

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Інфокомунікацій _____
(повна назва)

Кафедра _____ Інформаційно-мережної інженерії _____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

_____ Аналіз методів забезпечення якості послуги IPTV у мультисервісних
мережах зв'язку _____
(тема)

Виконала:
студентка 2 курсу, групи ІМІМ-19-2 _____
Бураківська А.О. _____
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та _____
радіотехніка _____
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна _____
інженерія _____
(повна назва освітньої програми)

Керівник _____ доц. Омельченко А.В. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

_____ Безрук В.М. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

2021 р.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент

(підпис)

Бураківська А. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Омельченко А.В.

(прізвище та ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

(повна назва вищого навчального закладу)

Факультет Інфокомунікацій
 Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
 Освітній рівень другий (магістерський)
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 Тип програми освітньо-наукова
 Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІМІ

проф. Безрук В.М.

“ ” 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові Бураківській Анастасії Олександрівні
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз методів забезпечення якості послуги IPTV у
мультисервісних мережах зв'язку

затверджені наказом ВНЗ від « 12 » березня 2021 року № 350 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13 травня 2021
р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження – якість послуги IPTV у
мультисервісних мережах зв'язку Необхідно проаналізувати методи
забезпечення якості послуги IPTV у мультисервісних мережах з врахуванням
фрактальності трафіку Обґрунтувати пріоритетність класів трафіку у
мультисервісній мережі

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Вступ

1. Аналіз особливостей IPTV

2. Аналіз методів забезпечення якості послуги IPTV у мультисервісних мережах

3. Огляд протоколів IPTV

4. Властивості трафіку у мультисервісних мережах

5. Дослідження якості передачі трафіку від його характеристик

6. Обґрунтування пріоритетності класів трафіку у мультисервісних мережах

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди у форматі Power Point (назва, мета атестаційної роботи, основні протоколи IPTV, властивості фрактального трафіку, залежності показників якості передачі від характеристик трафіку, залежності показників якості передачі від характеристик трафіку, висновки, тощо)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ	12.03.21	
2	Підбір літератури за темою роботи	13.03-20.03.21	
3	Виконання розділу 1	21.03.21-29.03.21	
4	Виконання розділу 2	30.03.21-7.04.21	
5	Виконання розділу 3	8.04.21-14.04.21	
6	Виконання розділу	13.04.21-20.04.21	
7	Оформлення пояснювальної записки	21.04.21-28.05.21	
8	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	1.05-10.05.21	

Дата видачі завдання 12.03.2021 р.

Студент

_____ (підпис)

(Бураківська А. О.)
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

(Омельченко А.В.)
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 56 сторінки, 18 рисунків. 22 джерела., 2 додатка

Об'єкт роботи - мультисервісні мережі зв'язку.

Мета роботи - аналіз методів забезпечення якості послуги IPTV у мультисервісних мережах зв'язку.

Розглянуто особливості IPTV та його протоколи. Проведено аналіз трафіку мультисервісних мереж та методів забезпечення якості послуг для яких застосовують коефіцієнт оцінки якості сприйняття послуг QoE (Quality of Experience).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАФІК, МУЛЬТИСЕРВІСНА МЕРЕЖА, IPTV, ЯКІСТЬ ПОСЛУГИ, ВІДЕОТРАФІК.

THE ABSTRACT

Explanatory note 56 pages, 18 figures. 22 sources., 2 appendices

Object of work - multiservice communication networks.

Purpose of work - analysis of methods of quality assurance of IPTV service in multiservice communication networks.

Features are considered IPTV and its protocols. The analysis of traffic of multiservice networks and methods of quality assurance of services for which the coefficient of assessment of quality of perceptions of services QoE (Quality of Experience) is applied.

KEY WORDS: TRAFFIC, MULTISERVICE NETWORK, IPTV, QUALITY OF SERVICE, VIDEO TRAFFIC.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1.АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ IPTV.....	11
1.1 Структура мережі IPTV.....	11
1.2 Послуги IPTV.....	13
2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ.....	16
3. ОГЛЯД ПРОТОКОЛІВ IPTV	21
3.1 Основні протоколи, що застосовуються при передачі відеотрафіка по IP-мереж.....	21
3.2 Огляд протоколів IPTV з аналізом інкапсуляцій.....	22
4. ВЛАСТИВОСТІ ТРАФІКУ IPTV В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ.....	26
5.ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ТРАФІКУ ВІД ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК.....	31
6. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ КЛАСІВ ТРАФІКУ У МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ.....	35
ВИСНОВОК	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	42
ДОДАТОК А	45
ДОДАТОК Б.....	54

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

IP (Internet Protocol) - інтернет протокол

IPTV (Internet Protocol Television) - технологія передачі телебачення по IP-мережі

QoS - Якість обслуговування, якість Надання послуг, якість сервісу

VoD - Відео на замовлення

QoE (Quality of Experience) - якість сприйняття послуг

ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector) - сектор стандартизації електрозв'язку МСЕ

SSIM -Індекс структурної подібності

RSVP - Протокол Резервування ресурсів

IGMP; (Internet Group Management Protocol) - протокол управління групами (користувачів) в мережі Інтернет

RTP (Real-time Transport Protocol) - транспортний протокол реального часу

MPEG (Motion Pictures Expert Group) - група експертів по рухомих зображень; група стандартів стиснення аудіо-та відеоінформації

UDP (User Datagram Protocol) - протокол призначених для користувача дейтаграм

PSNR- Пікове співвідношення сигнал / шум

MSE -середньоквадратична помилка

MPQM - метрика якості Рухом збережений

DSCQS -Шкала безперервної якості Подвійного стимулу

DSIS -Шкала Подвійного зниження стимулу

ACR - абсолютний рейтинг категорії

CRC (cyclic redundancy code) - контрольний циклічний надлишково код

ВСТУП

На сьогоднішній день послуги Internet Protocol Television (IPTV) набувають все більшої популярності серед користувачів. Велика частина операторів уже розгорнули або розгортають майданчика з метою їх впровадження. Цей вид послуг вважається складним з точки зору оцінки якості.

Існує ряд методів для оцінки якості переданого відео, але немає однозначної думки і, як наслідок підходу, що дає чітке уявлення оператору, що ж бачить на екрані телевізора користувач. Саме тому, складно спрогнозувати і запобігти виникаючим проблеми в мовленні, попередити клієнта і підвищити тим самим його лояльність. Об'єм трафіку IPTV істотно збільшився за останні роки і впливає на показники якості обслуговування для всіх видів трафіку, що передаються в IP-мережах, в тому числі, і на якість доставки самого трафіку IPTV [1,3,8].

Послуга IPTV реалізується на основі технології TCP/IP, яка була обрана в якості базової технології для побудови комунікаційної мережі NGN наступного покоління. Як і в випадку з усім трафіком відеододатків, вимірювання трафіку IPTV показує, що він має тенденцію до експоненціального зростання і конкурує за мережеві ресурси з трафіком традиційних додатків в IP-мережах.

Довгий час тільки методи суб'єктивної оцінки якості передачі відео вважалися основним методом оцінки якості IPTV, але через складність тестування і тестування вони не можуть знайти широкого застосування в роботі сервісів IPTV. Необхідно постійно тримати групу фахівців. Тому в останні роки стали дуже популярними методи об'єктивної оцінки, засновані на зборі та аналізі мережевих характеристик. Однак також їх неможливо охарактеризувати універсальними, а також здатними чітко дати оцінку переданого відеоматеріалу, так як більша частина подібних способів ніяк не передбачає характеристик, специфічних в відеододатках. За цією причиною на сьогоднішній день є досить велика кількість як суб'єктивних, так і об'єктивних способів оцінки якості IPTV.

Однак на сьогоднішній день не існує об'єктивного методу оцінки якості передачі IPTV в реальному часі, який міг би однозначно визначити прийнятна чи ні якість відео з боку користувача. При запуску послуг IPTV оцінку якості відео ділять на кілька етапів, щось перевіряється тільки при впровадженні послуги, інші показники тільки в момент експлуатації. Таким чином, оператор, який бажає впровадити послуги IPTV, змушений підтримувати функціонування декількох об'єктивних і суб'єктивних методів оцінки якості відео одночасно[1,3,8].

Метою даної роботи є аналіз методів забезпечення якості послуги IPTV у мультисервісних мережах зв'язку.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ IPTV

1.1 Структура мережі IPTV

IPTV - технологія передачі цифрового відео контенту в IP мережах.

Технологія IPTV (IP Television) являє собою технологію доставки мультимедійних послуг (ТБ, аудіо / відео, текст, графіка, дані) на базі мереж IP в інтерактивному режимі і в режимі мовлення.

IPTV відноситься до класу закритих приватних систем телевізійного мовлення. Воно подібно існуючим сьогодні системам кабельного телебачення і відрізняється від них тим, що телевізійні програми доставляються абонентам по безпечним IP-каналам. Це дозволяє значно поліпшити управління доставкою контенту [3,8].

Особливістю IPTV є те, що контент поставляється в будинок абонента через частково замкнуту мережеву інфраструктуру, в яку не можна здійснити доступ через мережу Інтернет. Ця інфраструктура знаходиться під управлінням якого-небудь телекомунікаційного оператора або Інтернет-провайдера (ISP). Вони або є власниками мережі, або, як мінімум, управляють цією мережею [3,8].

Телевізійний контент, що надається провайдерами, пов'язаний з телефонними, широкосмуговими і, менш часто, з мобільними послугами, як частина так званих triple або quadruple play пропозицій. В загальному випадку мережа IPTV будується на основі розподілених інформаційних ресурсів. Як правило, оператор передбачає розміщення в мережі IPTV декількох відеосерверів, «заряджених» різним контентом. Крім того, IPTV є відкритою системою, що розвивається, і пропонувати свої програми в ній може величезна кількість невеликих і середніх відеопродюсерів [3,8].

Різниця між послугою IPTV і послугою Інтернет-телебачення полягає в наступному: Наскрізна архітектура, в якій споживачі отримують контент від операторів зв'язку або інтернет-провайдерів. В технології Інтернет-телебачення забезпечені прямі канали зв'язку використання правовласниками і споживачами

будь-якого контенту та відкрита архітектура. Послуги Інтернет-телебачення можуть включати базовий контент, створений спільними користувачами персональний особистий сайт і офіційна бібліотека. Доступ до контенту через спеціальне програмне забезпечення. Програмне забезпечення агрегування RSS, таке як Brightcove. Іншими словами, користувач отримує контент з Інтернету прямо з цього сервера публікації. Немає ніякої участі власника мережевої інфраструктури [3,8].

Тому, послуги IPTV аналогічні послуг, що надаються традиційними ефірними, кабельними і супутниковими операторами, а не послуг Internet television. При цьому основна перевага послуг IPTV полягає в наявності постійного зворотного каналу. IPTV оператори при наданні послуг використовують вдосконалені технології стиснення, що призводить до поліпшення якості зображення, порівнянного з його якістю у кабельних, супутникових і ефірних мовників і перевершує якість зображення Internet television [3,8].

Розглянемо спрощену модель тракту інтерактивного телебачення, наведену на рис. 1.1 [3,8].

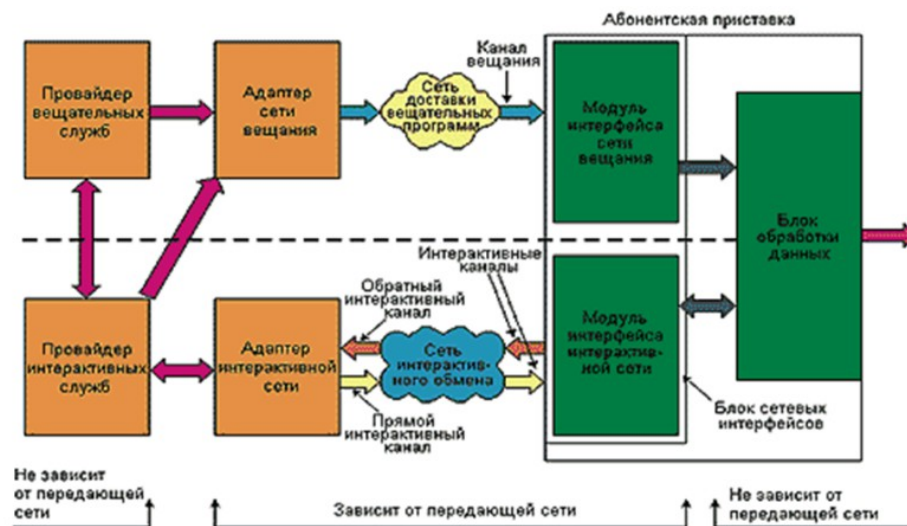


Рисунок 1.1 – Модель інтерактивного ТВ тракту [8]

Постачальники мовних та інтерактивних послуг можуть включати кілька операторів. Постачальник послуг мовлення передає контент абонент, який використовує мережу розповсюдження програм мовлення і канал мовлення [3,8].

Контент відправляється в модуль мережевого інтерфейсу широкомовної передачі телевізійної приставки, через який приймальний термінал взаємодіє з мережею. Те ж саме відбувається, коли інтерактивна інформація транслюється через мережу інтерактивний обмін. Тільки в цьому випадку є два інтерактивні канали: туди і назад[3,8,1].

Крім класичної ТБ-трансляції, розробка IPTV дозволяє операторам надавати пропозиції VoD (video-on-demand), які їх суперники не можуть дати через недоступність незмінного зворотнього каналу. Інтерактивна інфраструктура IPTV адаптована до класу on - demand, interactive і time-shifted пропозицій, які бажає отримувати нинішній покупець. Існування незмінного зворотнього каналу означає, власне що IPTV оператори і рекламодавці мають унікальну можливість точно зрозуміти, чого хоче цей споживач, і коли він бажає дивитися свій контент. [3,8].

1.2 Послуги IPTV

Весь спектр послуг IPTV можна умовно розділити на три основні групи: - базові (каналні) послуги (Basic Channel Service); - розширені послуги (Enhanced Selective Service); - інтерактивні телематичні послуги (Interactive Data Service). Базовий комплекс IPTV включає в себе стандартний набір послуг, що надаються в мережах кабельного і ефірного телебачення[3,8].

Реалізація цього комплексу забезпечує можливість трансляції по мережах IP радіо і телевізійних програм в поєднанні з базовим комплексом послуг мереж передачі даних. При цьому передбачається, що послуги базового комплексу не є взаємопов'язаними і можуть надаватися незалежно [3,8,1].

Послуги розширеного комплексу IPTV реалізуються в комплексах, які забезпечують активну взаємодію абонента з системою, яка надає послугу. Для таких комплексів характерна наявність і активне використання зворотних каналів[1,3,8]. . До послуг, що надаються в складі розширеного комплексу IPTV, відносяться:

- всілякі види реалізації служби "Відео на вимогу"

- телепередача мелодійних програм за запитом абонента - MoD;
- допомога електричного екскурсовода - EPG;
- допомога "Індивідуальний відеомагнітофон" - PVR;
- допомога" Діловий канал "- B2B hosting - має на увазі компанію призначеного каналу для обміну експлуатаційними наданими та проведення відеоконференцій між підрозділами однієї компанії;
- допомога "особистий канал" - C2C hosting - гарантує компанію призначеного каналу заради внутрішнього розміну компаній;
- служба «Платний перегляд» (Pay per View) - складка і огляд користувачем самостійно перевагу програм (наприклад, кінець чемпіонату світу з футболу). Телепередача ведеться в режимі реального часу і використовується технологія IP-multicast;
- служба «Телебачення з зрушенням після часу» (Time Shifted TV) - передплатник набуває послугу перегляду попередньо записаних для відеосервері програм. Допомога і реалізовані в ній сервісні функції недалеко до «відео на замовлення». Так використовується технологія.
- служби «Сервіси на замовлення» SoD - це замовлення товарів і послуг на будинок, різноманітна довідкова інформація, розклад транспорту, готельний сервіс і т. вихідні служби недалеко до подібних сервісів в Internet. [1,3,8].

Комплекс інтерактивних телематичних послуг мереж IPTV є поглиблений комплект інформативних сервісів мережі Internet, з'єднаних в п'яти предметних категоріях :

- інформативна група (T-information);
- бізнесменська група (T-commerce);
- комунікаційна група (T-communication);
- розважальна група (T-entertainment);
- освітня група (T-learning). [2,8].

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ

З Метою оцінки якості надання послуг застосовують коефіцієнт оцінки якості сприйняття послуг QoE (Quality of Experience), що безпосередньо пропорційно залежить від ознаки якості надання обслуговування QoS (Quality of Service). QoE - це суб'єктивна оцінка обслуговування в прикладному ступеня користувачем, що використовує пропозицією. QoS - це комплект технологій мережевого і канального рівнів, застосування яких, дають можливість результативно застосовувати засоби мережі, особливо при передачі поточкових різновидів трафіку з метою надання необхідної задоволеного рівня QoE зображено на рис. 2.1 [4].

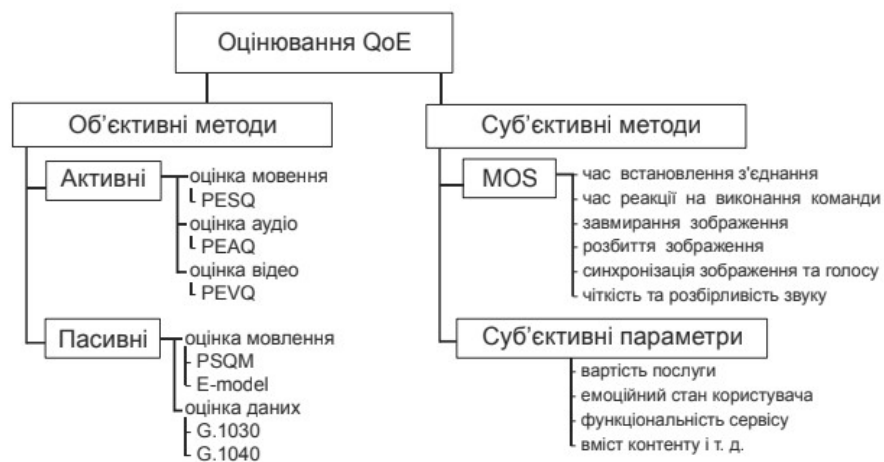


Рисунок.2.1 – Загальна класифікація алгоритмів та методів оцінювання QoE [4]

Об'єктивні методи оцінки якості дають можливість усунути осіб з процедури оцінювання, але таким чином також просто автоматизуються. Об'єктивні способи поділяються в діючі також бездіяльні. У діючих способах оцінки якості виповнюється лінією зіставлення откалиброваної черговості зі послідовністю, що існувала.

До діючих способів належать :

- пропозиція ITU-T P.862 - PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality)

- аналіз сприйняття властивості передачі відео.

- пропозиція ITU-T BS.1387 - PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) - аналіз сприйняття властивості передачі аудіо.

- пропозиція ITU-T J.247 - PEVQ (Perceptual Evaluation of Video Quality) - аналіз сприйняття властивості передачі відеоматеріалів.

До бездіяльних способів належать:

- пропозиція ITU-T P.563 - PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement) метод прогнозу з метою оцінки якості мовного взаємозв'язку.

- рекомендація ITU-T G.107 E-model оцінює якість мовного зв'язку за допомогою R-фактора.

- рекомендації ITU-T G.1030 G.1040 оцінювання якості передавання даних.

Найбільш легким видом оцінки параметра QoE може бути оцінка MOS. Данна оцінка вважається осередненим змістом оцінок деяких досліджень, зроблених на основі використання технології ITU-T зі застосуванням п'ятибальної концепції. З метою отримання балу QoE оцінюють подібні характеристики: період визначення об'єднання; період взаємодії в здійсненні вказівки; тріпотіння малюнку, поділ малюнку, синхронізацію малюнку, також голосність, точність, а тако ж чіткість звуку. Але форма MOS ніяк не передбачає кілька явищ, що впливають на якість обслуговування.

У моделі MOS немає можливості чисельно враховувати вплив умов на характеристики відео. Крім цього, форма MOS передбачає оцінку якості у односторонньому поєднанні, але ніяк не в 2-ух напрямках справжнього з'єднання. Все це викликало дослідження новітніх модифікацій, а також розробки нових способів оцінки якості передачі відео, які передбачають характерні риси пакетних сіток.

Довгий час в ролі основних методів оцінки якості IPTV розглядалися тільки суб'єктивні методи оцінки якості передачі відео, проте, їх широке використання в процесі експлуатації послуг IPTV не є можливим внаслідок складності проведення тестів (необхідність постійно утримувати групу або

групи експертів). Тому останнім часом великої популярності набули методи об'єктивної оцінки, які ґрунтуються на зборі та аналізі мережових характеристик. Але і їх не можна назвати універсальними і здатними точно оцінити з якою якістю передається відео, оскільки більшість таких методів не враховує характеристик відеопослуг. Тому сьогодні існує досить велика кількість різноманітних методів оцінки якості IPTV як суб'єктивних, так і об'єктивних які потребують вдосконалення

Є рекомендації щодо оцінки зображення та відео доступна якість сигналу, напр. MSE-T C.910. Суб'єктивні виміри якості зображення та відеосигналу ґрунтуються на людському сприйнятті. Перевага цього вимірювання полягає в тому, що люди можуть описати зображення відповідно до того, що вони насправді бачать і тому придушують інформацію, яка невідчутна для людини око.

На суб'єктивні вимірювання впливає число факторів, що робить повторюваність цих суб'єктивних вимірювань важкої. Існує кілька підходів до IPTV вимірювання якості, наприклад MSE, PSNR, SSIM, MDI (Індекс доставки медіа) або MPQM (метрика якості рухомих зображень), щоб назвати деякі об'єктивні методи. Група до суб'єктивних методів оцінки якості IPTV належать MOS, DSCQS (шкала безперервної якості подвійного стимулу), DSIS (шкала подвійного зниження стимулу) та ACR (абсолютний рейтинг категорії).

- MSE (середньоквадратична помилка)

MSE являє собою середньоквадратичну помилку між отриманими та оригінальними відеосигналами. Наступна формула використовується для розрахунку:

$$\text{MSE} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - y_{ij})^2 \quad (2.1)$$

де x - вихідне зображення, y - отримане зображення, елементи i, j - елементи матриці зображення, M - висота зображення в пікселях, а N - ширина зображення в пікселях [21].

- PSNR (Пікове співвідношення сигнал / шум)

PSNR - це співвідношення між найвищими значеннями відносно MSE і виражається наступною формулою:

$$(2.2)$$

де m - максимальне значення, яке може отримати піксель [21].

- SSIM (Індекс структурної подібності)

Параметр SSIM враховує зорову систему людини рахунок. Він вимірює схожість двох зображень. SSIM був розроблений для вдосконалення звичайних таких показників як MSE та PSNR, які, як було доведено, не відповідають сприйняття людиною. Опорні значення лежать в інтервалі $<0,1>$, де 0 означає відсутність відношення до вихідного зображення і значення 1 досягається, коли є дві однакові картинки порівняно.

$$(2.3)$$

Термін $l(x, y)$ використовується для порівняння яскравості сигналу, термін $c(x, y)$ порівнює контраст сигналу і термін $s(x, y)$ використовується для вимірювання структурної кореляції, яка обчислюється з наступних умов:

$$(2.4)$$

$$(2.5)$$

$$(2.6)$$

де μ_x та μ_y представляють середнє значення зразків x та y , $C1, C2 =$ постійні і σ_x та σ_y представляють дисперсію x і y [21].

3 ОГЛЯД ПРОТОКОЛІВ IPTV

3.1 Основні протоколи, що застосовуються при передачі відеотрафіка по IP-мереж

Доступ окремих абонентських приладів до мультимедійного трафіку в мультисервісних мережах гарантується за підтримки ряду протоколів. Нижче дамо коротку деяких провідних мережових протоколів[7]:

- протокол RTSP;
- протокол IGMP;
- протокол RTP.

При багатоадресній передачі відеотрафік IPTV транспортується нескінченним потоком. Його надання не зобов'язана ініціюватися будь-яким кінцевим абонентським пристроєм. Окремі призначені для користувача вузли можуть взаємодіяти з серверами IPTV, створюючи вимоги про приєднання до службам багатоадресної передачі трафіку[7].

Провайдерам додатків послуг широкосмугового доступу потрібно тримати під контролем встановлення призначеного для користувача каналу, при ініціюванні абонентом доступу до пропозицій IPTV. Найбільш можливими підставами втручання оператора пропозиції в процес передачі трафіку вважаються: облік пропозицій (BSS), контроль виконання алгоритмів відносного доступу (CAS). У цих випадках необхідне використання протоколу встановлення сеансу RTSP, функціонування якого здійснюється в відповідно до рекомендацією IETF . [7]

Використання протоколу RTSP.

RTSP гарантує ймовірність контрольованої передачі відеотрафіка по широкосмуговій мультисервісній мережі. Протокол клієнт - серверної технології при перенесенні трафіку. При цьому одержувач має можливість в один і той же час відтворювати 1-ий згорт даних, декодувати 2 і отримувати 3-ий [7].

Будучи протоколом значення додатків, RTSP управляє передачею контенту в реальному часі. Враховується впровадження протоколу RTSP для 2-ух випадків:

- потокове мовлення трафіку IPTV;
- надання трафіку відео за запитом.

Допускається використання протоколу RTSP для отримання ресивером IPTV струменів трафіку в режимі багатоадресної передачі.

Використання протоколу IGMP.

IGMP управляє передачею пакетів між користувачами по широкосмуговим IP-мереж відповідно до [8, 9]. Ще IGMP управляє взаємодією між джерелами багатоадресних струменів і їх одержувачами. Абонентське прилад, що підключається до конкретної багатоадресної групи, створює звістку про включення з адресою багатоадресної групи, і передає його в транспортну мережу. Джерела мають можливість в один і той же час відтворювати 1-ий згортки даних, декодувати 2 і отримувати 3-ий [7].

3.2 Огляд протоколів IPTV з аналізом інкапсуляцій

Це найголовніший процес, що виконується IPTV станцією. Для передачі транспортних MPEG-потоків через традиційні мережі з пакетною передачею даних, головна станція IPTV об'єднує безліч 188-ми байтових MPEG транспортних пакетів і формує з них корисне навантаження кадру PDU (protocol data unit).

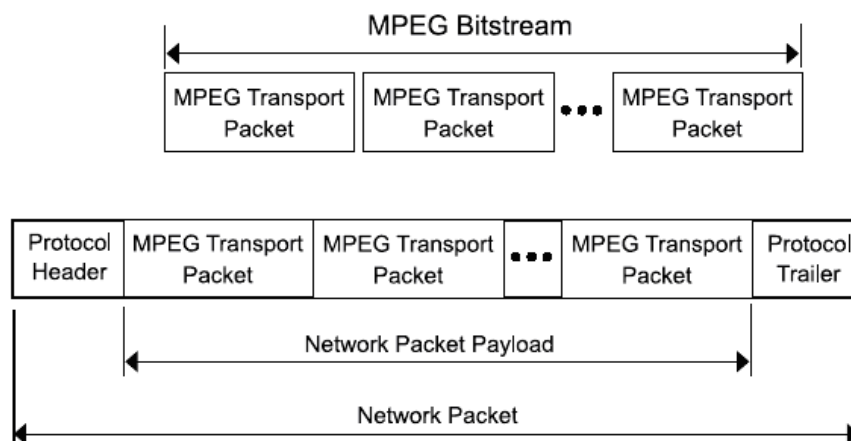


Рисунок 3.1–Процес інкапсуляції [12]

Рис. 3.1 ілюструє процес інкапсуляції. Тема (Header) і замикає частина кадру (Trailer) визначаються використанням мережним протоколом.

Наступні два рисунки 3.2а і 3.2б ілюструють інкапсуляцію MPEG-пакетів в Gigabit Ethernet мережах.

На рис. 3.2а показаний кадр в форматі MPEG over UDP / IP over Gigabit Ethernet. Замикає частину кадру, як зазвичай CRC (cyclic redundancy code) - контрольний циклічний надлишковий код [12].

Рис. 3.2б показує інкапсуляцію MPEG over Gigabit Ethernet в реальному часі з використанням протоколу RTP [12].

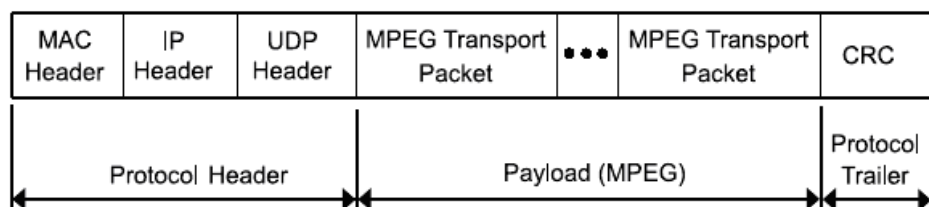


Рисунок 3.2а – Інкапсуляція кадру в форматі MPEG over UDP / IP в Gigabit Ethernet[12]

Протокол RTP (Real-time transport protocol) визначає і компенсує втрачені пакети, забезпечуючи безпеку передачі контенту і розпізнавання інформації. Протокол RTP функціонує поверх протоколу UDP (User Datagram Protocol), розташованого в стеці протоколів TCP/IP над протоколом IP. Різниця між двома рисунками тільки в додаванні RTP-заголовка в секцію заголовка протоколу (Protocol Header)[12].

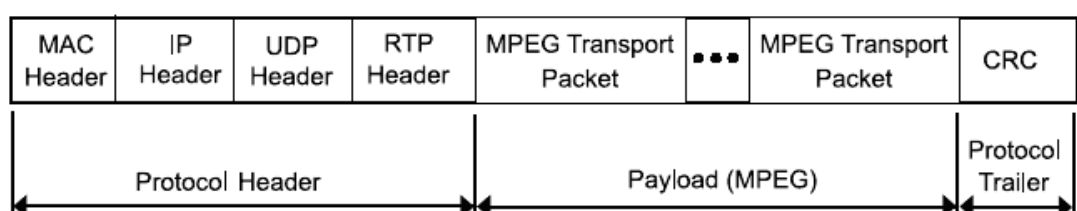


Рисунок 3.2б – Інкапсуляція кадру в форматі MPEG в Gigabit Ethernet з використанням RTP

Рис. 3.3а ілюструє формат MPEG over UDP / IP over ATM з класичної IP-інкапсуляцією (RFC 2684 LLC інкапсуляція маршрутизованих протоколів). До складу корисного навантаження AAL-5 входить IP-пакет, з навантаженням з безлічі транспортних пакетів MPEG, плюс RFC 2684 заголовок і замикає частина кадру. В цьому випадку повний кадр AAL-5 PDU надано рівню ATM для подальшої сегментації в ATM осередки. (Padding в секції Trailer це заповнення секції незначної інформацією).

Для інших RFC 2684 ATM подібних інкапсуляцій виробляються відповідні зміни. Так, наприклад, для інкапсуляції в реальному часі після заголовка UDP був би заголовок RTP. А для бруківки (bridged) інкапсуляції Ethernet був би заголовок Ethernet MAC перед IP заголовком.

Рис. 3.3б показує інкапсуляцію MPEG over Native ATM. Він дуже схожий на попередні рисунки. Відмінність полягає у видаленні UDP/IP і RFC 2684 рівнів (власне, тому такий метод і називається "Native" (спадковий) ATM, так як він не має будь-яких додаткових протоколів). Для цього методу заголовок протоколу є порожнім і цей метод більш ефективно використовує ширину смуги, ніж інші ATM методи. Однак присутність UDP/IP заголовків в інших методах дозволяє підтримувати безліч однопрограмних транспортних потоків (SPTS) через одну віртуальну ATM ланцюг, що неможливо в методі ATM Native.

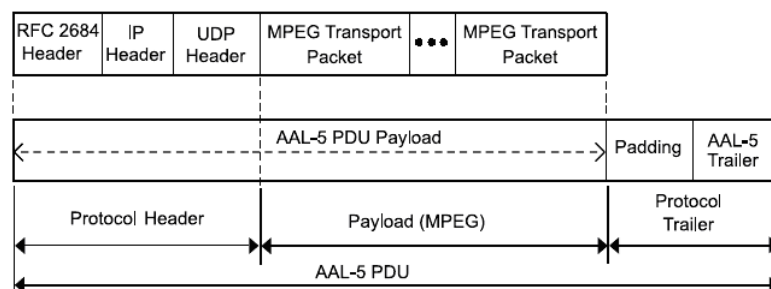


Рисунок 3.3а – Інкапсуляція кадру в форматі MPEG over UDP / IP в ATM [12]

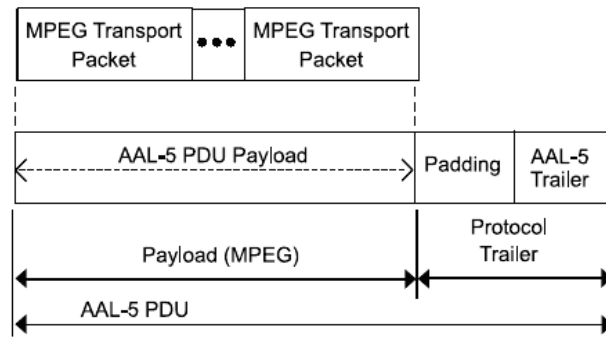


Рисунок 3.3б – Інкапсуляція кадру в форматі MPEG over Native ATM [12].

4 ВЛАСТИВОСТІ ТРАФІКУ IPTV У МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ

Наявність фрактальних властивостей мережевого трафіку було виявлено кілька десятиліть тому, коли було встановлено, що на великих масштабах він має властивість самоподібності, тобто виглядає якісно однаково при досить великих масштабах часової осі і проявляє довготривалу залежність [13].

Фрактальний процес можна визначити як випадковий процес, статистичні характеристики якого виявляють властивості самоподібності (масштабної інваріантності) [13].

Самоподібний процес істотно не змінює виду при розгляді в різних масштабах за шкалою часу. Зокрема, на відміну від процесів, що не володіють фрактальними властивостями, не відбувається швидкого «згладжування» процесу при усередненні за шкалою часу - процес зберігає схильність до сплесків [13].

Інноваційні дослідження показують, то що самоподібність у телекомунікаційному трафіку здатна з'являтися у результаті організації безлічі окремих джерел. Подібне з'єднання одиничних джерел інформації у результаті призводить до появи самоподібного трафіку, що має тенденцію до фрактального броунівського переміщення (ФБП). ФБД - випадкова процедура, що володіє певної пам'яттю.

Подання ключових чинників, що призводять до самоподібності у трафіку інфокомунікаційних мереж, обумовлюється тим, то що немає 1-ої умови, що породжує його. Далі представлені основні умови, які можуть продукувати самоподібність трафіку мультисервісних мереж:

- дії користувача (двоканальний також мережу інтернет-ковзання,
- синхронна навантаження деяких мультимедійних файлів);
- з'єднання трафіку в різних мережевих ступенях;
- вибір масштабу також переконфігурація;
- автокореляції, наявні у непуасонівському трафіку у різних масштабах періоду [14,15].

Проаналізуємо процес з параметром Херста H , що визначає рівень самоподібності [16]. Процес $X(t)$ вважається точно самоподібним дією в широкому значенні зі параметром Херста ($0,5 < H < 1$), в разі якщо його кореляційна функція гіперболічно загасає:

$$r(k) \sim k^{-2H} \quad (4.1)$$

Встановлено, то що показник кореляції обумовлюється відповідністю $r(k) = R(k) / R(0) = R(k) / R(0)$, в той час нормована абстрактна АКФ (показник кореляції) самоподібного процесу має наступний вид:

$$r(k) \sim k^{-2H} \quad (4.2)$$

Розберемо постійний процедура $X(t)$ з взаємозалежної призначенням $R(k)$. Встановимо m Z -об'єднання швидкоплинної кількості, усередня початковий кількість $X(t)$ згідно неперекриваючихся блокам обсягу m , змінюючи будь-яке джерело його посереднім змістом [17]:

$$X_m(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X(t + (i-1)\tau) \quad (4.3)$$

У придбаній агрегированной черговості $X_m(t)$ відзначимо взаємопов'язану функцію

Процес $X(t)$ вважається асимптотично самоподібним в широкому значенні, зі ознакою H ($0,5 < H < 1$), в разі якщо:

$$r_m(k) \sim k^{-2H} \quad (4.4)$$

Подання (4.4) враховує те, що усіх $m > 1$, самоподібність зберігається також при агрегуванні.

Присутність самоподібності в швидкоплинних послідовностях можливо встановити згідно наступним показникам.

1. Гіперболічно загасаюча автокорреляційна функція задовольняє умові .

2. Розсіювання самоподібного ходу спадає повільніше величини, протилежної величині вибірки:

При описі самоподібних явищ застосовується параметр Херста. Даний параметр був найменовано відповідно до прізвища Х.Е. Херста, який віддав своє життя дослідженню Нілу також інших річок, але крім того питань зберігання води. З числа інших завдань Херст відкрив, що ступінь воді у Нілі за 800-літній період висловлює властивості самоподібності. Параметр Херста H , названий параметром самоподібності, розташовується в діапазоні $0 < H < 1$. Він характеризує найважливішу межу самоподібності, а конкретніше, межу тривалості довготривалого зв'язку стохастичного ходу.

Необхідно відзначити, то що у випадку $0,5 < H < 1$ процес має властивість тривалої пам'яті. Іншими словами, в разі, якщо протягом певного періоду у минулому спостерігалися позитивні збільшення ходу, наприклад, відбувалося підвищення, в такому випадку також в подальшому в середньому стане здійснюватися підвищення. Іншими словами, можливість того, що процедура в $i + 1$ кроці відхиляється від середнього, до такої міри велика, в якій мірі параметр H подібний до 1.

У разі $0 < H < 0,5$ кажуть про антиперсистентний хід. Іншими словами, можливість того, то що в $i + 1$ кроці щодо процес відхиляється від середнього у зворотньому перебігу (згідно до відхилення в i кроці) до такої міри велика, в якій мірі параметр H подібний до 0.

Оцінка параметра Херста залежить від декількох факторів (наприклад, методики оцінки, розміру вибірки, масштабу часу, кореляційної структури і т.д.). Існує кілька методів оцінки параметра Херста у часових рядах, однак найбільш простим і інформативним є аналіз R/S -статистики.

Дослідження мінливості різних статистичних явищ привело до розробки нормованої безрозмірною величини, здатної описати мінливість. Ця величина названа нормованим розмахом (R / S) [18, 19].

Візьмемо реалізацію випадкового процесу $Z(t)$. Розіб'ємо весь час на ряд інтервалів спостережень ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) тривалістю Δt . Тоді $Z = Z(i)$ є часовий ряд цього процесу. Середнє значення даного часового ряду Z обчислюється за допомогою формули:

$$\bar{Z} = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N Z(i) \quad (4.5)$$

Потім визначимо величину відхилення від середнього значення:

$$Z(i) - \bar{Z} \quad (4.6)$$

Далі визначимо величину R , яка носить назву максимального розмаху досліджуваного ряду:

$$R = \max_i |Z(i) - \bar{Z}| \quad (4.7)$$

і середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N (Z(i) - \bar{Z})^2} \quad (4.8)$$

Доведено, що для випадкових процесів справедлива наступне рівність, де величина H (параметр Херста) може змінюватися від 0 до 1. За R / S - аналізом показник Херста, визначається як:

$$H = \frac{R}{S} \quad (4.9)$$

де R - максимальний розмах досліджуваного ряду;

S - СКО спостережень;

N - кількість спостережень.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ТРАФІКУ

Модель MOS представляє оцінку якості в однонаправленому з'єднанні, а не в двох напрямках реального з'єднання. Все це вимагало розробки нових моделей та методів оцінки якості передавання даних, що враховують особливості пакетних мереж. Важливим фактором також є те, що різний тип трафіку по-різному впливає на уявлення абонента про якість наданої послуги доступу в мережу Інтернет, і тому задача визначення та управління різних типів трафіку з позиції їх впливу на враження абонента є актуальним і пріоритетним завданням для операторів телекомунікаційних мереж.

Аналіз взаємозв'язку між якістю передачі за шкалою MOS (Mean Opinion Score) та значенням PSNR виконано в роботі [1].

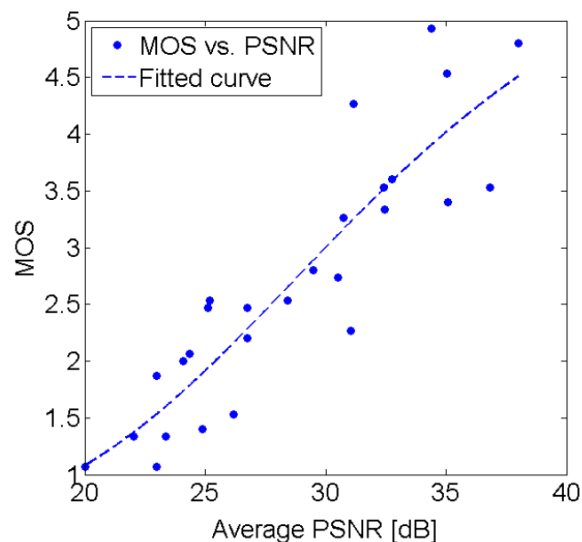


Рисунок 5.1 – Взаємозв'язок між якістю передачі за шкалою MOS та PSNR

Із показаного на рис. 5.1 графіку видно [1], що для забезпечення значення MOS=4 потрібно мати PSNR=35 дБ, а для забезпечення MOS=4 – PSNR=30 дБ.

Характеристика Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) вважається більш класичним способом виміру властивості концепції оброблення також передачі числового відео матеріалу.

В роботі [2] експериментальним шляхом було встановлено залежність PSNR від імовірності втрати IP пакетів . На рис. 5.2 точками показано результати експерименту.

В цій магістерській роботі для апроксимації залежності PSNR від p було використано функцію

$$. \quad (5.1)$$

Коефіцієнти у формулі (5.1) було встановлено методом найменших квадратів.

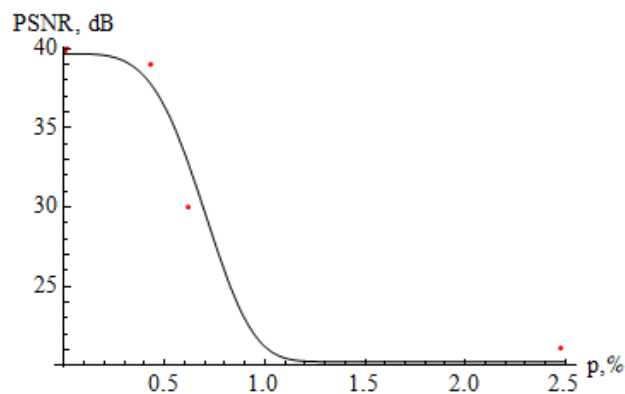


Рисунок 5.3 – Залежність PSNR від

В роботі [3] пропонується оцінювати вірогідність втрати пакету за допомогою параметра самоподібності (параметра Херста H).

Вираз ймовірності втрат має вигляд

$$P_{loss} = \frac{(1-\rho)}{1-\rho^{(W+1)^{2(1-H)}}} \cdot \rho^{W^{2(1-H)}} . \quad (5.2)$$

Якщо параметр Херста $H=0.5$, то процес не має властивість фрактальності. Якщо параметр Херста $H = 1$, то процес повністю самоподібний і має властивість фрактальності.

На рис. 5.3 – 5.6 показано залежність імовірності втрати пакетів від інтенсивності трафіку для різних значень параметру Херста H і різних розмірів буферу. Тут штрих-пунктирна крива відповідає значенню параметра Херста $H=0.5$; пунктирна – $H=0.7$; суцільна $H=0.8$. Горизонтальна пряма показує допустимий рівень втрати пакетів $p=0.005$. У цьому випадку згідно (5.1) $PSNR=36.3458$ дБ.

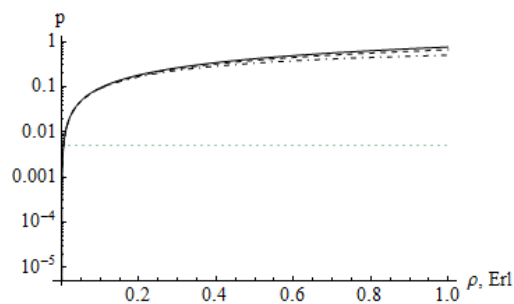


Рисунок 5.3 – Залежність імовірності втрати пакетів p від інтенсивності трафіку для буферу розміром

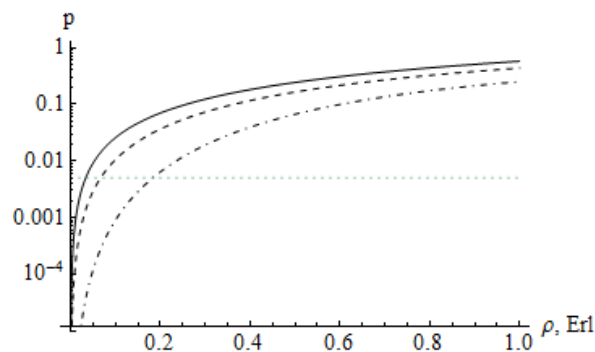


Рисунок 5.4 – Залежність імовірності втрати пакетів p від інтенсивності трафіку для буферу розміром

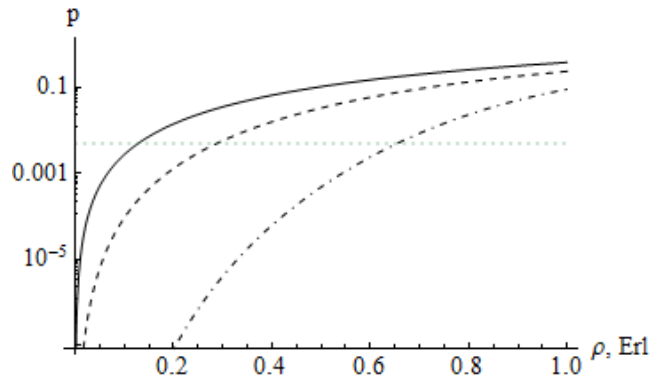


Рисунок 5.5 – Залежність імовірності втрати пакетів p від інтенсивності трафіку для буферу розміром

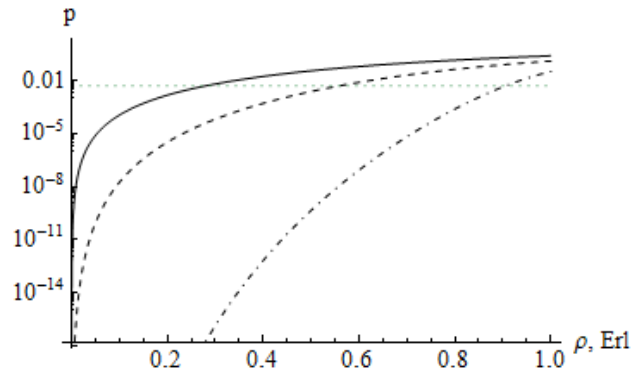


Рисунок 5.6 – Залежність імовірності втрати пакетів p від інтенсивності трафіку для буферу розміром

Із аналізу графіків можна встановити, що при типових рівнях параметру Херста для забезпечення використання каналів не гірше 0,3 потрібно мати буфер у комутаторі пакетів довжиною не менше $W=30$ пакетів. Якщо ж буфер буде мати $W=10$ то використання ліній буде становити лише приблизно 0,1.

6 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ КЛАСІВ ТРАФІКУ У МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ

Здійснено дослідження ключових характеристик, що впливають в якість послуг, що надаються, зокрема послуг IPTV. При цьому врахуємо, що до основних факторів, які впливають на якість, відносяться втрати пакетів, мережева затримка, джиттер також необхідна смуга пропускання [21].

Затримка - визначається як інтервал часу між моментом початку передачі відправникам -блоку даних трафіка відповідного сервісу та моментом закінчення прийому цього ж блоку його одержувачем. Затримка , складається із часів пакетизації, передачі і поширення переданих блоків даних по каналах зв'язку між вузлами телекомунікаційної мережі, а також із часу очікування цих блоків у чергах проміжних комутаторів і маршрутизаторів мережі [21,22].

В асинхронній телекомунікаційній мережі затримка блоків даних може бути різною для кожного блоку і являє собою випадкову величину, що виражається у такий спосіб [21,22]:

$$, \quad (6.1)$$

де t_i - випадкова величина часу пакетизації i -блоку даних трафіка;

- - загальне число каналів зв'язку між дома абонентами сервісу;

N - загальне число комутаційних пристроїв розташованих між двома абонентами сервісу;

- випадкова величина часу поширення i -блоку даних трафіка по k -му каналу зв'язку;

- випадкова величина часу обслуговування i -блоку даних трафіка у j -комутаційному пристрої;

- випадкова величина часу очікування в черзі i -блоку даних трафіка в j -комутаційному пристрої[21.22].

Середня затримка $\bar{\tau}$ визначається як середнє значення усіх затримок переданих блоків даних

$$, \quad (6.2)$$

де $N^{(b)}$ - загальне число доставлених блоків даних[21.22].

Імовірність втрати пакетів $P^{(rs)}$ визначається відношенням числа не доставлених адресатові пакетів даних до загального числа переданих пакетів[21.22].

Джиттер $\sigma^{(\tau)}$ - визначається як різниця між $\tau^{(\max)}$ і $\tau^{(\min)}$ затримкою передачі блоків даних трафіка відповідного сервісу[21.22].

$$(6.3)$$

Де

а дисперсія

$$. \quad (6.4)$$

Значення часу доставки та джиттера доставки є важливими мережними характеристиками для послуг, що надаються у реальному масштабі часу[21.22].

Припустимі значення затримки, джиттера, імовірності втрати пакета та смуги пропускання, визначені для основних типів мультимедійних послуг у результаті досліджень Європейського дослідницького центра в області телекомунікацій (RACE – Research on Advanced Communication in Europe), наведені в табл. 6. 1 [21,22].

Таблиця 6.1 – Параметри трафіку мультимедійних послуг

Тип мультимедійного сервісу	Параметри мультимедійних трафіків			
	Втрати пакетів	Затримка	Джиттер	Смуга пропускання
Голос	0,25%	0,15 с	10 мс	21 -106 кбіт/с
Аудіо по запиті	1%	1 с	15 мс	256 кбіт/с
Відеоконференція	1%	0,15 с	30 мс	Розмір сесії +20%
VoD (Цифрове відео по запиті)	0,5%	0,03 с	30 мс	Залежить від формату (min 8 Мбіт/с)
Клас передачі даних best effort	2%	1 с	-	64 кбіт/с
IPTV (Цифрове телебачення)	2%	0,05 с	30 мс	Залежить від формату (min 6 Мбіт/с)

На основі цих даних за формулами (6.5 – 6.8) розрахуємо відносний пріоритет кожної складової якості для кожного з класів трафіку.

Для втрат пакетів:

$$\dots (6.5)$$

Для мережної затримки:

$$\dots (6.6)$$

Для джитера:

$$\dots (6.7)$$

Для смуги пропускання:

$$\dots (6.8)$$

Формування матриці відносних коефіцієнтів (A) і матриці значимості показників QoS (B), наведено в табл. 6.2 та табл. 6.3.

Таблиця 6.2 – Матриця відносних коефіцієнтів впливу

Клас трафіку	i	Показники QoS			
		Втрати пакетів P	Затримка T	Джиттер dt	Смуга пропускання C
		j=1	j=2	j=3	j=4
Голос	1	0,037	0,063	0,09	0,0065
IPTV	2	0,3	0,021	0,26	0,365
Відеоконференції	3	0,15	0,063	0,26	0,122
Аудіо по запиту	4	0,15	0,42	0,13	0,016
VoD	5	0,07	0,013	0,26	0,487
Клас даних Best Effort	6	0,3	0,42	0	0,004

Таблиця 6.3 – Матриця значимості показників якості послуг

Клас трафіку	i	Показники QoS			
		Втрати пакетів P	Затримка T	Джиттер dt	Смуга пропускання C
		j=1	j=2	j=3	j=4
Голос	1	2	3	3	1
IPTV	2	1	1	3	3
Відеоконференції	3	2	2	3	3
Аудіо по запиту	4	1	1	2	2
VoD	5	2	2	3	3
Клас даних Best Effort	6	3	1	1	2

В матриці В (. 6.3) коефіцієнти визначаються наступним чином: «1» - не особливо важливо; «2» - важливо; «3» - дуже важливо.

Далі розрахуємо підсумковий коефіцієнт значущості, який має бути реалізований в маршрутизаторах мережі IPTV для рівномірного (за вимогами) розподілу мережних ресурсів між надаваними послугами [21].

Підсумковий коефіцієнт пріоритету може бути розрахований з виразу:

$$(6.9)$$

Відповідно до рис. 6.3 і формули (6.9), після додавання стовпця з пріоритетом і переупорядкування типів трафіку, отримаємо (див. табл. 6.4)

Таблиця 6.4 – Класи пріоритетності трафіку

Клас трафіку	Пріоритет
VoD	0,26 (101)
IPTV	0,25 (100)
Відеоконференції	0,18 (011)
Клас даних Best Effort	0,15 (010)
Аудіо по запиту	0,1 (001)
Голос	0,06 (000)

Реалізація розрахованих пріоритетів повинна бути прописана в граничних маршрутизаторах для класової обробки мультисервісного трафіка. Значення пріоритету можуть бути прописані значеннями трьох бітів (у дужках в табл. 6.4) в полі ToS моделі обслуговування DiffServ. Два значення пріоритету, що залишились, повинні використовуватися для позначення трафіку сигналізації та мережного управління [16].

ВИСНОВКИ

Довгий час тільки методи суб'єктивної оцінки якості передачі відео вважалися основним методом оцінки якості IPTV, але через складність тестування і тестування вони не можуть знайти широкого застосування в роботі сервісів IPTV.

В роботі проаналізовано основні моделі забезпечення якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах та розглянуті особливості мережі IPTV, протоколи передавання відео по IP мережі.

Із аналізу графіків у п'ятому розділі можна встановити, що при типових рівнях параметру Херста для забезпечення використання ліній не гірше 0,3 потрібно мати буфер у комутаторі пакетів довжиною не менше $W=30$ пакетів. Якщо ж буфер буде мати $W=10$ то використання ліній буде становити лише приблизно 0,1.

Важливу роль для моделі обслуговування DiffServ мають рівні пріоритетності класів трафіку. Шляхом розрахунків коефіцієнтів значущості класів трафіку з врахуванням їх основних характеристик в роботі обґрунтовано, що найвищі рівні пріоритетності повинні мати трафік VoD та IPTV.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Subjective and Objective Evaluation and Packet Loss Modeling for 3D Video Transmission over LTE Networks Moustafa M. Nasralla, C.T.E.R. Hewage, and Maria G. Martini Kingston University, London, UK {M.Nasralla, C.Hewage, M.Martini@kingston.ac.uk
2. An example of mapping the degradation of network parameters with video QoE parameters in case of IPTV service Nermin Goran and Berina Bećiragić BH Telecom JSC Sarajevo nermin.goran@bhtelecom.ba Mesud Hadžialić University of Sarajevo ETF Sarajevo, BiH
3. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения.- СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
4. Є. М. Чернихівський, В. В. Червенець, О. Б. Білик. Визначення часових параметрів обслуговування потокового трафіку з пріоритетними класами // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2011. – No 705 : Радіoeлектроніка та телекомунікації. – С. 167-170.
5. ETSI, —Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services, European Telecommunications Standards Institute, TR 102 643, Jan. 2010.
6. M. N. Zapater and G. Bressan, —A Proposed Approach for Quality of Experience Assurance of IPTV, in First International Conference on the Digital Society. ICDS '07., 2007.
7. IETF RFC 2326 Real Time Streaming Protocol (RTSP).
8. Бителева, А. Принципы IPTV-вещания / А. Бителева // Телеспутник. –2012. – No10. – с. 24-27.
9. ETSI TS 102 034 V1.4.1 (2009-08) Technical Specification. Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks.
10. Бителева, А. Принципы IPTV-вещания / А. Бителева // Телеспутник –2012. – No10. – с. 24-27.

11. ETSI TS 102 034 V1.4.1 (2009-08) Technical Specification. Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks.
12. IETF RFC 2250 RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video.
13. Deka, R. K. Self-similarity based DDoS attack detection using Hurst parameter / R. K. Deka, D. K. Bhattacharyya // Security and Communication networks. – 2016. – № 5. – P. 4468–4481.
14. Network tools and traffic traces [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>
15. Park, K. Self-Similar Network Traffic: An Overview [Электронный ресурс] / К. Park. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
16. Шелухин, О.И. Мультифракталлы. Инфокоммуникационные приложения / О.И. Шелухин. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2011. – 578 с.
17. Бельков, Д.В. Анализ сетевого трафика методом агрегирования [Электронный ресурс] / Д.В. Бельков, Е.Н. Едемская. – Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/3247/1/Анализ%20сетевого%20трафика%20методом%20агрегирования.pdf> – Загл. С экрана (дата обращения 23.04.2014).
18. Буранова, М.А. Исследование статистических характеристик самоподобного телекоммуникационного трафика / М.А. Буранова // Инфокоммуникационные технологии. – 2012. – No4. – Том 10. –с. 35-41.
- 19 . Венцлавович, Э.Е. R/S анализ временных рядов излучения импульсного электроионизационного СО-лазера / Э.Е. Венцлавович, В.С. Казакевич
- 20 HENS, F. J., CABALLERO, J. M.: Triple Play: Building the Converged Network for IP, VoIP and IPTV. Wiley, Hoboken, p. 401, 2008.
- 21 BIENIK, J., UHRINA, M., VACULIK, M., MIZDOS, T.: Perceived Quality of Full HD Video - Subjective Quality Assessment. Advances in Electrical and Electronic Engineering, 14(4), 437-444, 2016.
- 22 UHRINA, M., HLUBIK, J., VACULIK, M.: Correlation between Objective and Subjective Methods Used for Video QualityEvaluation. Advances in Electrical and Electronic Engineering, 11(2), 135-146, 2013.