

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерних наук та технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему СИСТЕМА АНАЛІЗУ ПЕРЕДАЧІ МЕДІА-ДАНИХ
В КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ

Виконав: студент 2 курсу, групи КНТ-612м
спеціальності _____

123 Комп'ютерна інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Спеціалізовані комп'ютерні системи

БЕЛОГЛАЗОВ А.О.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КАСЬЯН К.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ЄФИМЕНКО М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Комп'ютерних наук і технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»
Ступінь вищої освіти магістерський
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) «Спеціалізовані комп'ютерні системи»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Кудерметов Р.К.

“24” жовтня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

БЄЛОГЛАЗОВУ Артему Олександровичу

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Система аналізу передачі медіа-даних в комп'ютерній мережі

керівник проєкту (роботи) к. т. н., доцент, КАСЬЯН Костянтин Миколайович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” жовтня 2023 року № 400

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Аналіз вимог дослідження. Розробка мереж для передачі даних. Оцінка якості медіа-даних в мережах. Дослідження якості передачі медіа-даних. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1-4	КАСЬЯН К. М., доцент		
нормоконтроль	ЩЕРБАК Н. В., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 01.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз наявних методів та алгоритмів використання медіа-даних в комп'ютерних мережах	10.10.2023 р.	
2	Розробка нейронної мережі	15.10.2023 р.	
3	Вибір мережевого протоколу	20.10.2023 р.	
4	Реалізація системи тестування	05.10.2023 р.	
5	Дослідження моделі безпечного середовища	20.11.2023 р.	
6	Оформлення отриманих результатів у ПЗ	25.11.2023 р.	
7	Оформлення графічного матеріалу	01.12.2023 р.	
8	Оформлення допоміжного матеріалу	10.12.2023 р.	

Студент  Артем БЄЛОГЛАЗОВ
(підпис) (ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)  Костянтин КАСЬЯН
(підпис) (ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 70 с., 29 рис., 5 табл., 20 джерел.

ПЕРЕДАЧА МЕДІА-ДАНИХ, КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ, ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ, ОЦІНКА ЯКОСТІ, МЕТОДИКА MOS, ПРОТОКОЛ SIP, ВТРАТА ПАКЕТІВ, ПАРАМЕТРИ МЕРЕЖІ.

Об'єкт дослідження - процеси передачі та аналізу медіа даних в комп'ютерних мережах.

Предмет дослідження- методи та засоби підвищення якості та безпеки передачі медіа даних в комп'ютерних мережах.

Мета дослідження - підвищення якості та безпеки передачі медіа даних в комп'ютерних мережах на основі розробки та дослідження моделі аналізу медіа даних.

Практичні результати роботи. Розроблено модель аналізу передачі медіа даних в комп'ютерних мережах. Досліджено ефективність запропонованої моделі за допомогою комп'ютерного моделювання. Надано рекомендації щодо практичного застосування результатів дослідження.

Наукова новизна роботи.. Вперше запропоновано використання штучних нейронних мереж для аналізу якості передачі медіа даних в реальному часі. Дістало подальшого розвитку використання критеріїв MOS та PESQ для оцінювання якості медіа даних в комп'ютерних мережах.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's work: 70 pages, 29 figures, 5 tables, 20 sources.

MEDIA DATA TRANSMISSION, COMPUTER NETWORKS, QUALITY OF SERVICE, ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, QUALITY ASSESSMENT, MOS METHODOLOGY, SIP PROTOCOL, PACKET LOSS, NETWORK PARAMETERS.

The object of consideration is the process of transmission and analysis of media data in computer networks.

The subject of consideration is methods and means of increasing productivity and the absence of transmission of mass media in computer systems.

Meta-research - improving the quality and unemployment of media data transmission in computer applications for basic development and continuation of media data analysis models.

Practical results of work. A model of the analysis of media data transmissions in computer networks has been developed. The effectiveness of the requested model for additional computer modeling has been proven. There are recommendations on practical results of consideration.

The latest scientific work.. First, it was proposed to use neural networks to analyze the quality of data transmission at the first time. An additional resolution has been established for compliance with the MOS and PESQ criteria for assessing the quality of media data on computers.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
Вступ	8
1 Аналіз вимог дослідження	10
1.1 Аналіз технологій передачі медіа-даних в комп'ютерних мережах	10
1.2 Якість обслуговування	15
1.3 Етапи дослідження	21
1.4 Висновки до розділу 1	22
2 Розробка мереж для передачі медіа-даних	23
2.1 Протоколи мереж	23
2.2 Розробка мережі	30
2.3 Архітектура мережі	33
2.4 Висновки до розділу 2	35
3 Оцінка якості передачі медіа-даних	36
3.1 Штучні нейронні мережі	36
3.2 Навчання нейронної мережі	44
3.3 Параметри якості послуг	48
3.4 Огляд кодеків	51
3.5 Висновки до розділу 3	53
4 Дослідження якості передачі медіа-даних	54
4.1 Оцінка якості передачі медіа-даних	54
4.2 Експериментальне дослідження	57
4.3 Висновки за розділом	62
Висновки	63
Перелік джерел посилання	65

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AI	- Artificial Intelligence;
B-ISDN	- Broadband Integrated Services Digital Network;
CS-ACELP	- Conjugate Structure Algebraic Code-Excited Linear Prediction;
GPL	- GNU General Public License;
HTTP	- Hypertext Transfer Protocol;
IP	- Internet Protocol;
ISDN	- Integrated Services Digital Network;
ITU	- International Telecommunication Union;
MC	- Multipoint Controller;
MCU	- Multipoint Control Unit;
MOS	- Mean Opinion Score;
MP	- Multipoint Processor;
PESQ	- Perceptual Evaluation of Speech Quality;
QoS	- Quality of Service;
RTCP	- RTP Control Protocol;
RTP	- Real-time Transport Protocol;
SDP	- Session Description Protocol;
SIP	- Session Initiation Protocol;
SMTP	- Simple Mail Transfer Protocol;
SNR	- Signal-to-Noise Ratio;
SSNR	- Segmental Signal-to-Noise Ratio;
TCP	- Transmission Control Protocol;
UDP	- User Datagram Protocol.

ВСТУП

У сучасну епоху цифрових технологій аналіз передачі медіа-даних у комп'ютерних мережах став критичною необхідністю. Зі збільшенням обсягу та різноманітності мультимедійного вмісту, який передається через ці мережі, життєво важливо розробити надійну систему для аналізу передачі медіа-даних. Традиційним методам часто важко впоратися з величезною кількістю інформації, що передається, що призводить до неефективності та неповного аналізу [1].

Швидка еволюція цифрових медіа-форматів і протоколів створює виклик для існуючих систем. Вони часто не в змозі адаптуватися до новітніх медіа-технологій, що робить їх неадекватними для виявлення та пом'якшення нових загроз і вразливостей. Ця проблема може призвести до порушень безпеки, конфіденційності та загального зниження продуктивності мережі [2].

Недоліком передачі медіоданих в мережах є відсутність можливостей аналізу в реальному часі. В епоху, коли загрози мережевій безпеці розвиваються із загрозливою швидкістю, надзвичайно важливо мати систему, яка може виявляти потенційні ризики та реагувати на них. Без цього аналізу в реальному часі мережі залишаються вразливими до загроз.

Переваги розробки системи аналізу для передачі медіа-даних у комп'ютерній мережі є багатими. Така система може значно підвищити безпеку мережі шляхом виявлення та нейтралізації шкідливого вмісту, запобігання витоку даних і захисту конфіденційної інформації. Вона може покращити продуктивність мережі шляхом оптимізації передачі даних і зменшення вузьких місць.

Багатомодульна система аналізу може допомогти підприємствам і організаціям отримати цінну інформацію зі своїх комп'ютерних мереж. Обробляючи та розуміючи величезну кількість даних, що протікають через їхні мережі, вони можуть приймати більш обґрунтовані рішення, краще

націлювати свою аудиторію та оптимізувати свої стратегії доставки вмісту. Це призводить до підвищення ефективності та конкурентної переваги [3].

Підсумовуючи, розробка системи для аналізу передачі медіа-даних у комп'ютерній мережі є необхідністю в сучасному цифровому просторі. Вона вирішує критичні проблеми, такі як масштабованість, адаптивність і аналіз у реальному часі, водночас пропонуючи безліч переваг, включаючи покращену безпеку, покращену продуктивність мережі. Актуальність цього дослідження незаперечна, оскільки це напрям підтримки цілісності та ефективності комп'ютерних мереж у цифровому світі, що постійно розвивається.

1 АНАЛІЗ ВИМОГ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз технологій передачі медіа-даних в комп'ютерних мережах

Технології передачі медіа-даних у комп'ютерних мережах зазнали значного прогресу за останні роки, змінивши спосіб споживання та розповсюдження мультимедійного вмісту. Ці технології відіграють ключову роль у наданні різноманітних засобів масової інформації, включаючи відео, аудіо та зображення, користувачам по всьому світу. Важливість цього напрямку дослідження підкреслюється зростаючим попитом на високоякісне потокове передавання медіа, поширенням мультимедійних додатків і постійно зростаючою мережевою інфраструктурою [4] (рис. 1.1, 1.2).

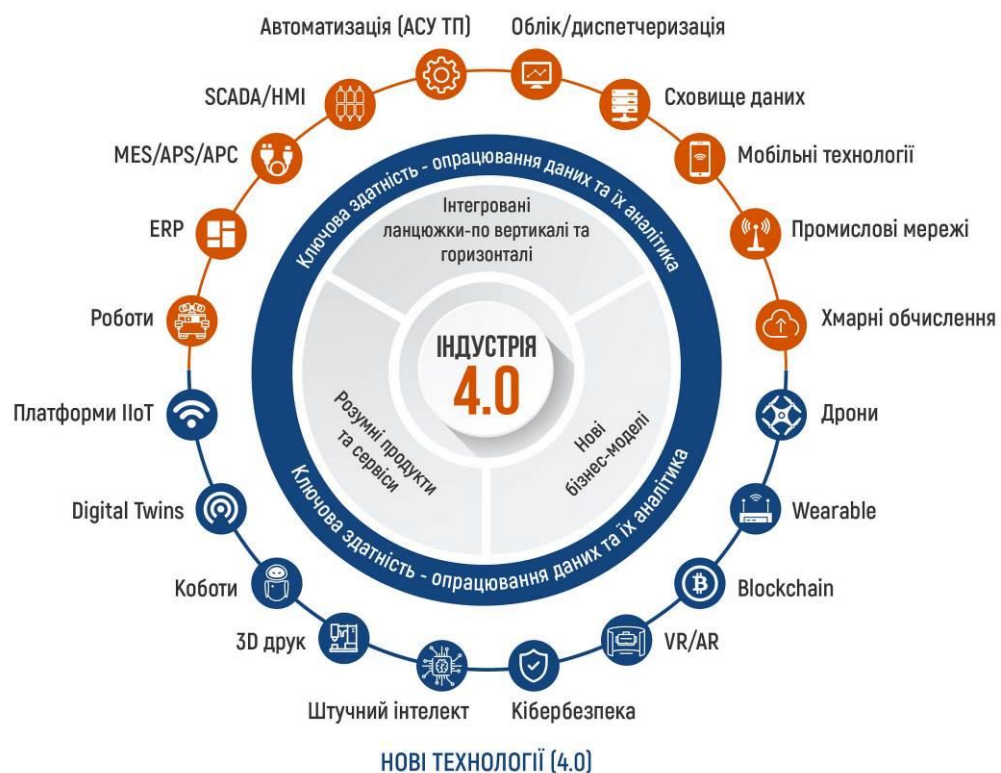


Рисунок 1.1 -Стек новітніх технологій

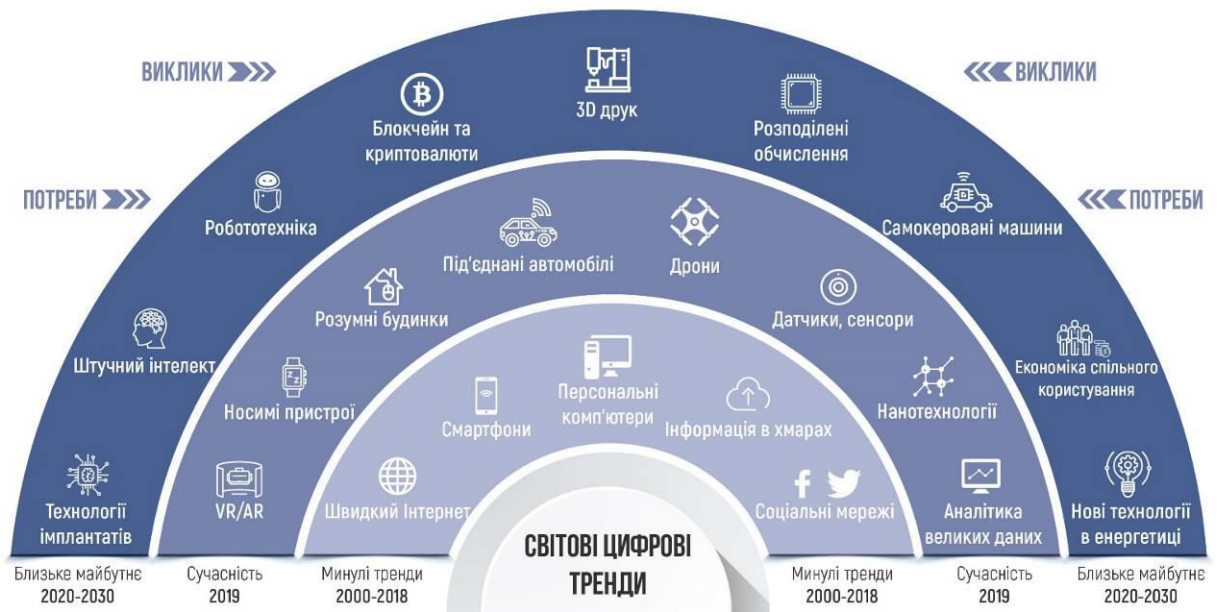


Рисунок 1.2 – Новітні цінності застосування технологій передачі даних

Однією з головних проблем у технологіях передачі медіа--даних є забезпечення ефективної та надійної передачі великих файлів, особливо в сценаріях із відео та аудіо високої чіткості. Величезний розмір медіа файлів у поєднанні з очікуваннями користувачів щодо безперервної потокової передачі вимагає високоякісних рішень. Це включає в себе використання передових методів стиснення та адаптивних поточкових протоколів, які динамічно регулюють якість медіа на основі доступної пропускної здатності глядача та можливостей пристрою.

Безпека та конфіденційність є найважливішими проблемами в технологіях передачі медіа-даних. Захист контенту від піратства, несанкціонованого доступу та втручання є важливим, особливо в таких галузях, як керування цифровими правами (DRM). Методи шифрування та цифрових водяних знаків необхідні для захисту інтелектуальної власності творців вмісту та забезпечення конфіденційності для кінцевих користувачів [5].

Масштабованість є однією важливою проблемою при передачі даних. Мережі повинні бути в змозі відповідати різкому попиту на трансляції спортивних подій або випуски нових фільмів. Мережі доставки вмісту (CDN)

з'явилися як рішення, стратегічно розповсюджуючи вміст на межові сервери, щоб зменшити затримку та покращити взаємодію з користувачем. Мережі однорангового обміну (P2P), які дозволяють користувачам обмінюватися медіа-контентом напрямку, також забезпечують масштабованість, але мають власний набір проблем [6].

Машинне навчання відіграє дедалі важливішу роль у технологіях передачі даних. Алгоритми можуть аналізувати медіа дані в режимі реального часу, виявляючи та усуваючи проблеми втрати пакетів, артефакти стиснення та погіршення якості сигналу. Це покращує якість наданого вмісту та забезпечує безперебійну взаємодію з користувачем [7].

Технології передачі медіа-даних у комп'ютерних мережах є забезпечують ефективне та безпечне поширення мультимедійного контенту. Сучасна ера розвитку телекомунікацій супроводжується різким зростанням попиту на інформаційні та комунікаційні послуги, зокрема зростаюча залежність від IP-телефонії. У відповідь на цей зростаючий попит оператори зв'язку займаються модернізацією існуючих мереж і будівництвом нових з метою сприяння поступовому переходу до мультисервісних мереж.

Передача медіа даних у IP-мережах, широко відома як IP-телефонія або VoIP, висуває суворіші вимоги до мережевої інфраструктури, ніж багато інших програм. Ступінь доступності мережі, втрата пакетів і затримка значно впливають на якість передачі голосу в IP-мережах [6] (рис. 1.3).

Якість передачі медіа в IP-мережах залежить від кількох критичних параметрів, включаючи пропускну здатність каналу передачі даних, втрати пакетів, затримки, дисперсію затримок, а також конкретний кодек VoIP і пов'язані з ним параметри [7].



Рисунок 1.3 - Передача медіа даних у IP-мережах

Методи, що використовуються для оцінки якості системи передачі медіа сигналу, в першу чергу залежать від цільового призначення системи, будь то звук чи відео. Тим не менш, усі ці системи в кінцевому підсумку обертаються навколо сприйняття звуку слуховою системою людини (рис. 1.4).

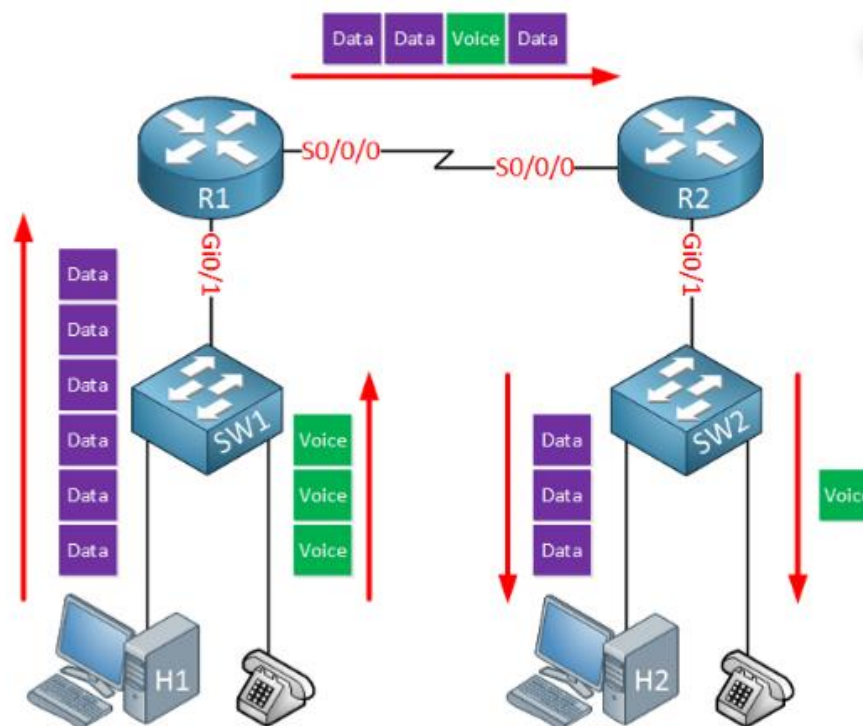


Рисунок 1.4 – Формат передачі даних

Коли звук та відео передається по каналах зв'язку, вона розглядається як стохастичний процес, а її характеристики визначаються такими параметрами, як динамічний діапазон, пропускна здатність і відношення сигнал/шум. Ці параметри піддаються кількісному виміру та можуть бути точно визначені. Однак важливо визнати, що звук і відео, з точки зору людини, суб'єктивно оцінюється та відповідає принципам психофізіологічного стану [8].

Тому виникає ситуація, коли об'єктивна оцінка якості спирається на різні метрики, але вони ніколи не можуть повністю відтворити систему сприйняття людини. Без урахування цих тонкощів у безпосередній передачі медіа стає очевидним, що об'єктивна оцінка якості повинна узгоджуватися з суб'єктивною оцінкою.

До недавнього часу не існувало послідовних кількісних показників, які комплексно визначали б якість передачі медіа в мережах зв'язку з урахуванням того, як вона суб'єктивно сприймається користувачами. Спочатку ITU запропонував підхід (Рекомендації ITU R.800), який ґрунтувався на суб'єктивних оцінках якості передачі медіа, використовуючи такі терміни, як «відмінна якість», «хороша якість» і «прийнятна якість». На жаль, суб'єктивні оцінки не можна точно співвіднести з характеристиками мережі, які використовуються при проектуванні та експлуатації, а також безпосередньо порівняти з процесами, реалізованими в кінцевому обладнанні. Ці процеси включають алгоритми стиснення, схеми кодування, механізми захисту даних, відновлення даних тощо [8] (рис. 1.5).

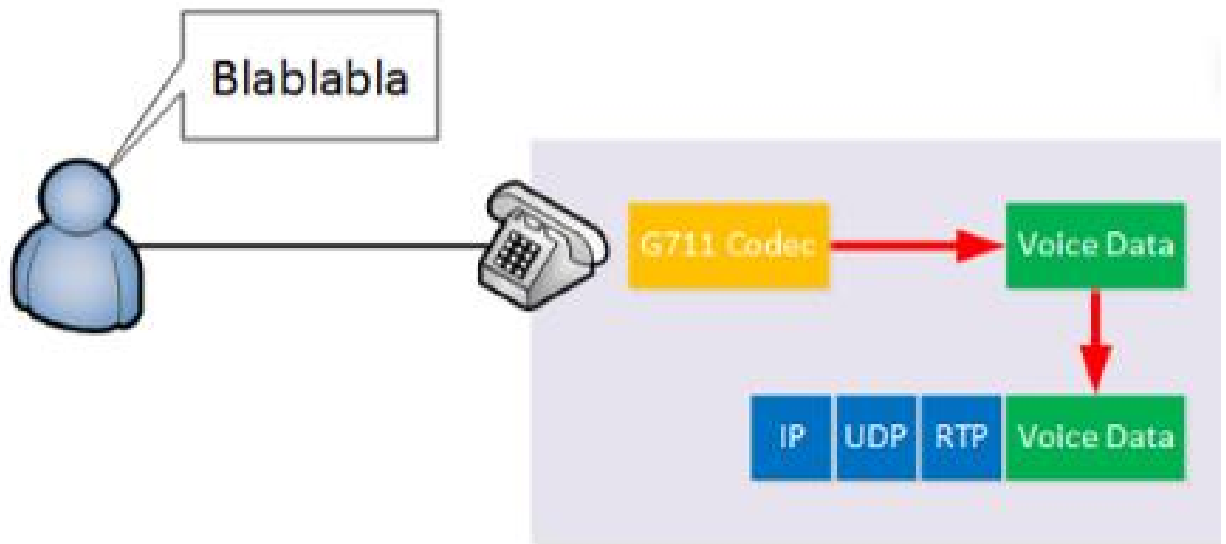


Рисунок 1.5 – Передача медіа даних

Однак суб'єктивні оцінки залишалися основним методом оцінки якості в телефонних мережах протягом багатьох років і все ще зберігають певну актуальність сьогодні. ITU стандартизував підхід, який зосереджується на об'єктивних оцінках якості послуг, що дозволяє описувати показники якості для мовної передачі в пакетному форматі (рекомендація ITU G.107).

1.2 Якість обслуговування

Концепція якості обслуговування (QoS) була центром постійних досліджень і стандартизації зусиль у розвитку телекомунікацій. Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) зіграв ключову роль у формуванні різних аспектів концепції QoS. Це включає формулювання стандартів і вимог до показників якості обслуговування, стандартизацію мережних механізмів, які забезпечують необхідні атрибути QoS, і встановлення фундаментальних визначень [9] (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Параметри якості обслуговування

Рекомендація ITU E.800 займає центральне місце серед стандартів, що стосуються якості послуг у телекомунікаціях. Він визначає якість послуги як «сукупний ефект робочих характеристик послуги, який визначає ступінь задоволеності користувача даною послугою». Розширюючи цю концепцію, Рекомендація ITU G.1000 розбиває експлуатаційні характеристики послуг на функціональні компоненти та пов'язує їх із характеристиками мережі, визначеними в кількох рекомендаціях ITU, включаючи I.350, Y.1540 та Y.1541 [9].

Рекомендації ITU G.1010 виключають специфікації вимог до програм, орієнтованих на кінцевого користувача, у сфері якості обслуговування. Численні статті, книги та монографії присвячені темі якості обслуговування, відображаючи її історичне значення.

Історично склалося так, що початкові системи оцінювання та механізми підтримки якості послуг були націлені насамперед на традиційні телекомунікації. Однак із широким впровадженням мереж передачі даних, швидким впровадженням широкосмугових технологій актуальність параметрів якості обслуговування та механізмів підтримки в телеграфних мережах зменшилася [10].

При будівництві та експлуатації телефонних мереж загального користування забезпечення гарантованої якості обслуговування було

синонімом дотримання встановлених норм, включаючи визначені показники якості передачі мови, як це задокументовано ITU та ETSI.

Сервісна модель у TmZK ґрунтувалася на встановленні з'єднання, яке пізніше поширилося на такі технології передачі даних, як X.25, Frame Relay та широкосмгові цифрові мережі інтегрованого обслуговування (B-ISDN) на основі моделі віртуальних каналів. У мережах B-ISDN рекомендації ITU та керівні принципи Форуму АТМ визначили параметри якості обслуговування та методи вимірювання для наскрізних з'єднань [11].

На відміну від згаданих технологій, класичні IP-мережі використовують підхід доставки пакетів дейтаграм без з'єднання, де переважає принцип «максимальних зусиль». «Максимальні зусилля» передбачає справедливий розподіл ресурсів між користувачами, при цьому трафік передається на максимальній швидкості залежно від умов мережі, хоча й без гарантованого попередньо визначеного рівня якості обслуговування. У цьому підході відсутні відмінності між різними типами трафіку, не надається гарантія порядку доставки пакетів, часу або повноти.

Концепція «максимальних зусиль» ефективна для програм передачі даних не в режимі реального часу, таких як електронна пошта та передача файлів, і вона може частково задовольнити вимоги сучасної телефонії, включаючи передачу голосу через IP та інші програми в режимі реального часу, завдяки надлишковій мережі ресурсів у волоконно-оптичних транспортних мережах [12].

Однак, коли нестача ресурсів призводить до збільшення ймовірності втрати пакетів і затримок, програми реального часу стикаються з проблемами щодо відповідності критеріям якості обслуговування. Насамперед це пов'язано з принциповою роботою IP-мереж, які передають дані в режимі дейтаграми без встановлення або керування з'єднанням.

Поява нових додатків, особливо тих, що включають вимоги в режимі реального часу, такі як інтерактивна передача мови, відеотелефонія та відеоконференції, зробила забезпечення якості обслуговування в IP-мережах

складною проблемою. Це підкреслює, чому QoS в IP-мережах залишається в центрі уваги ITU, ETSI, IETF та інших організацій зі стандартизації телекомунікацій.

В даний час існує загальноприйняте уявлення про те, що мережі з комутацією каналів і комутацією пакетів поступово зближуються до спільної інфраструктури, побудованої на протоколах сімейства IP (рис. 2.2).

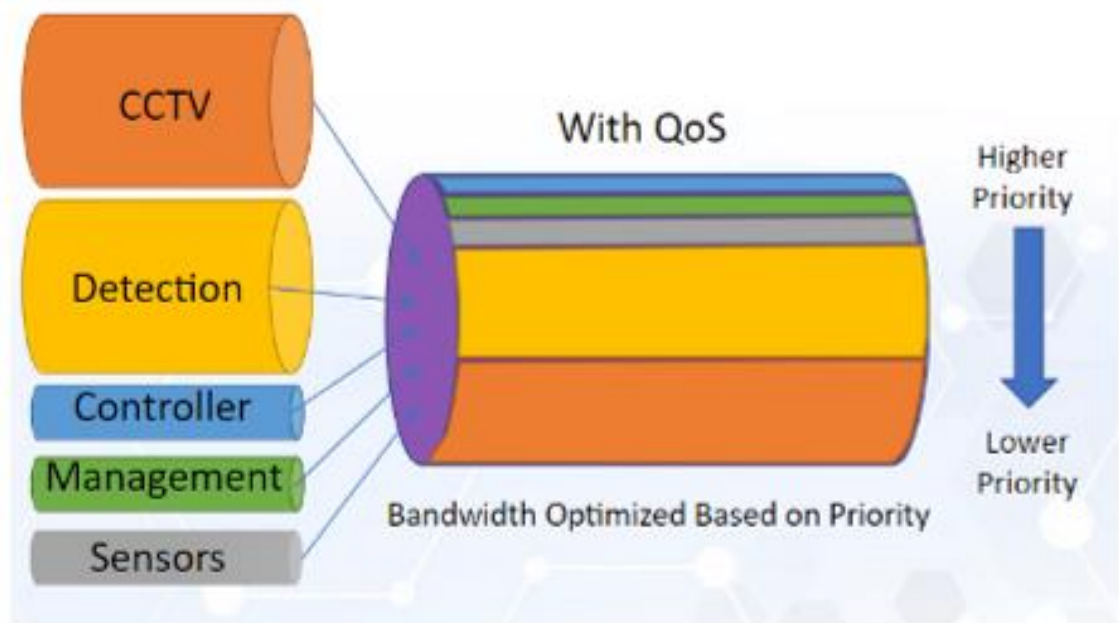


Рисунок 2.2 – Стандарти QoS

Конвергенція передбачає створення інфраструктури, яка може ефективно обробляти трафік телефонної мережі, дані телевізійної мережі та дані з програм, які традиційно залежать від Інтернету. Цей сценарій конвергенції пропонує економічні переваги завдяки поєднанню технологій і прокладає шлях для розвитку телекомунікаційного сектору шляхом впровадження нових послуг [13].

Процес конвергенції просувався повільно. Це повертає до проблеми забезпечення необхідної якості обслуговування, значної перешкоди в конвергенції мережі та послуг, а також до створення єдиної мережі на основі IP. Щоб повністю використати переваги конвергенції в майбутніх мережах,

орієнтованих на IP, вкрай необхідно розробити нові принципи розподілу мережевих ресурсів і управління трафіком. Ці принципи повинні гарантувати різні рівні якості обслуговування для широкого спектру програм, які використовуються кінцевими користувачами. Одночасно процеси розподілу ресурсів і управління трафіком повинні бути добре скоординованими, враховуючи різноманітні вимоги численних додатків із суттєво різними потребами продуктивності мережі, як показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вплив параметрів мережі на характеристики якості

Параметр	Вплив	Опис параметру
Пропускна здатність	Високий	пропускна здатність є критичним параметром для широкосмугових мереж. Здатність мережі передавати дані з необхідною швидкістю безпосередньо впливає на продуктивність програм. Недостатня пропускна здатність може призвести до повільної передачі даних, буферизації в потокових програмах і поганої взаємодії з користувачем.
Звукові дані	Середній	Передача голосу, наприклад виклики VoIP, помірно чутлива до пропускну здатності мережі. Хоча їм не потрібна надзвичайно висока пропускна здатність, мінімальний рівень пропускну здатності є важливим для забезпечення чіткого та безперебійного голосового зв'язку. Перевантажені мережі можуть призвести до погіршення якості голосу.

Продовження таблиця 2.1

Параметр	Вплив	Опис параметру
Кредитні транзакції	Низька	Транзакції банків передбачають використання текстових даних, а вимоги до пропускну здатності є мінімальними. Чутливість до смуги пропускання низька, якщо пропускну здатності достатньо для встановлення та підтримки стабільного з'єднання для обробки транзакцій.
Email	Низька	Спілкування електронною поштою зазвичай не потребує пропускну здатності. Більшість електронних листів складаються з тексту та невеликих вкладень, що робить їх нечутливими до обмежень пропускну здатності. Однак швидша передача може покращити час доставки електронної пошти.
Відео дані	Висока	Відеоконференції дуже чутливі до пропускну здатності. Якість відео та аудіо в режимі реального часу залежить від достатньої пропускну здатності. Недостатня пропускну здатність може призвести до низької якості відео, затримок і збоїв у відеоконференціях.

Чутливість широкосмугових мереж до різних параметрів передачі даних змінюється відповідно до конкретних потреб кожної програми. Пропускна здатність є вирішальним фактором, оскільки такі програми, як відеоконференції та передача файлів, є дуже впливовими на мережу, тоді як текстові програми, такі як електронна пошта менш чутливі. Розуміння цих параметрів має важливе значення для оптимізації мережі та забезпечення бажаної якості обслуговування для різних типів передачі даних.

1.3 Етапи дослідження

У межах зусиль ІТУ зі стандартизації якості обслуговування в ІР-мережах виділимо ключові етапи для вирішення проблеми надання QoS (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Етапи дослідження якості

Номер етапу	Назва	Опис
1	Визначення робочих характеристик і норм	Цей початковий етап передбачає встановлення універсально узгодженого набору робочих параметрів для ІР-мереж і визначення відповідних норм. Метою є створення спільної основи для оцінки та забезпечення якості послуг.
2	Реалізація мережесхемних механізмів	Наступний етап зосереджується на розгортанні мережесхемних механізмів, які можуть гарантувати задані показники якості обслуговування в конфігурації "термінал-термінал". Ці механізми мають вирішальне значення для підтримки якості обслуговування
3	Включення показників якості в протоколи сигналізації	Іншим важливим кроком є інтеграція стандартизованих показників якості обслуговування в протоколи сигналізації. Це гарантує, що параметри якості ефективно передаються через мережу.
4	Розробка механізмів підтримки мережі	Останнім етапом є розробка комплексної архітектури механізмів підтримки мережі. Ця архітектура розроблена для забезпечення сталої та надійної якості обслуговування в ІР-мережах.

У 2002 році Дослідницька група ІТУ-Т 13 запровадила два міжнародні стандарти, які відповідають першому з цих етапів. Рекомендація ІТУ Y.1540 містить стандартизовані специфікації мережі для передачі пакетів у мережах

IP. Рекомендація ITU Y.1541 визначає норми для параметрів, зазначених у Y.1540, зокрема в контексті зв'язку між двома граничними мережевими інтерфейсами, які служать кінцевими точками, що з'єднують кінцеві пристрої кінцевих користувачів [14].

Дані рекомендації окреслюють шість різних класів якості обслуговування, кожен з яких адаптований до різних типів програм. Ці стандарти мають першочергове значення для всіх зацікавлених сторін у сфері телекомунікацій, включаючи операторів мереж, постачальників послуг, виробників обладнання та кінцевих користувачів.

Оператори мереж і провайдери послуг використовуватимуть дані рекомендації для планування, розгортання та оцінки IP-мереж, гарантуючи, що вони відповідають вимогам кінцевих користувачів до якості послуг [15].

Виробники обладнання покладаються на дані стандарти при розробці та налаштуванні обладнання, яке має відповідати специфікаціям, установленим постачальниками мереж, сприяючи сумісності та оптимізації продуктивності.

Кінцеві користувачі, особливо корпоративні клієнти, можуть використовувати рекомендації ITU Y.1540 і Y.1541 як інструменти для оцінки фактичної продуктивності IP-мереж. Це дозволяє визначити, чи відповідають мережі конкретним вимогам і очікуванням щодо якості обслуговування.

1.4 Висновки до розділу 1

Розвиток і стандартизація якості обслуговування (QoS) в мережах IP розкриває багато переваг та недоліків, пов'язаних з сучасними телекомунікаціями. Ключові етапи цього процесу включають визначення робочих характеристик і норм, впровадження мережних механізмів, вбудовування показників якості в протоколи сигналізації та розробку механізмів підтримки мережі. Рекомендації ITU Y.1540 і Y.1541 у 2002 році є

значним кроком на цьому шляху, пропонуючи стандартизовані специфікації мережі та норми разом із класами якості послуг для різних програм.

Підсумовуючи, стандартизація QoS в IP-мережах є динамічним і критичним фактором, який впливає на широкий спектр недоліків у секторі телекомунікацій. Ці стандартизовані рекомендації формують основу для покращення та забезпечення якості обслуговування в сучасних IP-мережах, сприяючи надійності та продуктивності різноманітних програм у цифровому середовищі.

2 РОЗРОБКА МЕРЕЖ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ МЕДІ-ДАНИХ

2.1 Протоколи мереж

Першим керівництвом для створення мереж IP-телефонії стало керівництво H.323 від ITU-T. H.323 - це піонерська специфікація для мультимедійних комунікаційних систем у мережах з пакетною комутацією без гарантії якості обслуговування. ITU-T, традиційно зосереджений на телефонних мережах, розробив це керівництво з акцентом на передачі телефонного трафіку через мережі з пакетною комутацією. Мережі, що базуються на H.323, взаємодіють з телефонними мережами, нагадуючи ISDN-мережі, нашаровані на мережі передачі даних. Їх процедура з'єднання в IP-телефонії використовує ITU-T Q.931 і є аналогічною до ISDN [16].

H.323 також передбачає різні методи стиснення голосових даних, забезпечуючи більш ефективне використання пропускну здатності, ніж у мережах з каналною комутацією. Цей підхід до IP-телефонії призначений для місцевих телефонних операторів або компаній з власними транспортними мережами, які хочуть надавати міжміські та міжнародні зв'язкові послуги через IP-мережі з пакетною маршрутизацією [17].

Основні елементи мережі включають термінали, шлюзи, привратники та

пристрої для управління конференціями. Важливо, що на відміну від ТмЗК-пристроїв, H.323 пристрої можна підключити в будь-якому місці IP-мережі. У мережі H.323 пристрої розділені на зони, кожною з яких керує привратник.

Термінал H. 323. Це пристрій, що входить до складу IP-телефонії, який забезпечує обмін голосовими або мультимедійними даними в обидві сторони з іншими терміналами, шлюзами, чи системами управління конференціями (див. рис. 2.3). Терміналом у мережі H. 323 може бути як звичайний телефон, так і ПК з встановленими мультимедійними програмами (наприклад, NetMeeting), використовуючи передплачені картки для дзвінків через шлюз. Також існують спрощені версії H.323 терміналів, що підтримують тільки аудіо або текстовий зв'язок за стандартом H.323, але не мають повного набору функцій класичних терміналів.

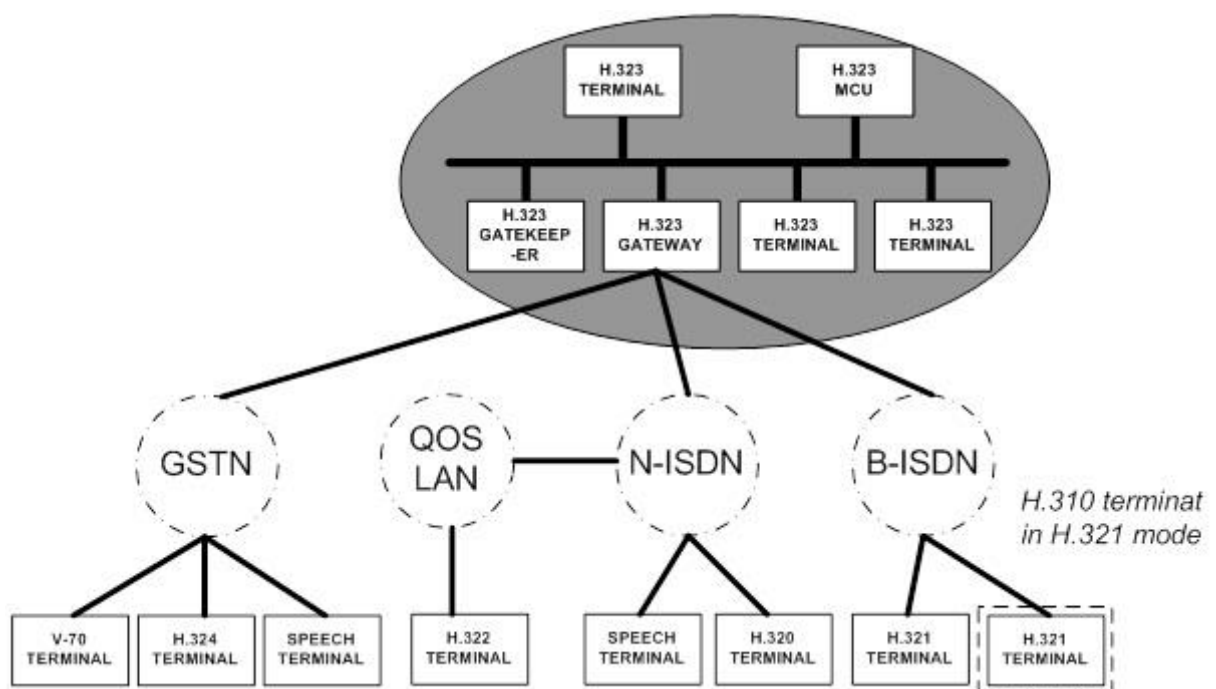


Рисунок 2.3 - Структура мережі H. 323

Інтерфейс користувача в системі дозволяє здійснювати та приймати дзвінки, налаштовувати та моніторити систему. Модуль управління обслуговує три типи сигналізації: H.225, H. 245, RAS, реєструє термінал у привратника, встановлює і завершує з'єднання, обмінюється необхідною

інформацією для відкриття розмовних каналів, надає додаткові послуги і технічне обслуговування. Телематичні додатки передають дані, нерухомі зображення, файли, забезпечують доступ до баз даних тощо. Стандартний протокол для цих застосувань - Т. 120. Модуль H.225.0 перетворює відео, мову, дані і сигнальну інформацію для передачі через IP-мережі та назад, розбиває інформацію на логічні кадри, пронумеровує послідовно передані кадри і виправляє помилки (рис. 2.4).

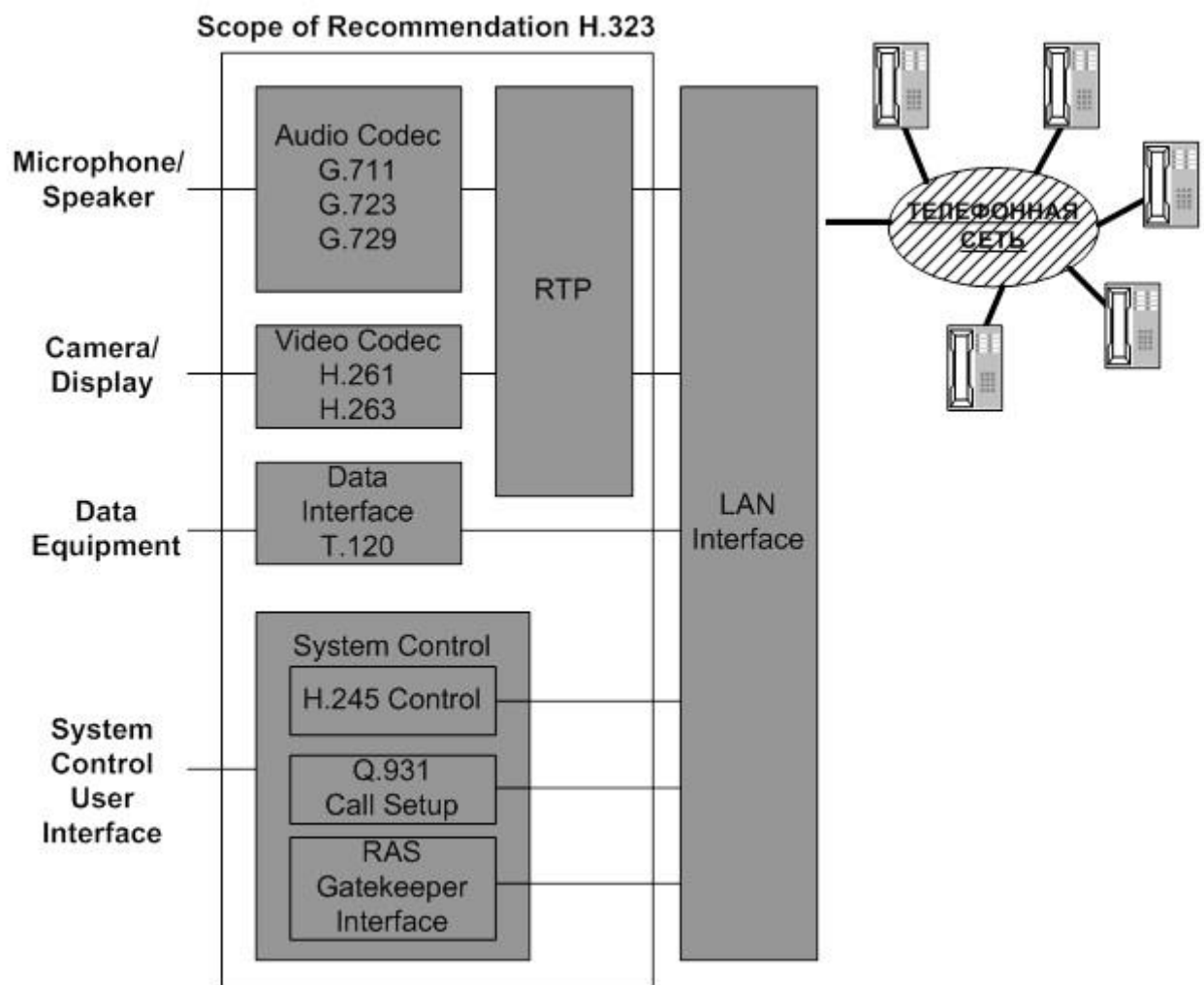


Рисунок 2.4 – Термінал

Мережевий адаптер забезпечує надійну передачу керуючих повідомлень H. 245 і сигнальних повідомлень H. 225.0 (Q.931), а також даних користувача через TCP, та передає аудіо-відео контент і повідомлення RAS через UDP без гарантій доставки [18].

Блок синхронізації запроваджує затримку на стороні приймача для забезпечення синхронності джерела і приймача інформації, координації аудіо-відео каналів і вирівнювання варіацій у затримках передачі даних.

Відеокодеки трансформують відео від зовнішніх джерел (камер, відеомагнітофонів) для передачі через IP-мережі і декодують прийняті сигнали для відтворення на моніторах або ТВ.

Аудіокодеки перетворюють аудіо від мікрофонів чи інших джерел для передачі через IP-мережі і декодують прийняті сигнали для відтворення. Вказана конфігурація є найповнішою для термінальних пристроїв, але звичайні телефони не мають відеокодеків [19].

Шлюз Н. 323 служить як міст між ТмЗК і IP-мережами, перетворюючи мовну (мультимедійну) інформацію з ТФОП у формат, придатний для IP-мереж, включаючи кодування, упаковку в пакети RTP/UDP/IP і зворотне перетворення. Шлюз також адаптує сигналізацію DSS1 і OKC7 у сигнальні повідомлення Н. 323.

У разі відсутності привратника в мережі, шлюз здійснює додаткову функцію - перетворення номерів ТмЗК у IP-адреси [20].

Шлюз може функціонувати як термінал або управляючий пристрій для конференцій у з'єднаннях з IP-мережами та ТмЗК, переходячи з одного режиму в інший за допомогою сигналізації Н. 245.

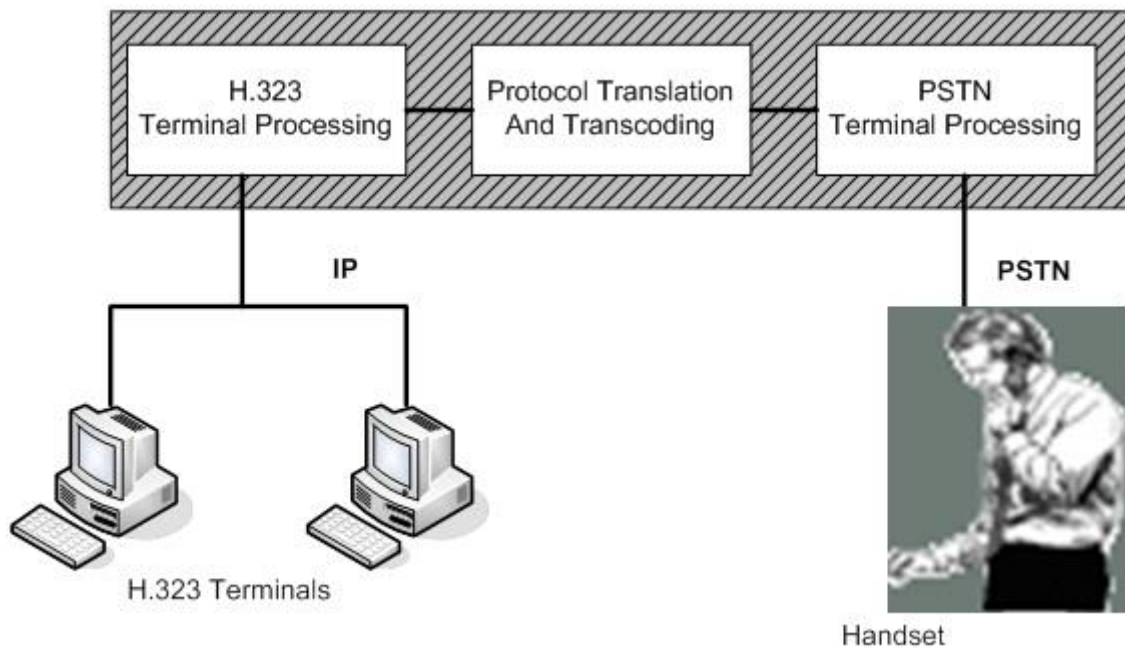


Рисунок 2.5 – Медіа-дані в мережі

Привратник у мережах H. 323 керує зоною IP-телефонії, що включає термінали, шлюзи і блоки конференцій. Зони можуть бути територіально розосереджені та з'єднані через маршрутизатори.

Ключові обов'язки привратника включають наступні функції:

- Конвертування так званих псевдонімів адрес (наприклад, імен абонентів, телефонних номерів, email адрес) у транспортні адреси IP-мереж (IP-адреси та TCP порти);
- Керування доступом користувачів до IP-телефонії через RAS сигналізацію, використовуючи повідомлення ARQ, ACF, та ARJ;
- Моніторинг та керування пропускною спроможністю мережі, а також її резервування;
- Маршрутизація сигнальних повідомлень між терміналами у одній зоні; привратник може встановлювати прямий сигнальний канал між терміналами або перенаправляти сигнали від одного терміналу до іншого.

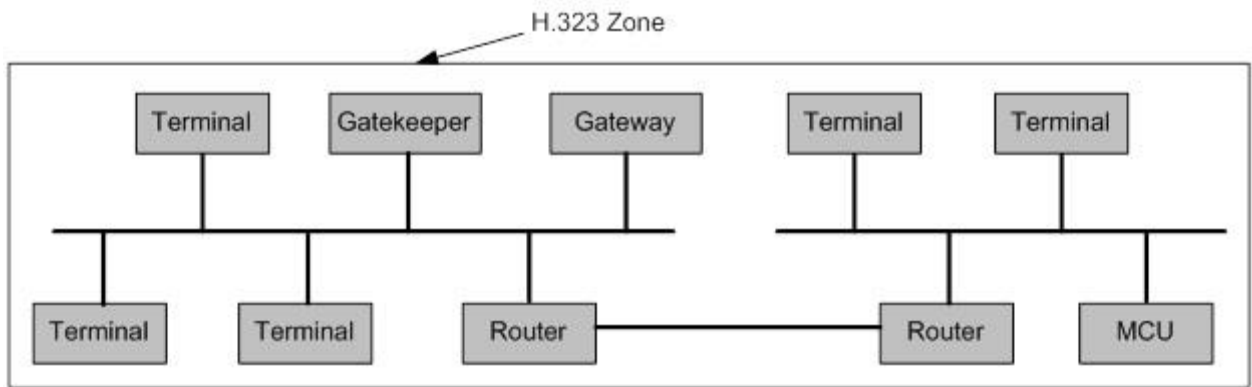


Рисунок 2.6 - Контролер

Привратник також забезпечує мобільність абонентів, дозволяючи користувачам доступатися до послуг з будь-якого терміналу в мережі та ідентифікувати користувачів, які переміщуються з одного місця в інше.

Якщо абонент знає IP-адресу викликаного терміналу, з'єднання між пристроями може бути налагоджено без привратника. Деякі функції привратника можуть бути передані шлюзу, наприклад, конвертація адреси викликаного абонента з формату E.164 у транспортну адресу IP-мережі.

В IP-телефонії однією з додаткових функцій є організація конференц-зв'язку, і згідно з рекомендацією H.323, існують три різновиди конференцій. Перша - централізований тип, де всі учасники підключаються до мультіконференц-уніта (MCU). MCU відповідає за налагодження, контроль та закінчення конференції, а також за управління потоками даних. Друга форма - децентралізована конференція, де учасники взаємодіють один з одним у режимі "точка-до-багатьох точок", і кожен кінцевий пристрій самостійно керує потоками даних від решти учасників.

Третій варіант - комбінована конференція, яка включає елементи обох попередніх форматів.

Централізована конференція вирізняється простотою вимог до кінцевого обладнання, але вимагає значних інвестицій у систему управління конференціями. У децентралізованій моделі потрібно складніше обладнання, і вона краще працює, коли мережа підтримує IP multicasting. Без цієї функції, кожен термінал передає дані кожному учаснику окремо, що стає

неефективним при збільшенні кількості учасників.

MCU завжди включає багатоточковий контролер (МС) і може містити один або декілька процесорів для обробки даних учасників при багатоточкових з'єднаннях (МР).

Протокол H.323 став одним із перших успішних комерційних протоколів ІР-телефонії, але його друга версія вже вважається застарілою і не пристосованою для багатьох сучасних мультимедійних послуг. Попри це, майбутнє H.323 не остаточно визначено, оскільки багато мереж побудовано на його основі, і розроблено нові версії протоколу. Версії 4 і 5 впроваджують більш затребувані мережеві функції і архітектуру, включаючи принцип декомпозиції шлюзу з четвертої версії.

У складі H.323 є три ключові протоколи: протокол взаємодії обладнання з привратником (RAS), протокол управління з'єднаннями H.225 і протокол управління логічними каналами H. 245. Ці протоколи взаємодіють з інтернет-протоколами TCP/IP, UDP, RTP, RTCP, а також з протоколом Q.931, як показано на рис. 2.5.

TCP-протокол (рис. 2.7) застосовується для передачі сигнальних повідомлень H.225 та керуючих повідомлень H, в той час як сигнальні повідомлення RAS передаються через UDP-протокол. Передача аудіо та відео здійснюється з використанням RTP/RTCP.

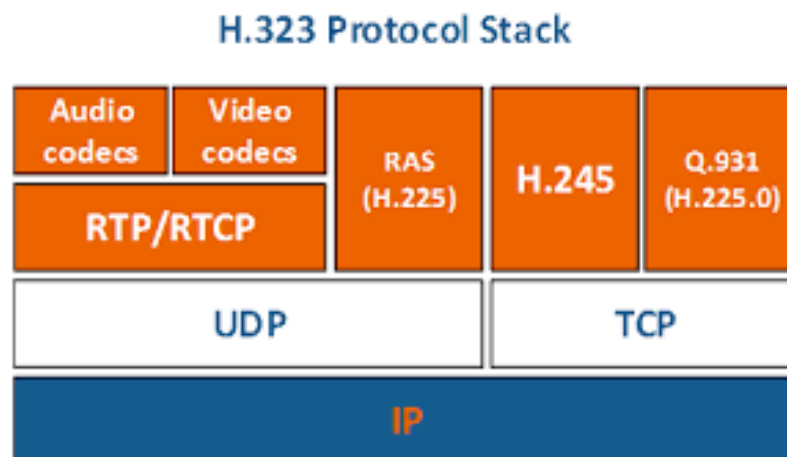


Рисунок 2.7 – Стек протоколу

Додатково, TCP забезпечує надійність у вигляді підтвердження отримання даних та повторного відправлення в разі втрати пакетів. Це критично важливо для забезпечення точності передачі керуючих повідомлень, де кожен біт має значення. Натомість, UDP використовується для швидшої, але менш надійної передачі, яка є прийнятною для сигнальних повідомлень RAS, де швидкість важливіша за абсолютну точність.

RTP/RCP, з іншого боку, оптимізовані для медіа-стрімінгу, забезпечуючи синхронізацію та підтримку якості сервісу для аудіо та відео. Це дозволяє реалізувати ефективне мережеве відео та аудіо, навіть у умовах змінної пропускної спроможності мережі. Отже, комбінація цих протоколів забезпечує гнучке та адаптивне рішення для комплексної передачі даних, яке відповідає різним вимогам точності, швидкості та якості.

2.2 Розробка мережі

Протокол SIP став альтернативним методом у створенні мереж. В мережах з пакетною комутацією протокол ініціалізації сеансів (SIP) набуває все більшої популярності. Розроблений IETF для пакетних мереж, SIP служить аналогічній меті, що і стандарт H.323, але має свої унікальні особливості. Відрізняючись від H.323, SIP зосереджений на інтеграції з Інтернет-службами, дозволяючи встановлення, зміну, та завершення мультимедійних зв'язків, включаючи голосові. SIP бере натхнення від відомих протоколів Інтернету, таких як HTTP та SMTP.

SIP описаний у документі RFC3261 (версія 2) і пов'язаний з іншими важливими документами, такими як RFC3265 (специфічні повідомлення подій SIP), RFC3665 (приклади основних потоків викликів SIP), RFC3372 (контекст та архітектура SIP-T), RFC3515 (метод наведення SIP), RFC3725 (кращі практики SIP для тристоронніх конференцій), RFC4028 (таймери сесій SIP), та

інші. SIP включає обмін інформацією через протокол опису сесії (SDP) згідно з RFC2327.

При розробці SIP були закладені такі ключові принципи:

- мобільність користувачів, що дозволяє отримувати послуги мережі незалежно від місця перебування. Для цього в мережі існує сервер реєстрації, де користувачі вказують своє розташування через повідомлення REGISTER;
- масштабованість, яка дозволяє створювати мережі різних розмірів та розширювати їх;
- розширюваність протоколу, яка вказує на можливість додавання нових функцій і послуг, а також адаптацію до різноманітних користувацьких додатків;
- взаємодія з іншими протоколами сигналізації, що забезпечує роботу з різними мережами та системами сигналізації, такими як H.323, MGCP, DSS1, і SS7.

Ключовою властивістю протоколу SIP є його інтеграція з Інтернет-протоколами, розробленими IETF, які описані в документах RFC. У контексті SIP для передачі мультимедійних даних використовуються такі протоколи, як RTP, RTCP, RSVP (протокол резервування ресурсів, RFC2205), RTSP (протокол передачі потокового контенту в реальному часі, RFC 2326).

SIP можна використовувати в різних пакетно комутованих мережах, таких як X.25, ATM, Frame Relay, серед інших. Проте, вибір часто падає на IP-мережі з протоколами TCP/IP. Сигнальні дані можуть передаватися через TCP або UDP, причому перевагу зазвичай віддають UDP. Для забезпечення надійності передачі сигнальних повідомлень при використанні UDP використовуються підтвердження прийому і повторні передачі.

SIP використовується для ініціації, управління та завершення комунікаційних сесій. Зазвичай сесія передбачає наявність щонайменше одного відправника та одного одержувача, між якими передається потік пакетів з сигнальною інформацією, аудіо, відео та іншими даними. У

мультимедійних з'єднаннях учасники можуть виступати як відправники, так і одержувачі. Мультимедійні сесії, такі як аудіоконференції, включають багатьох учасників. Сесії включають створення одного або декількох діалогів між двома користувацькими агентами, з використанням запитів типу INVITE і відповідей 2xx.

Через мережу SIP може передаватися будь-який тип мультимедійної інформації, включаючи аудіо, відео, дані та їх комбінації. Під час налаштування з'єднання обидві сторони обмінюються даними про свої функціональні можливості, такі як тип мультимедійного контенту, кодування, режим передачі пакетів (unicasting або multicasting), транспортну адресу для прийому інформації тощо, використовуючи протокол SDP, дані якого інтегровані у повідомлення SIP. Під час сесії можливе її модифікування, наприклад, переадресація дзвінків або зміни у передачі мультимедійних даних, знову ж таки за допомогою протоколу SDP.

Протокол ініціювання сеансів зв'язку (SIP)	Прикладний рівень
Протоколи TCP і UDP	Транспортний рівень
Протоколи IPv4 і IPv6	Мережевий рівень
PPP, ATM, Ethernet	Рівень ланки даних
UTP5, SDH, DDH, V.34 та ін.	Фізичний рівень

Рисунок 2.8 – Стек протоколів

SIP підтримує організацію централізованих, децентралізованих та комбінованих конференцій, подібно до тих, які описані для стандарту H.323. У документації SIP описуються тільки процедури, пов'язані з обміном

сигнальною та мультимедійною інформацією, без опису організації і керування конференціями. SIP дозволяє створювати конференції з одноадресною (unicasting) та багатоадресною (multicasting) розсилкою пакетів. У режимі unicasting кожному учаснику конференції передається індивідуальний мультимедійний потік, а у режимі multicasting всі мультимедійні пакети однієї сесії передаються з однією multicast-адресою. Мережа повинна забезпечити підтримку цього режиму. SIP також дозволяє додавати або видаляти учасників конференції під час її проведення.

2.3 Архітектура мережі

Мережа, що функціонує на базі протоколу SIP, створюється з використанням таких компонентів: SIP проксі-сервера, сервера реєстрації та терміналів. До терміналів належать програмні телефони (софтфони), IP-телефони та шлюзи. У структурі SIP, проксі-сервер і сервер реєстрації зазвичай поєднуються в одному пристрої.

Головні завдання SIP проксі-сервера включають управління викликами в мережі, надання доступу користувачам до послуг і їх аутентифікацію. Проксі-сервер приймає та обробляє запити, а потім здійснює відповідні дії на основі результатів обробки, такі як пересилання запиту до іншого вузла мережі, формування та відправлення відповідей, взаємодія з базою даних тощо.

Існують два типи SIP проксі-серверів: зі збереженням станів (stateful) і без збереження станів (stateless). Stateful сервери зберігають інформацію про всі вхідні та вихідні запити протягом транзакції, в той час як stateless сервери просто пересилають отримані запити і відповіді. Stateful сервери вимагають більшої продуктивності, але пропонують ширші можливості. Також можливий комбінований варіант проксі-сервера, який для різних користувачів працює в

різних режимах (рис. 2.9).

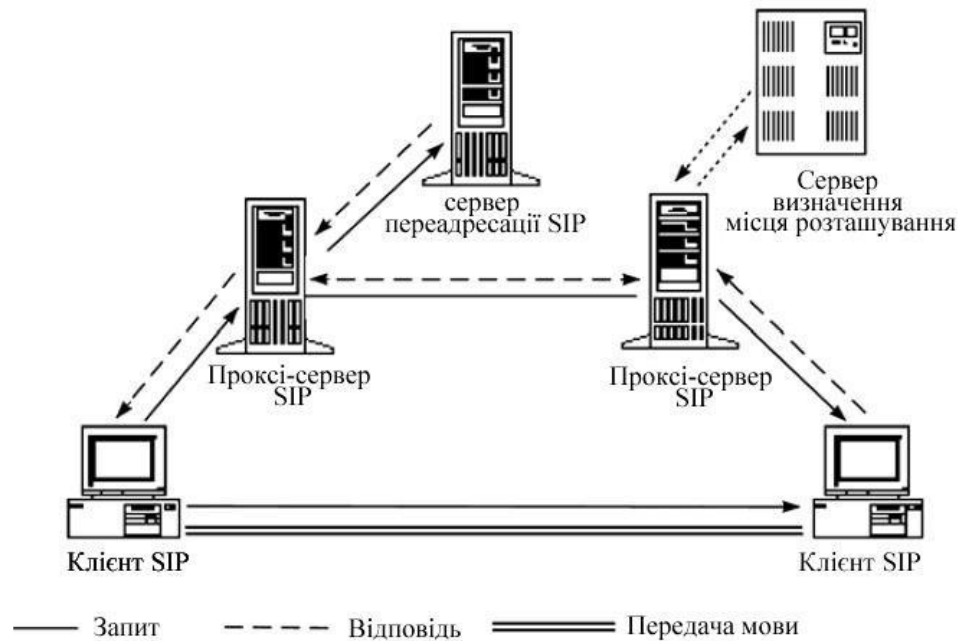


Рисунок 2.9 – Архітектура мережі

Сервер реєстрації використовується для визначення поточного розташування користувача. Він керує базою даних, яка містить інформацію про місцезнаходження користувачів мережі. Користувачі інформують сервер про своє розташування за допомогою повідомлення REGISTER, вказуючи свою поточну адресу. Для тих, хто постійно знаходиться на одному місці, необхідно зареєструватися лише один раз, в той час як ті, хто часто переміщується, повинні регулярно оновлювати свою реєстрацію.

У мережі SIP також може бути сервер перенаправлення (Redirect server), який визначає поточну IP-адресу викликаного користувача. Цей сервер отримує запити на визначення місцезнаходження користувача, звертаючись до сервера реєстрації або безпосередньо до бази даних з інформацією про розташування користувачів. Сервер перенаправлення використовується, коли в мережі відсутній проксі-сервер (з'єднання між терміналами встановлюються безпосередньо) або для зменшення навантаження на проксі-сервер.

У SIP-мережі адресація схожа на адресацію електронної пошти і

складається з двох частин: імені користувача, зареєстрованого в домені або на вузлі мережі, та імені домена, вузла чи шлюзу, розділених знаком @. Існують чотири типи адрес: ім'я користувача @ домен; ім'я користувача @ хост; номер телефону @ шлюз; ім'я користувача @ IP-адреса.

2.4 Висновки до розділу 2

Проведено аналіз протоколів мереж IP-телефонії H.323 та SIP. Визначено їх переваги та недоліки, сфери застосування.

Обґрунтовано вибір протоколу SIP для розробки системи через його інтеграцію з Інтернет-протоколами та сервісами, масштабованість, розширюваність та підтримку мобільності користувачів.

Наведено архітектуру та принципи функціонування мережі на базі протоколу SIP, включаючи опис SIP проксі-сервера, сервера реєстрації та методів адресації.

Сформульовано вимоги до програмного забезпечення розроблюваної системи з урахуванням можливостей обраного протоколу SIP. Вимоги стосуються функціональності, надійності, масштабованості, безпеки.

Обґрунтовано вибір кодеків для передачі мультимедійного контенту в системі на основі аналізу їх характеристик. Рекомендовано використання кодеків G.711, G.723.1, G.726, G.729A.

Таким чином, у другому розділі сформовано підґрунтя для подальшого проектування та реалізації системи аналізу передачі медіа-даних.

3 ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ МЕДІА-ДАНИХ

3.1 Штучні нейронні мережі

Штучний нейрон моделює основні характеристики біологічного нейрона. Він отримує вхідні сигнали, кожен з яких є результатом роботи іншого нейрона. Ці сигнали потім множаться на відповідні ваги, подібно до синаптичної ваги у біологічних нейронах, і сумуються, що формує рівень активації нейрона.

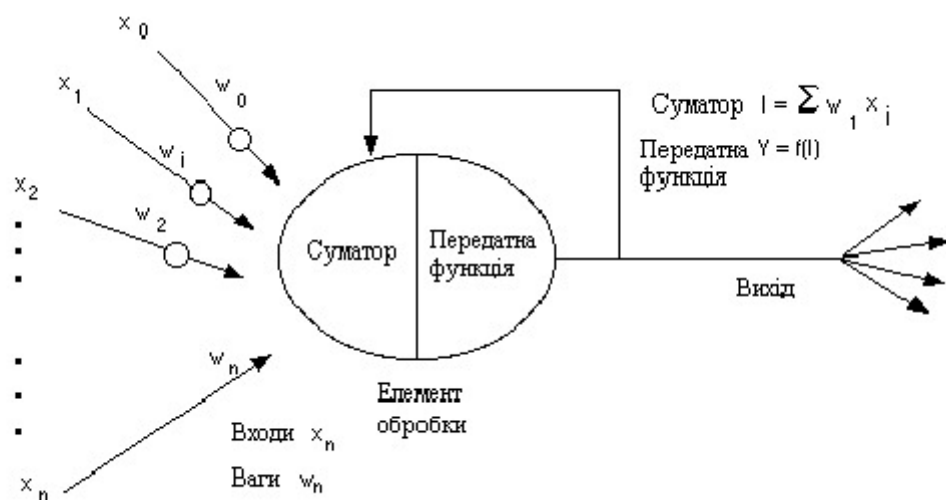


Рисунок 3.1 – Штучний нейрон

У моделі штучного нейрона, вхідні сигнали $x_1, x_2, \dots, x_n$ подаються на нейрон. Ці вхідні сигнали, які можна представити у вигляді вектора X , еквівалентні сигналам, що надходять до синапсів біологічного нейрона. Кожен із цих сигналів множиться на свою вагу $w_1, w_2, \dots, w_n$, що передається до суматора, позначеного символом Σ . Кожна вага відображає силу окремого синаптичного зв'язку у біологічному нейроні (усі ваги разом утворюють вектор W).

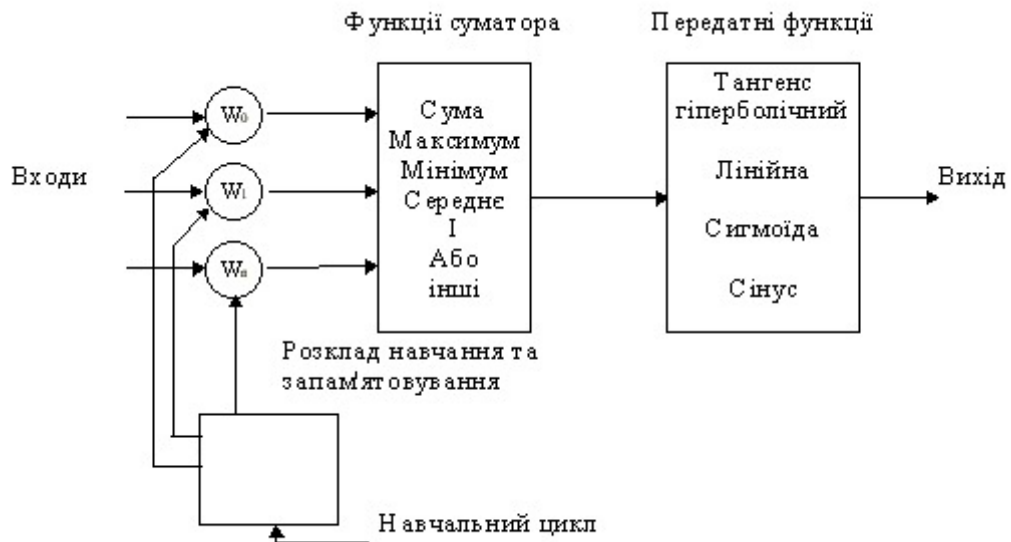


Рисунок 3.2 – Складові штучного нейрону

Суматор, що відповідає тілу біологічного нейрона, обчислює вагову суму входів і видає результат, позначений як NET.

Здатність до навчання є ключовою характеристикою мозку. У контексті штучних нейронних мереж, навчання означає вибір оптимальної архітектури мережі та налаштування вагових коефіцієнтів, для ефективного виконання покладених на мережу завдань.

Штучна нейронна мережа встановлює ваги на основі навчальних даних, це дає їй перевагу над системами, які використовують заздалегідь визначені дані. Зазвичай, навчання мережі здійснюється за допомогою вибірки даних. За мірою прогресу навчання, яке відбувається згідно з визначеним алгоритмом, мережа все краще реагує на входні дані. Стабілізація вагових коефіцієнтів відбувається після численних повторень прикладів, при цьому мережа починає точно відповідати на більшість запитів з бази даних. Отже, мережу вважають навченою, коли помилка навчання зменшується, і коли помилка досягає нуля, навчання припиняється, і мережа готова до роботи з новими даними.

Якість навчання мережі безпосередньо залежить від кількості та якості прикладів у навчальній вибірці та їх здатності повноцінно описувати завдання. Наприклад, навчання мережі передбаченню фінансових криз без прикладів

криз у вибірці є недоцільним. Зазвичай, для ефективного навчання потрібно велика кількість прикладів, і навчання є складним та науково вмістким процесом. Алгоритми навчання мають різноманітні параметри і налаштування, управління якими вимагає глибокого розуміння їх впливу.

Навчання з учителем передбачає наявність цільового вектора для кожного вхідного вектора, який є бажаним результатом. Процес включає роботу з масивом пар векторів $\{(XM, sM)\}$, де XM описує вхідні умови, а sM - відповідає вже відомому рішенню для XM . У процесі навчання вихід мережі порівнюється з цільовим вектором, а помилка, яка виникає при цьому, використовується для корекції ваг за допомогою зворотного зв'язку та вибраного алгоритму мінімізації помилки.

Навчання без учителя, яке є більш реалістичною моделлю, досліджувалося Тойво Кохоненом та іншими. Цей метод не вимагає цільового вектора, тому не потребує порівняння виходу з еталонними відповідями. Вхідні вектори самі формують масив навчальних даних. Оптимальний вихід визначається алгоритмом, який підлаштовує ваги так, щоб вихідні вектори були консистентні. У процесі навчання мережа виділяє характерні особливості вибірки, формуючи групи схожих векторів. При надходженні вхідного вектора з цієї групи, мережа генерує відповідний вихідний вектор, але конкретний вихід визначається лише під час навчання. Таким чином, інтерпретація виходу залежить від процесу навчання, і зв'язок між входом та виходом, встановлений мережею, зазвичай легко визначити.

Таблиця 3.1 надає порівняльний огляд алгоритмів, фокусуючись на легкості використання, швидкості навчання, точності, масштабованості та гнучкості. Зауважте, що фактична продуктивність цих алгоритмів може варіюватися в залежності від конкретного випадку використання та характеристик даних.

Таблиця 3.2 – Порівняння алгоритмів

Алгоритм	Легкість використання	Швидкість навчання	Точність	Масштабованість	Гнучкість
Зворотне поширення	Середня	Повільна	Висока	Низька	Середня
Навчання Кохонена	Висока	Швидка	Середня	Середня	Висока
Левенберга-Марквардта	Низька	Середня	Дуже висока	Висока	Низька
Сполучені градієнти	Середня	Середня	Висока	Середня	Середня
Псевдо обернені	Висока	Швидка	Середня	Висока	Висока
Швидке поширення	Висока	Дуже швидка	Середня	Низька	Висока
Аналіз головних компонентів	Середня	Повільна	Висока	Дуже висока	Низька
Позначка найближчих класів	Висока	Швидка	Середня	Висока	Середня
Метод «К-середніх»	Висока	Швидка	Середня	Дуже висока	Висока
«Дельта - дельта з межею»	Середня	Середня	Середня	Середня	Середня

Зворотне поширення (Backpropagation) алгоритм використовується для навчання багат шарових перцептронів. Він працює шляхом коригування ваг на основі помилки, яка поширюється назад від виходу до входу. Це дозволяє нейронній мережі ефективно навчатися з урахуванням помилок в передбаченнях.

Навчання Кохонена (Kohonen Learning) відомий також як алгоритм самоорганізації. Він використовується у нейронних мережах Кохонена або картах Кохонена для класифікації даних. Мережа вчиться ідентифікувати групи або кластери в даних без навчання з учителем.

Левенберга-Марквардта (Levenberg-Marquardt) алгоритм є модифікацією методу найменших квадратів для нелинійного навчання. Він ефективний для навчання мереж, що мають невелику кількість параметрів, і часто використовується в задачах регресії.

Сполучених градієнтів (Conjugate Gradients) цей алгоритм використовується для оптимізації, особливо в контексті великих наборів даних. Він покращує швидкість навчання порівняно з традиційним градієнтним спуском шляхом використання сполучених напрямків.

Псевдо обернених (Pseudo Inverse) - метод заснований на використанні псевдооберненої матриці для вирішення систем лінійних рівнянь. Він корисний у ситуаціях, де стандартний метод обернення матриці не застосовний.

Швидке поширення (Quick Propagation) намагається прискорити процес навчання шляхом використання швидших методів оновлення ваг, ніж у звичайному методі зворотного поширення.

Аналіз головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA) - це метод статистичного аналізу, що використовується для зменшення розмірності даних шляхом перетворення на новий набір змінних, які найкраще описують варіативність вихідних даних.

Позначка найближчих класів (Nearest Class Mean) - метод класифікації базується на обчисленні середнього значення для кожного класу і визначенні класу для нових спостережень на основі найменшої відстані до цих середніх.

Метод «К-середніх» (K-means) популярний метод кластеризації, що використовується для розділення набору даних на K кластерів. Алгоритм ітеративно призначає кожен об'єкт до кластера, центр якого найближчий.

«Дельта - дельта з межею» (Delta-bar-Delta) алгоритм адаптивно налаштовує швидкість навчання під час процесу навчання. Він змінює швидкість навчання в залежності від характеру зміни ваги, що може прискорити процес навчання та підвищити його ефективність.

Як тільки кількість рівнів і елементів у кожному з них визначена, важливо встановити ваги для нейронів мережі, які потрібні для мінімізації помилки прогнозування мережею. Алгоритми навчання саме для цього й існують. Цей процес можна охарактеризувати як налаштування моделі на основі доступних тренувальних даних. Оцінка помилки для будь-якої конфігурації мережі здійснюється шляхом аналізу спостережень і порівняння бажаних результатів з фактичними виходами мережі.

Вибір алгоритмів навчання залежить від їх ефективності з точки зору кількості необхідних кроків та мінімальної кількості додаткових параметрів, особливо коли навчання проводиться на обчислювальних системах з обмеженою потужністю та оперативною пам'яттю.

Загалом, алгоритми навчання базуються на функціях оцінки ефективності нейронної мережі і включають механізм корекції параметрів системи відповідно до отриманих оцінок.

Ці алгоритми зазвичай прості у використанні, але можуть не забезпечити швидке створення ефективної системи управління.

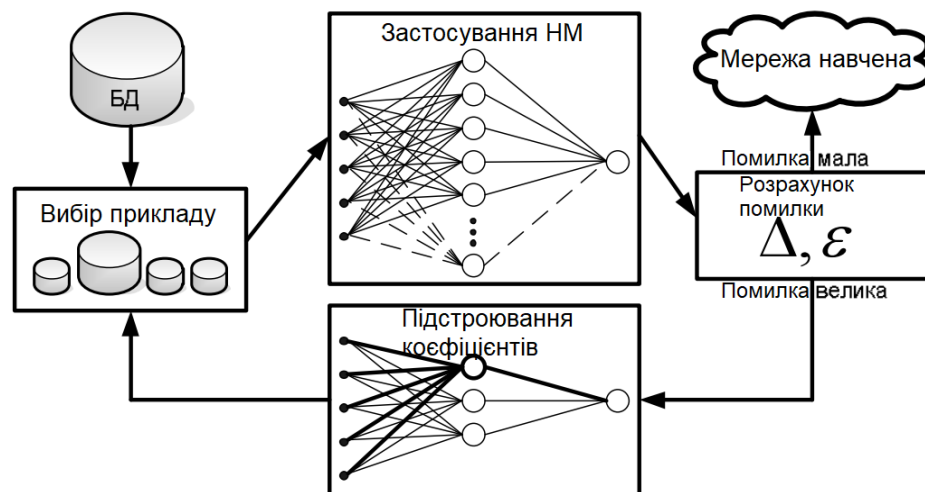


Рисунок 3.3 – Метод зворотного поширення помилки

Теорія навчання нейронних мереж включає аналіз трьох ключових аспектів навчального процесу: обчислювальної складності, складності тренувального набору та ємності мережі. Ємність характеризується тим, скільки прикладів з набору даних мережа може засвоїти та які функції вона може виконувати. Складність тренувального набору вказує на необхідну кількість прикладів для забезпечення спроможності мережі до узагальнення. При занадто малому наборі прикладів мережа ризикує стати перенавченою.

Структуру ШНМ, яка використовується для оцінки VoIP, можна побачити на малюнку 3.4. ШНМ містить п'ять вхідних нейронів (затримка, втрата пакетів, джиттер, затримка передачі та кодек), три елементи в прихованому шарі та один вихідний нейрон.

Ця нейронна мережа була реалізована на мові програмування C++, за допомогою комплекту Microsoft Visual Studio 2013. Продукт Microsoft включає інтегроване середовище розробки програмного забезпечення та набір додаткових інструментів.

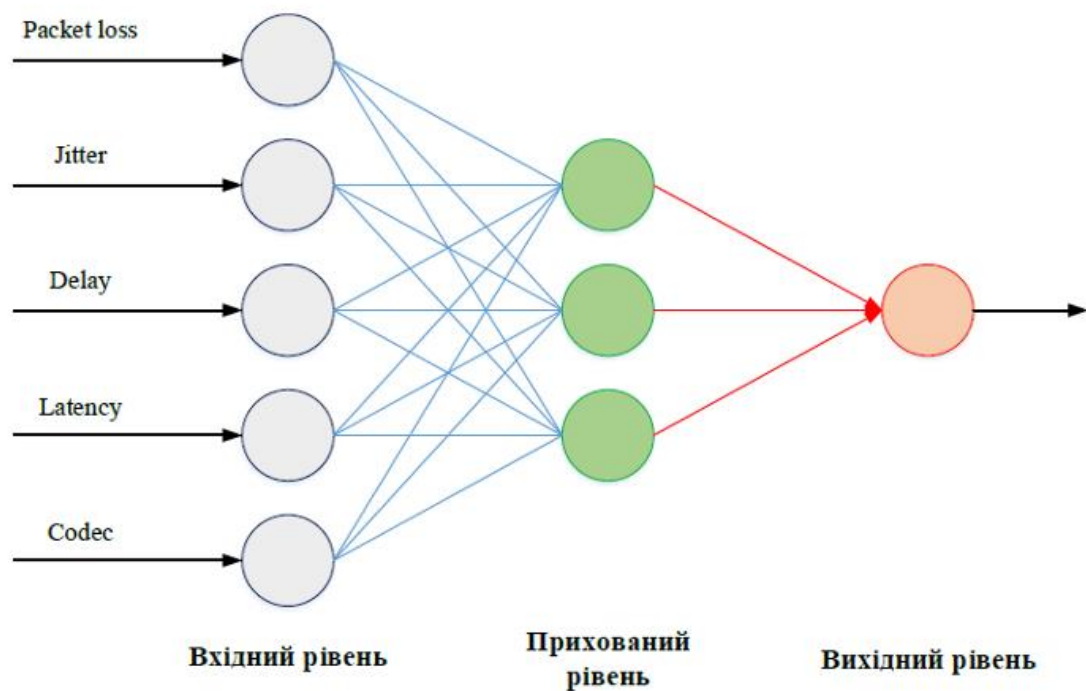


Рисунок 3.4 – Нейронна мережа

Наступний крок - це дизайн нейронної мережі. Створемо клас для нейронної мережі, який включатиме методи для ініціалізації мережі, прямого поширення (feedforward) та зворотного поширення (backpropagation) помилки для навчання.

```

1  #include <vector>
2  #include <cmath>
3  #include <random>
4
5  // Клас NeuralNetwork описує структуру та функціонал нейронної мережі
6  class NeuralNetwork {
7  private:
8      std::vector<std::vector<double>> weights_input_hidden; // Ваги між вхідним і прихованим шаром
9      std::vector<double> weights_hidden_output; // Ваги між прихованим шаром та вихідним нейроном
10     std::vector<double> hidden_layer; // Значення нейронів прихованого шару
11     double output; // Значення вихідного нейрона
12     double learning_rate; // Швидкість навчання
13
14     // Сигмоїдна функція активації
15     double sigmoid(double x) {
16         return 1.0 / (1.0 + exp(-x));
17     }
18
19     // Похідна сигмоїдної функції
20     double sigmoid_derivative(double x) {
21         return x * (1 - x);
22     }
23
24 public:
25     // Конструктор для ініціалізації мережі
26     NeuralNetwork(int input_nodes, int hidden_nodes, double lr) : learning_rate(lr) {
27         // Ініціалізація ваг випадковими значеннями
28         // ...
29     }
30
31     // Функція прямого поширення
32     void feedforward(const std::vector<double>& input) {
33         // Реалізація прямого поширення
34         // ...
35     }
36
37     // Функція зворотного поширення
38     void backpropagation(const std::vector<double>& input, double target) {

```

Рисунок 3.5 – Прототип класу нейронної мережі

Ініціалізації параметрів мережі проходить, як ініціалізація вагів для зв'язків між нейронами. Для простоти використовуватимемо випадкові значення для ініціалізації ваг (рис. 3.6).

```

1 // Конструктор для ініціалізації мережі
2 NeuralNetwork(int input_nodes, int hidden_nodes, double lr) : learning_rate(lr) {
3     // Ініціалізація ваг для вхідного-прихованого шару
4     weights_input_hidden.resize(hidden_nodes, std::vector<double>(input_nodes));
5     std::default_random_engine generator;
6     std::uniform_real_distribution<double> distribution(0.0, 1.0);
7
8     for (int i = 0; i < hidden_nodes; ++i) {
9         for (int j = 0; j < input_nodes; ++j) {
10             weights_input_hidden[i][j] = distribution(generator);
11         }
12     }
13
14     // Ініціалізація ваг для прихованого-вихідного шару
15     weights_hidden_output.resize(hidden_nodes);
16     for (int i = 0; i < hidden_nodes; ++i) {
17         weights_hidden_output[i] = distribution(generator);
18     }
19 }
20

```

Рисунок 3.6 – Ініціалізація нейронної мережі

3.2 Навчання нейронної мережі

Працюючи з багат шаровою нейронною мережею, ми не маємо точних даних про ідеальні вихідні значення нейронів у кожному шарі, крім останнього. Отже, якщо мережа складається з декількох шарів, то навчання, засноване лише на помилках вихідних даних, стає нездійсненним. Одним із способів вирішення цієї проблеми може бути визначення вихідних сигналів кожного шару, хоч це й енерговитратний та не завжди можливий процес. Інший підхід - динамічна корекція ваг, зосереджена на слабших зв'язках із мінімальними змінами, які зберігаються лише у разі покращення роботи мережі, тобто зменшення помилок на виході. Цей емпіричний метод вимагає значних обчислювальних ресурсів, незважаючи на його зовнішню простоту. Найефективнішим є метод "зворотного поширення помилки", який передбачає розповсюдження помилки з виходів нейронної мережі до її входів, працюючи в напрямку, протилежному до звичайного режиму роботи мережі. У процесі навчання методом зворотного поширення помилки в мережі відбуваються два етапи: прямий, під час якого відбувається обробка вхідних даних і їх передача до виходів, та зворотний, під час якого відбувається обчислення помилки, її

розповсюдження назад та коригування вагових коефіцієнтів. Після завершення навчання, дані в мережі будуть передаватися лише в прямому напрямку. Варто відмітити, що хоча навчання мережі може зайняти певний час, натренована мережа здатна швидко обробляти отримані дані. Існують різноманітні модифікації методу зворотного поширення помилки, які спрямовані на прискорення процесу навчання. Нейронна мережа з одним шаром обмежена у плані обробки вхідних даних, тоді як багатошарова нейронна мережа не має таких обмежень.

Модифікації методу зворотного поширення помилки в нейронних мережах зосереджені на підвищенні ефективності навчання та точності прогнозування. Однією з таких модифікацій є використання моменту, яке додає частку ваги попереднього оновлення до поточного, тим самим забезпечуючи гладше оновлення ваг та запобігаючи зацикленню навчання. Інша модифікація включає адаптивні швидкості навчання, де швидкість навчання для кожного параметра адаптується відповідно до його важливості, допомагаючи мережі швидше досягти оптимальних значень ваг. Також розповсюдженим є застосування методу нормалізації градієнтів, який попереджає проблему зникнення або вибуху градієнтів, забезпечуючи стабільність навчання. Введення регуляризації, такої як L1 або L2, допомагає уникнути перенавчання, зменшуючи складність моделі шляхом штрафування великих ваг. Крім того, використання методу відпадання (dropout) дозволяє мережі ефективніше узагальнювати, випадково відключаючи частину нейронів під час тренування, що запобігає співзалежності між ними. Ці модифікації методу зворотного поширення помилки в сукупності сприяють підвищенню ефективності та точності нейронних мереж, роблячи їх здатними вирішувати складніші завдання з більшою ефективністю.

У цьому розділі ми реалізуємо функції прямого та зворотного поширення для нашої нейронної мережі.

Пряме поширення (feedforward) використовує вхідні дані та ваги для обчислення вихідного сигналу мережі. Зворотне поширення (backpropagation)

використовує помилку між прогнозованим та фактичним вихідними сигналами для оновлення ваг мережі.

```
// ...

// Функція прямого поширення
void feedforward(const std::vector<double>& input) {
    // Обчислення значень для прихованого шару
    for (int i = 0; i < hidden_layer.size(); ++i) {
        hidden_layer[i] = 0.0;
        for (int j = 0; j < input.size(); ++j) {
            hidden_layer[i] += input[j] * weights_input_hidden[i][j];
        }
        hidden_layer[i] = sigmoid(hidden_layer[i]);
    }

    // Обчислення вихідного значення
    output = 0.0;
    for (int i = 0; i < hidden_layer.size(); ++i) {
        output += hidden_layer[i] * weights_hidden_output[i];
    }
    output = sigmoid(output);
}
```

Рисунок 3.7 – Навчання нейронної моделі функція прямого поширення

```
// Функція зворотного поширення
void backpropagation(const std::vector<double>& input, double target) {
    // Обчислення помилки вихідного шару
    double output_error = target - output;

    // Обчислення помилки прихованого шару
    std::vector<double> hidden_errors(hidden_layer.size());
    for (int i = 0; i < hidden_layer.size(); ++i) {
        hidden_errors[i] = output_error * weights_hidden_output[i];
    }

    // Оновлення ваг вихідного шару
    for (int i = 0; i < hidden_layer.size(); ++i) {
        weights_hidden_output[i] += learning_rate * output_error * sigmoid_derivative(output) * hidden_layer[i];
    }

    // Оновлення ваг прихованого шару
    for (int i = 0; i < hidden_layer.size(); ++i) {
        for (int j = 0; j < input.size(); ++j) {
            weights_input_hidden[i][j] += learning_rate * hidden_errors[i] * sigmoid_derivative(hidden_layer[i]) * input[j];
        }
    }
}
```

Рисунок 3.8 – Навчання нейронної моделі функція зворотної помилки

Тестування нейронної мережі. Ми використаємо наш тестовий набір даних `voip_test` для оцінки ефективності нейронної мережі.

```

// Функція для завантаження даних з файлу
std::vector<std::vector<double>> load_data(const std::string& filename) {
    std::vector<std::vector<double>> data;
    std::ifstream file(filename);
    std::string line;

    while (std::getline(file, line)) {
        std::vector<double> input;
        std::stringstream ss(line);
        double value;

        while (ss >> value) {
            input.push_back(value);
        }

        data.push_back(input);
    }

    return data;
}

```

Рисунок 3.9 – Функція завантаження даних

Для цього нам потрібно завантажити ці тестові дані, пропустити їх через мережу і порівняти вихідні значення мережі з очікуваними результатами (рис. 3.9).

```

int main() {
    NeuralNetwork nn(5, 3, 0.01); // Параметри мережі: 5 вхідних нейронів, 3 у прихованому шарі, швидкість навчання 0.01

    // Завантаження тестових даних
    auto test_data = load_data("voip_test");

    // Перевірка ефективності нейронної мережі
    for (const auto& sample : test_data) {
        std::vector<double> input(sample.begin(), sample.end() - 1); // Всі елементи, крім останнього
        double expected_output = sample.back(); // Останній елемент як очікуваний вихід

        double predicted_output = nn.predict(input);
        std::cout << "Очікуваний вихід: " << expected_output << ", Прогнозований вихід: " << predicted_output << std::endl;
    }

    return 0;
}

```

Рисунок 3.9 – Тестування нейронної мережі

3.3 Параметри якості послуг

Критерії якості роботи мережі визначаються в залежності від якості обслуговування, необхідної для конкретної інфокомунікаційної послуги. Послуги мультисервісної мережі комунікацій класифікуються на три основні типи, виходячи з основних вимог до QoS:

- передача мови (наприклад, IP-телефонія);
- передача відео (наприклад, IP-телебачення);
- передача даних (наприклад, доступ до Інтернету).

Ці послуги відповідають концепції "Triple Play" і є найбільш затребуваними. Існують і інші послуги зі специфічними вимогами до QoS, але вони не виділяються в окремі категорії через обмежену поширеність.

Послуги передачі мови через IP-мережі є першим кроком у конвергенції сфери інфокомунікацій і розвиваються протягом останніх п'яти років. Розробка стандартів якості цих послуг в міжнародних і національних організаціях стандартизації досягла значних успіхів.

У рамках послуг передачі мови можна виділити три головні групи:

- телефонія;
- голосові повідомлення;
- потокове аудіо.

Одностороння затримка передачі в мережі суттєво впливає на якість обслуговування при передачі мови. Затримка може викликати такі ефекти, як поява луни та порушення динаміки розмови. Луна стає помітною при затримці понад кілька десятків мілісекунд, що вимагає механізмів обмеження луни у обладнанні IP-телефонії. Порушення динаміки розмови відбувається при затримці більше сотні мілісекунд, рекомендована затримка для голосового зв'язку - не більше 150 мс.

Короткочасні варіації затримки майже не сприймаються людським вухом. В залежності від типу кодека, варіація затримки в межах 15-50 мс може

бути непомітною. На практиці, для всіх голосових послуг, варіація затримки компенсується за допомогою буфера для згладжування фазових коливань.

Оскільки голосові пакети зазвичай не передаються повторно, їх втрата або спотворення може суттєво погіршити сприйняття мови на приймаючій стороні. Часті втрати пакетів можуть призвести до зниження розбірливості мови та неможливості спілкування. Спотворення при втраті пакетів залежить від типів використаних кодеків.

В таблиці 3.1 наведені загальноприйняті показники:

- Одностороння затримка (Latency): Час, за який пакет даних досягає від одного кінця до іншого у мережі.
- Втрата пакетів (Packet Loss): Відсоток загублених пакетів даних під час передачі.
- Варіація затримки (Jitter): Варіативність часу затримки пакетів даних.
- Якість звуку (Audio Quality): Загальна оцінка якості звуку, яка може включати розбірливість і чистоту голосу.

Таблиця 3.3 – Значення показників передачі звуку

№	Показник	Опис
1	Одностороння затримка (Latency)	Час, за який пакет даних досягає від одного кінця до іншого у мережі.
2	Втрата пакетів (Packet Loss)	Відсоток загублених пакетів даних під час передачі.
3	Варіація затримки (Jitter)	Варіативність часу затримки пакетів даних.
4	Якість звуку (Audio Quality)	Загальна оцінка якості звуку, що може включати розбірливість і чистоту голосу.

У високоякісній телефонії допускається максимальний рівень втрати пакетів до 1%. Вимоги до втрати пакетів для послуг передачі голосових

повідомлень аналогічні тим, що застосовуються до телефонії. Основна різниця між цими послугами полягає в меншій важливості затримки при передачі голосових повідомлень. Критичним є лише інтервал між моментом запиту користувачем прослуховування нового повідомлення та часом, коли він фактично починає чути повідомлення.

У голосовій телефонії затримка до декількох секунд вважається прийнятною. Для передачі потокового аудіо (наприклад, радіо через Інтернет) вимоги до затримки можуть бути пом'якшені через односторонній характер передачі. Однак, у цьому випадку до втрат пакетів пред'являються більш строгі вимоги, ніж для телефонних послуг. Параметри якості для послуг передачі мови, які відповідають Рекомендації G.1010, подані в таблиці 4.1.

Сфера надання послуг по передачі відео через IP-мережі є відносно новою, але обіцяє значний розвиток у майбутньому. Наразі в цій галузі не існує узгоджених стандартів, які б визначали якість таких відео послуг.

У цій області виділяють два головні види відео послуг:

- інтерактивне відео (наприклад, відеоконференції);
- потокове відео (наприклад, IPTV).

Якість відео послуг оцінюється відповідно до Рекомендації J.241, схема якої представлена на рис. 3.10. В ній визначені чотири точки вимірювання:

- А - кодування відео;
- В - IP-рівень на боці основної станції (IP-трафік);
- С - IP-рівень на боці кінцевого обладнання (IP-трафік);
- D - декодування відео.



Рисунок .3.10 – Схема оцінки якості послуг

У мережах IP зазвичай використовується принцип «негарантованої доставки» (best effort), де мережа прагне обробити трафік максимально швидко, але без гарантій результату. Цей метод зазвичай застосовується для веб-сервісів, електронної пошти, обміну повідомленнями, передачі файлів, а також для додатків реального часу, як-то інтерактивні ігри.

У таблиці 4.3 представлені значення параметрів NP для передачі відеоінформації.

Параметр	Опис	Типове Значення
NP1	Бітрейт для кодування відео	4 Mbps
NP2	Частота кадрів відео	30 fps
NP3	Роздільна здатність відео	1080p
NP4	Коефіцієнт стиснення	1:50
NP5	Затримка при передачі відео	50 ms

3.4 Огляд кодеків

Кодеки зазвичай представляють собою різні математичні алгоритми, що використовуються для перетворення та стиснення аналогових аудіосигналів у

цифровий формат. Різні методи кодування прагнуть досягти оптимального балансу між ефективністю стиснення та якістю звуку. Спочатку поняття кодеку виникло з поєднання слів "кодер" і "декодер", вказуючи на пристрій, що здійснює перетворення між аналоговими та цифровими сигналами. Нині цей термін більше асоціюється з процесами компресії та декомпресії.

G.711 є стандартним кодеком для PSTN, використовуючи два різних методи компаундування: μ law у Північній Америці та alaw в інших регіонах. Обидва методи забезпечують передачу 8-бітного слова 8000 разів на секунду, що вимагає швидкості передачі даних 64000 біт/с. G.711 вважається базовим кодеком, на основі якого були розроблені інші. Він потребує мінімальних обчислювальних ресурсів для своєї реалізації.

G.723.1, кодек з низьким споживанням пропускної здатності (6.3Kbps або 5.3Kbps), часто використовується у стандарті H.323, але його використання в продуктах вимагає ліцензії.

G.726 є одним з перших кодеків із стисненням, що використовує адаптивну диференціальну імпульсно-кодову модуляцію (ADPCM) для забезпечення різних швидкостей передачі даних, зазвичай 16, 24, або 32 Кбіт/с. Цей кодек пропонує майже таку ж якість, як і G.711, але потребує лише половини пропускної здатності, передаючи інформацію про різницю між послідовними вимірами.

G.729A, з огляду на його низьке споживання пропускної здатності, надає вражаючу якість звуку за рахунок технології CS-ACELP. Проте використання G.729A вимагає ліцензії, незважаючи на його популярність і широку підтримку різними телефонними системами. Для досягнення такого ступеня стиснення цей кодек потребує значної обчислювальної потужності.

GSM є найпоширенішим кодеком в Asterisk, він не потребує ліцензії, на відміну від G.729A, і забезпечує хорошу продуктивність з урахуванням вимог до обчислювальних ресурсів. Однак загальна якість звуку, яку він надає, вважається нижчою, ніж у G.729A.

iLBC (Internet Low Bitrate Codec) пропонує збалансоване співвідношення між низьким споживанням пропускної здатності та задовільною якістю звуку, особливо корисне для мережевих з'єднань із втратами.

Speex, змінношвидкісний кодек (VBR), може динамічно адаптувати свою швидкість передачі даних в залежності від умов мережі. Цей кодек, ліцензований за BSD-версією від Xiph.org, є повністю безкоштовним і підтримує швидкості передачі даних від 2,15 до 22,4 Кбіт/с, завдяки своїй адаптивній швидкості.

3.5 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розглянуто методи оцінки якості передачі медіа-даних.

Проаналізовано суб'єктивні та об'єктивні методи оцінки якості, їх переваги та недоліки. Суб'єктивні методи базуються на тестуванні групою експертів, найвідоміший - методика MOS. Об'єктивні методи ґрунтуються на технічному аналізі сигналів, наприклад вимірювання співвідношення сигнал/шум.

Описано психоакустичні методи оцінки якості передачі медіа-даних, які базуються на розумінні сприйняття звуку та мови людиною. Найбільш поширена методика у цій сфері - PESQ.

Запропоновано використання штучних нейронних мереж для оцінки якості на основі параметрів мережі. Описано структуру та принципи функціонування розробленої нейронної мережі.

Представлено результати експериментального дослідження з використанням штучної нейронної мережі для оцінки якості при різних рівнях

втрати пакетів. Продemonстровано високу кореляцію значень MOS з алгоритму PESQ та запропонованого методу.

Таким чином, у третьому розділі сформовано теоретичне та практичне підґрунтя для реалізації системи оцінки якості передачі медіа-даних на основі штучних нейронних мереж.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ МЕДІА-ДАНИХ

4.1 Оцінка якості передачі медіа-даних

Основним показником якості аудіо- та відеоконтенту є оцінка якості послуги з боку користувача. Якість послуг може визначатися на основі як суб'єктивних, так і об'єктивних критеріїв.

Суб'єктивно-статистичні випробування (ССВ) проводяться для визначення якості сигналу за участю групи експертів. Суб'єктивні оцінки базуються на статистичній обробці вражень великої кількості слухачів-експертів. Вони залежать від таких факторів, як вік і стать оратора, швидкість промови та інші обставини. Під час тестування суб'єктивних оцінок моделюються реальні умови, такі як шумове середовище, мова інших людей у фоні тощо. Результати цих тестів відображають середню якість, рівень зусиль, що докладає слухач, зрозумілість та природність звуку.

Кожен окремий випадок ССВ є випадковим явищем, і результати аналізуються з використанням методів теорії ймовірностей та математичної статистики. Однак неможливо точно відтворити результати тестів повторно.

Найбільш розповсюджена методика суб'єктивної оцінки якості описана в Рекомендації МСЕ Р.800 (1993 р.) і відома як методика MOS (Mean Opinion Score). За цією методикою якість мовного сигналу, що передається від джерела через систему зв'язку до приймача, оцінюється на основі середнього значення усіх оцінок експертів. Оцінки здійснюються за п'ятибальною шкалою: від 5

(відмінно) до 1 (неприйнятно). Оцінки вище 3,5 відповідають стандартній та високій якості телефонного зв'язку, від 3,0 до 3,5 - прийнятній якості, від 2,5 до 3,0 - якості синтезованого звуку. Для гарної якості передачі мови рекомендується орієнтуватися на MOS не нижче 3,5 балів.

Хоча методика MOS, заснована на суб'єктивних оцінках, є надійним інструментом у телефонних мережах, вона не враховує деякі фактори, що впливають на якість мови, зокрема:

- наскрізну затримку між мовцем та слухачем;
- вплив варіації затримки (джиттеру);
- вплив втрати пакетів.

Абсолютні значення MOS залежать від контексту тестування, включаючи різницю у рівні знання мови тощо.

Об'єктивні методи оцінки виявляються менш витратними за часом та ресурсами у порівнянні з суб'єктивними методами. Вони базуються на порівнянні оригінального сигналу з його закодованою версією. Різні типи кодування мають різні оціночні параметри, і хоча існує певна кореляція між об'єктивними та суб'єктивними оцінками якості, пряме визначення суб'єктивної якості на основі об'єктивних даних часто є неможливим. Це пояснює, чому для різних кодеків існують різні методики оцінки якості. З цього випливає, що універсального об'єктивного методу оцінки суб'єктивної якості наразі не існує.

Співвідношення сигнал/шум (SNR) є одним із найбільш поширених методів оцінки. Цей метод враховує відношення загальної потужності сигналу до шуму протягом усього часу сигналу. Проте, при наявності слабких сигналів на деяких ділянках, вони можуть бути приховані більш сильними сигналами інших ділянок, що може спотворити загальну оцінку.

Сегментне співвідношення сигнал/шум (segSNR) є розвитком базового методу SNR. У цьому випадку вимірювання відношення сигнал/шум проводиться на коротких інтервалах від 15 до 20 мс, дозволяючи отримати

більш точну загальну оцінку, оскільки нерівномірність інтенсивності сигналу не впливає на оцінку в цілому.

У 1998 році МСЕ затвердив Рекомендацію G.107, яка описала методику об'єктивної оцінки якості телекомунікаційних послуг. Основою цього підходу стала Е-модель, яка відкрила новий напрямок у вимірюванні якості послуг, зосереджений на характеристиках мереж і терміналів.

Психоакустичні методи вимірювання якості базуються на розумінні, як людина сприймає звук та мову. Ці методи унікальні тим, що вони фокусуються на суб'єктивному сприйнятті якості сигналу за допомогою технічних та програмних засобів. Хоча ці методи можна класифікувати як об'єктивні, вони розроблені з урахуванням суб'єктивного сприйняття звуків людиною.

Розвиток технологій усунення зайвої інформації в аудіосигналах ускладнив використання об'єктивних параметрів для оцінки якості, а суб'єктивно-статистичні тести залишалися важкими у виконанні. Проте, усунення надмірності в аудіосигналах було зосереджене на особливостях сприйняття звуку та мови людиною, що спонукало до використання цих знань у методах оцінювання якості.

Головна мета будь-якого методу оцінювання якості мовного сигналу полягає у досягненні високої кореляції з суб'єктивно-статистичними тестами, які залишаються найбільш точними в оцінці якості мови.

Переважає більшість таких методів порівнює оригінальний і закодований сигнали, використовуючи психоакустичну модель. Вони оцінюють, наскільки помітні спотворення в закодованому сигналі для людського вуха. Психоакустична модель перетворює звуковий сигнал на внутрішнє представлення, яким він сприймається людським слухом, і порівнює його з внутрішнім представленням оригінального сигналу.

Серед найбільш відомих методів - оцінка за важеним спотворенням спектру (WSS) та PESQ оцінка, визначена в рекомендації ITU-T P.862.

4.2 Експериментальне дослідження

Дослідження складається з двох етапів.

Перший етап: Тренування моделі штучної нейронної мережі за допомогою бази даних зі спотвореними голосовими сигналами.

Другий етап: Перевірка розробленої моделі ШНМ і визначення її здібності оцінювати показник MOS.

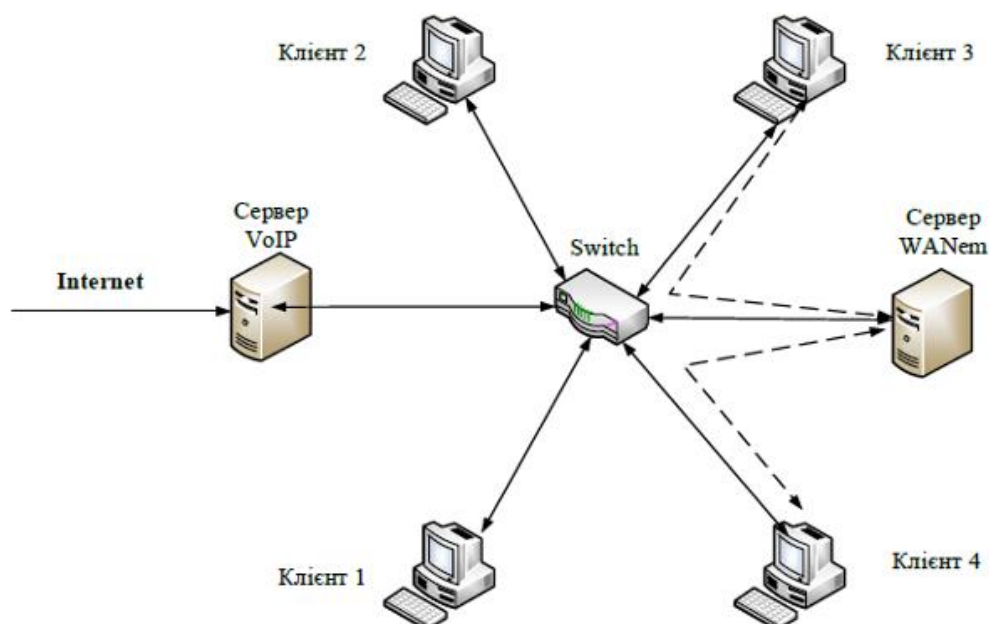


Рисунок 4.1 – Тестова комп'ютерна мережа

У дослідженні використовувались мовні зразки з MCE-T.

Для їх спотворення було розроблено мережу, схема якої зображена на малюнку 4.5. Мережа складається з чотирьох клієнтських комп'ютерів (два з Windows 10, два з Linux), одного VoIP сервера та одного WANem сервера.

На сервері VoIP (OpenBSD) встановлено програму Asterisk від Digium, яка є рішенням для комп'ютерної телефонії з відкритим вихідним кодом.

На клієнтських комп'ютерах встановлено софтвери Zorier версії 3.9.

В мережі також є емулятор глобальної мережі WAN (WAN Emulator), який дозволяє імітувати різноманітні характеристики мережі, включаючи джиттер, затримки, втрату пакетів, переривання з'єднань та інше.

Цей емулятор розроблений та підтримується Performance Engineering Research Centre, TATA Consultancy Services, у Мумбаї (Індія), і розповсюджується за GPL ліцензією.

До його можливостей входять:

- емуляція затримки сигналу;
- емуляція втрати пакетів;
- пошкодження пакетів;
- втрати з'єднань;
- зміна порядку пакетів;
- джиттер;
- інші функції.

Управління WANem здійснюється через веб-інтерфейс. Порядок експерименту:

- увімкнення всіх клієнтських та серверних комп'ютерів, мережевого комутатора;
- перевірка логічного зв'язку за допомогою Ping;
- запуск сервера Asterisk VoIP;
- запуск Zorier софтофонів на клієнтських комп'ютерах і їх підключення до сервера Asterisk;
- двоє клієнтів Zorier встановлюють зв'язок через телефонний номер.
- зміна маршруту для проходження через WANem сервер і його перевірка через Ping;
- імітація сервером WANem втрати 1% пакетів;
- запис спотворених голосових зразків;
- імітація різних рівнів втрати пакетів від 2% до 10%.

Спотворені зразки голосу були використані для тренування ШНМ.

Обробка джерела вибірки та записаних спотворених сигналів здійснювалася за допомогою алгоритму PESQ і розробленого програмного забезпечення для визначення показника MOS спотворених зразків.

Для візуалізації результатів були побудовані графіки, що порівнюють значення PESQ MOS та значення MOS від ШНМ.

У ході експерименту відбулося тестування штучної нейронної мережі (ШНМ) за допомогою різноманітних кодеків та рівнів втрати пакетів.

Таблиця 4.1 – Результати експерименту

Втрата пакетів, %	Кодек alaw		Кодек GSM		Кодек Speex		Кодек ulaw	
	PESQ	ШНМ	PESQ	ШНМ	PESQ	ШНМ	PESQ	ШНМ
1	2,5	2,6	2,45	3,05	2,45	2,85	2,32	2,67
2	2,7	3,1	2,73	3,18	2,43	3,01	2,433	2,91
3	2,65	2,9	2,65	2,95	2,33	2,74	2,20	2,43
5	2,9	2,7	2,51	2,65	2,12	3,00	2,18	2,84
9	2,9	3,0	2,47	2,15	2,02	2,98	2,22	2,45
10	2,85	3,1	2,37	2,02	2,01	2,67	2,12	2,23

На рисунку 4.2 представлений графік значень MOS, отриманих з використанням алгоритму PESQ та ШНМ для кодеку alaw.

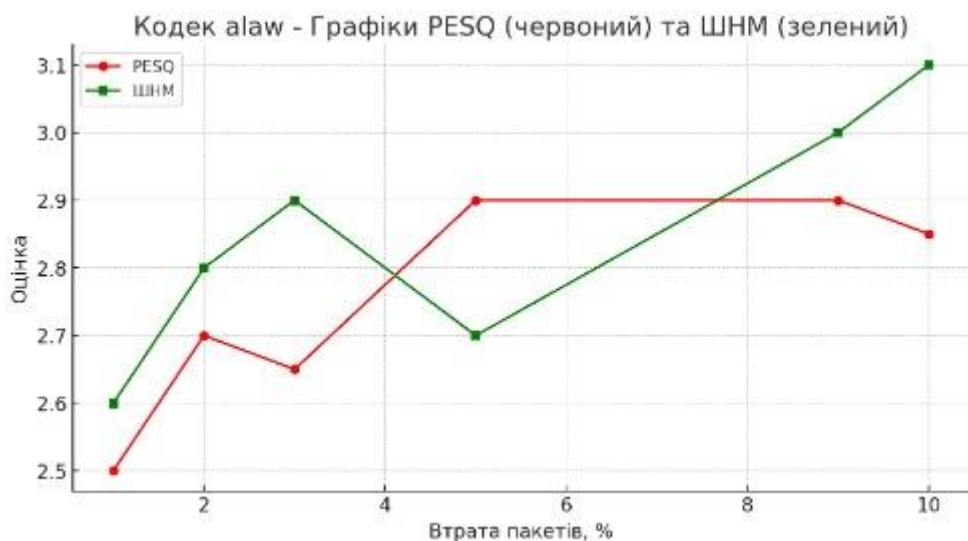


Рисунок 4.2 – Тестування першого кодеку

Цей графік відображає поступове зниження якості воір у міру збільшення втрат пакетів. Дані для кодеку GSM представлені на рисунку 4.3.

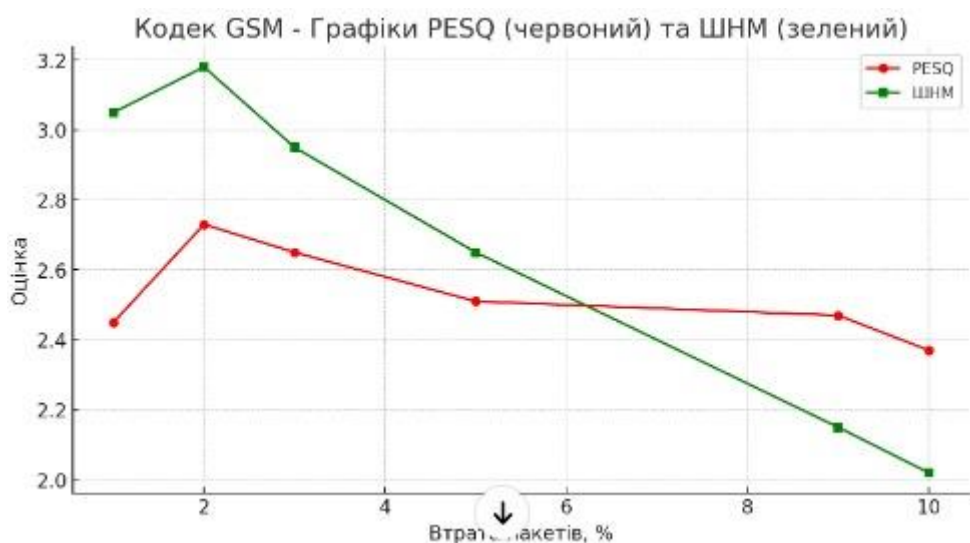


Рисунок 4.3 – Тестування другого кодеку

В результаті, у цій бакалаврській роботі було розроблено та запроваджено методику розрахунку MOS за допомогою штучних нейронних мереж. Основною перевагою цього методу є можливість обчислення MOS без необхідності використання первісного мовного сигналу.

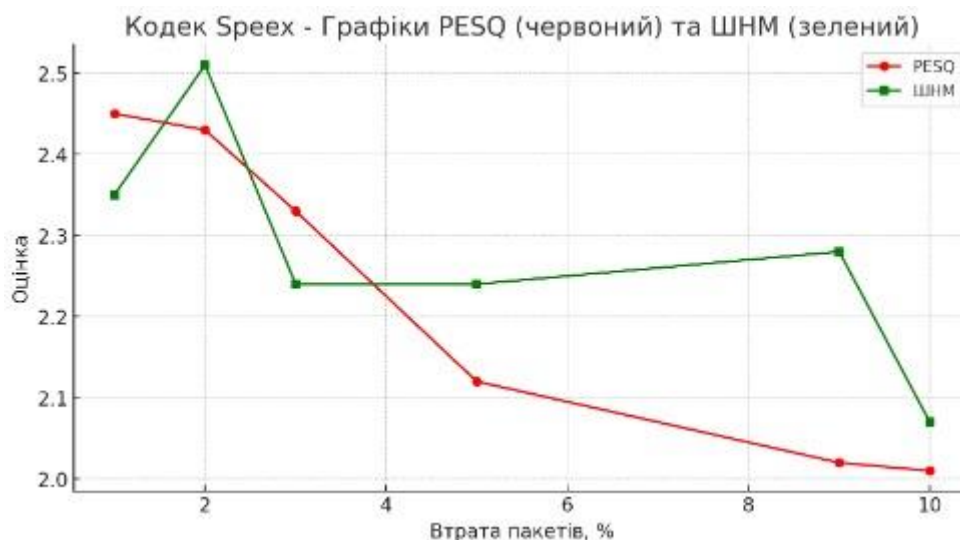


Рисунок 4.4 - Тестування третього кодеку

Було демонстровано, що значення MOS можна визначити, використовуючи лише відомі параметри мережі.

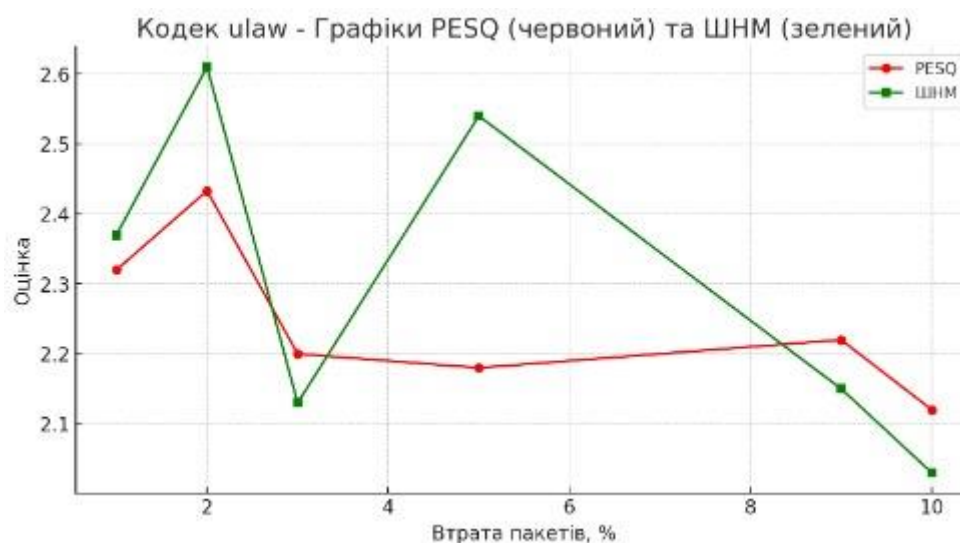


Рисунок 4.5 – Тестування четвертого кодеку

В рамках дослідження були визначені значення MOS при різних рівнях втрати пакетів, при цьому інші фактори, такі як затримка і джиттер, залишалися незмінними. Ці фактори у майбутньому можуть бути застосовані для підвищення точності оцінки. У дослідженні використовувався лише протокол ініціації сесій (SIP).

Результати дослідження виявили, що значення MOS, отримані за допомогою алгоритму PESQ та розробленої ШНМ, мають високий рівень кореляції. Середньоквадратичне відхилення складає 0.000462, що свідчить про придатність розробленого методу для визначення MOS.

4.3 Висновки за розділом

У четвертому розділі було проведено експериментальне дослідження з оцінки якості передачі медіа-даних за допомогою штучної нейронної мережі.

Дослідження складалося з двох етапів: тренування моделі ШНМ та перевірка її здатності оцінювати показник MOS. Було розроблено експериментальну мережу з використанням програмного забезпечення Asterisk, Zoiper та емулятора WANem. Це дозволило імітувати спотворення голосових сигналів за рахунок зміни параметрів мережі.

Отримані спотворені зразки голосу були використані для навчання нейронної мережі. Для порівняння використовувався алгоритм PESQ. Результати показали високу кореляцію між значеннями MOS, отриманими за PESQ та штучною нейромережею. Середньоквадратичне відхилення склало 0,000462.

Отже, експеримент підтвердив можливість застосування штучних нейронних мереж для оцінки якості передачі медіа-даних без використання первинного сигналу. Розроблений підхід дозволяє визначати показник MOS, базуючись лише на параметрах мережі. Це робить його перспективним для подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено та досліджено модель аналізу передачі медіа даних в комп'ютерних мережах на основі штучних нейронних мереж.

Розвиток і стандартизація якості обслуговування (QoS) в мережах IP розкриває багато переваг та недоліків, пов'язаних з сучасними телекомунікаціями. Ключові етапи цього процесу включають визначення робочих характеристик і норм, впровадження мережових механізмів, вбудовування показників якості в протоколи сигналізації та розробку механізмів підтримки мережі.

Проведено аналіз протоколів мереж IP-телефонії H.323 та SIP. Визначено їх переваги та недоліки, сфери застосування.

Обґрунтовано вибір протоколу SIP для розробки системи через його інтеграцію з Інтернет-протоколами та сервісами, масштабованість, розширюваність та підтримку мобільності користувачів.

Наведено архітектуру та принципи функціонування мережі на базі протоколу SIP, включаючи опис SIP проксі-сервера, сервера реєстрації та методів адресації.

Сформульовано вимоги до програмного забезпечення розроблюваної системи з урахуванням можливостей обраного протоколу SIP. Вимоги стосуються функціональності, надійності, масштабованості, безпеки.

Обґрунтовано вибір кодеків для передачі мультимедійного контенту в системі на основі аналізу їх характеристик. Рекомендовано використання кодеків G.711, G.723.1, G.726, G.729A.

Проаналізовано суб'єктивні та об'єктивні методи оцінки якості, їх переваги та недоліки. Суб'єктивні методи базуються на тестуванні групою експертів, найвідоміший - методика MOS. Об'єктивні методи ґрунтуються на

технічному аналізі сигналів, наприклад вимірювання співвідношення сигнал/шум.

Описано психоакустичні методи оцінки якості передачі медіа-даних, які базуються на розумінні сприйняття звуку та мови людиною. Найбільш поширена методика у цій сфері - PESQ.

Запропоновано використання штучних нейронних мереж для оцінки якості на основі параметрів мережі. Описано структуру та принципи функціонування розробленої нейронної мережі.

Представлено результати експериментального дослідження з використанням штучної нейронної мережі для оцінки якості при різних рівнях втрати пакетів. Продемонстровано високу кореляцію значень MOS з алгоритму PESQ та запропонованого методу.

Результати дослідження підтвердили ефективність запропонованого підходу та можливість його практичного застосування для підвищення якості та безпеки передачі мультимедійного контенту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ariza A. QoS routing with outdated network knowledge [Electronic resource] / A. Ariza, E. Casilari, F. Sandoval // Electronics Letters. – 2000. – Vol. 36, no. 15. – P. 1332. – Mode of access: <https://doi.org/10.1049/el:20000948>.
2. Jiang C. Conclusion [Electronic resource] / Chunxiao Jiang, Peiying Zhang // QoS-Aware Virtual Network Embedding. – Singapore, 2021. – P. 401. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-5221-9>.
3. Jiang C. Multi-Objective Enhanced Particle Swarm Optimization in Virtual Network Embedding [Electronic resource] / Chunxiao Jiang, Peiying Zhang // QoS-Aware Virtual Network Embedding. – Singapore, 2021. – P. 229–243. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-5221-9>.
4. Jiang C. QoS-Aware Virtual Network Embedding / Chunxiao Jiang, Peiying Zhang. – [S. l.] : Springer Singapore Pte. Limited, 2021.
5. Jiang C. Resource management and security scheme of icpss and iot based on VNE algorithm [Electronic resource] / Chunxiao Jiang, Peiying Zhang // QoS-Aware virtual network embedding. – Singapore, 2021. – P. 85–103. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-981-16-5221-9_6.
6. Jiang C. Virtual Network Embedding Based on Modified Genetic Algorithm [Electronic resource] / Chunxiao Jiang, Peiying Zhang // QoS-Aware Virtual Network Embedding. – Singapore, 2021. – P. 109–127. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-981-16-5221-9_8
7. Lu Y. Network QoS [Electronic resource] / Ying Lu // Handbook of Computer Networks. – Hoboken, NJ, USA, 2011. – P. 417–427. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/9781118256114.ch28> .
8. Network QoS for Grid Systems [Electronic resource] / Saleem N. Bhatti [et al.] // The International Journal of High Performance Computing Applications. – 2003. – Vol. 17, no. 3. – P. 219–236. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/1094342003173009>.

9. Zhang J. Network traffic clustering with QoS-awareness [Electronic resource] / Jielun Zhang, Fuhao Li, Feng Ye // China Communications. – 2022. – Vol. 19, no. 3. – P. 202–214. – Mode of access: <https://doi.org/10.23919/jcc.2022.03.015>

10. Волокита А. М. Захищена багатоканальна передача даних в cloud computing. Адаптивні системи автоматичного управління. 2012. Т. 1, № 20. С. 153–158. URL: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.20.2012.30716> (дата звернення: 13.12.2023).

11. Воропай В. Г., Фоменко Д. В. Вплив нестабільності частоти мережі на якість електроенергії : thesis. 2016. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/25959> (дата звернення: 13.12.2023).

12. Задачі інженерії даних процесу моніторингу соціальних медіа / Т. В. Олексієнко та ін. XXX Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених "Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства". 2023. URL: <https://doi.org/10.32782/2222-5099.2023.2.2> (дата звернення: 13.12.2023).

13. Князева Н., Грищенко І., Шестопапов С. Метод забезпечення живучості телекомунікаційної мережі на основі перерозподілу ресурсів мережі. Refrigeration engineering and technology. 2014. Т. 50, № 4. URL: <https://doi.org/10.15673/0453-8307.4/2014.28051> (дата звернення: 13.12.2023).

14. Чорній А. М., Журбинський Д. А., Євтушенко І. О. Дослідження впливу завантаженості мережі на якість передавання voip. Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2020. № 4. С. 56–62. URL: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.4.2019.181351> (дата звернення: 13.12.2023).

15. Balalaieva O. Analysis of Data Model for News Media. Mižnarodnij filologičnij časopis. 2021. Vol. 12, no. 4. URL: <https://doi.org/10.31548/philolog2021.04.015> (date of access: 13.12.2023).

16. Hlavcheva D., Yaloveha V. Капсульні нейронні мережі. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2018. Т. 5, № 51. С.

132–135. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2018.5.132> (дата звернення: 13.12.2023).

17. Holubova H. V. Social Media as a Means for Big Data Research. The Problems of Economy. 2020. Vol. 1, no. 43. P. 298–304. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-298-304> (date of access: 13.12.2023).

18. Impact of the syntactic dependencies in the sentences on the quality of the identification of the toxic comments in the social networks (ukr) / S. D. Shtovba et al. Scientific works of vinnytsia national technical university. 2019. No. 4. URL: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2019-4-35-42> (date of access: 13.12.2023).

19. Svitlyshyn I., Svitlyshina I. Уточнення сутності категорії «якість». Actual Problems of Economics. 2022. Т. 1, № 256-257. С. 96–104. URL: <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2022-1-256-257-96-104> (дата звернення: 13.12.2023).

20. Yanko A., Vyhivskyi R. Система захисту комп'ютерної мережі. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2022. Т. 2, № 68. С. 91–94. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2022.2.091> (дата звернення: 13.12.2023).