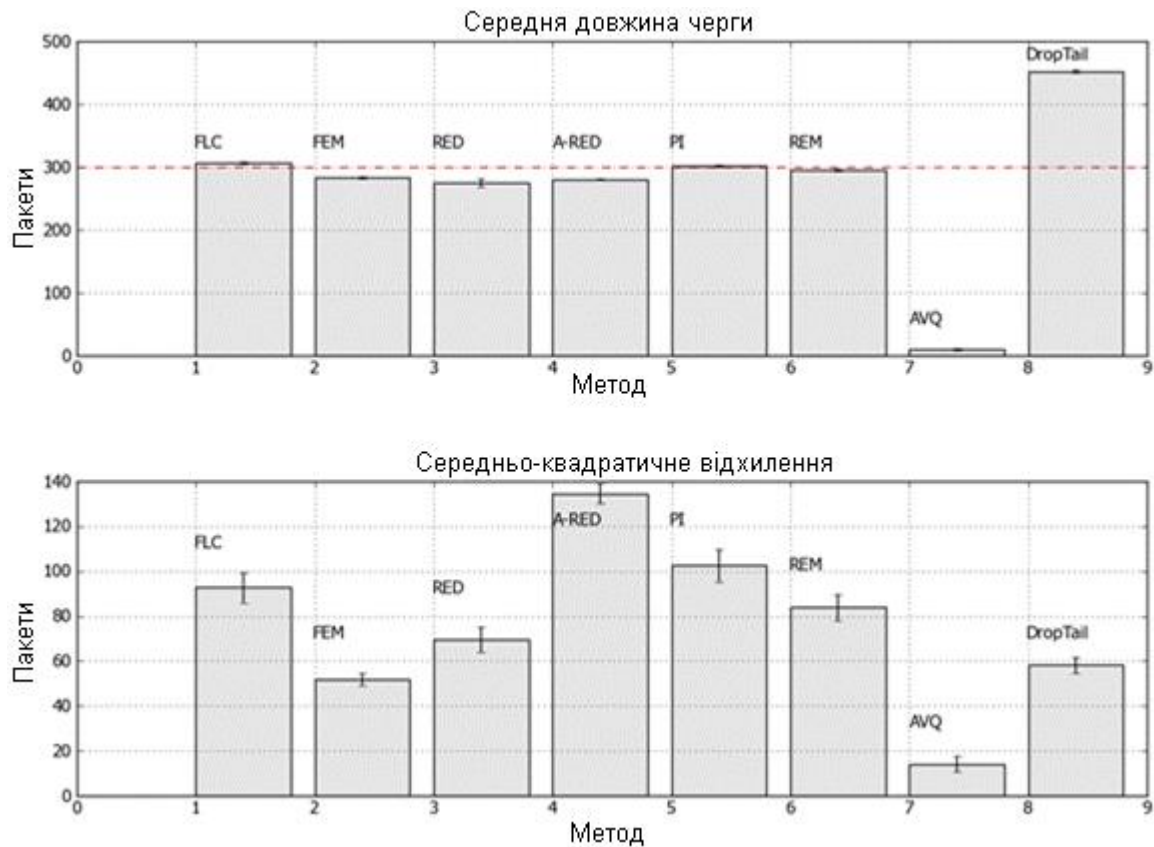


Рисунок 22 – Середня довжина черги й середнє-квадратичне відхилення з довірчими інтервалами для 5 повторюваних експериментів при різних методах активного керування чергами:

- 1) Метод нечіткого регулятора FLC (Fuzzy Logic Controller);
- 2) Механізм FEM (Fuzzy Explicit Marking);
- 3) Метод випадкового раннього виявлення RED (Random Early Detection);
- 4) Адаптивний метод раннього виявлення ARED (Adaptive RED);
- 5) Метод пропорційно-інтегрального контролера PI (Proportional-Integral);
- 6) Метод випадкового експоненційного маркування REM (Random Exponential Marking);
- 7) Метод віртуальної черги AVQ (Adaptive Virtual Queue);
- 8) Механізм DropTail

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОТРАФІКУ В
БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Дослідження методів передачі відеотрафіку в бездротових системах зв'язку»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)
Підрозділ Кафедра ІРТС
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 11,31%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

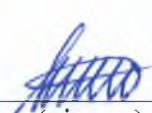
Експертна комісія:

Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

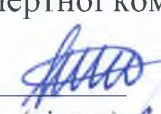
Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)

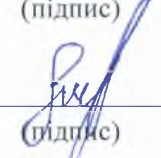

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Семенов А.О.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис) Семенов А.О. – д.т.н., професор, каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис) Березовський І.М.
(прізвище, ініціали)