ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи Quality of service і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис) Віталій ЖУДІН (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Віталій ЖУДІН

Керівник: Андрій ЛЕМЕШКО

Рецензент: К. Лавріненко

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Жудіну Віталію Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи Quality of service і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11»,
керівник кваліфікаційної роботи Андрій ЛЕМЕШКО, PhD,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Різновиди стандартів IEEE 802.11.
   2. Архітектура IEEE 802.11.
   3. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Дослідження технічних особливостей бездротових мереж;
   2. Дослідження достовірності обробки інформації в телекомунікаційній системі;
   3. Впровадження QoS та діагностика мережі.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Дослідження технічних особливостей бездротових мереж	31.10.23	Викон.
3.	Дослідження достовірності обробки інформації в телекомунікаційній системі	15.11.23	Викон.
4.	Впровадження QoS та діагностика мережі	29.11.23	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
6.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Віталій ЖУДІН
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Андрій ЛЕМЕШКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 85 стор., 26 рис., 3 табл., 24 дж.

Мета роботи – дослідження засобів забезпечення якості послуг в бездротовій мережі.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11.

Предмет дослідження – якість обслуговування (Quality of Service) в бездротових мережах.

Короткий зміст роботи: В роботі досліджено бездротові мережі 802.11. Описано основні стандарти та їх проекти. Робота поділена на розділи, з яких два є теоретичними та 1 практичним. Теоретична частина містить вичерпний огляд усіх стандартів, історії бездротових мереж і технологій. Далі тут аналізується підтримка якості обслуговування в бездротових мережах і більш детально стандарт 802.11e. У практичній частині описана конфігурація мережі, в якій проводилися вимірювання. Остання частина – це вже впровадження підтримки якості обслуговування, програмне вимірювання IxChariot, оцінка результатів і відмінностей між мережевим трафіком з підтримкою якості обслуговування та без нього.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕХНОЛОГІЯ WI-FI, СТАНДАРТ, IEEE 802.11, МЕРЕЖА ДОСТУПУ, QUALITY OF SERVICE, 802.11E, IXCHARIOT, МЕРЕЖА ІНТЕРНЕТ, ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ, ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 85 pages, 26 pictures, 3 table, 24 sources.

The purpose of the work - research of means of ensuring the quality of services in a wireless network.

Object of research – the interaction process and features of the construction of the 802.11 wireless standard.

Subject of research – quality of service (Quality of Service) in wireless networks.

Summary of the work: The paper examines 802.11 wireless networks. The main standards and their projects are described. The work is divided into sections, two of which are theoretical and one is practical. The theoretical part contains a comprehensive overview of all standards, the history of wireless networks and technologies. Next, support for quality of service in wireless networks and the 802.11e standard are analyzed in more detail. The practical part describes the configuration of the network in which the measurements were performed. The last part is the implementation of QoS support, software measurement of IxChariot, evaluation of results and differences between network traffic with and without QoS support.

KEYWORDS: WI-FI TECHNOLOGY, STANDARD, IEEE 802.11, ACCESS NETWORK, QUALITY OF SERVICE, 802.11E, IXCHARIOT, INTERNET NETWORK, CONSTRUCTION PRINCIPLES, TECHNICAL CHARACTERISTICS

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Жудін В.О. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи Quality of service і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Жудін Віталій Олександрович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Жудіна Віталія Олександровича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Андрій ЛЕМЕШКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Жудін В.О.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Жудіна Віталія Олександровича

на тему: «Методи Quality of service і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11»

Актуальність:

Wi-Fi мережі є універсальним і широко доступним методом забезпечення доступу до інтернет-ресурсів, використовується у більшості домашніх, офісних та громадських місць.

Однак, разом з розширенням використання Wi-Fi мереж, з'являється ряд проблем, що впливають на достовірність обробки інформації. Це включає помилки в передачі даних, проблеми з безпекою та конфіденційністю інформації, потенційні атаки на мережу та інтерференцію з іншими бездротовими пристроями.

Таким чином, дослідження та вдосконалення достовірності обробки інформації в Wi-Fi системах є актуальною і важливою задачею. Вона спрямована на забезпечення надійного і безпечного доступу до інтернету, а також на захист інформації користувачів.

Позитивні сторони:

Магістерська робота дозволяє досить повно оцінити загальну характеристику, сутність та структуру поставленої проблеми. Дається чітке визначення мети роботи, об'єкту та предмету дослідження. Сформульовано наукові проблеми і представлено використані методи дослідження.

Недоліки:

1. З роботі не описано принципи роботи технології DiffServ та реалізації її у мережних пристроях;
2. Представлені результати досліджень у розділі 3 не достатньо проаналізовані.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Жудін Віталій Олександрович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: КТН, доцент — *(науковий ступінь, вчене звання)*; *(підпис)*; К. Лаврінець — *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ .. 13
1.1 Розвиток стандартів IEEE802.11 технології Wi-Fi 13
1.2 Архітектурна конфігурація бездротової мережі 20
1.3 Технологіїї фізичного рівня передачі даних OSI 25
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ 35
2.1 Вплив Quality Of Service (QoS) на достовірності обробки інформації та якість послуг в телекомунікаційній системі 35
2.2 Параметри якості послуг в телекомунікаційній системі 38
2.3 Стандарт IEEE802.11e забезпечення достовірності обробки інформації та якість послуг в телекомунікаційній системі 44
2.4 Проектування бездротової мережі 55
3 ВПРОВАДЖЕННЯ QOS ТА ДІАГНОСТИКА МЕРЕЖІ 59
3.1 Бездротове мультимедіа – WMM 61
3.2 Увімкнення підтримки QoS 65
3.3 Інструмент тестуванні продуктивності мереж IxChariot 70
ВИСНОВКИ 81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 83
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ARP - Address Resolution Protocol;

AP - Access Point;

BSS - Basic Service Sets;

CFP - Contention-Free Period;

CP - Contention Period;

CSMA/CA - Carrier-sense multiple access with collision avoidance;

CSMA/CD - Carrier-sense multiple access with collision detection;

DCF - Distributed coordination function;

DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol;

DS - Direct Sequence;

DSSS - Direct-Sequence Spread Spectrum;

DSCP - Differentiated Services Code Point;

DPSK – Диференціальна фазова маніпуляція;

ECN - Explicit Congestion Notification;

ESS - Extended Service Set;

IBSS - Independent Basic Service Set;

HC - Hybrid Coordinator;

FHSS - Frequency-hopping spread spectrum;

FTP - File Transfer Protocol;

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers;

IP - Internet Protocol;

ITU - International Telecommunication Union;

IxChariot - комплексна програма тестування продуктивності мережі;

LAN - Local Area Network;

LLC - Logical Link Control;

LTE - Long Term Evolution;

MAC - Media Access Control;

MIMO - Multiple-Input and Multiple-Output;

MU-MIMO - Multi-User, Multiple Input, Multiple Output;

MOS - Mean Opinion Score;

OFDM - Orthogonal frequency-division multiplexing;

OSI - Open systems interconnection model;

PCF - Point Coordination Function;

PSK - Фазова маніпуляція;

PESQ - Перцептивна оцінка якості мовлення;

POLQA - Перцептивна об'єктивна оцінка якості слуху;

QAM - Квадратурна амплітудна модуляція;

QoS - Quality of Service

QBSS - QoS із підтримкою базового набору послуг;

SDM - Spatial Division Multiplexing;

SSID - Service Set Identifier;

TCP - Transmission Control Protocol;

TWT - Target Wake Time;

UWB - Ultra WideBand;

VoIP - Voice over Internet Protocol/ VoWLAN/ VoWiFi;

WAN - Wide Area Network;

WiFi - Wireless Fidelity;

WLAN - Wireless Local Area Network;

WME - Wireless Multimedia Extensions.

ВСТУП

Локальні бездротові мережі (WLAN - Wireless Local Area Network) є розширенням локальних мереж LAN (Local Area Network), але не їх заміною. Перевагою є легкий монтаж у важкодоступних місцях, у старих будівлях, де є проблеми з прокладкою кабелю тощо. Останнім часом вони все частіше використовуються, чи то на підприємствах, у побуті чи у загальнодоступних місцях. Таке розширення і масове використання бездротових мереж пов'язане в основному з їх ціною, що постійно знижується, а також з тим, що вони є дуже ефективним технічним рішенням. Крім того, це завдяки постійно зростаючій якості бездротових технологій, які дозволяють підтримувати низку мультимедійних послуг. Серед найбільш привабливих є так звана IP-телефонія (VoIP - Voice over IP, або VoWLAN, іноді звана VoWiFi) і передача відео (відеоконференції, потокове передавання тощо).

Вищезазначене робить актуальним підготовку магістерської роботи. Це дуже цікава галузь комунікаційних технологій, яка пропонує широкий спектр застосувань і різних типів рішень. Знайомство з питанням бездротових мереж було цікавим вже під час курсу, де пояснювали суть та основи, а також практичні лабораторні заняття. Більш детально розглядається історичний розвиток бездротових мереж і дуже важливе питання забезпечення якості послуг у бездротових мережах. Дана тема стає все більш актуальною в наш час, оскільки зручність використання бездротових мереж і їх кількість останнім часом значно зросли. У цій роботі більш детально розглядаються механізми якості обслуговування та додаток IEEE 802.11e. У цій мережі IxChariot генерує відеотрафік у реальному часі, двосторонній голосовий зв'язок і FTP між двома кінцевими станціями.

VoIP — це тип IP-телефонії, який дозволяє користувачам здійснювати телефонні дзвінки через Інтернет. Він працює шляхом перетворення аналогових голосових сигналів у цифрові пакети даних, які можна передавати через Інтернет. VoIP має кілька переваг перед традиційною телефонією, включаючи нижчу

вартість, більшу гнучкість і більше функцій. Однією з головних переваг VoIP є його економічність. Оскільки VoIP використовує Інтернет для передачі дзвінків, немає плати за міжміський зв'язок або щохвилинної плати. Це робить його привабливим варіантом для компаній і окремих осіб, які здійснюють багато міжміських дзвінків. VoIP також забезпечує більшу гнучкість, оскільки користувачі можуть здійснювати дзвінки з будь-якого місця, де є підключення до Інтернету.

Існує кілька типів послуг VoIP, включаючи одноранговий VoIP, програмний VoIP і розміщений VoIP. Одноранговий VoIP дозволяє користувачам підключатися безпосередньо один до одного без необхідності використання центрального сервера. Softphone VoIP — це програма, яка дозволяє користувачам здійснювати дзвінки зі свого комп'ютера чи мобільного пристрою. Розміщений VoIP – це послуга, що надається стороннім постачальником, де керування та маршрутизація викликів здійснюється постачальником.

Мета роботи – дослідження засобів забезпечення якості послуг в бездротовій мережі.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11.

Предмет дослідження – якість обслуговування (Quality of Service) в бездротових мережах.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Розвиток стандартів IEEE802.11 технології Wi-Fi

Термін бездротова мережа включає всі мережі, які не з'єднані кабелями. Основною відмінністю від локальних мереж тут є мобільність. У мережах WiFi кінцевому пристрою дозволена певна мобільність, але лише в межах діапазону сигналу точки доступу (AP - Access Point), де, звичайно, швидкість передачі зменшується пропорційно відстані від точки доступу. Навпаки, наприклад, у мобільних мережах можливе вільне пересування в зоні, охопленій сигналом, і кількість передавачів, через які ми «проходимо», не має значення. Проте є кілька проблем, пов'язаних із використанням бездротових мереж. Бездротові мережі чутливі до перешкод. Це може статися з усіма пристроями, які працюють на заданій частоті (мікрохвильові печі, бездротові миші тощо). Також значну увагу необхідно приділити безпеці та забезпеченню якості послуг (QoS - Quality of Service) [1].

У 1990 році комітет стандартів IEEE (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки) почав розробку стандартів бездротових мереж. Загалом він розділений на три підкомітети, кожен з яких відповідає за різні типи мереж:

- IEEE 802.11 - бездротова локальна мережа (WLAN - бездротова локальна мережа);
- IEEE 802.15 - бездротова персональна мережа (WPAN - бездротова персональна мережа);
- IEEE 802.16 - бездротова міська мережа (WMAN - бездротова міська мережа).

Через сім років, у червні 1997 року, був затверджений стандарт IEEE 802.11, розроблений підгрупою 11. Основним недоліком стандарту 802.11 була низька швидкість передачі (1 - 2 Мбіт/с). Тому була розпочата розробка нового стандарту 802.11a, який був остаточно затверджений в 1999 році. Однак його розробка була більш трудомісткою, ніж стандарт 802.11b, який хоч і почав розроблятися трохи

пізніше, але був затверджений раніше. того року. Стандарт 802.11a працює в ліцензійному діапазоні 5 ГГц з теоретичною швидкістю до 54 Мбіт/с. Стандарт 802.11b (відомий як Wi-Fi - Wireless Fidelity), який досягає швидкості до 11 Мбіт/с у діапазоні частот 2,4 ГГц. На жаль, різні частоти обох стандартів унеможливлюють взаємне спілкування. Тому в 2003 році був представлений стандарт 802.11g, який є розширенням 802.11b. Він працює в тому ж безліцензійному діапазоні 2,4 ГГц з максимальною швидкістю, ідентичною стандарту 802.11a, тобто 54 Мбіт/с. і має зворотну сумісність із Wi-Fi (802.11b).

Організація IEEE - «IEEE (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки) є міжнародно визнаною організацією, що об'єднує інженерів-електриків (на даний момент їх близько чверті мільйона з 150 країн світу). Членство в IEEE є індивідуальним і відкритим для всіх добровольців. Окрім освітньої та видавничої діяльності, IEEE створює важливі технічні стандарти (IEEE Standards Association, IEEE-SA). У своєму портфоліо вона має понад 870 затверджених стандартів і понад 400 у розробці.

Ймовірно, найвідоміші стандарти IEEE стосуються галузі комунікаційних мереж: комітет IEEE 802 стандартизував практично всі локальні та міські мережі (LAN та MAN), такі як 802.3 (стандартизований Ethernet), 802.5 (нормалізований Token Ring). Єдиним винятком є FDDI (Fiber Distributed Data Interface) і Fibre Channel, які підпадають під сферу компетенції ANSI (Американського національного інституту стандартів)».

Стандарти 802.11 революціонізували спосіб підключення до Інтернету та спілкування один з одним. Ці стандарти з часом еволюціонували, щоб стати швидшими, надійнішими та безпечнішими.

Сфери застосування стандартів 802.11 численні та різноманітні. Компанії та організації використовують бездротові мережі для підключення своїх співробітників і пристроїв, що забезпечує більшу гнучкість і продуктивність. Житлові бездротові мережі дозволяють людям підключати свої пристрої до Інтернету без необхідності використання кабелів чи проводів. Громадські місця, такі як аеропорти та кафе, пропонують бездротову мережу для зручності своїх

клієнтів. Використання стандартів 802.11 у цих налаштуваннях стає все більш популярним завдяки їх простоті використання та зручності.

Хоча стандарти 802.11 пропонують багато переваг, вони також мають обмеження. Перешкоди від інших бездротових мереж і електронних пристроїв можуть впливати на роботу бездротових мереж. Ризики безпеки, такі як несанкціонований доступ до мереж і даних, також можуть становити загрозу. Крім того, діапазон бездротових мереж обмежений, що може бути недоліком у великих налаштуваннях. Однак переваги стандартів 802.11, такі як зручність, гнучкість і масштабованість, переважують їх обмеження. У порівнянні з іншими технологіями бездротової мережі, такими як Bluetooth і Zigbee, стандарти 802.11 пропонують вищу швидкість передачі даних і більший радіус дії.

Стандарт бездротового зв'язку 802.11 є найпоширенішим стандартом для бездротових локальних мереж (WLAN). Він визначає фізичний рівень і рівень керування доступом до середовища (MAC) протоколу, а також мережевий рівень.

Фізичний рівень стандарту 802.11 описує передачу сигналів між бездротовими пристроями. Він використовує різні частоти та схеми модуляції для передачі даних. Найбільш часто використовуваним діапазоном частот є 2,4 ГГц, який розділений на 14 каналів. Використовувані схеми модуляції включають фазову маніпуляцію (PSK), квадратурну амплітудну модуляцію (QAM) і диференціальну фазову маніпуляцію (DPSK). Ці схеми модуляції дозволяють кодувати та декодувати сигнали за допомогою різних методів, таких як розширений спектр прямої послідовності (DSSS) і ортогональне частотне мультиплексування (OFDM). DSSS поширює сигнал у широкому діапазоні частот, роблячи його більш стійким до перешкод. OFDM розділяє сигнал на кілька піднесучих, що дозволяє більш ефективно використовувати доступну смугу пропускання. Ці методи забезпечують надійну та ефективну передачу сигналу.

Рівень MAC стандарту 802.11 керує доступом до бездротового середовища. Він використовує множинний доступ із визначенням несучої з уникненням зіткнень (CSMA/CA), щоб уникнути зіткнень між бездротовими пристроями. Це означає, що пристрої прослуховують носій перед передачею, щоб переконатися, що

він чистий. Якщо носій зайнятий, пристрій чекає довільний проміжок часу перед повторною спробою. Рівень MAC також використовує механізм Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS), щоб уникнути проблем із прихованими вузлами. Проблеми прихованого вузла виникають, коли два пристрої не чують один одного, але обидва намагаються передати на третій пристрій. Механізм RTS/CTS гарантує, що пристрій, який отримує передачу, знає про передачу та може резервувати носій на час передачі.

Мережевий рівень стандарту 802.11 використовує Інтернет-протокол (IP) для маршрутизації пакетів між пристроями. Він також використовує протокол розпізнавання адрес (ARP) для зіставлення IP-адрес з MAC-адресами. Це дозволяє пристроям спілкуватися один з одним в одній мережі. Для автоматичного налаштування IP-адреси використовується протокол динамічної конфігурації хоста (DHCP). Коли пристрій підключається до мережі, він надсилає запит на сервер DHCP, який призначає йому IP-адресу. Це дозволяє пристроям підключатися до мережі без необхідності ручного налаштування.

Стандарт бездротового зв'язку 802.11 є складним протоколом, який керує передачею даних між бездротовими пристроями. Його фізичний рівень використовує різні частоти та схеми модуляції для кодування та декодування сигналів, тоді як рівень MAC керує доступом до бездротового середовища. Мережевий рівень використовує Інтернет-протокол (IP) для маршрутизації пакетів між пристроями та протокол розпізнавання адрес (ARP) для зіставлення IP-адрес з MAC-адресами. Для автоматичного налаштування IP-адреси використовується протокол динамічної конфігурації хоста (DHCP).

Стандарти 802.11 стали невід'ємною частиною нашого життя. Вони революціонізували спосіб підключення до Інтернету та спілкування один з одним. Різні версії стандартів 802.11 пропонують різні технічні специфікації, і їх застосування є численним. Хоча вони мають обмеження, переваги цих стандартів роблять їх популярним вибором для бездротових мереж. Оскільки технології продовжують розвиватися, буде цікаво спостерігати за тим, як стандарти 802.11 продовжуватимуть адаптуватися та вдосконалюватися.

Стандарти 802.11 та додатки до них [2]:

- IEEE 802.11 (1997) - включає технології передачі DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) та інфрачервону передачу. Обидві технології працюють зі швидкістю передачі 1 - 2 Мбіт/с в діапазоні частот 2,4 - 2,4835 ГГц.

- IEEE 802.11a (1999) - порівняно з оригінальним стандартом, він працює в ліцензійному діапазоні 5 ГГц, який використовується не так багато і дозволяє використовувати до 8 незалежних каналів без взаємних перешкод. 802.11a також працює з набагато вищою швидкістю передачі (до 54 Мбіт/с). Він використовує OFDM (Мультиплекс з ортогональним частотним поділом) для досягнення цієї швидкості.

- IEEE 802.11b (1999) - стандарт, також відомий як Wi-Fi (Wireless Fidelity), був створений трохи раніше, ніж 802.11a. Він пропонує загалом 4 підтримувані швидкості: 1 Мбіт/с, 2 Мбіт/с, 5,5 Мбіт/с і 11 Мбіт/с. Щоб досягти такої швидкості, він використовує метод DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) з так званим додатковим CCK (Complementary Code Keying) на фізичному рівні. Фактична швидкість передачі вказується залежно від частоти помилок і перешкод у даному середовищі. Однак реальна швидкість нижча, тому що 30 - 40% ємності необхідно для управління MAC-протоколом. Радіус дії мережі становить приблизно 100 м залежно від середовища. Також важливо зберегти безліцензійний діапазон 2,4 - 2,4835 ГГц, який забезпечує сумісність між системами 802.11.

- IEEE 802.11e (2005) доповнює стандарти 802.11a/b/g для забезпечення якості послуг (QoS - Quality of Service) у бездротових мережах WLAN. Він розширює функції DCF (функція розподіленої координації) і PCF (функція координації точок) за допомогою нових методів доступу EDCF (розширена DCF) і HCF (функція гібридної координації). Він також має зворотну сумісність із пристроями, які не підтримують QoS.

- IEEE 802.11g (2003) — «Високошвидкісне розширення фізичного рівня до IEEE 802.11b» використовує безліцензійну частоту 2,4 ГГц так само, як Wi-Fi, але

досягає максимальної швидкості до 54 Мбіт/с. Він має зворотну сумісність із 802.11b, що забезпечує взаємодію між клієнтами, які використовують обидва стандарти. Порівняно з 802.11b, він використовує мультиплекс з ортогональним частотним поділом (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplex) для досягнення вищої швидкості (так само, як 802.11a). Продуктивність мережі з 802.11g залежить від того, які клієнти є в мережі. Якщо мережа також включає клієнтів, які використовують стандарт 802.11b, може виникнути проблема зі зв'язком, оскільки вони не розуміють зв'язок OFDM. Тоді для зв'язку в мережі використовується метод DSSS, який, однак, має меншу швидкість передачі. З цього випливає, що мережа, яка складається виключно з клієнтів, які використовують стандарт 802.11g (реально близько 25 Мбіт/с), матиме вищу пропускну здатність порівняно з комбінованою мережею, коли пропускна здатність впаде до двох третин (реально близько 8 Мбіт/с). s).

- IEEE 802.11n: Затверджений у 2009 році, стандарт 802.11n, також відомий як Wi-Fi 4, використовує технологію MIMO (Multiple Input Multiple Output) для підтримки більшої кількості антен та кращої якості сигналу. 802.11n пропонує швидкості передачі даних до 600 Мбіт/с і може працювати на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц.

- IEEE 802.11ac: Впроваджений у 2013 році, стандарт 802.11ac, також відомий як Wi-Fi 5, пропонує значні покращення порівняно з попередніми стандартами. Він працює виключно на частоті 5 ГГц та використовує технологію MU-MIMO (Multi-User, Multiple Input, Multiple Output), що дозволяє одночасну передачу даних до кількох клієнтів. 802.11ac забезпечує швидкості передачі даних до 1,3 Гбіт/с та підтримує 160-МГц канали, що дозволяє більшу пропускну здатність.

- IEEE 802.11ax, також відомий як Wi-Fi 6, є найновішим стандартом у сімействі IEEE 802.11, який прийнятий в 2019 році. Він призначений для підвищення ефективності, швидкості передачі даних та покращення роботи в середовищах з високою щільністю користувачів, таких як громадські місця або офіси.

- 802.11ax. Основні характеристики стандарту 802.11ax включають:

1. Вища пропускна здатність: Wi-Fi 6 забезпечує більш високу пропускну здатність порівняно з попередніми стандартами, досягаючи потенційних швидкостей до 9,6 Гбіт/с.

2. OFDMA: 802.11ax впроваджує технологію ортогонального частотного розподілу каналів на множині адрес (OFDMA), що забезпечує кращу ефективність каналу та зменшує затримки при передачі даних.

3. MU-MIMO: Wi-Fi 6 розширює можливості MU-MIMO (багатокористувацька багатовхідна-багатовиходна), дозволяючи одночасно обслуговувати до восьми користувачів на загальному каналі передачі даних, як на відправлення, так і на приймання.

4. BSS Coloring: ця функція дозволяє пристроям розрізняти сусідні мережі та працювати більш ефективно в умовах перекриття каналів, зменшуючи інтерференцію та покращуючи продуктивність.

5. Цілодобове енергозбереження: Wi-Fi 6 пропонує поліпшене енергозбереження, завдяки технології Target Wake Time (TWT). Вона дозволяє пристроям планувати передачу даних і переходити в стан енергозбереження, коли не передають дані, що зменшує споживання енергії та подовжує тривалість роботи від акумулятора, особливо важливо для мобільних пристроїв.

6. 1024-QAM: 802.11ax використовує 1024-QAM (квадратурна амплітудна модуляція), що забезпечує вищу ефективність передачі даних у порівнянні з попередніми стандартами. Це дозволяє передавати більше даних на кожному субнесені, тим самим збільшуючи загальну пропускну здатність мережі.

В цілому, стандарт IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) допомагає вирішити проблеми перевантаження мереж та покращує якість бездротового зв'язку в середовищах з високою щільністю користувачів. Завдяки цьому стандарту користувачі можуть користуватися більш стабільним та швидким інтернетом в різних умовах, включаючи міські середовища та великі організації.

Всі ці стандарти IEEE 802.11 регулюють роботу бездротових мереж і їх параметрів, включаючи частоти, швидкості передачі даних, дальність дії та інші

характеристики. Вони сприяють стабільності мережі, сумісності між пристроями та безперебійному функціонуванню бездротових мереж.

1.2 Архітектурна конфігурація бездротової мережі

Бездротові мережі є невід'ємною частиною сучасних систем зв'язку, надаючи користувачам можливість під'єднуватися до Інтернету та спілкуватися з іншими без необхідності фізичних кабелів. Архітектурна конфігурація бездротової мережі має вирішальне значення для її продуктивності та надійності.

Бездротові мережі складаються з бездротових точок доступу, бездротових маршрутизаторів і комутаторів. Бездротові точки доступу — це пристрої, які дозволяють бездротовим пристроям підключатися до мережі. Вони забезпечують бездротове підключення до таких пристроїв, як ноутбуки, смартфони та планшети. З іншого боку, бездротові маршрутизатори — це пристрої, які підключаються до модему та забезпечують бездротове підключення до кількох пристроїв. Вони також виконують роль шлюзу між бездротовою мережею та Інтернетом. Нарешті, комутатори — це пристрої, які з'єднують декілька пристроїв у мережі, дозволяючи їм спілкуватися один з одним. Коли бездротовий пристрій підключається до мережі, він надсилає запит бездротовій точці доступу. Потім точка доступу надсилає сигнал на пристрій, що дозволяє йому підключитися до мережі. Потім пристрій може спілкуватися з іншими пристроями в мережі, а також мати доступ до Інтернету.

Існує три основних типи конфігурацій бездротової мережі: одноранговi, інфраструктурні та сітчасті. Спеціальні мережі — це одноранговi мережі, де пристрої з'єднуються безпосередньо один з одним без потреби в центральній точці доступу. Цей тип мережі зазвичай використовується для невеликих мереж, таких як ті, що використовуються для обміну файлами. З іншого боку, інфраструктурні мережі використовують центральну точку доступу для підключення пристроїв до мережі. Цей тип мережі зазвичай використовується вдома та на підприємствах, де

до мережі потрібно підключити кілька пристроїв. Нарешті, сітчасті мережі використовують кілька точок доступу для забезпечення покриття великої території. Цей тип мережі зазвичай використовується на відкритих майданчиках, таких як парки та кампуси.

Кілька факторів можуть впливати на продуктивність бездротової мережі. Одним із найважливіших факторів є відстань між бездротовими пристроями та точками доступу. Чим далі пристрій знаходиться від точки доступу, тим слабший сигнал, що може призвести до зниження швидкості та розриву з'єднання. Перешкоди від інших бездротових мереж або пристроїв також можуть впливати на роботу бездротової мережі. Наприклад, якщо кілька бездротових мереж знаходяться в одній зоні, вони можуть заважати одна одній, що призведе до зниження швидкості та слабшого сигналу. Такі перешкоди, як стіни чи інші фізичні бар'єри, також можуть впливати на продуктивність бездротової мережі, оскільки вони можуть блокувати сигнал і знижувати міцність з'єднання.

Архітектурна конфігурація бездротової мережі є життєво важливою для її продуктивності та надійності. Бездротові точки доступу, маршрутизатори та комутатори є важливими компонентами бездротової мережі, що дозволяє пристроям підключатися до мережі та спілкуватися один з одним. Різні типи конфігурацій бездротової мережі, включаючи однорангові, інфраструктурні та сітчасті мережі, пропонують різні переваги залежно від ситуації. Нарешті, кілька факторів можуть впливати на продуктивність бездротової мережі, зокрема відстань, перешкоди та завади.

Основні елементи мережі включають клієнта, середовище, точку доступу та систему розподілу, як показано на рис. 1.1 [3].



Рис. 1.1. Основні елементи бездротової мережі

- Клієнтом є будь-який термінальний пристрій, стаціонарний або мобільний - ноутбук, планшет, бездротовий принтер тощо.

- У мережах 802.11 бездротовим середовищем є радіохвилі з частотою 2,4 ГГц, 3,7 ГГц (див. 802.11y) і 5 ГГц.

- Точка доступу (Access Point - AP) - це пристрій, який дозволяє бездротовим клієнтам отримувати доступ до мережі. Точка доступу завжди має принаймні два інтерфейси. Один підключений до розподільчої системи, а інший є посередником у з'єднанні з заданими бездротовими клієнтами. Сучасні точки доступу також поєднують функції бездротових маршрутизаторів для полегшення керування, наприклад, домашньою бездротовою мережею.

- Систему розподілу (Distribution system - DS) можна уявити собі як магістральну мережу, реалізовану, наприклад, металевою локальною мережею. Забезпечує передачу даних з іншими мережами.

Основною одиницею бездротових мереж 802.11 є комірка. Це включає одну точку доступу та набір станцій, підключених до неї в інфраструктурному режимі.

Осередок також називають «базовим набором послуг» (Basic Service Set - BSS), див. рис. 1.2. Ідентифікатором комірки BSS є BSSID (ідентифікатор BSS), він отримує значення MAC-адреси даної точки доступу.

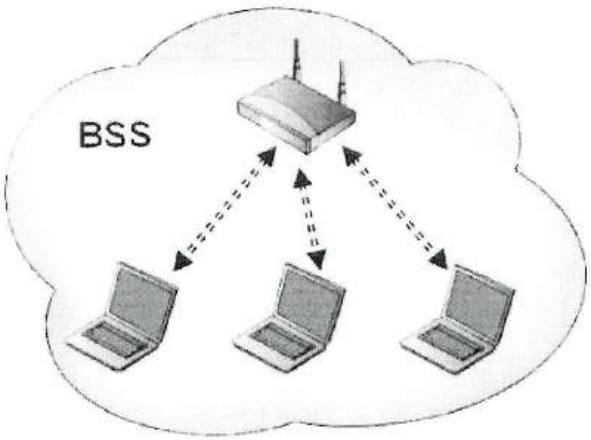


Рис. 1.2. Осередок BSS, режим інфраструктури

Існує також з'єднання між клієнтами, яким не потрібна точка доступу для зв'язку. Так звана незалежна комірка (Independent Basic Service Set - IBSS), коли дані станції спілкуються між собою в режимі Ad Hoc. Ця клітина не має зв'язку із зовнішнім світом і він служить лише для обміну інформацією між клієнтами (див. рис. 1.3). Це з'єднання підходить лише для короткочасного обміну інформацією. Цю конфігурацію можна використовувати, наприклад, під час обміну даними між ноутбуком і планшет.

Сама бездротова мережа створюється шляхом підключення точок доступу осередків BSS в робочому режимі інфраструктури. Такий набір називається набором розширених послуг (Extended Servise Set - ESS) (рис. 1.4) [4]. Ідентифікатором цієї мережі є SSID (ESS Identifier). Під цим позначенням дану бездротову мережу можна знайти у списку доступних підключень. Дивіться рис. 1.5., де видно, що перша знайдена мережа має прихований SSID, ви також можете побачити, який канал використовує дана мережа, яка потужність сигналу, використовуваний діапазон частот (з якого також можна отримати використаний стандарт), а також чи мережа захищена ключем чи ні.

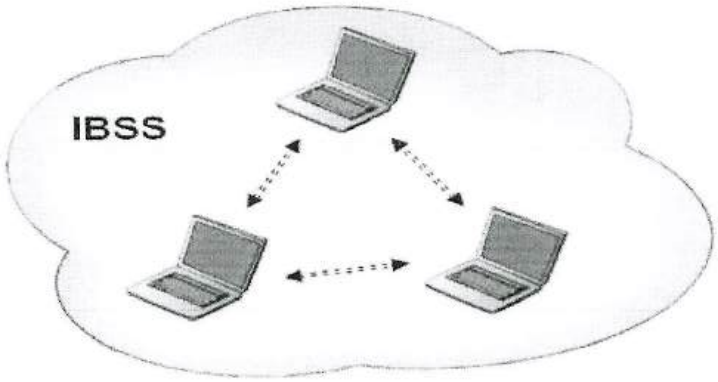


Рис. 1.3. Незалежний осередок IBSS, режим Ad Hoc

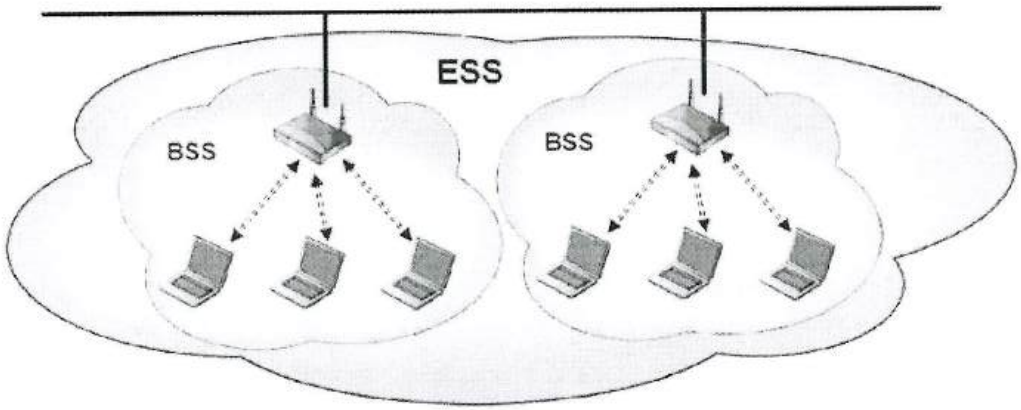


Рис. 1.4. Бездротова мережа ESS, що складається з кількох осередків BSS

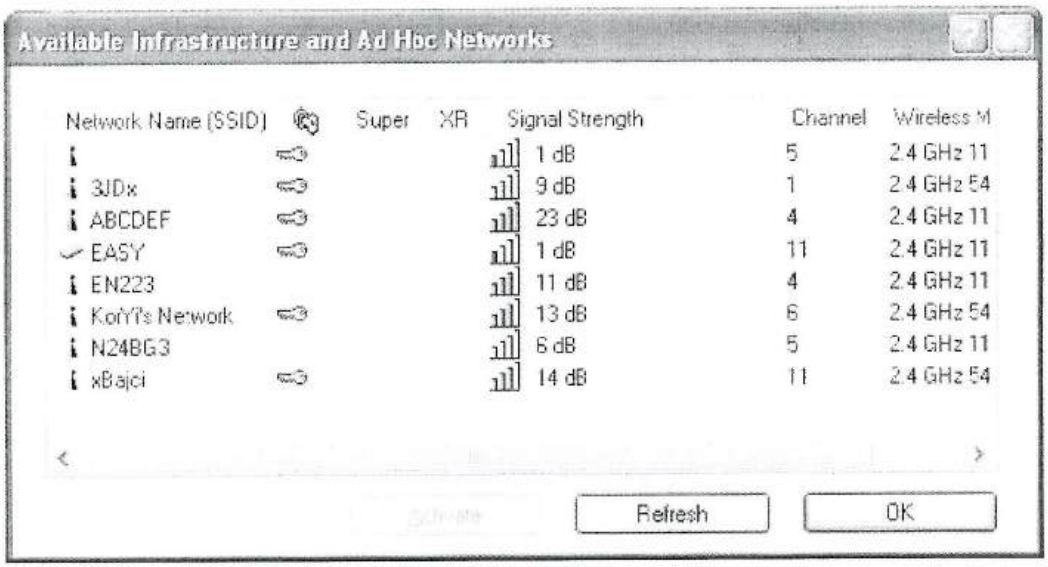


Рис. 1.5. Список доступних бездротових мереж

1.3 Технології фізичного рівня передачі даних OSI

Модель взаємозв'язку відкритих систем (OSI) — це концептуальна основа, яка описує, як дані передаються через мережу. Модель розділена на сім рівнів, кожен зі своїм власним набором протоколів і технологій. Фізичний рівень є першим рівнем моделі OSI і відповідає за передачу вихідних бітів по каналу зв'язку.

Фізичний рівень відповідає за передачу необроблених бітів по каналу зв'язку. Цей рівень пов'язаний з фізичними характеристиками каналу зв'язку, такими як середовище передачі та методи модуляції. Носій передачі може бути дротовим або бездротовим. Дротове середовище передачі включає мідні та волоконно-оптичні кабелі, тоді як бездротове середовище передачі включає радіочастоту та мікрохвилі. Методи модуляції використовуються для кодування даних у несучому сигналі. Три основні типи методів модуляції: амплітудна модуляція (AM), частотна модуляція (FM) і фазова модуляція (PM). Ці методи модуляції використовуються для передачі даних по каналу зв'язку.

Протоколи фізичного рівня використовуються для управління передачею даних по каналу зв'язку. Ці протоколи включають Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee і NFC. Ethernet – це дротовий протокол, який використовується в локальних мережах (LAN), а Wi-Fi – це бездротовий протокол, який використовується в бездротових локальних мережах. Bluetooth — це бездротовий протокол, який використовується для зв'язку між пристроями на короткій відстані, тоді як Zigbee — це бездротовий протокол, який використовується в домашній автоматизації та промислових системах керування. NFC – це бездротовий протокол, який використовується для безконтактного зв'язку між пристроями. Протоколи фізичного рівня використовують різні технології передачі, такі як основна смуга, широкосмуговий і розширений спектр. Для забезпечення точності передачі даних використовуються такі методи виявлення та виправлення помилок, як контрольна сума, CRC і біти парності.

Фізичний рівень стикається з кількома проблемами при передачі даних. Під

час бездротової передачі перешкоди та шум можуть впливати на якість передачі даних. Під час дротової передачі обмеження пропускної здатності можуть впливати на швидкість передачі даних. Щоб подолати ці проблеми, розробляються новітні технології, такі як 5G, Li-Fi і квантовий зв'язок. 5G — це наступне покоління мобільних мереж, яке обіцяє вищу швидкість передачі даних і меншу затримку. Li-Fi — це технологія бездротового зв'язку, яка використовує для передачі даних світлові хвилі замість радіохвиль. Квантова комунікація — це нова сфера комунікації, яка використовує принципи квантової механіки для безпечної передачі даних по каналу зв'язку.

Фізичний рівень є важливим компонентом передачі даних OSI. Технології та протоколи фізичного рівня відіграють вирішальну роль у передачі даних, а проблеми, з якими стикається фізичний рівень, вирішуються за допомогою нових технологій. У міру того, як ми рухаємося до більш пов'язаного світу, фізичний рівень продовжуватиме розвиватися, і з'являтимуться нові технології, які відповідатимуть вимогам передачі даних.

У сучасних бездротових мережах для передачі даних у розширеному спектрі на фізичному рівні використовуються різні режими.

DSSS. Іншими словами, радіопередача в прямому розширеному спектрі (Direct Sequence Spread Spectrum Radio - DSSS). Передавач перетворює потік даних у символи, де кожен символ представляє один або більше бітів. Цей потік символів індивідуально модулюється псевдовипадковою послідовністю перед передачею. DSSS поділяє свій діапазон 2,412 ГГц - 2,484 ГГц на 14 каналів, відстань між якими становить 5 МГц. Для кожного каналу потрібно 22 МГц, що призводить до часткового перекриття каналів. Тільки три з них не перекриваються (а саме перший, шостий та одинадцятий, див. рис. 1.6). У кожній країні дозволено використовувати лише певні канали. Наприклад, нам дозволено використовувати канали 1-13. Ця технологія використовується стандартом 802.11b [5].

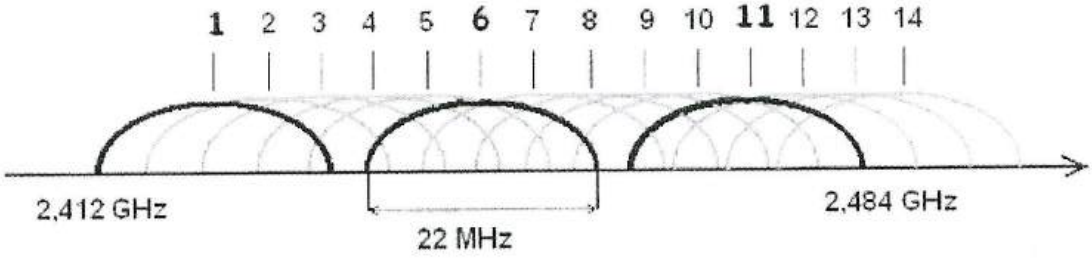


Рис. 1.6. Розподіл смуги частот на DSSS

FHSS. Це радіопередача в розширеному спектрі зі стрибкоподібною зміною частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS). Розширений спектр відноситься до діапазону частот за межами традиційних діапазонів радіочастот, як правило, від десятків гігагерц до кількох терагерц. Цей частотний діапазон пропонує кілька переваг для радіопередачі, включаючи більшу пропускну здатність, менші перешкоди та підвищену безпеку. Однак реалізація радіопередачі в розширеному спектрі представляє деякі проблеми, такі як більші втрати на трасі, атмосферне загасання та складність апаратного забезпечення.

Стрибкоподібна зміна частоти — це техніка модуляції, яка передбачає різкі зміни несучої частоти радіосигналу. Ця техніка заснована на принципі стрибкоподібної зміни частоти, яка розподіляє енергію сигналу в широкому діапазоні частот, зменшуючи вплив перешкод і покращуючи співвідношення сигнал/шум. Механізми стрибкоподібної зміни частоти можуть бути або детермінованими, або стохастичними, залежно від типу використовуваної модуляції. Стрибкоподібна зміна частоти дає кілька переваг для радіопередачі, включаючи підвищену безпеку, покращену пропускну здатність і зменшення перешкод.

Реалізація стрибкоподібної зміни частоти в радіопередачі вимагає ретельного розгляду кількох технічних факторів. Одним з критичних факторів є використовувана техніка модуляції, яка має бути стійкою до перешкод і забезпечувати достатню спектральну ефективність. Іншим важливим фактором є обробка сигналу, яка передбачає фільтрацію, демодуляцію та декодування радіосигналу. Такі апаратні засоби, як підсилювачі потужності, фільтри та антени, повинні бути ретельно розроблені для забезпечення ефективної та надійної

передачі та прийому радіосигналу.

Радіопередача в розширеному спектрі зі стрибкоподібною зміною частоти пропонує кілька переваг порівняно з традиційними діапазонами радіочастот, включаючи збільшену пропускну здатність, покращену безпеку та зменшення перешкод. Однак реалізація цього методу вимагає ретельного розгляду кількох технічних факторів, включаючи методи модуляції, обробку сигналів і дизайн апаратного забезпечення. Оскільки попит на високошвидкісні та високопропускні мережі зв'язку продовжує зростати, дослідження нових підходів до радіопередачі буде мати вирішальне значення для задоволення цих вимог. Один або кілька пакетів даних передаються на певній частоті (діапазон розділений на 79 підканалів по 1 МГц кожен), а потім зв'язок продовжується на наступній частоті та продовжує передачу. Однак система стрибків частоти не є випадковою, це псевдовипадковий порядок, про який заздалегідь знають лише передавач і приймач. Перешкоди зводяться до мінімуму за рахунок короткого часу передачі на заданій частоті (час перебування). Він передається протягом 100-200 мс, що знижує ймовірність зіткнення. Час, необхідний для перенастроювання на наступну частоту, становить 200-300^с (час стрибка). Перевагою є можливість існування ряду мереж без взаємних перешкод, але через низькі швидкості передачі сьогодні майже не використовується. На рис. 1.7 показано передачу даних одночасно двома різними пристроями.

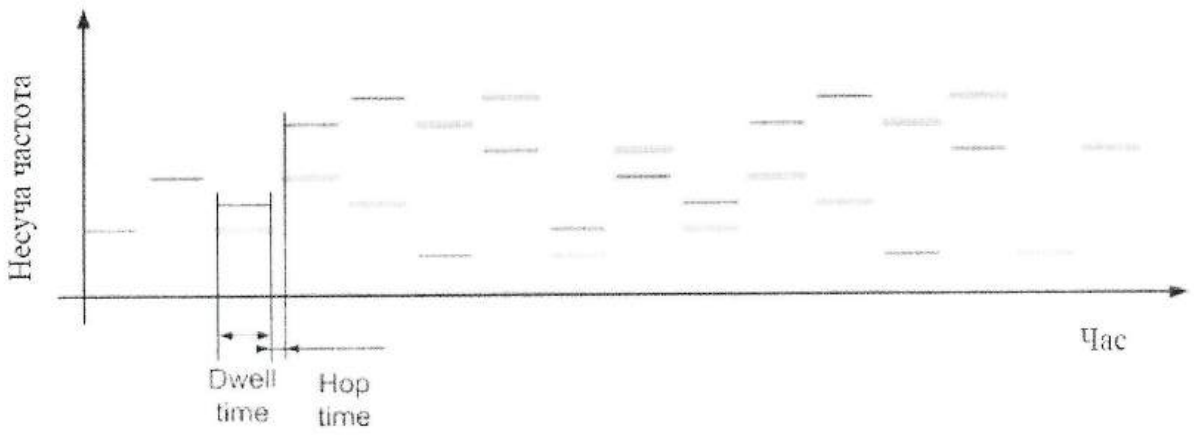


Рис. 1.7. Передача за допомогою FHSS

OFDM. У сучасних версіях бездротових мереж ортогональний частотний мультиплекс (Orthogonal Frequency Division Multiplex), один із методів передачі MCM (MultiCarrier Modulation). Це техніка модуляції з кількома несучими, яка розділяє високошвидкісний потік даних на кілька низькошвидкісних підпотоків і передає їх одночасно через кілька ортогональних піднесучих. Використання перетворення Фур'є в обробці сигналу OFDM дозволяє передача даних у широкому діапазоні частот, зменшення перешкод і підвищення спектральної ефективності. OFDM забезпечує надійний і ефективний засіб передачі даних через частотно-селективний канал, що робить його ідеальним для використання в системах бездротового зв'язку. Переваги OFDM у зниженні перешкод і підвищення спектральної ефективності роблять його популярним вибором у сучасних системах зв'язку.

OFDM знайшов широке застосування в різних системах зв'язку, включаючи цифрове аудіо- та відеомовлення, бездротові локальні мережі, мережі WiMAX і LTE. У цифровому аудіо- та відеомовленні OFDM використовується для передачі сигналів у широкому діапазоні частот, що забезпечує високу якість передачі аудіо та відео. У бездротових локальних мережах, мережах WiMAX і LTE OFDM використовується для забезпечення високошвидкісної передачі даних через бездротовий канал. OFDM також використовується в лініях електропередачі та цифрових абонентських лініях (DSL) для забезпечення високошвидкісної передачі даних по лініях електропередачі та телефонних лініях відповідно.

Незважаючи на численні переваги, впровадження OFDM викликає кілька проблем. Однією з головних проблем є висока обчислювальна складність обробки сигналів, що вимагає значної потужності обробки. Крім того, OFDM чутливий до помилок синхронізації, тому для забезпечення надійної передачі даних необхідні точна оцінка каналу та вирівнювання. Необхідність точної оцінки каналу та вирівнювання особливо важлива в системах бездротового зв'язку, де умови каналу можуть швидко змінюватися. Ці проблеми необхідно вирішити, щоб забезпечити надійну та ефективну передачу даних у системах зв'язку на основі OFDM.

OFDM є універсальною технікою модуляції, яка знайшла широке застосування в сучасних системах зв'язку. Його здатність зменшувати перешкоди та покращувати спектральну ефективність робить його популярним вибором у багатьох додатках. Однак для забезпечення надійної та ефективної передачі даних необхідно вирішити проблеми впровадження OFDM. Завдяки продовженню досліджень і розробок OFDM, ймовірно, залишиться ключовою технологією в сучасних системах зв'язку.

OFDM використовується для досягнення вищої швидкості, коли дані, які потрібно передати, спочатку поділяються на кілька паралельних бітових потоків, зі значно нижчим бітрейтом. Кожен з потоків використовується для модуляції іншої несучої. Канали розташовані дуже близько один до одного, але не перекриваються, тому немає ризику взаємних перешкод. У той час як традиційне мультиплексування частот ділить смугу частот на N підканалів, що не перекриваються, відокремлених один від одного захисною смугою частот (захист), OFDM використовує підканали, що перекриваються, щоб смуга частот використовувалася більш ефективно. Строго кажучи, OFDM — це не метод модуляції, а метод генерації та модуляції кількох несучих одночасно, кожен з невеликою частиною потоку даних. Будь-який тип цифрової модуляції, включаючи QPSK, 16-QAM або 64-QAM, можна використовувати як конкретну модуляцію. Завдяки паралельній передачі OFDM ефективно уникає спотворень під час передачі сигналу різними шляхами, оскільки кожен переданий символ триває певну довжину піднесучої, тому несприятливий вплив затримки сигналу на довшому шляху практично усувається. Крім того, використовуються кілька вузькосмугових несучих, і їх взаємні перешкоди впливатимуть лише на дуже невелику частину сигналу. OFDM використовується в бездротових системах скрізь, де потрібно досягти високої пропускної здатності та умови каналу можуть бути складними. OFDM використовується, наприклад, у WLAN типу 802.11a/g або WiMAX відповідно до 802.16, оскільки він не схильний до ослаблення сигналу у зовнішньому середовищі.

UWB. Широкосмугові мережі зв'язку (Ultra WideBand - UWB) все ще є маловідомою бездротовою технологією, але з великим потенціалом. Його можна використовувати для передачі великих обсягів даних у широкому діапазоні частот із малою потужністю на коротку відстань.

Широкосмугові мережі зв'язку революціонізували наш спосіб спілкування, а технологія Ultra WideBand (UWB) є одним із останніх досягнень у цій галузі. UWB – це технологія бездротового зв'язку, яка забезпечує високу швидкість передачі даних на короткі відстані з низьким енергоспоживанням. Технологія UWB – це технологія бездротового зв'язку, яка використовує для передачі даних радіохвилі малої потужності. UWB вперше був розроблений у 1960-х роках для військових застосувань, а пізніше був комерціалізований у 1990-х роках. Технологія UWB має багато унікальних характеристик, включаючи низьке енергоспоживання, високу швидкість передачі даних і стійкість до перешкод. UWB можна використовувати для різноманітних програм, включаючи бездротові персональні мережі (WPAN), бездротові сенсорні мережі (WSN) і бездротові мультимедійні мережі.

Однією з головних переваг мереж зв'язку UWB є їх висока швидкість і низьке енергоспоживання. UWB може досягати швидкості передачі даних до 480 Мбіт/с на короткі відстані, що робить його ідеальним для таких програм, як передача файлів і потокове передавання мультимедіа. UWB також має низьку затримку, що важливо для програм реального часу, таких як ігри та відеоконференції. Ще однією перевагою UWB є його стійкість до перешкод, що робить його ідеальним для використання в середовищах з високим рівнем електромагнітних перешкод. UWB також має функції безпеки та конфіденційності, які роблять його ідеальним для таких програм, як бездротові платежі та контроль доступу.

Незважаючи на численні переваги, комунікаційні мережі UWB також стикаються з кількома проблемами та обмеженнями. Однією з головних проблем є регуляторні питання та розподіл спектру. UWB працює в частотному діапазоні, який використовується спільно з іншими бездротовими технологіями, і існують занепокоєння щодо перешкод існуючим бездротовим мережам. Іншою проблемою є ослаблення та поширення сигналу в різних середовищах. СШП-сигнали легко

поглинаються стінами та іншими перешкодами, що може обмежити їх радіус дії та ефективність. Нарешті, комунікаційні мережі UWB можуть бути несумісними з існуючими бездротовими мережами, що може обмежити їх застосування в певних програмах.

Технологія Ultra WideBand (UWB) є багатообіцяючою технологією бездротового зв'язку, яка пропонує багато переваг перед традиційними бездротовими технологіями. UWB має високу швидкість передачі даних, низьке енергоспоживання, стійкість до перешкод і функції безпеки, які роблять його ідеальним для різноманітних застосувань. Однак UWB також стикається з кількома проблемами та обмеженнями, включаючи нормативні питання, ослаблення сигналу та сумісність з існуючими бездротовими мережами. Загалом UWB — це технологія, яка має потенціал революціонізувати спосіб спілкування та взаємодії з нашими пристроями.

UWB вже давно використовується у військових цілях, насамперед як радіолокаційна технологія. UWB відрізняється від вузькосмугового зв'язку, який сьогодні поширений, але також і від широкосмугового. Різниця полягає в швидкості передачі, де UWB досягає сотень Мбіт/с, також із набагато меншим енергоспоживанням, ніж у мережах 802.11b. Висока пропускна здатність підходить для додатків з високими вимогами до пропускної здатності та підтримки якості обслуговування (відеоконференції та ін.) Ще однією перевагою мереж з технологією UWB є те, що їх практично неможливо підслухати (сигнали виглядають як слабкі шуми) . Завдяки цьому навіть пристрої в UWB мережах не створюють перешкод іншим пристроям електромагнітного спектру. Історія UWB почалася в 1940-х роках у зв'язку з радарами. У 1970-х роках армія також зосередилася на його використанні в цілях зв'язку. На відміну від більшості сучасних радіотехнологій, імпульсні сигнали не модулюють несучу фіксованої частоти. Розширення спектру в IEEE 802.11 фактично штучно досягає того, що робить UWB за своєю природою. Він розповсюджує сигнал у дуже широкому спектрі, так що потужність у кожній смузі є нижчою межі можливих взаємних перешкод [6].

MU-MIMO (Multiple User-Multiple Input Multiple Output) - це розвиток технології MIMO, який дозволяє одночасно передавати декілька потоків даних до декількох користувачів. Технологія MU-MIMO використовується у сучасних бездротових мережах для підвищення пропускної здатності та забезпечення кращого досвіду користувача.

Розвиток технології MIMO був зумовлений потребою в більш ефективних системах бездротового зв'язку, які могли б впоратися зі зростаючим попитом на передачу даних. Технологія MIMO пропонує кілька переваг порівняно з традиційними системами бездротового зв'язку, наприклад вищу швидкість передачі даних, покращену якість сигналу та кращу стійкість до перешкод. Ці переваги зробили технологію MIMO важливим компонентом сучасних систем бездротового зв'язку.

Технологія MIMO працює за допомогою кількох антен для передачі та отримання даних. Існує два типи систем MIMO: MIMO для одного користувача (SU-MIMO) і MIMO для кількох користувачів (MU-MIMO). SU-MIMO використовується в ситуаціях, коли є лише один користувач, тоді як MU-MIMO використовується в сценаріях, коли присутні кілька користувачів. У системах MIMO використовуються кілька конфігурацій антен, наприклад 2x2, 4x4, 8x8 тощо. Методи просторового мультиплексування та формування променя використовуються для покращення продуктивності систем MIMO. Просторове мультиплексування — це техніка, яка дозволяє одночасно передавати кілька потоків даних, а формування променя — це техніка, яка фокусує передачу даних у певному напрямку.

Технологія MIMO має численні застосування в сучасному світі. Він широко використовується в системах бездротового зв'язку, таких як Wi-Fi і стільникові мережі 4G/5G. Технологія MIMO також використовується в мовленні, наприклад на телебаченні та радіо, для покращення якості сигналу та зменшення перешкод. Крім того, технологія MIMO стає все більш важливою для пристроїв Інтернету речей (IoT), які потребують надійних і ефективних систем бездротового зв'язку для належного функціонування.

Технологія MIMO пройшла довгий шлях з моменту свого створення, і її розвиток був обумовлений потребою в більш ефективних і надійних системах бездротового зв'язку. Технічні аспекти технології MIMO складні, але її переваги перед традиційними системами бездротового зв'язку очевидні. Технологія MIMO має багато застосувань у сучасному світі, і її значення буде лише зростати, оскільки бездротовий зв'язок стає все більш важливим у нашому повсякденному житті.

Основні характеристики MU-MIMO:

1. Одночасне обслуговування декількох користувачів: Завдяки технології MU-MIMO, точка доступу може передавати декілька потоків даних одночасно до різних клієнтів. Це відрізняється від стандартної технології SU-MIMO (Single User-MIMO), яка дозволяє передавати дані тільки одному користувачеві за один час.

2. Покращення пропускної здатності: Завдяки здатності одночасного обслуговування декількох користувачів, MU-MIMO значно збільшує пропускну здатність мережі, особливо в дотикових точках з високою щільністю користувачів.

3. Зменшення затримки: Оскільки декілька клієнтів можуть одночасно отримувати дані від точки доступу, затримка між відправленням та отриманням даних знижується, що покращує загальний досвід користувача.

4. Більш ефективна використання радіочастотного спектру: Технологія MU-MIMO дозволяє точкам доступу краще використовувати доступний радіочастотний спектр для передачі даних, що покращує ефективність мережі в цілому.

5. Більші пристрої підтримують MU-MIMO: Від появи стандарту 802.11ac (Wi-Fi 5), число пристроїв, що підтримують MU-MIMO, зросло. Зі стандартом 802. 11ax (Wi-Fi 6), підтримка MU-MIMO стала ще більш поширеною, що дозволяє взаємодію між більшою кількістю пристроїв та точками доступу з використанням цієї технології.

MU-MIMO покращує роботу бездротових мереж, забезпечуючи одночасну передачу даних до декількох користувачів, зменшуючи затримки та оптимізуючи використання радіочастотного спектру. Завдяки стандартам, таким як 802.11ac (Wi-Fi 5) та 802.11ax (Wi-Fi 6), підтримка MU-MIMO стала більш доступною для різних пристроїв, покращуючи загальний досвід користувача бездротових мереж.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

2.1 Вплив Quality Of Service (QoS) на достовірності обробки інформації та якість послуг в телекомунікаційній системі

Quality of Service (QoS) - це технологія, що допомагає управляти і оптимізувати роботу телекомунікаційної системи з метою підтримки та вдосконалення досвіду користувача.

Якість обслуговування (QoS) є критично важливим аспектом систем обробки інформації та зв'язку, який забезпечує надійну та ефективну передачу даних. У сучасному швидкоплинному цифровому світі, де дані постійно генеруються та передаються мережами, дуже важливо підтримувати високу якість обслуговування, щоб гарантувати точну та ефективну обробку інформації.

Розуміння якості обслуговування (QoS) стосується здатності мережі забезпечувати надійну та передбачувану передачу даних. QoS визначається кількома факторами, включаючи пропускну здатність мережі, затримку та втрату пакетів. Пропускна здатність означає кількість даних, які можна передати через мережу за певний період, тоді як затримка означає час, необхідний для переміщення даних від однієї точки до іншої. Втрата пакетів відбувається, коли пакети даних втрачаються під час передачі, що призводить до затримок і втрати даних. QoS має вирішальне значення в системах обробки інформації та зв'язку, оскільки воно забезпечує точну та ефективну передачу даних.

Без QoS передача даних може бути ненадійною, що призводить до затримок, втрати даних і неточної інформації. Наприклад, у галузі охорони здоров'я низький рівень якості обслуговування може призвести до затримок у передачі важливих даних про пацієнтів, що призведе до затримки діагностики та лікування. Отже, QoS є критично важливим фактором у забезпеченні надійної та ефективної обробки інформації.

Низька якість обслуговування може мати значний вплив на надійність обробки інформації. Наприклад, низька якість обслуговування може призвести до втрати даних, затримок і неточної інформації, що може мати серйозні наслідки в різних галузях. Навпаки, висока якість обслуговування може підвищити надійність обробки інформації, що призводить до підвищення ефективності та точності. Кілька тематичних досліджень продемонстрували вплив QoS на надійність у різних галузях. Наприклад, у фінансовій галузі висока якість обслуговування є важливою для забезпечення передачі торгових даних у реальному часі. Дослідження, проведене Асоціацією індустрії цінних паперів і фінансових ринків (SIFMA), показало, що одна мілісекунда затримки в передачі даних може призвести до втрати 100 мільйонів доларів доходу для компаній високочастотної торгівлі. Це демонструє вирішальну роль QoS у забезпеченні надійної та ефективної передачі даних.

Можна застосувати кілька стратегій для покращення QoS і забезпечення постійної надійності обробки інформації. Однією з таких стратегій є пріоритезація трафіку, яка передбачає встановлення пріоритету критичних даних над менш критичними даними, щоб гарантувати, що вони передаються першими. Іншою стратегією є розподіл ресурсів, який передбачає розподіл мережевих ресурсів на основі вимог програми або служби. Технології та інструменти, такі як мережеві аналізатори та програмне забезпечення для керування смугою пропускання, також можна використовувати для моніторингу та покращення QoS.

Аналізатори мережі можна використовувати для виявлення вузьких місць мережі та інших проблем, які можуть вплинути на QoS, тоді як програмне забезпечення для керування пропускною здатністю можна використовувати для розподілу пропускної здатності на основі вимог програми або служби. Нарешті, постійна оцінка та оптимізація QoS є важливими для забезпечення постійної надійності обробки інформації. Регулярний моніторинг і оцінка можуть допомогти виявити проблеми та області для вдосконалення, тоді як оптимізація може допомогти гарантувати, що QoS постійно вдосконалюється відповідно до вимог додатка чи служби.

QoS впливає на достовірність обробки інформації в телекомунікаційній системі в декількох аспектах [7]:

1. Пріоритизація: QoS дозволяє відмінити важливість окремих потоків даних у мережі, виділяючи пріоритети для критичних або чутливих до затримок додатків, таких як голосові та відеодзвінки. Це забезпечує стабільність і надійність для таких додатків навіть під час мережевих перевантажень.

2. Мінімізація затримок: QoS може впорядковувати та балансувати потоки даних, зменшуючи час очікування та забезпечуючи швидше обслуговування. В результаті забезпечується стабільність інформаційного обміну.

3. Контроль пропускної здатності: QoS забезпечує більш рівномірний розподіл пропускної здатності між різними користувачами та додатками, що допомагає запобігти відмовам в обробці інформації та підвищує стабільність системи.

4. Запобігання перевантаження: QoS допомагає управляти мережевими ресурсами і передбачити та запобігти перевантаженню системи, що може вплинути на надійність і якість передачі даних.

5. Моніторинг та регулювання: QoS дозволяє моніторити і налаштовувати параметри телекомунікаційної системи в реальному часі, допомагаючи адміністраторам мережі розуміти поточний стан системи, виявляти проблеми та вживати необхідні заходи для забезпечення надійності обробки інформації. Це допомагає підтримувати високу якість телекомунікаційних послуг та відповідність вимогам користувачів.

У сукупності Quality of Service поліпшує достовірність обробки інформації в телекомунікаційній системі шляхом контролю ресурсів мережі, оптимізації передачі даних та реагування на поточні вимоги користувачів.

Основним недоліком бездротових мереж за стандартом 802.11 є те, що якість обслуговування не входить до базових стандартів. Раніше це не здавалося великою проблемою, однак із масовим використанням мереж Wi-Fi та вдосконаленням спектру послуг і програм, що використовують ці мережі, певна підтримка для забезпечення якості обслуговування, яка вже широко реалізована в локальних

мереж, почали помітно бракувати. Таким чином, можна сказати, це свого роду пріоритезація доступу до медіа для мультимедійних програм.

Точки доступу намагаються однаково ставитися до всіх своїх клієнтів і рівномірно розподіляти доступну їм пропускну здатність. У бездротових мережах загасання, шум і перешкоди відіграють велику роль у потужності сигналу, що не так важливо для більшості додатків, яким не потрібна стабільність. Проблема виникає, якщо в нерівномірно завантаженій мережі якийсь клієнт хоче використовувати програми, яким потрібен стабільний потік даних з мінімальною затримкою (наприклад, відтворення відео та музики в режимі реального часу або Інтернет-телефонія). Це тому, що відбуватимуться розриви з'єднання, відео чи музика не відтворюватимуться безперервно, а клієнт буде незадоволений послугою.

2.2 Параметри якості послуг в телекомунікаційній системі

Надійність є найважливішим параметром якості послуг у телекомунікаційній системі. Це стосується здатності мережі постійно надавати послуги без перерв. Час простою в мережі та розрив дзвінків є найпоширенішими факторами, які впливають на надійність. Наприклад, збій мережі може спричинити значні незручності для клієнтів, особливо для тих, хто покладається на мережу для комерційних цілей. Це може призвести до втрати прибутку та завдати шкоди репутації постачальника послуг. Щоб забезпечити надійність, постачальники послуг вкладають значні кошти в мережеву інфраструктуру та обслуговування. Вони також проводять регулярне тестування та моніторинг, щоб виявити та вирішити потенційні проблеми, перш ніж вони спричинять простої. Крім того, між постачальниками послуг і клієнтами часто укладаються угоди про рівень обслуговування (SLA), щоб гарантувати, що мережа відповідає певним цільовим показникам надійності.

Швидкість і пропускна здатність також є важливими параметрами якості послуг у телекомунікаційній системі. Швидкість означає швидкість, з якою дані

передаються через мережу, тоді як пропускна здатність означає кількість даних, які можна передати за певний час. Перевантаження мережі та перешкоди сигналу є найпоширенішими факторами, які впливають на швидкість і пропускну здатність. Клієнти очікують високої та надійної швидкості мережі, особливо коли мова йде про додатки з інтенсивним об'ємом даних, такі як потокове відео та онлайн-ігри. Постачальники послуг інвестують у мережеву інфраструктуру та технології, такі як 5G, щоб покращити швидкість і пропускну здатність мережі. Вони також пропонують різні тарифні плани, щоб задовольнити потреби різних клієнтів, наприклад тих, кому потрібен високошвидкісний Інтернет для роботи.

Безпека є критично важливим параметром якості послуг у телекомунікаційній системі, особливо в чутливих галузях, таких як фінанси та охорона здоров'я. Це стосується захисту даних клієнтів і мережевої інфраструктури від злому та витоку даних. Найпоширенішими факторами, які впливають на безпеку, є слабкі паролі, застаріле програмне забезпечення та відсутність шифрування. Постачальники послуг інвестують у технології безпеки, такі як брандмауери, системи виявлення вторгнень і шифрування, щоб захистити свої мережі та дані клієнтів. Вони також проводять регулярні перевірки безпеки, щоб виявити й усунути потенційні вразливості. Клієнти очікують, що їхні дані будуть захищені, і будь-яке порушення безпеки може призвести до значної фінансової та репутаційної шкоди як клієнту, так і постачальнику послуг.

Отже, якість послуг у телекомунікаційній системі визначається кількома параметрами, включаючи надійність, швидкість і пропускну здатність, а також безпеку. Постачальники послуг повинні інвестувати в мережеву інфраструктуру та технології, щоб забезпечити дотримання цих параметрів. Клієнти очікують надійних, швидких і безпечних мережевих послуг, і будь-яка невиконання цих очікувань може призвести до значної фінансової та репутаційної шкоди як клієнту, так і постачальнику послуг.

На якість послуг впливає кілька параметрів, при цьому кожна з послуг чутлива до іншого з них. Наприклад, на популярну послугу VoIP негативно впливає затримка пакетів, тоді як на відтворення відео негативно впливає втрата пакетів.

Серед параметрів, які найбільше впливають на спілкування, є [7]:

- Втрата пакетів - це може мати різні причини, зазвичай це викликано перевантаженою або перевантаженою мережею, коли деякі маршрутизатори не встигають пересилати вхідні пакети та їхні буфери переповнені. Тоді інші вхідні пакети повинні бути відкинуті. У випадку з додатками, які не працюють у режимі реального часу, це не так помітно, але у випадку з додатками, які працюють у режимі реального часу, це проблема, оскільки пізніша доставка пакетів вже порушує зв'язок. Наприклад, при передачі голосу при «телефонії» через Інтернет зв'язок може бути нестабільним. Можуть бути навіть короткі збої, або це може бути спілкування неприємно переривається. Загальна кількість втрачених пакетів не повинна перевищувати одного відсотка. У випадку відео (наприклад, відеоконференції) відсоток може бути дещо вищим, оскільки відео менш чутливе до втрати пакетів, ніж голос. Під час потокової передачі відео затримка пакетів відіграє найменшу роль, оскільки дані так звані буферизуються, тобто зберігаються у тимчасовій пам'яті перед відтворенням:

- Затримка - час від моменту надсилання пакета клієнтом-відправником до отримання його одержувачем. Час, необхідний для переміщення даних від одного кінця мережі до іншого, називається затримкою поширення. Час, пов'язаний з оцифруванням голосового сигналу та його кодуванням за допомогою голосових кодеків, називається затримкою пакетування (чим більший кодек стиснення використовується, тим довший час затримки пакетування). Затримка найбільше впливає на голосові служби. Однак це не впливає на якість переданого голосу. При більших значеннях затримки обидва користувачі можуть переривати один одного цими затриманими пакетами. Під час потокової передачі відео затримка пакетів відіграє другорядну роль, оскільки дані так звані буферизуються перед відтворенням, тобто зберігаються у тимчасовій пам'яті та відтворюються лише після.

- Джиттер (варіабельність затримки) - оскільки пакети не завжди надходять з однаковою затримкою. Це може бути викликано змінним часом очікування у вузлах або перевантаженням мережі. Щоб усунути ці ефекти, необхідна деяка

тимчасова пам'ять (буфер тремтіння) для зберігання пакетів протягом тривалого часу перед тим, як повільніші пакети, часто не в порядку, будуть передані, щоб потім їх можна було передати в правильному порядку. Звичайно, затримка пакета в буфері додає так звану затримку тремтіння, яка використовується для усунення зміни затримки кожного пакета, що проходить через мережу.

MOS. Сприйняття якості телефонної розмови завжди суб'єктивне. Основним показником для об'єктивної оцінки якості голосу є MOS (Mean Opinion Score), який описується за стандартом ITU P.800. Він також описує, серед іншого, як люди реагують на телефонні дзвінки з різними затримками та різним рівнем втрати пакетів, як вони оцінюють певний телефонний дзвінок і наскільки вони задоволені послугою.

MOS — це суб'єктивний показник якості голосу, який десятиліттями використовується в телекомунікаційних послугах. MOS обчислюється шляхом усереднення думок кількох слухачів, які оцінюють якість зразка голосу за шкалою від 1 до 5. Шкала коливається від «погано» до «відмінно», де 3 означає «задовільно». MOS широко використовується, оскільки його легко адмініструвати та надає єдиний бал, який можна використовувати для порівняння різних систем або послуг. Однак MOS має кілька обмежень, таких як суб'єктивність, відсутність прозорості та нездатність надати детальну інформацію про конкретні аспекти якості голосу.

MOS широко використовується в телекомунікаційних послугах, таких як мережі мобільного телефону, стаціонарні послуги та системи відеоконференцій. MOS також використовується в системах передачі голосу через IP (VoIP), де він допомагає гарантувати збереження якості голосу, навіть якщо мережа перевантажена або має високі рівні затримки. Крім того, MOS все частіше використовується в пристроях з голосовим керуванням і віртуальних помічниках, таких як Alexa від Amazon і Siri від Apple, для оцінки якості розпізнавання та синтезу мови. MOS може допомогти виявити проблеми з алгоритмами розпізнавання чи синтезу голосу системи та покращити загальну взаємодію з користувачем.

Хоча MOS є широко використовуваним показником для оцінки якості голосу, існують альтернативні методи, які можуть забезпечити більш детальну та об'єктивну оцінку. Одним із таких методів є ITU-T P.800, який є суб'єктивним методом оцінки, який використовує навчених слухачів для оцінки конкретних аспектів якості голосу, таких як спотворення мови, фоновий шум і луна. Іншою альтернативою є метод MUSHRA (кілька стимулів із прихованою опорою та прив'язкою), який також є суб'єктивним методом оцінки, але використовує більш структурований підхід для оцінки різних аспектів якості голосу.

Об'єктивні методи оцінки, такі як PESQ (перцептивна оцінка якості мовлення) і POLQA (перцептивна об'єктивна оцінка якості слуху), забезпечують більш об'єктивні вимірювання якості голосу шляхом аналізу голосового сигналу та порівняння його з еталонним сигналом. Ці методи можуть надати більш детальну інформацію про певні аспекти якості голосу, такі як розбірливість мови, зменшення шуму та придушення відлуння. Однак вони вимагають більш складного обладнання та досвіду для адміністрування та не завжди можуть співвідноситись із суб'єктивними оцінками.

Оцінка якості голосу є критично важливим аспектом сучасних систем зв'язку, а середня оцінка думки (MOS) є широко використовуваним показником для суб'єктивної оцінки якості голосу. Хоча MOS має кілька обмежень, він широко використовується в телекомунікаційних послугах, системах VoIP і пристроях з голосовим керуванням. Альтернативні методи, такі як методи суб'єктивної оцінки, такі як ITU-T P.

На рис. 2.1 показано, що при значеннях MOS нижче 4,0 деякі користувачі вже незадоволені, і тому в правильно налаштованій мережі значення MOS не повинно опускатися нижче цього рівня, щоб забезпечити максимальне задоволення користувачів [8].

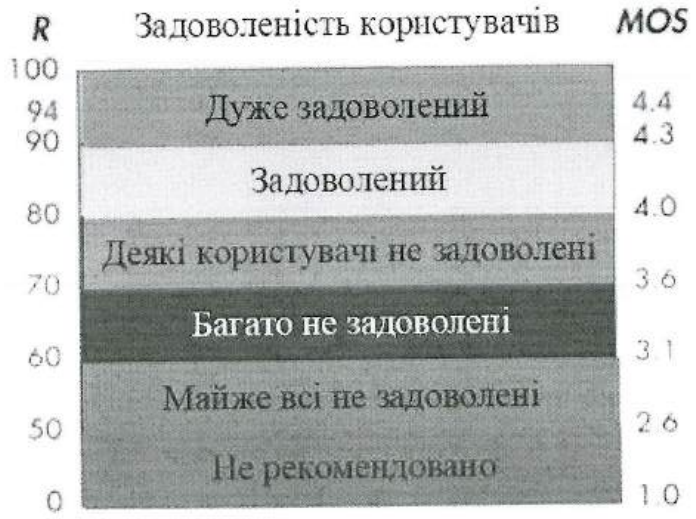


Рис. 2.1. Задоволеність користувача залежно від MOS і R-фактора

Були розроблені різні стандарти для розрахунку MOS. Серед них E-модель (ITU G.107) все ще є найбільш використовуваною сьогодні. Результатом цього стандарту є число, яке називається R-фактором. Під час розрахунку R-фактора враховується використовуваний кодек і пов'язана з ним затримка пакетування, затримка розповсюдження, затримка тремтіння та втрата пакетів. Теоретичний діапазон MOS становить від 5 до 1. Значення MOS можна безпосередньо розрахувати за значенням R-фактора. Практичне максимальне значення R-фактора становить 93,2 і, таким чином, відповідне максимальне значення MOS становить приблизно 4,5. Рис. 2.2 показує їх взаємозалежність.

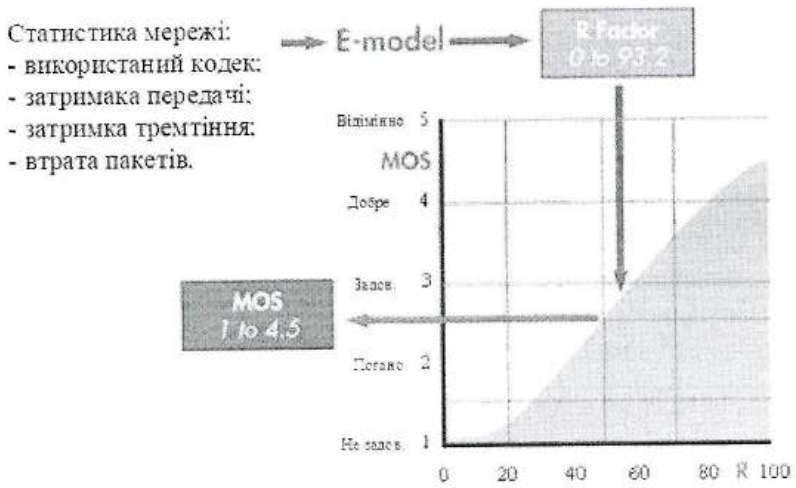


Рис. 2.2. Залежність MOS від R-фактора та їх максимуми

На загальну затримку передачі голосових пакетів, а також на значення MOS впливає вибір кодека. На рис. 2.3 нижче показано залежність MOS від затримки при роботі без втрати пакетів.

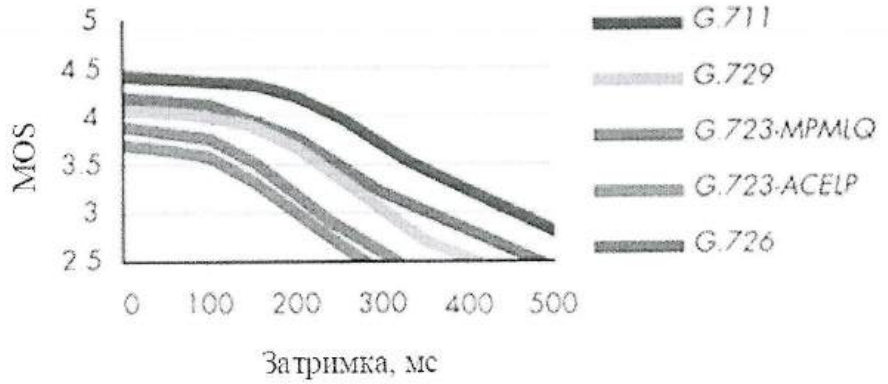


Рис. 2.3. Залежність MOS від затримки для різних типів кодеків

Кодек G.711 має найкращу якість голосу під час передачі, оскільки він не стискається. Таким чином, він представляє навіть найменшу вимогу пакетування. З усіх кодеків він найменш чутливий до втрати пакетів. Інші кодеки вже використовують стиснення. Це знижує якість голосу, розбірливість і робить виклик дуже чутливим до втрати пакетів.

2.3 Стандарт IEEE802.11e забезпечення достовірності обробки інформації та якість послуг в телекомунікаційній системі

Стандарт IEEE802.11e є важливою розробкою в області бездротового зв'язку, яка забезпечує надійність обробки інформації. Цей стандарт було розроблено для вирішення проблем якості обслуговування (QoS) у бездротових мережах. Стандарт IEEE802.11e був розроблений у 2005 році як розширення оригінального стандарту IEEE802.11. Його метою було вирішення проблем QoS у бездротових мережах. Стандарт забезпечує основу для передачі різних типів даних, кожен із яких має власний рівень пріоритету. Це гарантує, що високопріоритетні дані, такі як голос і відео, передаються з мінімальною затримкою та без перешкод від даних з нижчим

пріоритетом. Стандарт IEEE802.11e отримав широке поширення і зараз є ключовим компонентом більшості сучасних бездротових мереж.

Однією з ключових особливостей IEEE802.11e є параметри якості обслуговування (QoS). Ці параметри визначають характеристики даних, що передаються, і рівень їх пріоритету. Параметри QoS включають швидкість передачі даних, розмір пакета та вимоги до затримки. Ці параметри мають вирішальне значення для забезпечення того, що високопріоритетні дані передаються з мінімальною затримкою та без перешкод з боку низькопріоритетних даних. Різні типи параметрів QoS включають голос, відео та дані, кожен із яких має власний рівень пріоритету.

IEEE802.11e також включає вдосконалення рівня керування доступом до середовища (MAC). Ці вдосконалення підвищують надійність обробки інформації шляхом зменшення колізій і покращення доступу до каналу. Удосконалення включають використання безконфліктних періодів, які дозволяють передавати дані з високим пріоритетом без перешкод з боку даних з нижчим пріоритетом. Стандарт також включає механізм визначення пріоритетів передачі даних на основі параметрів QoS.

Категорії трафіку – ще одна ключова функція IEEE802.11e. Ці категорії визначають тип даних, що передаються, і рівень їх пріоритету. Є чотири різні категорії трафіку, кожна зі своїм рівнем пріоритету. Найвищий пріоритет надається голосовим даним, за ними йдуть відео, найкращі дані та фонові дані. Така пріоритезація гарантує, що високопріоритетні дані передаються з мінімальною затримкою та без перешкод з боку низькопріоритетних даних.

Контроль допуску є важливою особливістю IEEE802.11e, яка забезпечує надійність обробки інформації. Ця функція дозволяє мережі контролювати кількість пристроїв, які можуть отримати доступ до мережі в будь-який момент часу. Це особливо важливо для високопріоритетних даних, таких як голос і відео, які вимагають певного рівня пропускної здатності для передачі з мінімальною затримкою. Контроль доступу гарантує, що мережа не буде перевантажена занадто великою кількістю пристроїв, що може призвести до затримок і скидання пакетів.

Стандарт IEEE802.11e має численні реальні додатки, особливо в галузях, які значною мірою покладаються на бездротовий зв'язок. Деякі з цих програм включають відеоконференції, голосові виклики через IP (VoIP) та ігри в реальному часі. Здатність стандарту визначати пріоритет високопріоритетних даних гарантує, що ці додатки передаються з мінімальною затримкою та без перешкод з боку низькопріоритетних даних. Неможливо переоцінити переваги використання стандарту IEEE802.11e у бездротовому зв'язку. Стандарт забезпечує надійність обробки інформації, забезпечуючи структуру для передачі різних типів даних, кожен із власним рівнем пріоритету. Це гарантує, що високопріоритетні дані передаються з мінімальною затримкою та без перешкод з боку низькопріоритетних даних. Стандартні параметри QoS, покращення MAC, категорії трафіку та контроль доступу працюють разом для підвищення надійності бездротового зв'язку.

IEEE802.11e є важливою розробкою в бездротовому зв'язку, що забезпечує надійність обробки інформації. Стандартні параметри QoS, покращення MAC, категорії трафіку та контроль доступу працюють разом для підвищення надійності бездротового зв'язку. Можливість встановлення пріоритетів високопріоритетних даних гарантує, що додатки в режимі реального часу, такі як відеоконференції та дзвінки VoIP, передаються з мінімальною затримкою та без перешкод від даних з нижчим пріоритетом. Стандарт IEEE802.11e має численні реальні застосування та переваги, що робить його важливим компонентом сучасних бездротових мереж.

IEEE802.11e служить для забезпечення підтримки якості обслуговування (Quality of Service - QoS), яка б враховувала потребу в мультимедійних послугах для стабільного з'єднання з мінімальною затримкою або втратою даних. Саме тому в 2005 році було схвалено додаток 802.11e, який мав запровадити підтримку QoS в існуючих мережах 802.11 [9].

Мережі WLAN — це так звані спільні мережі, де зв'язок в обох напрямках відбувається на одній частоті, і в певний час може мати місце лише один сеанс. Мережі WLAN працюють за принципом дуплексу з поділом часу (TDD).

У випадку бездротових мереж стандарт IEEE 802 визначає поділ рівня з'єднання на два підрівні (див. рис. 2.4). Вищий з них називається підрівнем

управління логічним зв'язком - LLC (Logical Link Control). Підрівень LLC виконує послуги незалежно від даної реалізації фізичної мережі. Він спільний для всіх технологій, визначених стандартом IEEE 802. Він відповідає за встановлення та завершення з'єднань, контроль потоку даних, перевірку можливих помилок і головним чином адресацію на рівні канального рівня. Підрівень LLC здебільшого реалізований у програмному забезпеченні. Другий з них називається підрівнем керування доступом до середовища – MAC (Media Access Control). MAC забезпечує функції канального рівня, пов'язані з даною мережевою технологією. Він забезпечує передачу даних на фізичний рівень, контролює доступ до медіа, підключення станції до WLAN, автентифікацію, шифрування даних і перевіряє правильність переданих пакетів. Підрівень MAC тісно співпрацює з фізичним рівнем, тому він повинен мати можливість виконувати функції настільки швидко, наскільки може змінюватися потік даних на носії. Він реалізований апаратно безпосередньо на мережевій карті.

Контроль доступу до медіа. CSMA — це протокол, який використовується в комп'ютерних мережах для уникнення конфліктів даних. Його мета полягає в тому, щоб гарантувати, що лише один пристрій передає дані одночасно, запобігаючи двом або більше пристроям від передачі даних одночасно та викликаючи конфлікт даних. Контроль доступу до медіа CSMA працює так, що кожен пристрій слухає мережу перед передачею даних. Якщо мережа зайнята, пристрій зачекає, поки вона звільниться, перш ніж почати передачу. Цей метод також відомий як «слухай, перш ніж говорити». Порівняно з іншими методами контролю доступу до медіа, такими як передача маркерів або множинний доступ із розподілом часу, CSMA є простішим і ефективнішим.

Однією з головних переваг контролю доступу до медіа CSMA є його простота. Він не потребує центрального контролера чи складних алгоритмів, що робить його простим у впровадженні та обслуговуванні. Ще однією перевагою є його ефективність, оскільки він дозволяє пристроям передавати дані, щойно мережа звільниться, не чекаючи токена чи певного часового інтервалу. Однак контроль доступу до медіа CSMA чутливий до колізій, особливо в мережах із

високим трафіком. Коли два або більше пристроїв передають дані одночасно, виникає колізія, і дані втрачаються. Крім того, контроль доступу до медіа CSMA має обмежену масштабованість, що означає, що він може не підходити для великих мереж із великою кількістю пристроїв.

Програми контролю доступу до медіа CSMA широко використовуються в мережах Ethernet, які зазвичай використовуються в офісах, будинках і центрах обробки даних. Мережі Ethernet використовують CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) для виявлення та вирішення конфліктів. Контроль доступу до медіа CSMA також використовується в бездротових мережах, таких як Wi-Fi, де він відомий як CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). У мережах Wi-Fi CSMA/CA використовується, щоб уникнути зіткнень, змушуючи пристрої чекати довільний проміжок часу перед передачею даних. Прикладами компаній і організацій, які використовують контроль доступу до медіа CSMA у своїх мережах, є Cisco, Apple і Amazon.

Контроль доступу до медіа CSMA є широко використовуваним протоколом у комп'ютерних мережах, який регулює потік даних між пристроями. Хоча він має кілька переваг, таких як простота та ефективність, він також має певні обмеження, зокрема схильність до колізій і обмежену масштабованість. Тим не менш, контроль доступу до медіа CSMA залишається популярним вибором для багатьох мереж, включаючи Ethernet і бездротові мережі.

Як протокол керування доступом до медіа використовується CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) із виявленням несучої та уникненням зіткнень. Принцип подібний до локальної мережі та її підходу з використанням CSMA/CD (виявлення зіткнень).У випадку CSMA/CA станція вибирає випадково довгий інтервал очікування, кратний встановленому періоду часу, і «конкурує» за середовище. . Якщо станція хоче транслювати, а середовище зайняте, вона вловить радіосигнал станції, що транслює, і відкладе його трансляцію. Винятком у порядку передачі є кадри з найвищим пріоритетом, які надсилаються з пріоритетом. У випадку бездротової мережі колізія не може бути виявлена, тому використовується система підтвердження. Отримання даних

користувача, надісланих на певну MAC-адресу, завжди підтверджується.

Базовий стандарт 802.11 використовує дві функції доступу до медіа. Однак жодна з них не підходить для забезпечення якості послуг [10].

DCF. DCF — це механізм, який дозволяє бездротовим пристроям отримувати доступ до спільного середовища розподіленим способом. Він визначається стандартом IEEE 802.11 і використовується в більшості бездротових мереж. Метою функції розподіленої координації DCF є забезпечення справедливого та ефективного способу доступу пристроїв до спільного середовища. Це досягається за допомогою механізму доступу на основі конкуренції, коли пристрої змагаються за право передавати дані. Стандарт IEEE 802.11 визначає два режими роботи функції розподіленої координації DCF: базовий механізм доступу та механізм доступу RTS/CTS. Базовий механізм доступу використовується для кадрів даних, менших за певний поріг, тоді як механізм доступу RTS/CTS використовується для більших кадрів даних. Функція розподіленої координації DCF відіграє вирішальну роль у бездротових мережах, гарантуючи, що пристрої можуть передавати дані, не заважаючи один одному.

Робота функції розподіленої координації DCF базується на наборі правил, які регулюють спосіб доступу пристроїв до спільного середовища. Ці правила включають міжкадровий простір, механізм відстрочки та вікно конкуренції. Міжкадровий простір - це часовий інтервал між двома послідовними кадрами, який використовується для уникнення колізій. Механізм відстрочки — це випадкова затримка, яку використовують пристрої перед доступом до спільного середовища. Вікно конкуренції – це діапазон можливих значень відстрочки, які можуть використовувати пристрої. Коли пристрій хоче передати дані, він спочатку прослуховує спільний носій, щоб переконатися, що жоден інший пристрій не передає. Якщо носій неактивний, пристрій вибирає випадкове значення відстрочки з вікна змагань і чекає протягом цього часу. Якщо носій зайнятий, пристрій відкладає його передачу та починає новий процес відстрочки після випадкової затримки. Після закінчення таймера відстрочки пристрій може передавати свої дані.

Переваги та обмеження функції розподіленої координації DCF має кілька переваг у бездротових мережах. Це простий і ефективний механізм, який не потребує центральної координації. Це також гарантує, що пристрої мають рівні шанси на доступ до спільного середовища, що сприяє справедливості. Однак функція розподіленої координації DCF має обмеження в мережах з високою щільністю. Зі збільшенням кількості пристроїв зростає й боротьба за спільне середовище, що призводить до більших затримок і нижчої пропускної здатності. У таких випадках інші механізми доступу, такі як функція координації точки (PCF), можуть бути більш придатними. Функція розподіленої координації DCF є фундаментальним механізмом у бездротових мережах, який дозволяє пристроям отримувати доступ до спільного середовища розподіленим способом. Він має як переваги, так і обмеження, і його робота базується на наборі правил, які керують тим, як пристрої отримують доступ до середовища.

Функція розподіленої координації забезпечує координацію доступу до середовища, але не підтримує рівні (пріоритети) доступу. Він використовує CSMA/CA як метод доступу. Він використовує дві техніки, щоб уникнути зіткнень. Вставка проміжків між широкомовними кадрами (IFS - InterFrame Space) і відкладення трансляцій (backoff). Інтервал DIFS (DCF IFS) — це обов'язковий час, протягом якого станція повинна чекати, коли вона виявить, що середовище вільне перед початком передачі. Якщо інша станція починає трансляцію протягом цього інтервалу, вона повинна відкласти свою трансляцію. Час відкладення передачі вибирається як часовий інтервал від нуля до так званого вікна конкуренції (CW - Contention Window). Однак зіткнення може статися, якщо дві станції почнуть трансляцію одночасно. З цієї причини необхідна система підтвердження. Якщо передавач не отримує пакет підтвердження ACK через певний визначений час (SIFS — короткий інтервал між кадрами), який коротший за DIFS, він припускає, що сталася колізія, і повторює передачу. Щоб уникнути конфліктів, можна ввімкнути додатковий протокол RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send). Станція починає зв'язок, надсилаючи кадр RTS із запитом на передачу. Якщо він отримує відповідь CTS, він може передавати протягом певного періоду часу. Інші станції

встановлюють свій вектор розподілу відповідно до інтервалу, протягом якого станція буде транслювати NAV (вектор розподілу мережі) і не намагається передати протягом певного часу, оскільки знає, що носій уже використовується. Після отримання даних надсилається кадр підтвердження ACK (Acknowledge). Зв'язок за допомогою DCF показаний на рис. 2.4. При включенні цього протоколу реальна корисна швидкість бездротової мережі знижується до 20% через велику кількість відправлених контрольних пакетів.

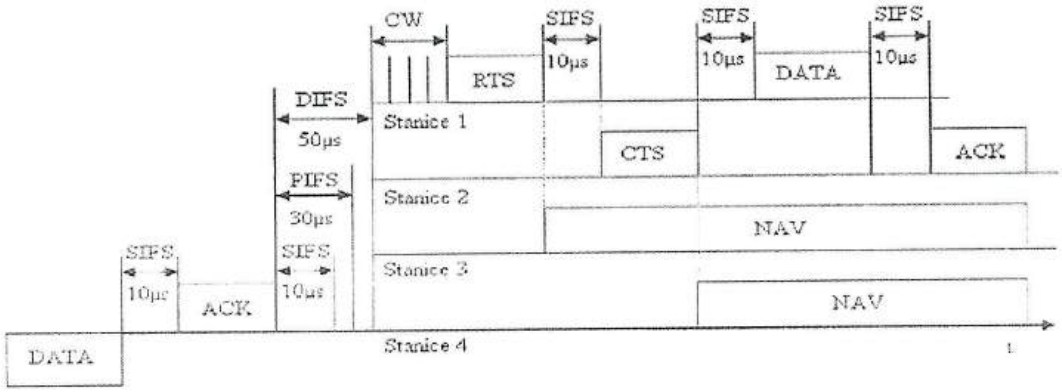


Рис. 2.4. Метод DCF, включаючи пакети RTS/CTS

PCF. Point Coordination Function - це централізована координаційна функція в мережах 5G, яка відповідає за управління мережевими ресурсами та забезпечення високоякісного обслуговування користувачів. Централізована координація стосується процесу керування мережевими ресурсами з централізованого розташування, що дозволяє ефективніше розподіляти ресурси та краще керувати якістю обслуговування. PCF виконує кілька важливих функцій, включаючи контроль доступу, управління QoS і управління мобільністю. Контроль доступу — це процес визначення того, чи дозволено користувачеві доступ до мережі, на основі таких факторів, як пропускна здатність мережі та пріоритет користувача. Управління QoS — це процес забезпечення того, щоб користувачі отримували необхідний рівень обслуговування на основі таких факторів, як пропускна здатність і затримка. Управління мобільністю — це процес керування мобільністю користувачів у мережі для забезпечення безперебійного перемикання між стільниками та мережами.

PCF є важливим компонентом мережевої архітектури 5G, яка розроблена для підтримки широкого діапазону варіантів використання та програм. PCF розташований у площині керування мережею, що дозволяє йому взаємодіяти з іншими функціями мережі та керувати мережевими ресурсами. Архітектура PCF складається з кількох компонентів, включаючи об'єкт PCF, клієнт PCF і сервер PCF. Об'єкт PCF відповідає за керування мережевими ресурсами та виконання функцій контролю якості обслуговування та доступу. Клієнт PCF є інтерфейсом між об'єктом PCF та іншими мережевими функціями, а сервер PCF відповідає за зберігання та керування політиками PCF. Зв'язок між об'єктом PCF та іншими мережевими функціями полегшується кількома інтерфейсами та протоколами, включаючи інтерфейс N4 і протокол Diameter.

Хоча PCF є важливим компонентом мереж 5G, існує кілька проблем, пов'язаних із розгортанням цієї функції та керуванням нею. Ці проблеми включають проблеми, пов'язані з масштабованістю, сумісністю та безпекою. Постійні дослідження та розробки зосереджені на вирішенні цих проблем і покращенні функціональності та продуктивності PCF. Одним із потенційних напрямків майбутнього розвитку є інтеграція методів AI/ML у PCF, щоб забезпечити більш розумний та адаптивний розподіл ресурсів і управління QoS. Іншим потенційним напрямком є підтримка нових варіантів використання та додатків, таких як IoT та промислова автоматизація, які вимагають спеціалізованих мережевих можливостей і вимог до QoS.

Функція централізованої координації PCF є критично важливим компонентом мереж 5G, відповідальним за управління мережевими ресурсами та забезпечення високоякісних послуг для користувачів. PCF виконує кілька важливих функцій, включаючи контроль доступу, управління QoS і управління мобільністю. Функція централізованої координації сьогодні не використовується багато, наприклад, її не можна використовувати в мережах Ad Hoc, лише в мережах режиму інфраструктури. Тут точка доступу діє як централізований координатор, який розподіляє медіа для клієнтів. Він періодично транслює кадри-маяки, що містять інформацію для ідентифікації та контролю. Отриманий період часу,

включаючи кадр маяка, називається суперкадром (SuperFrame), рис. 2.5. Його можна розділити на дві частини. Contention-Free Period (CFP) і Contention-Free Period (CP - Contention Period). У разі неконкурсного періоду використовується функція координації PCF, тоді як функція DCF використовується в період медіаконкурсу. У безконкурсний період координатор запитує клієнтів, що вони мають надіслати. Тут використовується інший міжкадровий простір PIFS (Point Coordination Function Interframe Space).

Механізм PCF в цілому не дуже вигідний, тому що не можна задавати класи трафіку, синхронізацію часу через різну довжину переданих кадрів, коли довгий кадр може негативно вплинути на продуктивність мережі, або тимчасово заблокувати її. Крім того, залежно від змінної довжини переданих кадрів, кадр маяка не передається регулярно, що, звичайно, вплине на служби, чутливі до часу. Отже, ця функція передачі не дуже підходить для мультимедійних послуг.

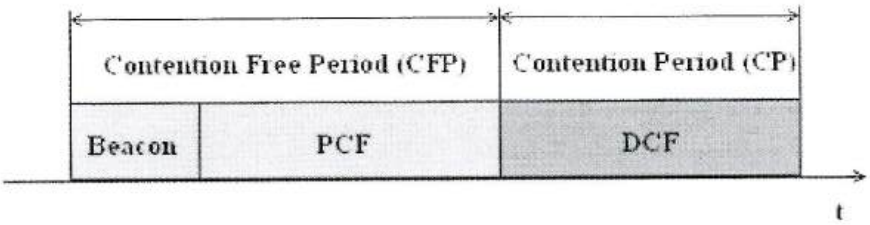


Рис. 2.5. Суперкадр

Оскільки оригінальні функції доступу не могли забезпечити підтримку якості обслуговування та визначення пріоритетів певних програм, доповнення 802.11e представило дві додаткові функції координації.

- EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function), на основі якої впроваджується новий розширений розподілений доступ до середовища EDCA (Enhanced Distributed Channel Access).

- HCF (Hybrid Coordination Function), яка контролює доступ до каналу HCCA (HCF Controlled Channel Access).

Для обох класи трафіку визначаються відповідно до доповнення 802.11e. Завдяки цьому можна виділити середовище передачі відповідно до типу програми.

Наприклад, голос матиме вищий пріоритет, ніж завантаження веб-сайтів, ftp тощо. Крім того, вся система працює таким чином, що при реалізації сервісів за цим доповненням також можна спілкуватися з пристроями, які не мають якісної підтримки сервісу. Доповнення також представляє новий набір послуг, що підтримує якість послуг QBSS (QoS із підтримкою базового набору послуг), з тією різницею, що точка доступу називається HC (Hybrid Coordinator), а станції QSTA (Станція підтримки QoS).

2.4 Проектування бездротової мережі

Проектування бездротових мереж вимагає розуміння різних принципів, міркувань і стратегій впровадження. Принципи проектування бездротових мереж є важливими для забезпечення успішного розгортання бездротових мереж. Одним із найважливіших принципів проектування бездротової мережі є радіочастотна (РЧ) поведінка. Радіочастотна поведінка стосується способу поширення радіохвиль у навколишньому середовищі. Щоб визначити найкраще розташування точок бездротового доступу (WAP) і антен, важливо розуміти поведінку радіочастот. Іншим важливим принципом проектування бездротової мережі є вибір і розміщення антени. Вибір правильного типу антени та її розміщення може значно вплинути на продуктивність мережі. Нарешті, топологія та архітектура мережі є критично важливими принципами проектування бездротової мережі. Топологія мережі відноситься до фізичного макету мережі, тоді як архітектура мережі відноситься до логічного дизайну мережі.

Розробка бездротової мережі має важливе значення для забезпечення успішного розгортання бездротових мереж. Одним із важливих моментів є обстеження території та аналіз навколишнього середовища. Огляд місця – це процес оцінки фізичного середовища для виявлення потенційних джерел перешкод і шуму. Ще один важливий фактор — безпека та контроль доступу. Бездротові мережі вразливі до загроз безпеці, тому важливо впровадити заходи безпеки для захисту мережі та її користувачів. Управління перешкодами та шумом також є важливими міркуваннями при проектуванні бездротової мережі. Перешкоди та шум можуть значно вплинути на продуктивність мережі, і ними потрібно ефективно керувати.

Реалізація проекту бездротової мережі передбачає вибір апаратного та програмного забезпечення, налаштування мережі, тестування, моніторинг та усунення несправностей. Вибір правильного обладнання та програмного забезпечення має важливе значення для забезпечення продуктивності та надійності мережі. Конфігурація мережі передбачає налаштування параметрів мережі, таких

як SSID, параметри безпеки та DHCP. Тестування має важливе значення, щоб переконатися, що мережа функціонує належним чином і відповідає вимогам продуктивності. Моніторинг мережі та усунення несправностей також мають вирішальне значення для впровадження бездротової мережі. Моніторинг продуктивності мережі та вирішення проблем можуть допомогти запобігти простою та забезпечити оптимальну продуктивність мережі.

Проект бездротової мережі є критично важливим аспектом сучасної мережі. Розуміння принципів проектування бездротової мережі, міркувань проектування бездротової мережі та реалізації проекту бездротової мережі є важливими для забезпечення успішного розгортання бездротових мереж. Враховуючи ці принципи та міркування, розробники мереж можуть розробляти бездротові мережі, які є надійними, безпечними та працюють оптимально.

У цій мережі в рамках цієї роботи були реалізовані технології для забезпечення підтримки якості обслуговування та подальшого моделювання. Вимірювання та оцінку проводила програма IxChariot — це комплексна програма тестування продуктивності мережі, яка надає ряд можливостей для оцінки продуктивності мережі, безпеки та досвіду користувача.. Поточна конфігурація мережі складається з двох маршрутизаторів Cisco 871W (рис. 2.6). Вони містять три інтерфейси: чотири порти 10/100 Мбіт/с для Ethernet (LAN), один порт 10/100 Мбіт/с для WAN і бездротовий інтерфейс WLAN, що підтримує стандарти 802.11b/g. Їх конфігурація можлива або через веб-програму Java, або безпосередньо через консоль [11].

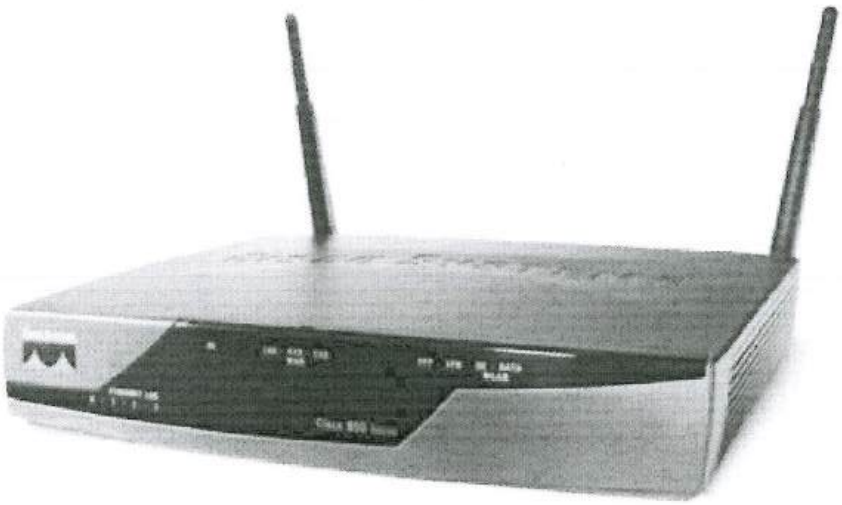


Рис. 2.6. Маршрутизатор Cisco 871W LAN/WAN/WLAN

Ці маршрутизатори відображаються тут як дві точки доступу, кожна з яких представляє одну бездротову мережу з власним ідентифікатором мережі SSID. На даний момент назви мереж залишилися такими, як були спочатку встановлені на MIP1 і MIP2, враховуючи, що це навчальні посібники. Ці дві точки доступу з'єднані разом через комутатор через інтерфейс WAN за допомогою кабелів Ethernet. Точка доступу MIP1 має IP-адресу 192.168.3.5/24, встановлену на інтерфейсі WAN, MIP2 має IP-адресу інтерфейсу WAN 192.168.3.6/24. Як показано на рис. 2.7, точка доступу MIP1 має мережу 192.168.30.1/24, встановлену для радіоінтерфейсу WLAN, точка доступу MIP2 має мережу 192.168.40.1/24, встановлену для WLAN. Сервер DHCP увімкнено на обох точках доступу та встановлено діапазон IP-адрес, які можна призначити. Він обмежений 4 клієнтами в кожній мережі (тобто у випадку MIP1 діапазон 192.168.30.2 - 192.168.30.5), тому що більше клієнтів тут не потрібно. Те саме стосується MIP2. Для точок доступу також встановлюється адреса інтерфейсу LAN. Для точки доступу MIP1 це 192.168.10.1/24, для точки доступу MIP2 192.168.20.1/24. Для обох точок доступу все одно необхідно було статично встановити таблицю маршрутизації на значення інтерфейсу WAN другого з роутерів, щоб було зрозуміло, куди слід відправляти дані через інтерфейс WAN.

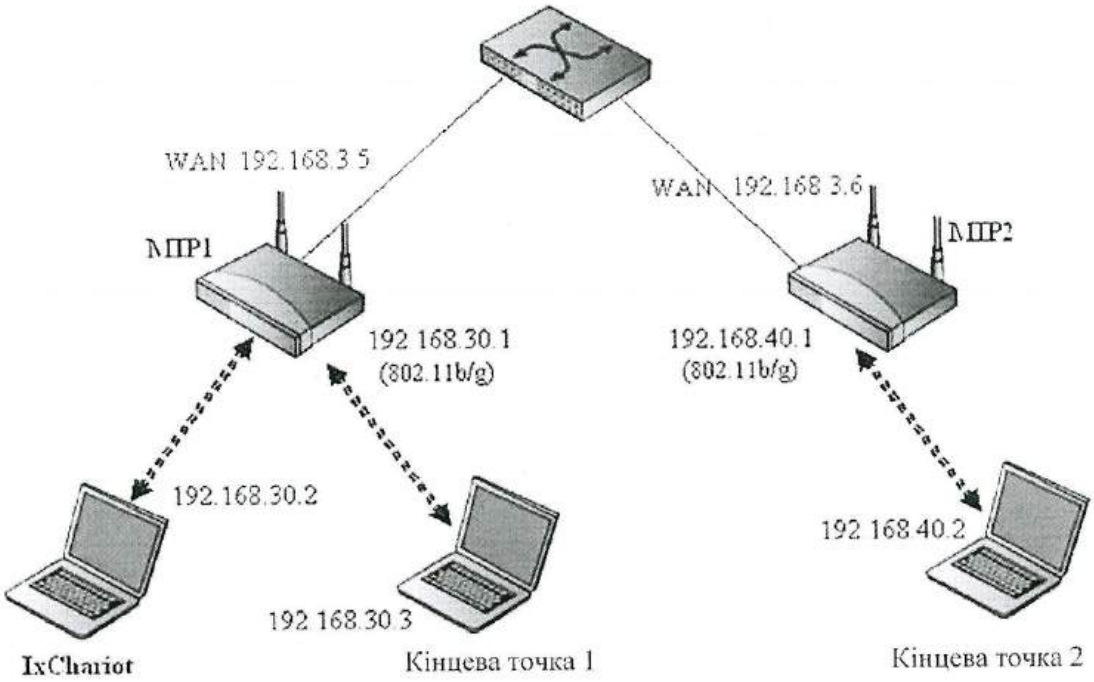


Рис. 2.7. Архітектура створеної бездротової мережі

До точки доступу MIP1 було підключено бездротовим способом два клієнти. Одним із них був ноутбук із програмою IxChariot. До точки доступу MIP2 був підключений лише один ноутбук. Кількість клієнтів тут не настільки важлива, тому що програма IxChariot може симулювати весь мережевий трафік. Щоб зробити вимірювання максимально реалістичним, ноутбук із IxChariot лише генерував дані в мережі, але не був кінцевою точкою. Оскільки вимірювання дійсно вимагає процесора та пам'яті, це може негативно вплинути на вимірювані дані.

3 ВПРОВАДЖЕННЯ QOS ТА ДІАГНОСТИКА МЕРЕЖІ

Реалізація якості обслуговування (QoS) і діагностика мережі є двома найважливішими аспектами сучасного мережевого зв'язку. QoS забезпечує ефективне керування мережевим трафіком, а мережева діагностика допомагає виявити та вирішити можливі проблеми, які можуть виникнути.

QoS — це набір методів, які використовуються для керування мережевим трафіком і забезпечення пріоритету важливих даних над менш важливими даними. QoS має важливе значення для мережевого зв'язку, оскільки воно допомагає запобігти перевантаженню мережі та забезпечити ефективне використання мережевих ресурсів. Існує кілька методів QoS, які використовуються в мережевому зв'язку, включаючи формування трафіку, визначення пріоритетів і чергування. Формування трафіку передбачає регулювання потоку мережевого трафіку для забезпечення ефективного використання пропускної здатності. Пріоритезація, з іншого боку, передбачає призначення різних рівнів важливості різним типам мережевого трафіку. Постановка в чергу використовується для керування мережевим трафіком шляхом визначення пріоритетів важливих даних і затримки менш критичних даних. QoS може бути реалізовано в різних мережевих технологіях, включаючи LAN, WAN і бездротові мережі. Наприклад, у середовищі локальної мережі можна реалізувати QoS, щоб гарантувати, що додатки в реальному часі, такі як відеоконференції та голосові дзвінки, матимуть пріоритет над іншими типами даних.

Діагностика мережі передбачає виявлення та вирішення мережевих проблем, які можуть виникнути. Існує два типи діагностики мережі: активна і пасивна. Активна діагностика передбачає надсилання тестових пакетів у різні частини мережі для виявлення потенційних проблем. З іншого боку, пасивна діагностика передбачає моніторинг мережевого трафіку для виявлення потенційних проблем. Поширені проблеми мережі включають затримку, втрату пакетів і тремтіння. Затримка означає затримку передачі даних між двома точками в мережі. Втрата пакетів відбувається, коли пакети даних втрачаються під час передачі, тоді як

тремтіння стосується варіацій у затримці передачі даних. Діагностичні інструменти, такі як ping, traceroute і аналізатори мережі, використовуються для виявлення та вирішення проблем мережі. Ping використовується для перевірки з'єднання між двома пристроями, тоді як traceroute використовується для визначення шляху мережевого трафіку між двома пристроями. Аналізатори мережі використовуються для захоплення та аналізу мережевого трафіку з метою виявлення потенційних проблем.

Ефективне керування мережею має важливе значення для забезпечення ефективності та надійності мережевого зв'язку. Регулярні перевірки мережі можуть допомогти виявити потенційні проблеми до того, як вони стануть серйозними. Інструменти моніторингу та керування мережею можна використовувати для моніторингу мережевого трафіку та виявлення потенційних проблем. Профілактичні заходи, такі як впровадження протоколів безпеки та використання брандмауерів, можуть допомогти запобігти проблемам з мережею. Забезпечення того, щоб мережеві пристрої оновлювали останні мікропрограми та оновлення програмного забезпечення, також може допомогти запобігти потенційним проблемам.

Впровадження QoS і діагностика мережі є ключовими аспектами сучасного мережевого зв'язку. Ефективна реалізація QoS допомагає забезпечити ефективне використання мережевих ресурсів, а мережева діагностика допомагає виявити та вирішити потенційні проблеми. Регулярні перевірки мережі, ефективний моніторинг мережі та профілактичні заходи можуть допомогти запобігти потенційним мережевим проблемам і забезпечити ефективність і надійність мережевого зв'язку.

Початковий намір для налаштування підтримки якості обслуговування полягав у використанні програми Java SDM (Secure Device Manager), створеної безпосередньо компанією Cisco, для спрощення налаштування пристроїв цієї серії. Однак оригінальна версія SDM 2.4 не дозволяла цю конфігурацію. Тому виникла необхідність оновити SDM до версії 2.5, яка вже дозволяє налаштовувати конфігурацію та детальні налаштування якості послуг.

Після встановлення та повторного входу у веб-програму потрібно було запустити додаткову програму, щоб налаштувати бездротове з'єднання. У вкладці «Сервіси» вже була можливість налаштувати якість послуг. Після відкриття вкладки QoS з'явилося вікно, де можна було перевірити використання WMM (Wireless Multimedia).

3.1 Бездротове мультимедіа – WMM

Бездротове мультимедіа (WMM) — це технологія, яка революціонізувала спосіб споживання та обміну мультимедійним вмістом. З поширенням бездротових пристроїв і зростаючим попитом на високоякісний мультимедійний вміст WMM став важливим інструментом для забезпечення безперебійного та надійного мультимедійного досвіду.

WMM — це набір покращень якості обслуговування (QoS) для мереж Wi-Fi, які визначають пріоритет мультимедійного трафіку, наприклад відео, аудіо та голосового трафіку над трафіком даних. WMM працює, призначаючи різні пріоритети різним типам трафіку, гарантуючи, що високопріоритетний трафік отримує більшу пропускну здатність і передається першим, тоді як низькопріоритетний трафік передається пізніше. Це допомагає зменшити затримку та тремтіння, що забезпечує більш плавну та надійну роботу з мультимедійним вмістом. Важливість і переваги WMM очевидні в таких програмах, як потокове відео, онлайн-ігри та відеоконференції, де продуктивність мережі є критичною.

Компоненти WMM складаються з трьох основних компонентів: WMM Access Point (AP), WMM Station (STA) і WMM Power Save (PS). Точка доступу WMM (AP) відповідає за керування бездротовою мережею та забезпечення підтримки QoS. Станція WMM (STA) — це бездротовий пристрій, який підключається до мережі та надсилає й отримує дані. WMM Power Save (PS) — це функція, яка дозволяє бездротовим пристроям економити заряд батареї, зменшуючи кількість часу, який вони витрачають на передачу даних. Ці

компоненти працюють разом, щоб забезпечити надання пріоритету мультимедійному трафіку та оптимізацію мережі для мультимедійних програм.

Застосування WMM має широкий спектр застосувань, включаючи потокове передавання мультимедійного вмісту, відеоконференції та онлайн-ігри. Потокова передача мультимедійного вмісту, наприклад фільмів і музики, є одним із найпопулярніших застосувань WMM. За допомогою WMM високоякісні відео та аудіо можна передавати через бездротову мережу без буферизації та перерв. Відеоконференції є ще одним застосуванням WMM, де відео- та аудіозв'язок у реальному часі має вирішальне значення. WMM гарантує, що пакетам відео та аудіо надається пріоритет, що забезпечує плавну та безперебійну роботу відеоконференцій. Онлайн-ігри — це ще одне застосування WMM, де низька затримка та висока пропускна здатність є важливими для ігрового досвіду без затримок. Завдяки WMM гравці онлайн можуть насолоджуватися швидким і надійним мережевим з'єднанням, що забезпечує більш захоплюючий ігровий досвід.

WMM — технологія, яка змінила спосіб споживання та обміну мультимедійним вмістом. Встановлюючи пріоритет мультимедійного трафіку над трафіком даних, WMM забезпечує безперебійну та надійну роботу мультимедійних даних, що робить його важливим інструментом для таких програм, як потокове відео, відеоконференції та онлайн-ігри. Зі зростанням попиту на високоякісний мультимедійний вміст і поширенням бездротових пристроїв WMM стане ще більш важливою технологією в найближчі роки.

WMM - це тимчасове рішення підтримки QoS, створене WiFi Alliance. Спочатку WME (Wireless Multimedia Extensions). WMM підтримує лише деякі функції 802.11e, наприклад тегування пріоритетів і чергування. WMM не обмежується голосовими програмами, але включає всі аудіо, відео та мультимедійні програми в реальному часі. Він базується на рішенні підтримки QoS для диференціації служб після протоколу IP (механізм диференційованих послуг) і поділяє трафік на чотири рівні пріоритету (див. рис. 3.1): голос має найвищий пріоритет, потім відео, за яким ідуть найкращі зусилля та все інше. . Ці рівні

пріоритету відповідають визначенню пріоритету 802.1d, що використовується у стаціонарних локальних мережах [12 - 14].

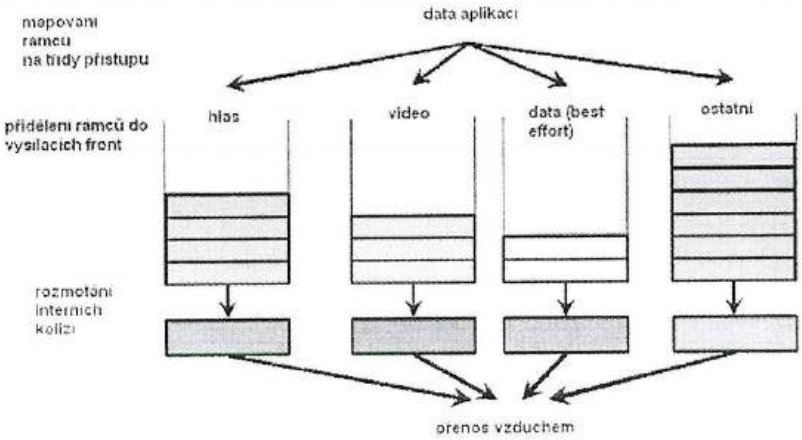


Рис. 3.1. Розподіл мережевого трафіку за пріоритетними чергами

В даний час ведеться робота над новою програмою сертифікації WMM-SA (WMM Scheduled Access), яка буде похідною від затвердженого стандарту 802.11e.

- Коли WMM увімкнено, точка доступу додає клас обслуговування до заголовка кожного пакета.

- Кожен клас доступу має свій порядковий номер. Це дозволяє пакетам з вищим пріоритетом переривати передачу пакетів з нижчим пріоритетом без переповнення буфера одержувача.

- Для класів доступу, які мають високий пріоритет, передавачі можуть надсилати групу пакетів, що очікують, навіть якщо передача затримується (backoff), відповідно до встановленого часу - обмеження TXOP, тобто часу, коли вони мають можливість передати. Це збільшує пропускну здатність мережі, оскільки пакети не повинні чекати, щоб отримати доступ, а можуть бути відправлені негайно, по одному.

При налаштуванні WMM можна змінити попередньо встановлені значення для окремих категорій доступу відповідно до потреб адміністратора мережі, див. рис. 3.2. Звичайно, все можна налаштувати через командний рядок консолі (так званий CLI - командний рядок). Наприклад, включення wmm виконується в конфігурації бездротового інтерфейсу введенням команди: dot11 qos mode wmm

☑ Enable WiFi Multimedia(WMM)

Access Category Definition

Access Category		Background (CoS 1-2)	Best Effort (CoS 0,3)	Video (CoS 4-5)	Voice (CoS 6-7)
Min Contention Window (2^x-1; x can be 0-10)	Local	4	4	3	2
	Cell	4	4	3	2
Max Contention Window (2^x-1, x can be 0-10)	Local	10	6	4	3
	Cell	10	10	4	3
Fixed Slot Time (0-20)	Local	7	3	1	1
	Cell	7	3	2	2
Transmit Opportunity (0-65535 μS)	Local	0	0	3008	1504
	Cell	0	0	3008	1504

Рис. 3.2. Параметри WiFi Multimedia зі значеннями за замовчуванням

Оскільки SDM 2.5 є універсальним інструментом для налаштування великої кількості типів маршрутизаторів Cisco, не всі функції мають підтримуватися кожним маршрутизатором. WMM не підтримується на маршрутизаторах Cisco W871. Маршрутизатор не розуміє подані команди. Тому було завантажено останню версію IOS (Internetwork Operating System), тобто операційну систему маршрутизатора. Через малу ємність флеш-пам'яті в роутерах довелося спочатку зробити резервну копію і видалити існуючий IOS, а також SDM. Точки доступу оснащені портами USB, але використовуваний флеш-накопичувач не підтримувався. Єдиним рішенням було спілкування за допомогою Trivial FTP-сервера (TFTP) від SolarWinds. Це спрощений FTP-сервер, який забезпечує бездротовий зв'язок із точкою доступу. Після перерахування вмісту флеш-пам'яті за допомогою команди show flash вже можна було приступати до копіювання.

```
copy flash: tftp:
Source filename []?  c870-advipservicesk9-mz.124-6.T7.bin
Address or name of remote host []? 192.168.40.2
Destination filename []?c870-advipservicesk9-mz.124-6.T7.bin
```

Рис. 3.3. Копіювання IOS з флеш-пам'яті

Навіть з останньою ОС IOS використовувані маршрутизатори Cisco W871 не підтримували команди для ввімкнення механізму WMM. Тому підтримку якості обслуговування довелося встановлювати вручну, використовуючи карту класів і політику обслуговування.

3.2 Увімкнення підтримки QoS

Команда class-map — це команда Cisco IOS, яка використовується для визначення класів трафіку на основі таких характеристик трафіку, як тип протоколу, IP-адреси джерела/одержувача та номери портів. Мета команди class-map — дозволити мережевим адміністраторам класифікувати мережевий трафік за різними категоріями та застосовувати різні політики QoS до кожної категорії. Синтаксис і формат налаштування команди class-map передбачає використання команди class-map, за якою слідують унікальне ім'я та критерії відповідності, які визначають клас трафіку.

Увімкнення підтримки QoS за допомогою команди class-map включає відображення різних типів трафіку на попередньо визначені класи на основі їхніх характеристик і налаштування політик QoS для кожного класу. Це передбачає використання критеріїв відповідності, визначених у команді class-map, для ідентифікації та класифікації трафіку за різними категоріями. Після визначення класів трафіку мережеві адміністратори можуть налаштувати політики QoS, такі як розподіл смуги пропускання, формування трафіку та пріоритезація пакетів для кожного класу за допомогою команди policy-map. Нарешті, політики QoS можна застосувати до мережевих інтерфейсів за допомогою команди service-policy.

Використання команди class-map для підтримки QoS має кілька переваг, включаючи покращену продуктивність мережі, зменшення перевантаження та підвищення задоволеності користувачів. Розставляючи пріоритет трафіку на основі їхніх характеристик, мережеві адміністратори можуть гарантувати, що критичному мережевому трафіку, такому як голосовий і відеотрафік, надається пріоритет над

менш критичним трафіком, таким як передача файлів. Однак існують також обмеження щодо використання команди class-map для підтримки QoS. Налаштування карт класів для великих мереж може бути складним і трудомістким, і існує обмежена підтримка деяких мережевих протоколів, таких як багатоадресний трафік. Крім того, можуть виникати конфлікти між політиками QoS різних класів, що призводить до неочікуваної поведінки мережі.

Команда class-map - використовується для визначення правил, за якими будуть відбиратися пакети. Існує багато міркувань щодо вибору пакетів. Можна вибрати за списком доступу, протоколом, значеннями DCSP, пріоритетом, адресами, відповідною VLAN тощо. Можна визначити більше правил, яким має відповідати пакет. Значення DSCP було обрано як відмінність, оскільки його можна легко встановити у визначенні окремих послуг в IxChariot [13].

Необхідно було відсортувати пакети запитуваних послуг у клас-карту відповідно до значень DSCP (Differentiated Services Code Point), а не, наприклад, відповідно до використовуваного протоколу. Інакше було б неможливо було встановити вищий пріоритет для голосу, ніж для відео, оскільки обидві служби використовують протокол транспортування реального часу (RTP), який передається за допомогою протоколу дейтаграм користувача (UDP).

DSCP - це шість найважливіших бітів із заголовка пакету в полі Diffserv, інші два називаються ECN (Explicit Congestion Notification) (табл. 3.1). Значення DSCP зворотно сумісно з IP Precedence (складається з перших трьох бітів).

Таблиця 3.1.

Поле Diffserv

DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	ECN	ECN

```
MIP2(config)#class-map match-all voice
MIP2(config-cmap)#match ip dscp ef
MIP2(config-cmap)#exit
MIP2(config)#class-map match-all video
MIP2(config-cmap)#match ip dscp af41
MIP2(config-cmap)#exit
MIP2(config)#class-map match-all priority_traffic
MIP2(config-cmap)#match ip dscp af31
MIP2(config-cmap)#exit
```

Рис. 3.4. Налаштування карти класів

Команда policy-map - використовується для визначення правил QoS. Спочатку вводиться клас-карта, яка відповідно до заданих параметрів вибирає пакети, до яких повинен бути застосований механізм QoS. Для мети магістерської роботи нам потрібно використовувати карту політики на бездротовому інтерфейсі. Тому ми будемо використовувати команду set cos, щоб установити окремі класи обслуговування для визначених карт класів. Взаємозв'язок між DSCP і COS показано в таблиці 3.2 [15].

Таблиця 3.2.

Послуги, рівні пріоритетності та їх розподіл

Тип трафіку	IP DSCP	QoS	IEEE 802.11e	Коментар
Управління мережею	-	7	-	Зарезервовано для керування мережею
Міжмережне управління	48	6	7 (AC_VO)	Протоколи IP-маршрутизації
Голос	46 (EF)	5	6 (AC_VO)	Експрес-пересилання(EF)
Відео	34 (AF41)	4	5 (AC VI)	4 клас
Пріоритети даних	26 (AF31)	3	4 (AC_VI)	3 клас
Найкраще зусилля	0 (BE)	0	3 (AC_BE) 0 (AC BE)	Найкраще зусилля
Фон	18 (AF21)	2	2 (AC BK)	2 клас
Фон	10 (AFII)	1	1 (AC BK)	1 клас

Усі карти класів із встановленими механізмами розрізнення для окремих пакетів, до яких ми хочемо застосувати QoS на заданому інтерфейсі, повинні бути призначені карті політики. (див. рис. 3.5)

```
MIP2(config)#policy-map WMM
MIP2(config-pmap)#class voice
MIP2(config-pmap-c)#set cos 5
MIP2(config-pmap-c)#exit
MIP2(config-pmap)#class video
MIP2(config-pmap-c)#set cos 4
MIP2(config-pmap-c)#exit
MIP2(config-pmap)#class priority_traffic
MIP2(config-pmap-c)#set cos 3
MIP2(config-pmap-c)#exit
MIP2(config-pmap)#exit
```

Рис. 3.5. Призначення карти класів до карти політики

За допомогою команди sh policy-map ми показуємо встановлені policy-maps, щоб перевірити, чи все встановлено правильно. (див. рис. 3.6)

```
MIP2#sh policy-map
 Policy Map WMM
  Class voice
   set cos 5
  Class video
   set cos 4
  Class priority_traffic
   set cos 3
```

Рис. 3.6. Відображення встановленої карти політики

Команда Service-policy - цю команду можна використовувати для призначення карти політики для вибраного інтерфейсу. Один можна призначити для входу, а інший для виходу даного інтерфейсу. Параметри якості обслуговування однакові для обох точок доступу. (див. рис. 3.7) [16-18].

```
MIP2(config)#int dot11Radio 0
MIP2(config-if)#service-policy output WMM
MIP2(config-if)#exit
```

Рис. 3.7. Налаштування карти політики на бездротовому інтерфейсі

Щоб забезпечити максимально можливу якість послуг, необхідно було також створити хоча б базові налаштування QoS на інтерфейсі WAN. Ми створимо зарезервовану частину лінії для кожного з визначених класів трафіку. Для відео це 20% у пріоритетній черзі, куди дані надсилаються негайно. Для голосу цього разу 15% у пріоритетній черзі. Це пояснюється тим, що відеопотоки мають незрівнянно більшу пропускну здатність (порядку Мбіт/с), ніж голосові потоки (2х 64 кбіт/с). 30% пропускної здатності зарезервовано для критичних даних, а решта – для іншого трафіку (рис. 3.8).

Подібно до бездротового інтерфейсу, ця карта політики має бути призначена інтерфейсу FastEthernet 4, тобто WAN. Тут достатньо призначити його тільки на вихід, у бік другого роутера. (див. рис. 3.9)

```
MIP2(config)#policy-map WAN
MIP2(config-pmap)#class voice
MIP2(config-pmap-c)#priority percent 15
MIP2(config-pmap-c)#exit
MIP2(config-pmap)#class video
MIP2(config-pmap-c)#priority percent 20
MIP2(config-pmap-c)#exit
MIP2(config-pmap)#class priority_traffic
MIP2(config-pmap-c)#bandwidth percent 30
MIP2(config-pmap-c)#exit
MIP2(config-pmap)#class class_default
MIP2(config-pmap-c)#fair-queue
MIP2(config-pmap-c)#exit
```

Рис. 3.8. Параметри карти політики для інтерфейсу WAN

```
MIP2(config)#int FastEthernet 4
MIP2(config-if)#service-policy output WAN
MIP2(config-if)#exit
```

Рис. 3.9. Призначення карти політики виходу інтерфейсу WAN

Class-map є потужним інструментом, який дозволяє адміністраторам мережі визначати та класифікувати трафік на різні категорії на основі його характеристик. Увімкнення підтримки QoS за допомогою команди class-map включає відображення трафіку на попередньо визначені класи та налаштування політик QoS для кожного класу. Хоча використання команди class-map для підтримки QoS має кілька переваг, важливо враховувати обмеження та потенційні конфлікти, які можуть виникнути. Загалом, команда class-map є важливим інструментом для ввімкнення підтримки QoS у управлінні мережевим трафіком.

3.3 Інструмент тестуванні продуктивності мереж IxChariot

Програма IxChariot від компанії Ixia, яка є лідером у тестуванні продуктивності мереж, є дуже потужним інструментом для діагностики та моделювання трафіку в комп'ютерних мережах. У рамках цієї роботи в основному використовувалося моделювання роботи FTP-сервера, двостороннього голосового зв'язку та відео в реальному часі [19].

Визначення служб. По-перше, необхідно було визначити окремі сервіси в програмі згідно з рекомендаціями RFC 2597 і RFC 2598 (рис. 3.10 і 3.11).

Для голосових пакетів використовується значення DSCP ef - Expedited Forwarding, яке має найменший рівень втрат, найменшу затримку та найменше тремтіння. Значення DSCP у двійковій системі становить 101110, у десятковій 46.

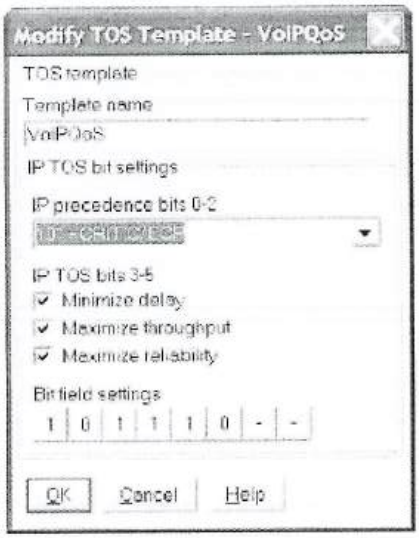


Рис. 3.10. Налаштування послуги VoIP у програмі IxChariot

Високий пріоритет також потрібен для пакетів відеосервісу, тому використовується четвертий клас із найменшим можливим відкиданням пакетів. Ми будемо використовувати DSCP AF41, у двійковій формі це 100010, у десятковій системі 34. Для критичних даних, таких як доступ до баз даних тощо, також потрібні вищі пріоритети передачі, ніж для стандартних даних, що передаються за допомогою методу найкращих зусиль. Тому для визначеного класу priority_traffic я використовував третій клас, DSCP AF31, двійковий 011010, десятковий, що відповідає значенню 26. Для трафіку, що залишився в мережі, клас трафіку default_class встановлено за замовчуванням із методом передачі найкращих зусиль DSCP, за умовчанням, двійковий 000000 [22].

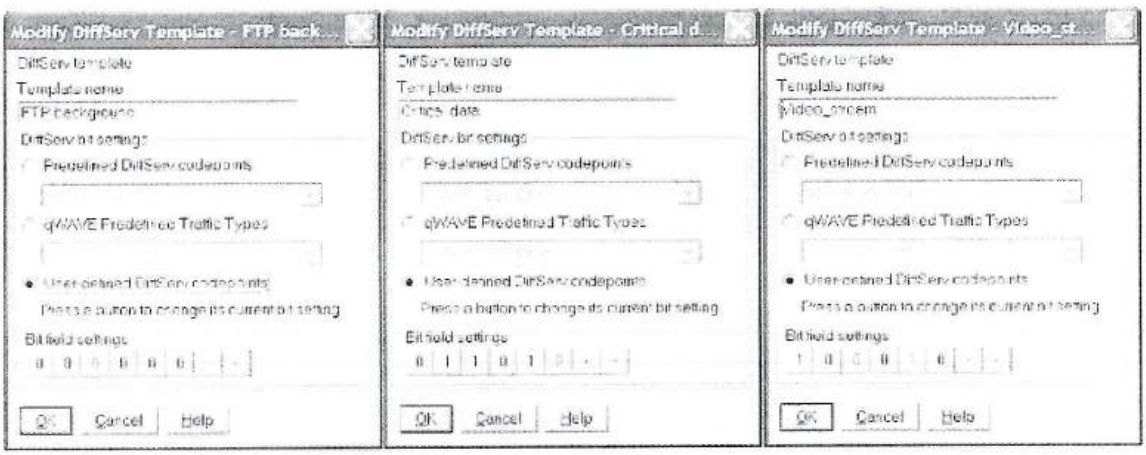


Рис. 3.11. Налаштування сервісу в програмі IxChariot

Параметри потоку. Тепер достатньо визначити кінцеві станції, між якими буде проводитися вимірювання, встановити тип імітованого потоку та визначений клас обслуговування в IxChariot. Для того, щоб вимірювання відбулося, програма Endpoint Library повинна бути встановлена на обох кінцевих станціях. Його можна завантажити з офіційного сайту IxChariot у розділі завантаження.

Налаштовуємо першу голосову пару, в напрямку від першої станції до другої, заповнюємо IP-адреси окремих станцій, вибираємо встановлену якість обслуговування та кодек, який буде використовуватися для голосу (рис. 3.12). Кодек G.711 було використано навмисно, оскільки він має найкращу якість голосу та найменшу затримку пакетів.

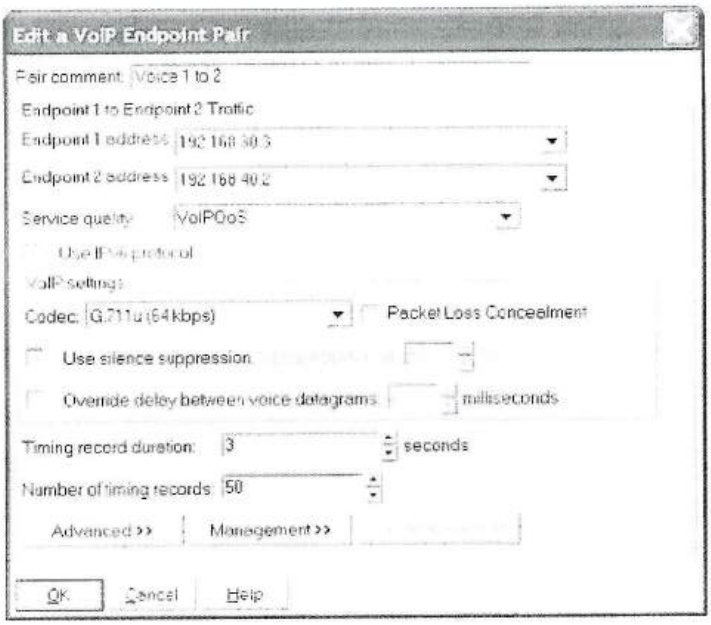


Рис. 3.12. Встановлення голосової пари

Друга голосова пара встановлюється таким же чином, у напрямку від другої станції до першої, оскільки телефонний дзвінок завжди йде в обох напрямках.

Далі було встановлено потік TCP, що представляє критичні дані (див. рис. 3.13). Необхідно ввести IP-адреси обох кінцевих станцій, вибрати встановлену якість обслуговування та вибрати з попередньо встановлених скриптів для імітації

TCP-трафіку в мережі. Можна вибрати високе, середнє та низьке навантаження на мережу. У разі критичних даних я вибрав середнє навантаження, оскільки в поєднанні з іншим TCP-потоком, що представляє FTP, мережа вже була перевантажена, IxChariot показував попереджувальні повідомлення, а вимірювання відбувалося неправильно. Налаштування імітованого FTP-потоку аналогічно. Тут, правда, був обраний сценарій з високим навантаженням на мережу, оскільки при невеликому навантаженні мережі різниця була не так помітна при включеному QoS [23-24].

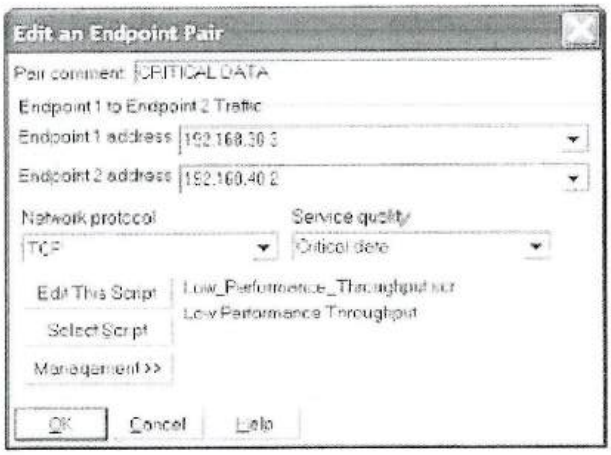


Рис. 3.13. Налаштування критичних даних

Симуляцію відео в реальному часі ще потрібно налаштувати. Після заповнення адреси кінцевих станцій потрібно ще вибрати бітрейт даного відеопотоку та використовуване кодування.

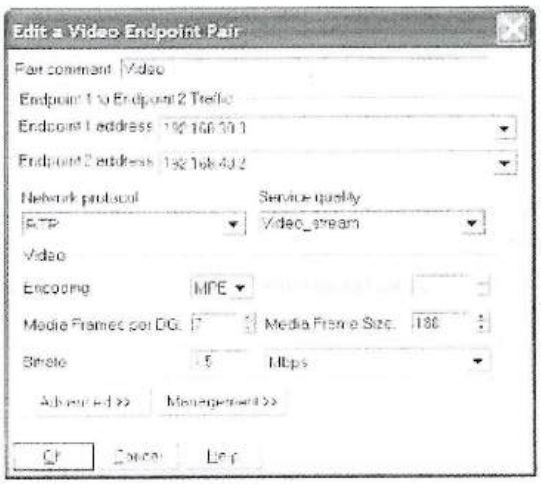


Рис. 3.14. Налаштування відео в реальному часі

Власне вимірювання. Після запуску симуляції обидві кінцеві станції були ініціалізовані приблизно на півхвилини, а потім почалося фактичне вимірювання п'яти хвилин мережевого трафіку. Звичайно, вся перша серія вимірювань відбулася ще до включення підтримки QoS. Усі змодельовані послуги переходили від першої станції до другої, за винятком голосу, позначеного на графіках як Голос 2 до 1, який йшов у протилежному напрямку.

Як видно на рис. 3.15, без гарантії якості обслуговування затримка є відносно великою. Відеопотік віддзеркалюється голосовим потоком того самого напрямку, оскільки обидва використовують для передачі протокол UDP на транспортному рівні. Затримка починає зменшуватися через певний проміжок часу, оскільки з'єднання UDP «домінує» в лінії. Зв'язок за протоколом TCP є надійною послугою - використовується підтвердження отримання даних, у разі втрати їх потрібно повторно відправити, що призводить до додаткових витрат. На відміну від цього, UDP є ненадійною службою, дані більше не надсилаються знову, якщо вони втрачені, це зв'язок із меншими операційними витратами. На рис. 3.16 показано тремтіння даного зв'язку без увімкненої підтримки QoS. Як видно на ньому, різниця в затримці отриманих пакетів становить 4 мс. MOS показано нижче на рис. 3.17. Тут очевидно, що голос, що поширюється від першої кінцевої станції до другої, буде сприйнятий користувачем дуже негативно, голос протилежного напрямку буде сприйнятий відносно добре, за винятком одного серйозного збою. Це пояснюється тим, що в напрямку від першої станції до другої також використовується протокол UDP для передачі відео в реальному часі [20-21].

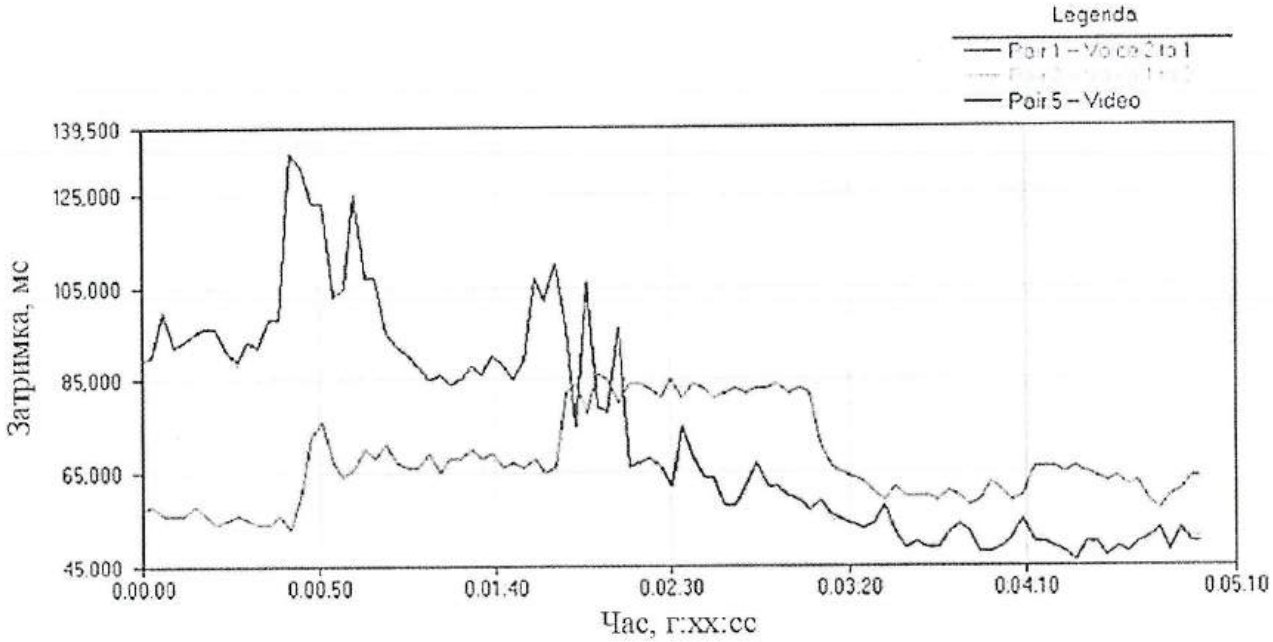


Рис. 3.15. Затримка голосу та відео без QoS

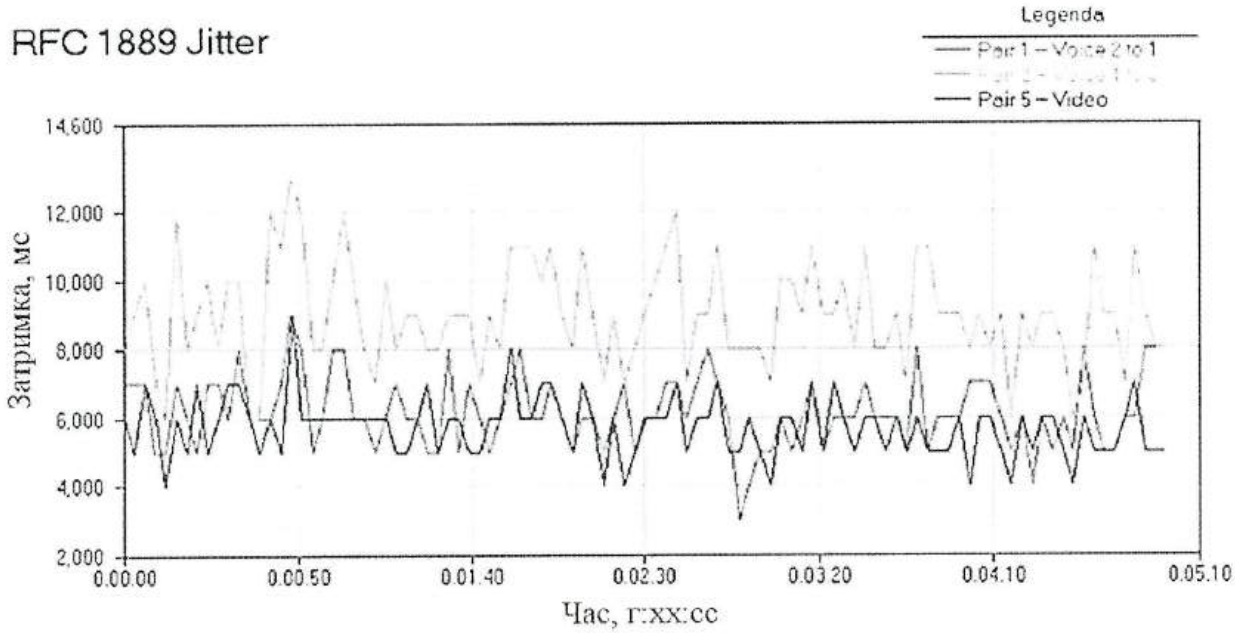


Рис. 3.16. Джиттер у зв'язку без QoS

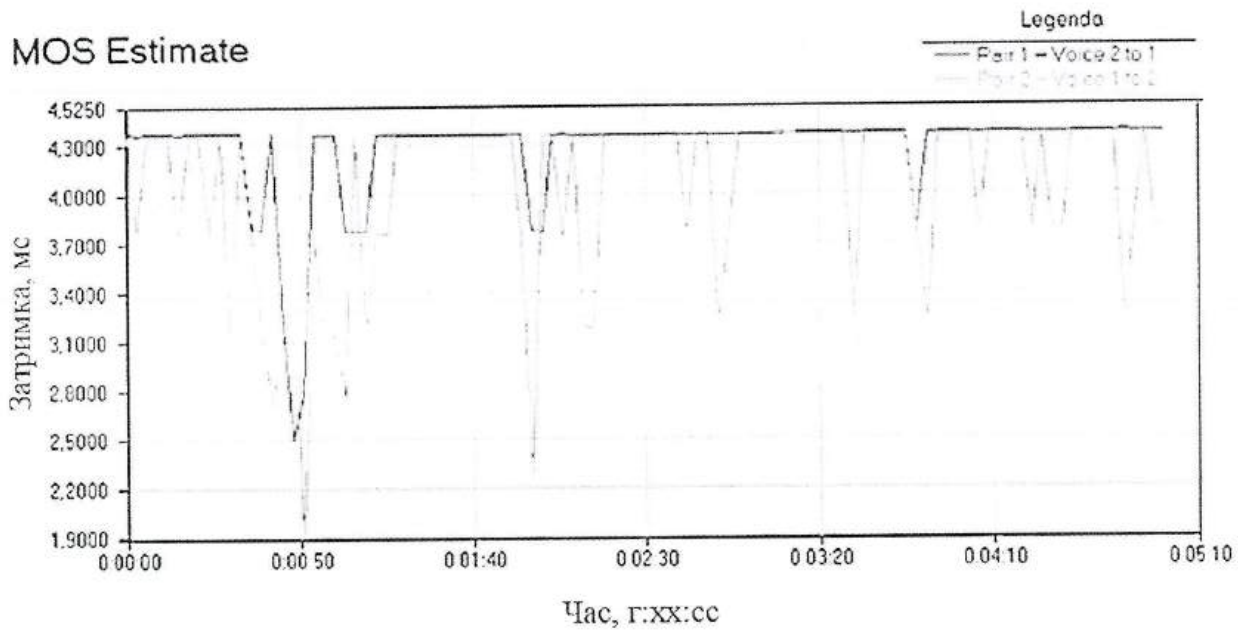


Рис. 3.17. MOS без QoS

На рисунках 3.18 і 3.19 показано пропускну здатність відео та голосу без QoS. Тут можна побачити, що сигнал має відносно велике коливання. Для порівняння на рис. 3.23 і 3.24 показано пропускну здатність відео та голосу з увімкненим QoS. Як бачите, сигнал вже більш стабільний і має лише невеликі коливання.

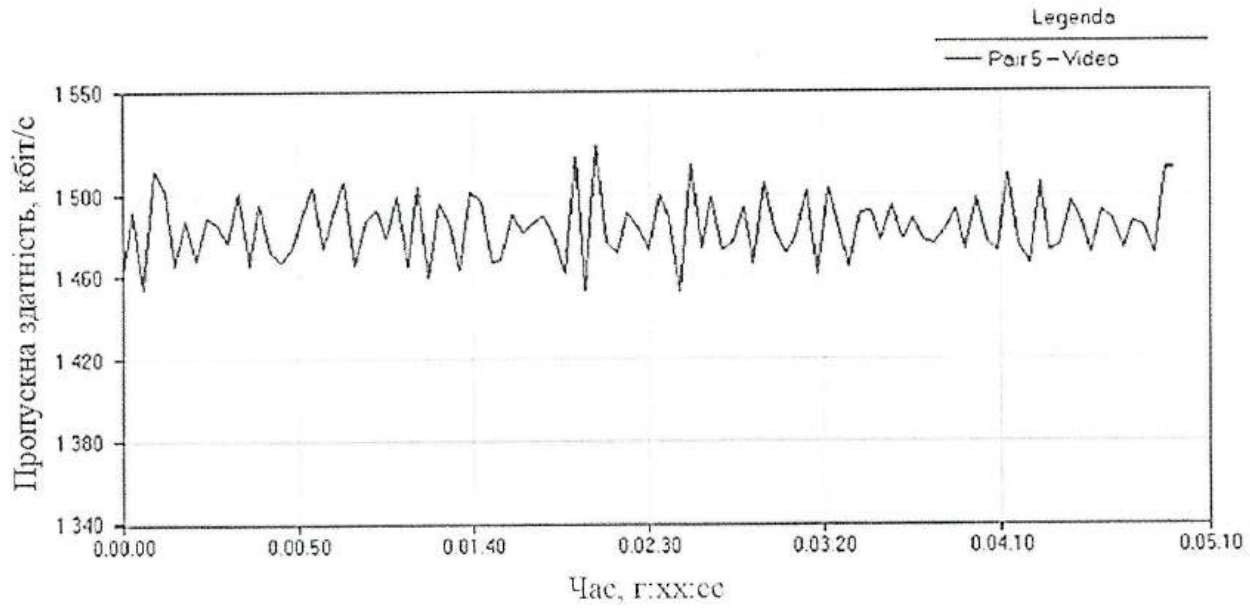


Рис. 3.18. Пропускна здатність мережі для відеопотоку без QoS

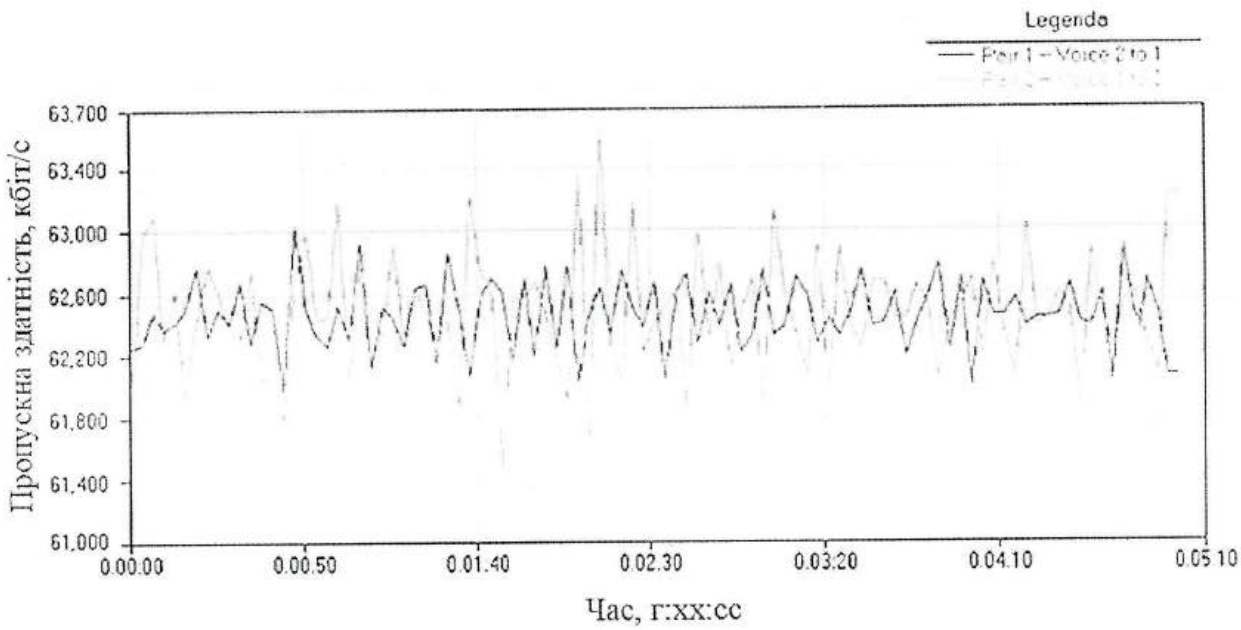


Рис. 3.19. Пропускна здатність мережі
для двостороннього голосового зв'язку без QoS

Друга серія вимірювань відбулася лише після повного налаштування та ввімкнення QoS. Як видно на рис. 3.20, затримка відео впала приблизно до 40 мс, затримка обох голосових потоків залишається нижче 10 мс протягом передачі. Якість дзвінка, на думку користувача, відмінна, без жодних коливань (рис. 3.22). У разі виклику з другої станції на першу вони відключали ті самі значення MOS, що й перший-другий виклик, графіки збігалися, а обидві лінії перекривалися. Крім того, пропускна здатність мережі як для відео, так і для голосу також значно постійніша, майже постійна. Завдяки визначенню класів трафіку, навіть на потоки TCP не впливають потоки UDP, які без QoS «забирали» свою пропускну здатність лінії.

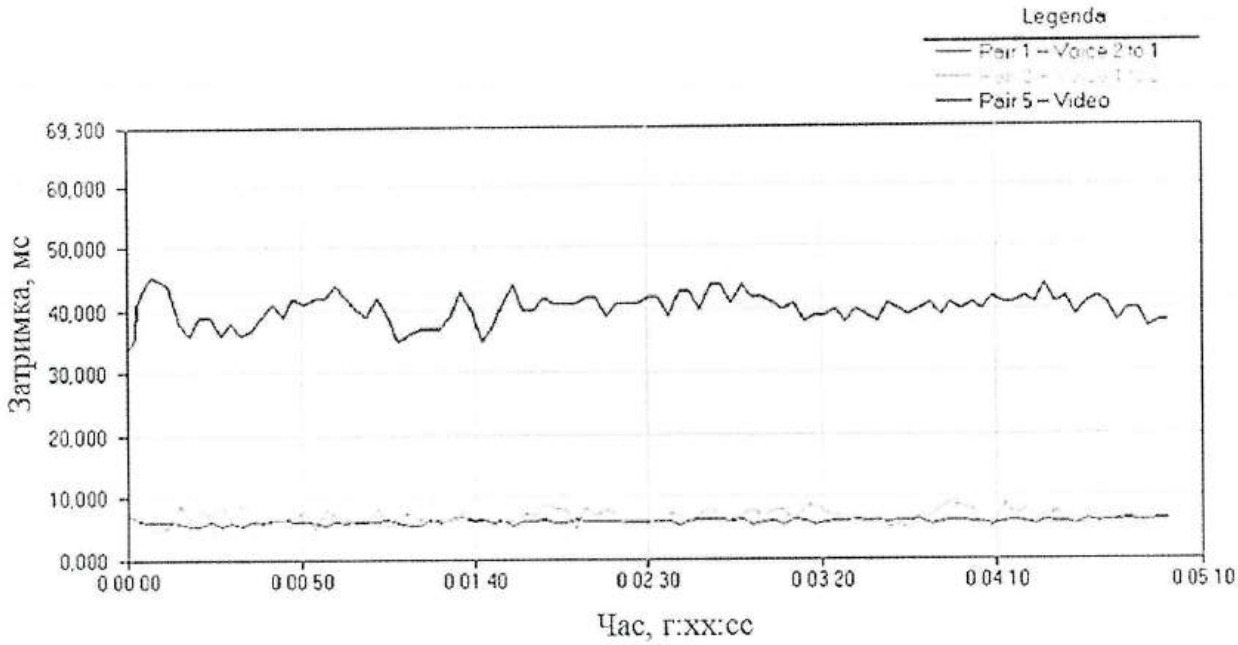


Рис. 3.20. Затримка голосу та відео з QoS

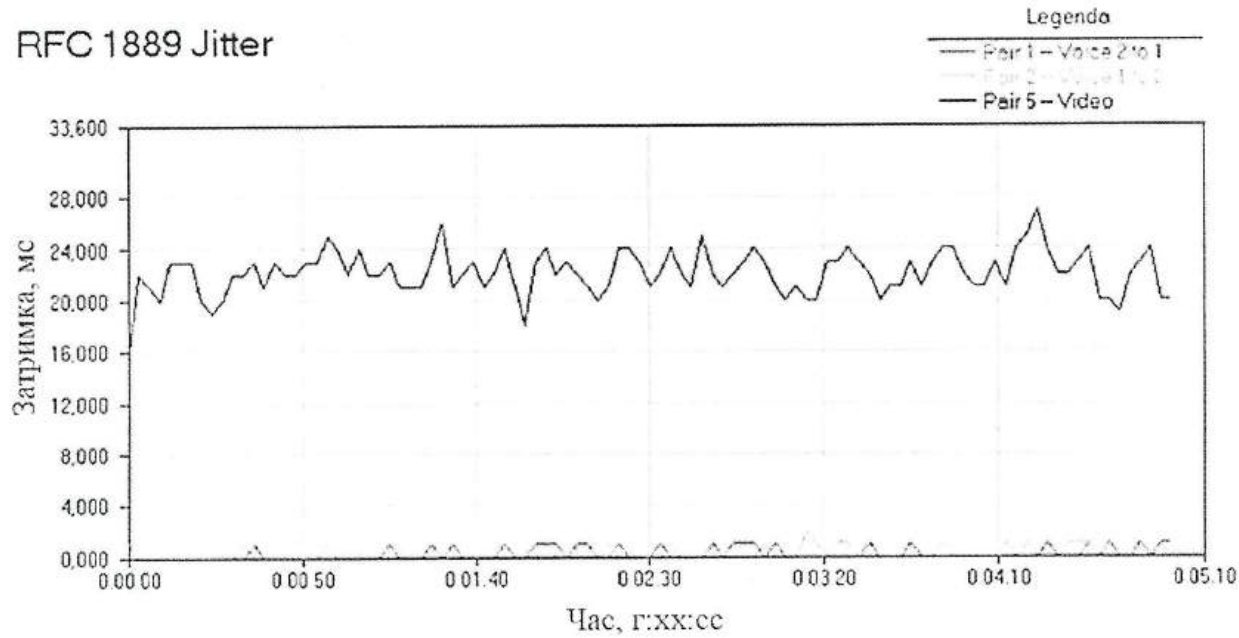


Рис. 3.21. Джиттер у зв'язку з QoS

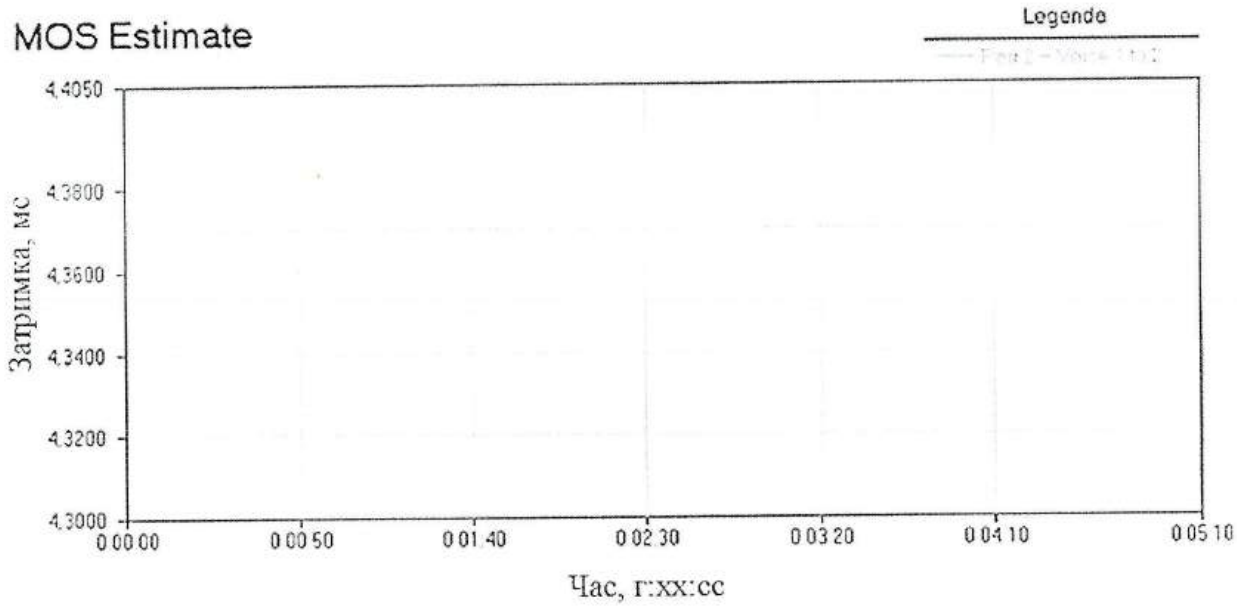


Рис. 3.22. MOS під час зв'язку з QoS від 1-ої станції до 2-ї

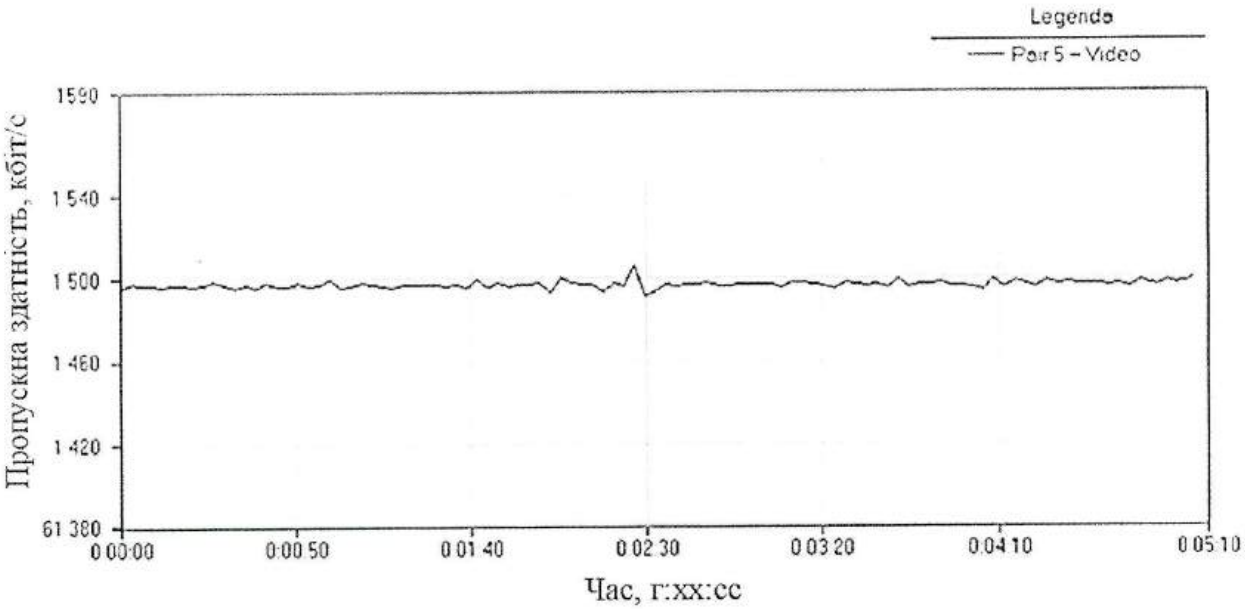


Рис. 3.23. Пропускна здатність мережі для відеопотоку з QoS

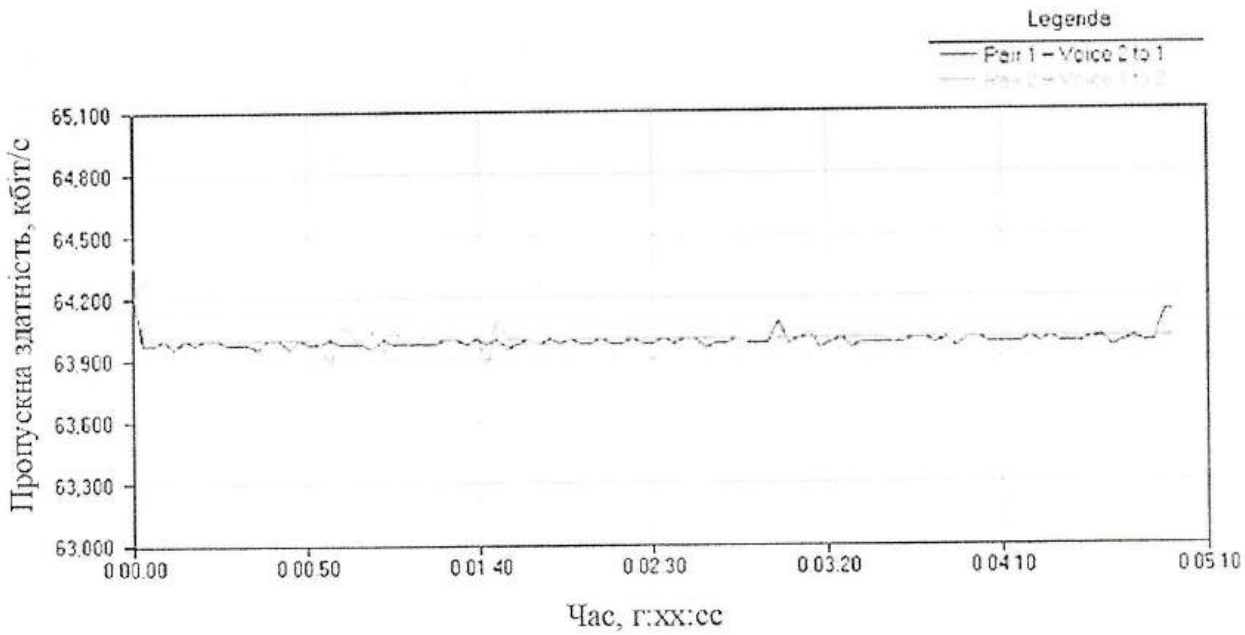


Рис. 3.24. Пропускна здатність мережі
для голосового потоку в обох напрямках із QoS

Зведення виміряних значень основних параметрів, що впливають на мультимедійні послуги в режимі реального часу, наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Підсумок виміряних параметрів

	Максимальна затримка (мс)		Мінімальний MOS	
	Немає QoS	З QoS	Немає QoS	З QoS
Голосування 1 проти 2	133	9	1.9	4370
Голосування 2 проти 1	85	7	2.5	4370
Відео з 1 по 2	133	45	-	-

ВИСНОВКИ

Ця магістерська робота підсумовує питання бездротових мереж і опис стандартів 802.11. Доповнення 802.11ea більш детально описує механізми, які використовуються для забезпечення якості обслуговування в бездротових мережах. Він також має справу з параметрами, що впливають на якість послуг, функції доступу та координації. Стандарти 802.11 пропонують кілька переваг для бездротових мереж, включаючи гнучкість, масштабованість і сумісність із широким спектром пристроїв. Однак вони також мають деякі обмеження, зокрема щодо швидкості, покриття та безпеки, стандарт 802.11b має максимальну швидкість передачі даних лише 11 Мбіт/с і обмежений діапазон, тоді як стандарт 802.11n може мати проблеми з перешкодами в певних середовищах. Щоб оптимізувати продуктивність і безпеку мереж 802.11, важливо застосувати найкращі практики, такі як використання надійного шифрування, вибір відповідного каналу та діапазону частот, а також використання високоякісних антен і точок доступу.

Стандарти 802.11 є важливим компонентом бездротових мереж, забезпечуючи основу для того, як пристрої спілкуються та обмінюються даними. Розуміння відмінностей між різними версіями стандарту 802.11 та їхніми специфікаціями має вирішальне значення для вибору правильного для конкретної програми.

Для опрацювання практичної частини необхідно було ознайомитись з можливостями програми IxChariot, що є потужним інструментом для вимірювання показників продуктивності мережі, таких як пропускна здатність, затримка та втрата пакетів, імітація різних сценаріїв мережевого трафіку, включаючи VoIP, потокового відео та передачу файлів, щоб забезпечити комплексну оцінку продуктивності мережі. IxChariot може виконувати аналіз даних про продуктивність мережі в реальному часі, щоб виявити вузькі місця та інші проблеми, які можуть вплинути на продуктивність мережі.

Програма IxChariot налаштовує окремі сервіси з їх подальшою імітацією

реального трафіку в мережі та його оцінкою. При цьому на активних елементах даної мережі необхідно було налагодити механізм підтримки якості послуг. Згодом зв'язок між кінцевими станціями даної мережі моделювався та записувався. Спочатку без увімкненої підтримки якості обслуговування, а потім з повною підтримкою. При порівнянні обох ситуацій були виявлені значні відмінності. Без увімкненої підтримки QoS існувала відносно велика затримка в додатках у реальному часі, що призвело б до зниження якості послуг і невдоволення користувачів їх використанням у реальній мережі. Навпаки, коли була включена підтримка якості обслуговування, ці затримки досягали мінімальних значень. Це забезпечує повне використання цих програм і максимальне задоволення користувачів.

Оскільки це невелика лабораторна мережа, виміряні значення без увімкненої підтримки QoS не є критичними, і служби працюватимуть добре. Однак їх повна якість не гарантується, тому я б рекомендував залишити підтримку якості обслуговування навіть у таких же великих бездротових мережах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. T. Chown, "Local area networks (LANs)," in Encyclopedia of Wireless Networks, Springer US, 2020, pp. 713-717.

2. M. M. Islam and J. Loo, "Wi-Fi MAC protocols," in Encyclopedia of Wireless Networks, Springer US, 2019, pp. 952-956.

3. H. Ji, J. Luo, S. Leng and S. Qiu, "Performance analysis of multiple antennas in MIMO WLAN systems," 2016 International Conference on Communications, Circuits and Systems, Guilin, 2016, pp. 3541-3544.

4. H. C. Huang, C. C. Hsu and K. T. Chiu, "A TCP-aware bandwidth allocation scheme in Wi-Fi mesh networks," 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kyoto, 2016, pp. 1-5.

5. R. Khanna, "Wi-Fi hardware," in Encyclopedia of Wireless Networks, Springer US, 2016, pp. 957-960.

6. R. A. Sturges and M. A. Abidi, "Overview of the IEEE 802.11 wireless LAN standard," in Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 3, pp. 366-385, March 2016.

7. J. F. Zeng and W. J. Mao, "A QoS-based adaptive power control scheme for WLANs," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, 2022, vol. 2, pp. 825-829.

8. R. K. Ganti, J. Gao and S. K. Das, "Topological properties of WLANs," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 6, no. 7, pp. 750-762, July 2017.

9. D. D. Vergados and A. D. Panagopoulos, "WiFi network management," in Encyclopedia of Wireless Networks, Springer US, 2018, pp. 1101-1105.

10. D. D. Vergados and A. D. Panagopoulos, "Wireless networking," in Encyclopedia of Wireless Networks, Springer US, 2020, pp. 1294-1300.

11. R. Wang, "MIMO technology in IEEE 802.11n WLANs," in Proceedings of the 2017 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, Guilin, 2017, pp. 1-5.

12. X. Zhang and M. Yu, "Opportunistic routing in multihop wireless networks with MIMO," in Proceedings of the IEEE INFOCOM 2016, Shanghai, 2016, pp. 1732-

1740.

13. R. Pabst, “Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and Others: Wireless Protocols Comparison for Internet of Things (IoT),” in 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), 2016, pp. 886-891.

14. N. Benvenuto, G. Cherubini, F. Cuomo, and A. Rak, “On the Performance of Mobile Wi-Fi Hotspots,” in 2018 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2018, pp. 614-619.

15. Rangan, S., Taori, R., & Talwar, S. (2018). High-Performance Wi-Fi networks: Issues, solutions, and research directions. IEEE Communications Magazine, 52(1), 164-171. https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.6705898 (дата звернення 16.10.2023)

16. Cisco. (2018). Wireless LAN Controller Configuration Guide, Release 8.3: Wireless LAN Controllers. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/8-3/config-guide/b_cg83/wireless_lan_controller_configuration_guide_bc83.html (дата звернення 08.11.2023)

17. Kamesh Medepalli et al., "Voice Capacity of IEEE 802.11b, 802.11a and 802.11g Wireless LANs," in Proc. IEEE Globecom, 2014.

18. Jeonggyun Yu et al., "Supporting VoIP Services in IEEE 802.11e WLANs," in Proc. QShine 2009, Nov. 2017.

19. Paolo Dini et al., "Distributed Call Admission Control for VoIP over 802.11 WLANs based on Channel Load Estimation," in Proc. IEEE ICC, 2017.

20. Lin X. Cai et al., "Voice Capacity Analysis of WLAN With Unbalanced Traffic," IEEE Transactions of Vehicular Technology, vol. 55, no. 3, May 2016.

21. IEEE 802.11 Working Group. (2016). IEEE 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. https://ieeexplore.ieee.org/document/7786995 (дата звернення 10.11.2023)

22. G. Bianchi, "802.11ax: High-Efficiency Wireless LANs," IEEE Wireless Communications, vol. 26, no. 1, pp. 96-102, Feb. 2019. doi: 10.1109/MWC.2019.1800028.

23. M. A. Zohaib et al., "Performance evaluation of IEEE 802.11ax WLANs in realistic outdoor scenarios," IEEE Access, vol. 8, pp. 206456-206471, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035829

24. E. Perahia and R. Stacey, "Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac," Cambridge University Press, 2018.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Презентація по магістерській роботі на тему:

МЕТОДИ QUALITY OF SERVICE І ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СТАНДАРТУ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ 802.11



Виконав: студент
Жудін Віталій Олександрович

МЕТА РОБОТИ

Об'єкт дослідження – процес взаємодії і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11.

Предмет дослідження – якість обслуговування (***Quality of Service***) в бездротових мережах.

Мета роботи – дослідження засобів забезпечення якості послуг в бездротовій мережі.

Основні елементи бездротової мережі



Вплив Quality of Service на достовірності обробки інформації та якість послуг в телекомунікаційній системі

1. Пріоритизація: QoS дозволяє відмінити важливість окремих потоків даних у мережі, виділяючи пріоритети для критичних або чутливих до затримок додатків, таких як голосові та відеодзвінки. Це забезпечує стабільність і надійність для таких додатків навіть під час мережевих перевантажень.

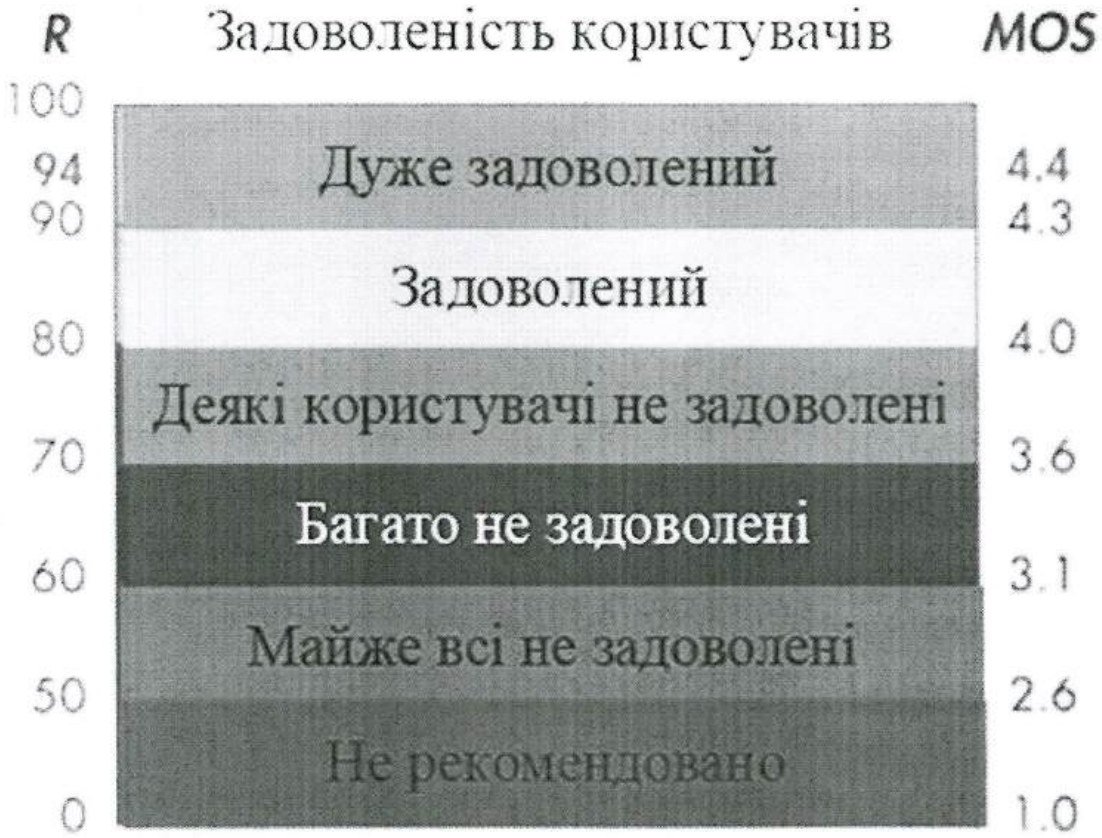
2. Мінімізація затримок: QoS може впорядковувати та балансувати потоки даних, зменшуючи час очікування та забезпечуючи швидше обслуговування. В результаті забезпечується стабільність інформаційного обміну.

3. Контроль пропускної здатності: QoS забезпечує більш рівномірний розподіл пропускної здатності між різними користувачами та додатками, що допомагає запобігти відмовам в обробці інформації та підвищує стабільність системи.

4. Запобігання перевантаження: QoS допомагає управляти мережевими ресурсами і передбачити та запобігти перевантаженню системи, що може вплинути на надійність і якість передачі даних.

5. Моніторинг та регулювання: QoS дозволяє моніторити і налаштовувати параметри телекомунікаційної системи в реальному часі, допомагаючи адміністраторам мережі розуміти поточний стан системи, виявляти проблеми та вживати необхідні заходи для забезпечення надійності обробки інформації. Це допомагає підтримувати високу якість телекомунікаційних послуг та відповідність вимогам користувачів.

Параметри якості послуг в телекомунікаційній системі



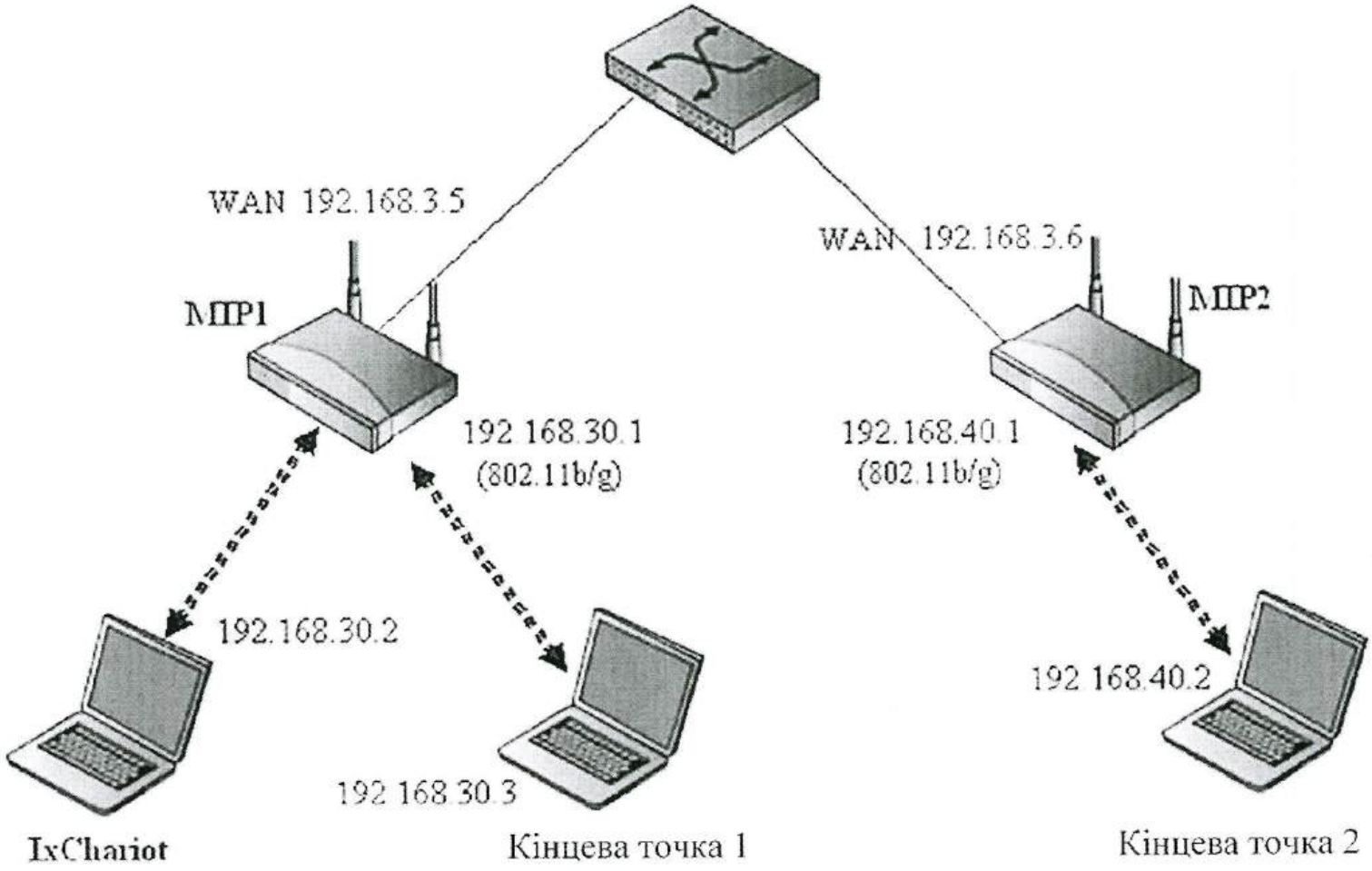
Задоволеність користувача залежно від MOS і R-фактора

Втрата пакетів - це може мати різні причини, зазвичай це викликано перевантаженою мережею.

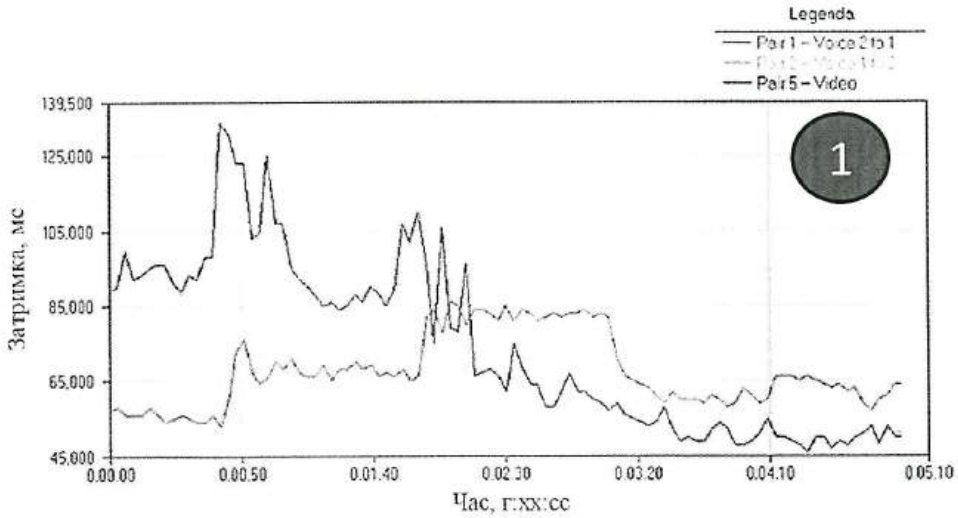
Затримка - час від моменту надсилання пакета клієнтом-відправником до отримання його одержувачем.

Джиттер - оскільки пакети не завжди надходять з однаковою затримкою. Це може бути викликано змінним часом очікування у вузлах або перевантаженням мережі.

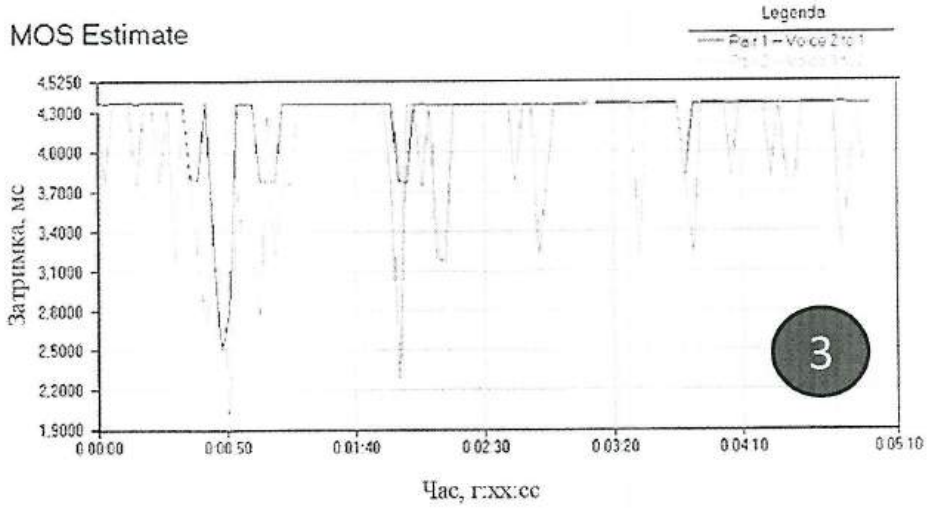
Проектування бездротової мережі



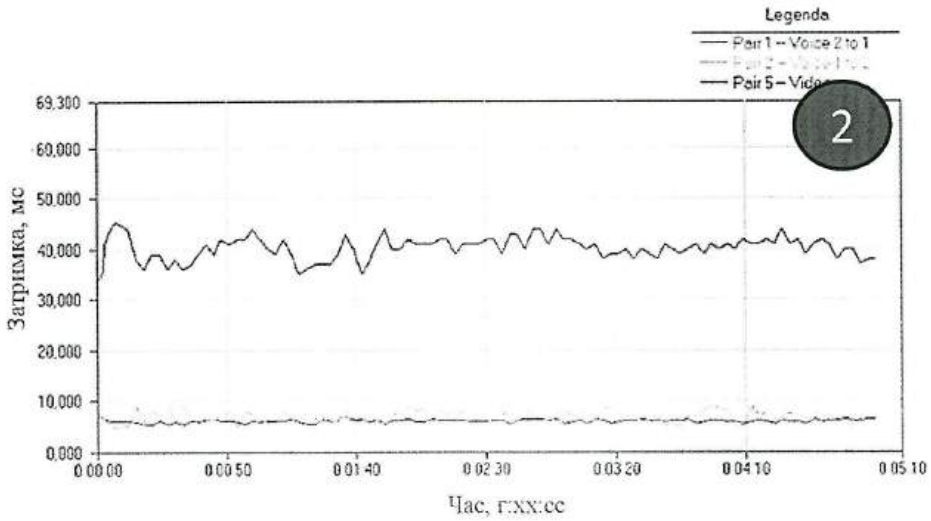
Результати моделювання



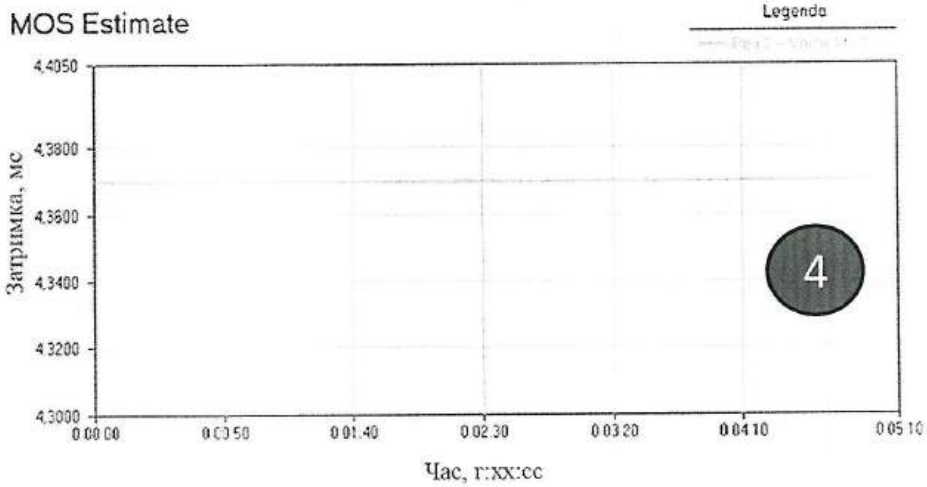
Затримка голосу та відео без QoS



MOS без QoS



Затримка голосу та відео з QoS



MOS під час зв'язку з QoS від 1-ої станції до 2-ї

ВИСНОВКИ

В роботі досліджено бездротові мережі 802.11. Описано основні стандарти та їх проекти.

Робота поділена на розділи, з яких два є теоретичними та 1 практичним. Теоретична частина містить вичерпний огляд усіх стандартів, історії бездротових мереж і технологій. Далі тут аналізується підтримка якості обслуговування в бездротових мережах і більш детально стандарт 802.11e.

У практичній частині описана конфігурація мережі, в якій проводилися вимірювання. Остання частина – це вже впровадження підтримки якості обслуговування, програмне вимірювання IxChariot, оцінка результатів і відмінностей між мережевим трафіком з підтримкою якості обслуговування та без нього.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі "Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2".

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Віталій ЖУДІН

Назва: Методи Quality of service і особливості побудови стандарту безпроводового зв'язку 802.11

Координатор: Андрій ЛЕМЕШКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :7.8

Коефіцієнт подібності 2 :3.5

Тривога: 10

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*