

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет програмної інженерії та бізнесу

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Пояснювальна записка до дипломної роботи

магістра
(освітній ступінь)

на тему «Експериментальне дослідження методів оцінки якості сприйняття
контенту в системах доповненої реальності»

ХАІ.603.667п2.121.156323.200

Виконав: студент б курсу групи № 667п2
Напрямок підготовки 121 Інженерія програмного
забезпечення

(код та найменування)

Освітня програма Хмарні обчислення та
Інтернет речей

Упир О. В.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: Данова М. О.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Філімончук Т. В.

(прізвище й ініціали)

Харків - 2020

Міністерство світи і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет програмної інженерії та бізнесу
(повне найменування)

Кафедра інженерії програмного забезпечення
(повне найменування)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121 – інженерія програмного забезпечення
(код та найменування)

Освітня програма хмарні обчислення та Інтернет речей
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

І. Б. Туркін

(підпис)

(ініціали та прізвище)

“ ”

2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Упир Ользі Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломної роботи Експериментальне дослідження методів оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності

керівник дипломної роботи Данова Марія Олександрівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № _____ від “___” _____ 2020 року

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи рекомендації з використання додатків доповненої реальності для Інтернету Навичок

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) провести огляд і аналіз існуючого стану реалізації послуг та технологій доповненої реальності; провести дослідження методів оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності; провести експериментальне дослідження взаємодії додатків доповненої реальності; провести аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень

5. Перелік графічного матеріалу

РПЗ – стор. 108, рисунків – 35 шт., таблиць – 12 шт., презентація – 23 слайдів.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Данова М.О., доцент каф. 603		
2	Данова М.О., доцент каф. 603		
3	Данова М.О., доцент каф. 603		

Нормоконтроль _____ В.А. Постернакова _____ «___» _____ 20__ р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання «___» _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання і затвердження теми диплому	03.09.2019	
2	Аналіз предметної області	04.09.2019	
3	Постановка задачі	30.11.2019	
4	Проведення теоретичних досліджень	01.12.2019	
5	Планування експериментальних досліджень	02.09.2020	
6	Проведення експериментальних досліджень	22.09.2020	
7	Підготовка пояснювальної записки	22.10.2020	
8	Оформлення пояснювальної записки до дипломного проекту	10.11.2020	
9	Передзахист дипломного проекту	25.11.2020	
10	Захист дипломного проекту	15.12.2020	

Студент _____ Упир О.В. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Данова М.О. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи містить 108 стор., 35 рис., 28 джерел.

Об'єкт дослідження – технології доповненої реальності.

Предмет дослідження – методи оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності.

Мета дослідження – підвищення ефективності якості сприйняття додатків доповненої реальності користувачем шляхом проведення експериментального дослідження взаємодії додатків доповненої реальності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: провести огляд і аналіз існуючого стану реалізації послуг та технологій доповненої реальності; провести дослідження методів оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності; провести експериментальне дослідження взаємодії додатків доповненої реальності; провести аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень.

Методи дослідження. Методи теорії ймовірностей, теорії імітаційного моделювання, методи планування експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. Удосконалено метод оцінки якості сприйняття контенту для послуг доповненої реальності, що на відміну від існуючих використовується значення параметра Херста для отримання об'єктивної оцінки якості сприйняття.

Практична значимість отриманих результатів. Створення науково-обґрунтованих рекомендацій з використання додатків доповненої реальності для Інтернету Навичок.

ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНОСТЬ, ОЦІНКА ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ,
ПАРАМЕТР ХЕРСТА, ПОКАЗНИК ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis 108 pp., 35 fig., 28 sources.

The object of study - augmented reality technology.

The subject of research - methods for assessing the quality of content perception in augmented reality systems.

The purpose of the study is to improve the efficiency of the user's perception of augmented reality applications by conducting an experimental study of the interaction of augmented reality applications.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks: to review and analyze the current state of implementation of augmented reality services and technologies; to conduct research on methods for assessing the quality of content perception in augmented reality systems; to conduct an experimental study of the interaction of augmented reality applications; to analyze the results of experimental research.

Research methods. Methods of probability theory, theory of simulation modeling, methods of experiment planning.

Scientific novelty of the obtained results. The method of assessing the quality of perception of content for augmented reality services has been improved, which, in contrast to the existing ones, uses the value of the Hirst parameter to obtain an objective assessment of the quality of perception.

The practical significance of the results obtained. Creating science-based recommendations for the use of augmented reality applications for the Internet of Skills.

**AUXILIARY REALITY, ASSESSMENT OF PERCEPTION QUALITY,
HERST PARAMETER, PERCEPTION QUALITY INDICATOR**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ ПОСЛУГ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	14
1.1 Застосування додатків доповненої реальності.....	14
1.1.1 Застосування доповненої реальності у медицині	15
1.1.2 Застосування доповненої реальності в освіті.....	19
1.1.3 Застосування доповненої реальності у будівництві.....	20
1.1.4 Застосування доповненої реальності у туризмі	22
1.1.5 Застосування доповненої реальності в екології.....	23
1.1.6 Застосування доповненої реальності для послуг ремонту техніки.....	24
1.1.7 Застосування доповненої реальності для доступу до інформації про об'єкти реального світу	25
1.2 Класифікація додатків ДР	26
1.3 Пристрої доповненої реальності.....	28
1.3.1 Проект Lightform.....	29
1.3.2 Камера Intel RealSense 3D	30
1.3.3 «Розумні» контактні лінзи.....	32
1.3.4 Окуляри доповненої реальності	35
1.3.5 Голографічний смартфон	40
1.4 Постановка мети й завдань дослідження.....	41
1.5 Висновки по розділу 1	42

2	ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДЛЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	43
2.1	Дослідження методів визначення показника якості сприйняття контенту для реалізації послуг доповненої реальності.....	43
2.1.1	Метод DSIS.....	44
2.1.2	Метод DSCQS.....	45
2.1.3	Метод SDSCE.....	46
2.1.4	Методи з одним джерелом впливу (Single Stimulus).....	47
2.1.5	Методи порівняння впливу (Stimulus Comparison).....	48
2.1.6	Метод SSCQE.....	49
2.1.7	Метод ACR.....	49
2.1.8	Метод DCR.....	50
2.2	Дослідження параметру Херста та суб'єктивних оцінок якості сприйняття.....	51
2.2.1	Методи оцінки параметру Херста.....	54
2.2.2	Розрахунок параметру Херста.....	58
2.2.3	Метод оцінки якості сприйняття на основі параметру Херста та суб'єктивних оцінок.....	67
2.2.4	Метод оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності.....	75
2.3	Висновки по розділу 2.....	81
3	ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДЛЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	82
3.1	Структура реалізації послуги доповненої реальності.....	82
3.2	Модель послуги.....	85
3.3	Формування і оновлення даних.....	88

3.4	Ієрархічна структура надання послуг доповненої реальності для розподілу навантаження і даних.....	91
3.5	Взаємодія додатків доповненої реальності	93
3.6	Аналіз отриманих результатів щодо проведеного експерименту з управління безпілотним літальним апаратом за допомогою доповненої реальності.....	99
3.7	Висновки по розділу 3	102
	ВИСНОВКИ.....	104
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	105

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Bar-код – це невелике зображення ліній (барів) і прогалін, яке прикріплюється до предметів роздрібного магазину, ідентифікаційним картками та поштової кореспонденції для ідентифікації певного номера продукту, людини або місця розташування. У коді використовується послідовність вертикальних барів і прогалін для подання чисел та інших символів.

D2D – Device-to-Device, пристрій до пристрою

H2M – Human-to-Machine, від людини до машини.

HD – High Definition.

LQ – Low Quality.

QR-код – матричний код (двовимірний штрих-код).

SD – Standard Definition.

SDN – Software-Defined Network, програмно-конфігуровані мережі.

SSCQE – Single Stimulus Continuous Quality Evaluation, одноразове стимулювання безперервного оцінювання якості

URLLC – Ultra Reliable and Low Latency Communication, ультра надійний і низький рівень затримки зв'язку.

АКФ – автокореляційна функція.

БД – База даних.

БПЛА – Безпілотний літальний апарат.

БС – базова станція.

ДР – Доповнена реальність.

Млн – мільйон.

Мс – мілісекунди.

ПЗ – Програмне забезпечення.

Показник Херста або коефіцієнт Херста – міра, яка використовується в аналізі часових рядів. Ця величина зменшується, коли затримка між двома однаковими парами значень в часі ряду збільшується.

ПС – Пропускна спроможність.

СМО – Система масового обслуговування.

ЦОД – Центр обробки даних.

ВСТУП

Останні десятиліття ознаменувалися не тільки повсюдним впровадженням концепції Інтернету речей [27], а й розвитком таких напрямків як Промисловий Інтернет речей, медичні мережі, Тактильний інтернет, інтернет наноречей та інтернет навичок [6], що призвело до створення мереж нового класу, а саме літаючих сенсорних мереж, надщільних мереж, високонадійних мереж з ультрамалими затримками, активно ведуться роботи в області створення мереж зв'язку п'ятого покоління [28]. Подальший масштабний багатообіцяючий розвиток мереж зв'язку бачиться в напрямку доповненої реальності. Основною метою послуг доповненої реальності є посилення відчуттів користувача від знайомих речей. До завдань доповненої реальності не входить створення нового світу, а робота з реальними об'єктами, і поліпшення існуючої середовища за рахунок посилення таких відчуттів користувача як слух, зір, нюх, знання і т.д. Під доповненою реальністю розуміють тип змішаної реальності, де графічні елементи інтегровані в реальний світ, щоб поліпшити користувальницький досвід і збагатити інформацію. Під змішаною реальністю розуміють інтеграцію віртуальної і доповненої реальності, які є принципово різними поняттями. Віртуальна реальність повністю замінює існуючий світ штучно створеної середовищем, де всі об'єкти синтетичні, перебуваючи всередині цього світу, людина не чує і не бачить, що відбувається навколо нього в реальному світі, він повністю занурений в інший світ. В цей же час доповнена реальність не створює нові світи, з новими об'єктами і взаємозв'язками, а лише доповнює існуючу дійсність. Вона об'єднує віртуальні і реальні об'єкти і дозволяє бачити фізичну річ з накладеними поверх неї віртуальними даними, що розширює можливість сприйняття інформації про дану річ. Основна ідея доповненої реальності полягає в накладенні тексту, графіки, аудіо, відео, сенсорних даних і відчуттів поверх існуючих об'єктів навколишнього світу в режимі реального часу.

Нові вимоги до мереж зв'язку багато в чому були породжені появою таких концепцій, як Інтернет Речей і Тактильний Інтернет. При цьому перша з них сприяла створенню надщільних мереж, а друга - мереж з ультра малими затримками. До теперішнього часу в області Інтернету Речей і Тактильного Інтернету проведено досить велику кількість дослідницьких робіт, що забезпечило розуміння нових проблем побудови мереж і систем зв'язку для їх ефективної реалізації. В даний час підкреслюється пріоритетна роль створення мереж з ультрависокою надійністю і ультра малими затримками як основи їх створення. При цьому в області додатків мереж провідна роль належить додаткам в області взаємодії людини і машин Н2М (Human-to-Machine), серед яких одним з найважливіших є доповнена реальність.

Поява концепцій мереж і Інтернету Навичок передбачає масове використання додатків доповненої реальності як в реальному житті населення, так і в різних областях господарської діяльності суспільства, включаючи промисловість, охорону здоров'я та освіту, тому, дослідження об'єктивної оцінки якості сприйняття для послуг доповненої реальності буде актуальним.

Об'єкт дослідження – технології доповненої реальності.

Предмет дослідження – методи оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності.

Мета дослідження – підвищення ефективності якості сприйняття додатків доповненої реальності користувачем шляхом проведення експериментального дослідження взаємодії додатків доповненої реальності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1 Провести огляд і аналіз існуючого стану реалізації послуг та технологій доповненої реальності.

2 Провести дослідження методів оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності.

3 Провести експериментальне дослідження взаємодії додатків доповненої реальності.

4 Провести аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень.

Методи дослідження. Методи теорії ймовірностей, теорії імітаційного моделювання, методи планування експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. Удосконалено метод оцінки якості сприйняття контенту для послуг доповненої реальності, що на відміну від існуючих використовується значення параметра Херста для отримання об'єктивної оцінки якості сприйняття.

Практична значимість отриманих результатів. Створення науково-обґрунтованих рекомендацій з використання додатків доповненої реальності для Інтернету Навичок.

1 АНАЛІЗ ПОСЛУГ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

На початку XXI століття відбулися вражаючі зміни в сфері телекомунікаційних технологій, що визначили подальший розвиток мереж зв'язку. Одним з таких поштовхів, які послужили масовому поширенню концепції Інтернету речей [1], стали бездротові сенсорні мережі. Логічним розвитком концепції Інтернету речей, істотно її збагатившою стала «доповнена реальність». Також, взявши за основу бездротові сенсорні технології, доповнена реальність перевернула існуючі підходи в області сприйняття інформації, управління пристроями, підвищення рівня емоцій користувачів при доступі до послуг зв'язку [2, 3]. В силу універсальності технології, наочності і зручності її використання можна говорити про розповсюджене застосування доповненої реальності у всіх сферах людського життя [4]. Зокрема, стосовно до нових концепцій розвитку мереж зв'язку, таким як Тактильний Інтернет та Інтернет навичок, доповнена реальність займає міцне місце при розробці та впровадженні їх додатків [5].

У цьому розділі дається аналіз додатків доповненої реальності і їх класифікація на основі різних критеріїв. Також досліджуються бездротові технології, які широкі застосовуються для реалізації послуг доповненої реальності. Особлива увага приділяється пристроям доповненої реальності, що роблять дану технологію відмінною від усіх інших.

1.1 Застосування додатків доповненої реальності

Відмінною рисою доповненої реальності є поєднання реальних і віртуальних об'єктів в єдиному просторі, що часто називають новим поняттям «змішана» реальність, під яким розуміють тривимірне сприйняття об'єктів і наявність інтерактивності, що призводить до високих вимог до затримки

передачі по мережі зв'язку. У сучасних додатках доповненої реальності можна виділити кілька великих класів застосування даної технології. Розглянемо докладніше області застосування доповненої реальності.

1.1.1 Застосування доповненої реальності у медицині

Застосування доповненої реальності в медицині несе в собі ряд очевидних вигід для вирішення специфічних лікарських завдань. Як відомо один з найбільш складних і важливих медичних процесів - це постановка діагнозу пацієнту, причому сам пацієнт не завжди розуміє медичну термінологію й іноді може не точно відповісти на запитання лікаря про здані аналізи, отримані результати, призначені курси лікування. При наявності очок ДР лікар має як би «рентгенівським зором» і дивлячись на пацієнта, отримує необхідну інформацію, наприклад, результати комп'ютерної томографії або аналізу крові, що значно покращує якість і час медичної допомоги. Також додаток може носити допоміжний характер, нагадуючи лікарю назву ліків, що призначаються при різних діагнозах, або які аналізи ще необхідно призначити, які питання задати.

Цікавим видається використання ДР для діагностування пацієнтів, що надходять в госпіталь при військових діях. На полі бою не завжди виходить вчасно і повністю описати які поранення отримані, які препарати введені, що зроблено. І коли в госпіталь привозять 50 поранених одночасно, у яких кожна секунда на рахунку, дуже важливо швидко отримати інформацію про кожного пацієнта і почати негайне лікування. Дані про пораненого з польового госпіталю передаються в хмару, а в лікарні лікар отримує інформацію про щойно надійшовшого хворого в зручній формі, аудіо або текст, тим самим ще і звільняються руки і увагу лікаря, який позбавлений пошуку і читання картки хворого.

У тому числі ДР може бути використана для практичного навчання студентів-медиків, коли за допомогою пристроїв ДР, наприклад, «розумних»

окулярів, ручних контролерів, проекторів, учень отримує можливість практикуватися в проведенні операцій на реалістично модельованих програмою тілах і органах. Сьогодні вже існують додатки, які дозволяють візуалізувати 3D-моделі частин тіла і внутрішніх органів з додаванням довідкової інформації про них в реальному масштабі часу або відображати медичні бланки з підказками і правилами їх заповнення та реєстрації.

В даний час розвинені міста у всіх частинах планети намагаються втілити в життя концепцію створення розумних міст. Основною метою створення розумних міст є надання однакового рівня зручностей всім громадянам. Отже, є ряд досліджень, присвячених використанню технології ДР для полегшення життя інвалідів в розумних містах. Так в статті [6] пропонується навігаційна система, яка розраховує і полегшує вибір маршруту пересування для інвалідів. У дослідженні [7] стверджується, що дизайн торгових і бібліотечних полиць не дозволяє інвалідам вільно взаємодіяти з предметами, і на основі цього аналізу запропонована система з технологією RFID, яка дозволяє інвалідам визначати наявність і місцезнаходження предметів на полицях і не витратити зусилля для того, щоб діставати або перебирати непотрібні предмети. Також створено програму-помічник для когнітивних порушень і допомоги людям, які перенесли інсульт, інноваційний додаток, який переводить картинки із зображеннями в звук, що допомагає людям з обмеженими можливостями. Крім того, в статті [8] представлено додаток, який допомагає глухим інвалідам шляхом перетворення голосу мовця в текст на дисплеї пристрою ДР, спілкуватися зі звичайними людьми, які не володіють сурдоперекладом. Поряд з допомогою людям з фізичною інвалідністю, ДР також може бути корисною для поліпшення психічного здоров'я і лікування фізіологічних стресових захворювань. В джерелі [9] розроблено програму, яку доповнює базовий підручник за спеціальними маркерами графічним представленням і звуком для людей з обмеженими можливостями. Очевидно, що доповнена реальність здатна значно полегшити і

поліпшити якість життя не тільки людей з обмеженими можливостями, а й усіх інших.

Доповнена реальність дозволяє уникнути ряд неприємних і хворобливих процедур, таких як, взяття крові. Зокрема, акціонерна компанія AccuVein використовує можливості ДР для того, щоб спростити роботу медсестрам і полегшити процедури для пацієнтів. Спеціаліст з маркетингу AccuVein В. Лучано стверджує, що 40% зроблених внутрішньовенних ін'єкцій пропускають вену, і лікарі й медсестри не можуть точно визначити її положення, особливо у важко хворих і літніх пацієнтів, що негативно позначається на самопочутті дітей і таких людей. Тому додаток AccuVein, що базується на технології доповненої реальності використовує портативний сканер, що дозволяє проектувати зображення вен на шкіру і показувати на екранах смарт-пристроїв медсестрам і лікарям розташування вен у конкретних пацієнтів. Сканер вен представлений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Сканер вен компанії AccuVein

Дана технологія була випробувана на великій кількості пацієнтів і сьогодні вже кілька компаній випускають подібні сканери, що допомагає фахівцям охорони здоров'я і розширює їх навички.

Як було сказано раніше пацієнти не завжди можуть описати свої симптоми лікарю, особливо якщо це діти. Не виключенням є і область офтальмології.

Доповнена реальність грає ключову роль у визначенні симптомів і проблем пацієнтів в подібних ситуаціях. Різні ДР-додатки, такі як Eye Decide, які використовують дисплей камери для імітації впливу певних умов на око людини. Для розуміння причини захворювання і оцінки фактичного стану зорової системи людини, ці додатки можуть візуалізувати вплив катаракти або захворювання у людей похилого віку, з'являються в центральній зоні сітківки (англ. AMD, Age-related macula degeneration). На рисунку 1.2 показаний ряд знімків, що відображають динаміку погіршення зору під впливом захворювання ADM, а також як виглядає саме око в даний момент. Різноманіття додатків не тільки ДР, а й Інтернету речей в області медицини дозволяє говорити про необхідність широкомасштабного розгортання медичних мереж. Так вже існують додатки моніторингу показників здоров'я самотніх літніх людей, при досягненні якого-небудь показника граничного значення, інформація моментально вирушає на станцію швидкої допомоги і виїжджає бригада за адресою хворого.

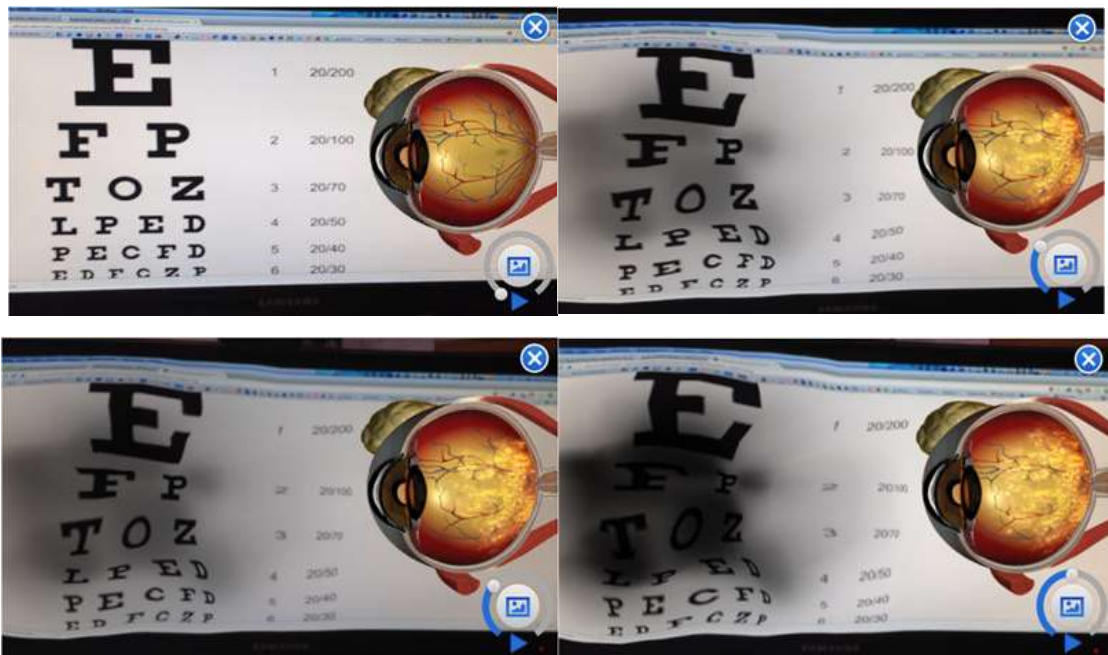


Рисунок 1.2 - Робота програми Eye Decide

Ведуться дослідження і в області імплантації в організм капсули з лікарськими препаратами, так щоб в разі інфаркту, де допомога потрібна негайно організм відразу отримав дозу відповідного препарату. Подібні додатки тільки починаються досліджуватися і сьогодні вже існує ряд робіт, спрямованих на розробку вимог до показників мережі й архітектури даних додатків.

Як видно з вищевикладеного, медицина є однією з передових областей, які впроваджують сучасні досягнення, в тому числі і доповнена реальність знайшла своє місце в поліпшенні медичних навичок і підвищення якості охорони здоров'я.

1.1.2 Застосування доповненої реальності в освіті

Впровадження доповненої реальності в освітній процес тягне за собою безсумнівні вигоди і переваги як для учнів, так і для викладачів. Найочевидніше з чого почали розробники додатків ДР в галузі освіти - це візуалізація різних процесів, фізичних, хімічних, біологічних, таким чином полегшується розуміння законів фізики, наприклад.

Сьогодні багато учнів швидко втрачають концентрацію уваги, а навчальні ігри як раз сприяють залученню в навчальний процес в легшій для дитини формі, дозволяючи утримувати його інтерес як при знайомстві з новим матеріалом, так і при закріпленні отриманих знань [10]. Одним з переваг навчання із застосуванням ДР є відсутність практичних помилок, так навчання пілотів літаків вже давно відбувається на тренажерах віртуальної і доповненої реальності, які дозволяють змодельовати різні ситуації і відточити послідовність дій до частки секунди. Останнім часом спостерігається стихійне зростання навчальних комп'ютерних ігор.

Крім безсумнівної допомоги в поясненні матеріалу, технологія ДР може використовуватися і для створення інтелектуального середовища, що отримала назву «Розумний університет». В рамках розумного університету студенти та

співробітники мають доступ до інтерактивної карти, що спрощує пошук кафедр і лабораторій.

Більш того, коли студент підходить до кафедри, йому зовсім необов'язково заходити і питати про годинник консультацій того чи іншого викладача, дана інформація автоматично відображається на його дисплеї при наведенні камери смартфона на список викладачів кафедри. Також і викладач на іспиті, перебуваючи в окулярах доповненої реальності, бачить всю інформацію про студента, його успішність, середній бал, наявність пропусків занять, які факультативи відвідує, чи бере участь в науковій роботі, скільки і які лабораторні роботи він закрив з даного предмета і т.д. Також за допомогою окулярів доповненої реальності можна розпізнавати людей і об'єкти і розуміти який викладач зараз перед студентом, і вказувати його ім'я по батькові та напрямок досліджень, те ж саме і щодо студентів, викладач бачить прізвище, ім'я, по батькові учня і вже ні з ким його НЕ сплутає.

Переваги використання ДР в процесі навчання полягає в тому, що ДР дозволяє подивитися на предмет вивчення з різних сторін, і зазирнути в нього при необхідності, що спрощує процес засвоєння складного матеріалу. Часто, коли студент дивиться на лабораторну установку у нього йде багато часу на те, щоб розібратися який елемент за що відповідає, а потім знайти цей елемент і правильно під'єднати, ДР дозволяє робити це набагато швидше за рахунок спливаючих підказок.

1.1.3 Застосування доповненої реальності у будівництві

Важливими складовими доповненої реальності є розпізнавання об'єктів, а також комп'ютерний зір, що дозволяє обробляти інформацію про навколишній світ і робити її інтерактивною. Область будівництва, архітектури та дизайну найбільше виграли від появи технології ДР.

Відтепер складні креслення будівель і споруд можна візуалізувати перед замовником в тривимірному вигляді і відразу проектувати на місці їх будівництва, щоб зрозуміти, як вони впишуться в існуючий ландшафт. При цьому не потрібно ніяких додаткових пристроїв, досить мати при собі планшет або смартфон з камерою. Звичайно в індустрії відеоігор і мультимедійних розваг доповнена реальність використовується значно довше, ніж в галузі АЕС (Architecture, Engineering and Construction). Проте, перспективи впровадження її в архітектурі, будівництві і дизайні несуть дуже великі вигоди і вже сьогодні на ринку багато додатків, які активно застосовуються користувачами.

Крім наочної візуалізації об'єктів, зручність при плануванні, доповнена реальність може використовуватися і для інших завдань в області дизайну. Зокрема, вона може застосовуватися для аналізу дизайну-проекту, щоб виявити розбіжності і неточності в кресленнях проєктованої будівлі, що в подальшому зменшить ризики в будівельному процесі. У користувача є проєктний креслюнок будівлі, який розпізнається додатком і потім на екрані відображається віртуальна модель того, як уде виглядати проєкт після його завершення, накладений на реальний ландшафт, як показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Модель будівлі в додатку ДР

Також, завдяки тривимірному відображенню моделі в умовах міського середовища архітектор і інженер, побачивши кінцевий результат, можуть на місці обговорити зміни, і внести корективи в план, через конструктивні особливості району, наприклад, або вирішити питання складання будівельних елементів і затвердження плану робіт.

1.1.4 Застосування доповненої реальності у туризмі

Найбільше розповсюджені додатки доповненої реальності отримали в галузі туризму. Крім безсумнівної зручності і інформативності такі додатки є продовженням концепції «розумного» міста і розробляються часто на рівні уряду міста з метою привернути максимально велике число туристів в місто. Якщо людям зручно орієнтуватися в місті, вся інформація про роботу музеїв, готелів, ресторанів доступна і зрозуміла, історичні пам'ятники і архітектурні шедеври представлені в вигідному ракурсі, то і місто буде процвітати і отримувати додатковий прибуток. Додатки доповненої реальності прекрасно відповідають поставленим завданням. Уже сьогодні розроблено значну кількість інтерактивних маршрутів, допоміжних інформаційних туристичних програм, а проекти, пов'язані з описом експонатів в музеї близькі до досконалості.

По ряду прогнозів до 2050 року 75% населення планети буде зосереджено в містах, тому поліпшення інфраструктури міста має важливе економічне, політичне, культурне і соціальне значення [11]. Дуже багато прикладів застосування доповненої реальності в академічному середовищі і промисловості вказують на високий потенціал застосування ДР в туристичній сфері. Створення окулярів доповненої реальності, таких як Google Glass, підштовхнуло подальше впровадження технології ДР для інформування людей про оточуючі об'єкти. Цікавим є застосування ДР при огляді античних об'єктів. Як правило, під впливом часу та погоди стародавні історичні споруди мають тенденцію до руйнування. У Римі і Греції практично кожен камінь являє культурну цінність,

але туристові не охопити такий обсяг знань в подорожі, яка триває кілька днів. Тому додатки, які при погляді на уламок колони реконструюють відсутні частини і відображають храм в тому вигляді, в якому він існував кілька тисяч років тому, дозволять істотно підвищити інформативність і захопити будь-якого туриста. Для успішної роботи подібних додатків історичні та архітектурні об'єкти спочатку реконструюються за допомогою тривимірних моделей, щоб згодом взаємодіяти з іншими об'єктами. Розроблено додатки, які додають відсутню інформацію до історичних малюнків, що в свою чергу привертає увагу відвідувачів і змушує більше часу проводити перед картиною або навіть взаємодіяти з нею. В [12] доповнена реальність застосовується для створення роботизованого гіда, здатного додавати мультимедійні елементи до реальних експонатів в музеї, це і відеоролики, і тривимірні моделі, звукова доріжка і т.д. Дітям буде більш цікаво в музеї, якщо екскурсія буде проходити у формі гри, так в [13] на основі ДР запропонована історична гра для посилення ступеня взаємодії з туристами. У деяких галереях створені додатки, які поживляють батальні сцени на картинах. Інтеграція доповненої реальності в музейний простір цікавить багатьох дослідників і вчених по всьому світу.

1.1.5 Застосування доповненої реальності в екології

Захист навколишнього середовища завжди була важливим питанням, а з ростом міст, це стало завданням комфортного і безпечного проживання людей. Багато людей страждають від астми та інших легеневих захворювань, пов'язаних із забрудненням повітря, своєчасне інформування про зміну вітру і наявності небезпечних домішок могло б врятувати багато життів і зупинити прогрес захворювань. За допомогою додатків доповненої реальності можна відслідковувати зміну в навколишньому середовищі і рекомендувати певний перелік заходів для захисту від їх впливу. Так розроблений ряд додатків, що підвищують інформованість громадян про навколишнє оточення, інтеграція же з

ІВ дозволить більш точно відслідковувати екологічні проблеми і зміни кліматичних умов. Існує багато способів збору даних про стан повітря, але як правило всі вони базуються на бездротових сенсорних мережах з додаванням RFID міток в деяких випадках. При аналізі якості повітря враховуються такі показники, як пил, вологість, інтенсивність світла, ряд додатків відстежує метеорологічні дані і дані про рух і концентрації забруднюючих речовин.

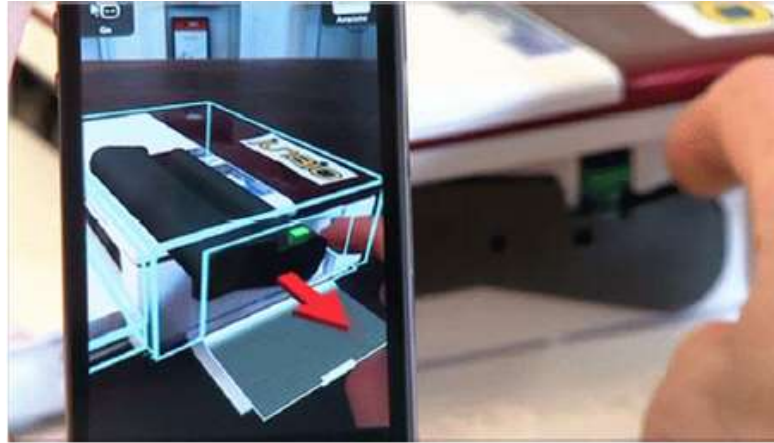
1.1.6 Застосування доповненої реальності для послуг ремонту техніки

Розвиток технологій в даний час дозволяє створювати настільки складні механізми, що для їх експлуатації необхідно велике число кваліфікованих фахівців. Навіть звичайна техніка, якою люди користуються щодня сьогодні являє собою шедевр інженерної думки.

Для технічного обслуговування, ремонту, складання і налагодження сучасної техніки широко застосовуються технології доповненої реальності. В офісах, наприклад, стоять складні копіювальні машини, які реалізують багато функцій різного виду друку, сканування, копіювання і відразу розібратися складно, куди підкласти папір, як поміняти картридж. При використанні технології доповненої реальності будь-який співробітник може одягнути окуляри ДР або навести смартфон на принтер і йому відобразитися відео інструкція або тривимірна модель принтера з покроковою інструкцією як показано на малюнку 1.4. А якщо моделювати іншу ситуацію, в якій дівчина взимку на безлюдній дорозі стикається з поломкою автомобіля. Можна, звичайно, викликати допомогу по телефону і кілька годин її чекати, але краще одягнути окуляри ДР, відкрити капот і зробити первинну діагностику, можливо проблема легко усунеться.

Таким чином, дівчина дивиться на певну деталь і їй відображається інформація про те, що це таке, за що відповідає і як перевірити працездатний чи

ні даний елемент. Для реалізації такого додатка в якості технологічної основи можна вибрати VANET (Vehicular Ad Hoc Network).



Малюнок 1.4 - Інструкція з ДР

Також в разі відсутності мережі може бути використана D2D комунікація, яка дозволить безпосередньо зв'язатися з потрібним об'єктом і отримати необхідну інформацію.

1.1.7 Застосування доповненої реальності для доступу до інформації про об'єкти реального світу

Даний клас додатків об'єднує в собі дуже багато програмних розробок, в тому числі і раніше розглянутих. Основне призначення таких додатків полегшити користувачам доступ до інформації про об'єкти. Наприклад, на складі великого інтернет-магазину візуальні підказки допоможуть швидше зорієнтуватися і знайти потрібну річ. У бібліотеці від підлоги до стелі стоять книги і якщо потрібно знайти певну, то доводиться тягнутися і витягувати періодично книги, які стоять високо і не зрозуміти їх назву, в той час як в окулярах ДР досить подивитися на корінець книги дані про неї тут же відображаються користувачу : автор, назва, рік видання, видавництво, анотація і

т.д. До цього класу можна віднести додатки розумного міста. Часто вхід на станцію метро знаходиться під землею або в торговому центрі і знайти його туристу або жителю іншого району буває проблематично, в окулярах ДР можна дивитися крізь стіни, всередину будівлі і побачити всі магазини і вхід в метро при бажанні. На малюнку 1.5 представлений приклад програми ДР, яка ідентифікує одяг на перехожих і показує дані про те, де цей одяг був куплений, ціну, які розміри і забарвлення залишилися і т.д.

Проголюючись по парку в окулярах ДР або зі смартфоном ДР можна навести його на будь-яку рослину або дерево і дізнатися, що це за вид, скільки йому років, як цвіте, якими властивостями володіє і т.д.



Малюнок 1.5 - Програми для розпізнавання одягу

1.2 Класифікація додатків ДР

Очевидно, що різноманіття додатків доповненої реальності і принципово різні реалізації, кожна з яких виконує свій набір функцій, призводить до необхідності створення декількох типів класифікації залежно від вирішуваних завдань.

Як відомо, для сприйняття інформації про навколишній світ людина має 5 органів почуттів: очі (зір), вуха (слух), мова (смак), ніс (нюх), шкіра (дотик). Оскільки доповнена реальність об'єднує віртуальний і реальний світи, вона повинна створювати інформацію, яку буде сприймати один з органів. Існуючі системи доставки інформації ґрунтуються на здатності людини бачити і чути, проте, останнім часом з'являється все більше систем, які спираються на тактильні відчуття. В таблиці 1.1 виділено системи ДР за типом подання інформації:

Таблиця 1.1 - Класифікація додатків ДР

№	Критерій класифікації	Типи додатків ДР	Приклади використання
1	Тип представлення інформації	Візуальні системи	Створення ескізу
		Аудіосистеми	Навігаційні інформаційні системи
		Аудіовізуальні системи	Екскурсії в окулярах ДР
		Текстові або графічні системи	Додаток FoodTracer
		Сенсорні системи	Додатки Тактильного інтернету
		Голографічні системи	Помічник в розумному будинку
2	Спосіб розпізнання об'єкту	Геопозиційні	Гра WallaMe
		За допомогою розпізнавання образу	Системи розпізнавання лиць
		Маркерні	Додатки для музіїв
3	Спосіб взаємодії з користувачем	Автономні	Діагностика
		Інтерактивні	Гра <i>ConductAR</i>
4	Тип мобільності	Стаціонарні	Дистанційна хірургія
		Мобільні	Креслення

Завершення таблиці 1.1

№	Критерій класифікації	Типи додатків ДР	Приклади використання
5	Цільове призначення послуги	Медицина	AccuVein
		Збірка, ремонт, обслуговування техніки	Інструкції по діагностиці поломки
		Анотації та візуалізації	Погода
		Управління робототехнічними системами	Автомобільна логістика
		Ігри та розваги	PokemonGo
		Торгівля	ІКЕА
		Освіта	Підручники ДР
		Воєнна промисловість	Накладення карти місцевості на поле зору солдата
6	Тип безпеки	Об'єкти підвищеної небезпеки	Розумна енергетика
		Безпечні об'єкти	Афіші
7	По мірі впливу на навколишнє середовище	Керуючі	Розумний будинок
		Інформативні	Розумна енергетика

1.3 Пристрої доповненої реальності

Форми відображення інформації та взаємодії з об'єктами реального та віртуального світів в додатках ДР настільки різноманітні, що і пристрої, які використовуються для реалізації програм також дуже різні. Серед них можна виділити такі, як проектори, лінзи, планшети, смартфони, шолом і найбільш численна категорія пристроїв - окуляри доповненої реальності. Відмінною рисою пристроїв доповненої реальності є здатність до комунікації з іншими пристроями з використанням різних технологій бездротового зв'язку. Пристрій ДР розпізнає об'єкт і відправляє запит про нього на сервер через мережу зв'язку. Розглянемо деякі пристрої докладніше.

1.3.1 Проект Lightform

Сканер Lightform є невеликим пристроєм, який показано на рисунку 1.6.

Пристрій ДР Lightform розроблений для випадків, коли неможливо і недоцільно використання шолома або очок ДР. Пристрій являє собою 3D сканер, який дозволяє створити об'ємну карту приміщення у всіх подробицях. Розташування об'єктів в просторі фіксується, заноситься в пам'ять і надалі використовується як проекційна поверхня.



Рисунок 1.6 - Проектор доповненої реальності Lightform

Усередині пристрою розташовується камера з високою роздільною здатністю, яка дозволяє захопити дрібні об'єкти в кімнаті та відсканувати їх, після цього додаток Lightform зможе виводити на відскановані поверхні різну інформацію. Пристрій підключається з будь-якого комп'ютера і проектора по HDMI. На комп'ютері будь-яке зображення обробляється і підготовляється для відображення в тривимірному вигляді. Отримавши від ПО Lightform інформацію про розташування об'єктів, комп'ютер відправляє зображення на проектор і той візуалізує тривимірне зображення. Програмне забезпечення Lightform Creator

дозволяє редагувати отримані зображення і то як вони відображаються на поверхні, додаючи різні ефекти або дані.

Так звичайний годинник на кухні може вивести підказку, що пора виходити з дому або зробити важливий дзвінок. Кімнатні рослини можуть візуально нагадати про те, що сьогодні їх забули полити і що з ними може статися. А лежачи у ванній, на стіні можна переглядати фільми або читати електронну пошту. Пристрій планувалося використовувати як вдома, так і в комерційних організаціях.

Lightform працює зі стаціонарними об'єктами, в разі руху об'єкта, проєкційне зображення на ньому порушується. Однак, компанія заявляє, що пристрій швидко переналаштовується і перескановує потрібний об'єкт менше, ніж за хвилину. Для того, щоб забезпечити роботу телефону, використовуються високопродуктивні апаратні компоненти, які самостійно можуть здійснювати обчислення. Для деталізації простору і аналізу геометрії приміщення застосовується камера з високою роздільною здатністю і алгоритми, на основі штучного інтелекту, що дозволяє сканеру в точності відтворити кімнату з усіма об'єктами в ній і вловлювати невеликі рухи об'єктів в її межах.

До переваг даного пристрою можна віднести компактний розмір, можливість проєкції зображень на будь-які поверхні, швидке налаштування. До недоліків можна зарахувати відсутність мобільності, необхідність підключення додаткового обладнання, поки відносно висока вартість.

1.3.2 Камера Intel RealSense 3D

Камера доповненої реальності дозволяє перейти послугами та додатків ДР на новий рівень, відкриваючи практично необмежені можливості. Однією з перших свою розробку запропонувала компанія Intel. Камера не надходила у відкритий продаж, а поширювалася серед різних наукових і університетських лабораторій, де проводилися дослідження і визначалися можливі області

застосування камери. Надалі Intel планувала вбудовувати такі камери в ноутбуки, планшети, смартфони, телевізори. Зовнішній вигляд камери представлений на рисунку 1.7



Рисунок 1.7 - Камера доповненої реальності Intel

Камера Intel RealSense 3D зчитує 78 точок на обличчі людини і може визначити будь-яку емоцію, яку відчуває глядач під час перегляду відео. Вона складається з фронтальної камери F200, яка включає в себе дві камери: перша знімає відео в кольоровому режимі RGB, друга являє з себе стереоскопічну інфрачервону камеру, яка дозволяє захопити глибину зображення. Діапазон роботи камери не великий до 1,5 м, зате вона забезпечує високу точність в розпізнаванні осіб і жестів, що дозволяє управляти різними процесами за допомогою руху рук і голови. Область її застосування обширна, одне з основних напрямків - це допомога людям з обмеженими можливостями, також вона зручна і в повсякденному житті, наприклад, коли руки зайняті при приготуванні їжі, а перевернути сторінку з рецептом на планшеті необхідно, доводиться мити і витирати руки, з камерою ДР цього робити необов'язково, можна моргнути і сторінка перевернеться сама.

1.3.3 «Розумні» контактні лінзи

Smart Contact Lenses або «розумні» контактні лінзи стали з'являтися на ринку зовсім недавно і вже викликали хвилю інтересу серед розробників ДР додатків. В силу своєї зручності і практичності вони здатні замінити багато пристроїв ДР і скласти конкуренцію очками доповненої реальності. Лінзи мають маленький розмір, їх досить надіти і отримуєш доступ до різноманітних послуг ДР, тоді як окуляри ДР не завжди володіють потрібними функціями і їх необхідно підключати до смартфона, що створює деякі незручності.

Одним з переваг Smart Contact Lenses можна назвати здатність робити миттєві фотознімки, оскільки контактні лінзи проєктують зображення безпосередньо на око користувача. Це прискорює процес обміну інформацією між користувачем і сервером і покращує зворотний зв'язок.

Контактні лінзи складаються з набору елементів, що представляють собою набір мікросхем і мікроелементів. Серед них можна виділити модуль сонячних елементів, електричні з'єднувачі, біосенсорний модуль, схема зчитування ANF-датчика, енергоємний модуль, напівпрозорий дисплей і матриця мікролінз, антени для прийому і передачі, схема управління дисплеєм, радіо ланцюг і ланцюг перетворення енергії. Схема розумної контактної лінзи представлена на рисунку 1.8.

Розумні контактні лінзи працюють за наступним принципом. Антена, розташована на периферії, збирає радіочастотну енергію, яка надходить від окремого переносного передавача. Схема перетворення живлення забезпечує постійний струм, щоб можна було живити інші частини системи і відправляти інструкції в схему управління дисплеєм. Дисплей розташований в центрі і може складатися як з світлодіодів, які включаються і вимикаються в разі потреби, так і рідкокристалічних елементів, прозорість яких буде модулюватися схемою управління.



Рисунок 1.8 - Схема розумної контактної лінзи

Модуль накопичення енергії, який може бути виконаний як великий конденсатор, під'єднується до сонячного елемента і забезпечує імпульс для лінзи. Біосенсор моделює поверхню рогівки, виконує аналіз і надає дані телекомунікаційного модулю для передачі на зовнішні пристрої і далі в мережу. Вся інформація передається через бездротову мережу за допомогою вбудованих антен на смартфон або планшет користувача для подальшої обробки.

Компанія Google була однією з перших, хто включився в розробку і створення розумних контактних лінз і запатентував результати своєї роботи. Розроблені Google контактні лінзи дозволяють вимірювати рівень цукру в крові і контролювати стан хворих на діабет. Google Smart Contact Lens виконують закладені в них функції, використовуючи бездротовий чіп і мініатюрний датчик глюкози, який аналізує стан рідкої вологи в оці. Електроніка в лінзі розташовується між двома м'якими шарами матеріалу лінзи. Google також

планують додати крихітні світлодіоди, які будуть попереджати користувачів, коли їх рівень глюкози досягає певних порогових значень. Електроніка, використовувана в лінзах, настільки мала, що вони виглядають як крихітні відблиски, тому їх не так страшно надягати.

У 2019 інженери технологічного університету IMT Atlantique з Франції представили свою розробку розумних контактних лінз, які представлені на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 - Приклад розумної контактної лінзи

Контактна лінза є автономною і містить мікробатарей. Мікробатарей можуть протягом кількох годин жити лінзу, яка в цей момент передає інформацію по бездротовій мережі або відтворює дані. Дана розробка дозволить більш глибоко дослідити когнітивні функції і просунути дослідження в галузі людино-машинного взаємодії.

Основна складність при створенні лінзи була в розробці гнучкого і дуже маленького за розмірами джерела живлення. Інженери стверджують, що

використання гнучкої електроніки на базі графену дозволить розширити функціональний потенціал лінз, наприклад, додати функцію додаткового зору і інтегрувати пристрою обчислення.

1.3.4 Окуляри доповненої реальності

У загальному плані окуляри ДР є гарнітурою для смартфонів, що працюють на базі різних операційних систем, зокрема Android. Пристрій виглядає як звичайні окуляри, які складаються з прозорого дисплея, який одягається на голову і розташовується трохи вище правого ока, і записуючої камери високої роздільної здатності. Також «розумні» окуляри містять аудіо вихід, батарею живлення, міні-USB, кнопки включення/виключення пристрою, міні-комп'ютер, що складається з сенсорної панелі, мікрофона, камери і маленького дисплея.

Окуляри можуть направляти аудіосигнали безпосередньо у внутрішнє вухо. Запас роботи батареї розрахований на день без підзарядки при повному функціонуванні пристрою. В основному енергія витрачається на передачу даних по бездротовим технологіям таким, як Wi-Fi, мобільна мережа, Bluetooth, іноді в залежності від складності завдання і принципів роботи програми, що витрачається на її виконання, енергія може збільшуватися. Вбудований комп'ютер підтримує навігаційні функції - GPS, а окуляри ДР Google Glass містять обсяг пам'яті в 12 гігабайт, який синхронізований з «хмарою» Google. Вбудована камера дозволяє робити фотографії і знімати відео з різною якістю, як правило 5 мп і відео з HD-роздільною здатністю 720p. Дисплей відтворює зображення роздільною здатністю в середньому 640x360 пікселів.

Окуляри доповненої реальності багатofункціональні, за рахунок підключення до смартфона і виходу в глобальну мережу, здатні реалізовувати програми ДР різного ступеня складності, а також прості і зручні у використанні. Останнім часом на ринку з'явилося багато варіантів окулярів і з кожною новою версією вони стають все менші за розміром і продуктивніше.

У 2018 році в Лас-Вегасі, США пройшла виставка Consumer Electronics Show, присвячена новітнім технічним розробкам, і на ній було представлено багато нового обладнання в області доповненої реальності. Окуляри Google Glass, представлені раніше, мали ряд недоліків, які були проаналізовані та враховані виробниками окулярів ДР. Основна ідея полягала в тому, щоб проектувати контент на самі окуляри, що зменшує їх розмір і робить все більш схожими на звичайні окуляри. Розглянемо деякі приклади окулярів ДР. Розробка канадських дослідників North Focals представлена на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 - Окуляри ДР North Focals

Окуляри в першу чергу виконують свою основну функцію - поліпшення зору, тому розробники особливу увагу приділили модному дизайну окулярів. North використовує спеціальну технологію для сканування особи і отримання ідеальних вимірів очей для поліпшення роботи ДР. Також в парі до окулярів користувач отримує невелике кільце, яке використовується для навігації по меню Focals. Окуляри можуть відтворювати текстові повідомлення, музику і карти. Для популяризації окулярів по всьому світу розробники поставили порівняно невисоку ціну.

Інший приклад окулярів ДР, випущений в світло компанією Vuzix, дійсно може називатися закінченим комерційним продуктом. Окуляри Vuzix Blade практично не відрізняються від реальних і представлені на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 - ДР окуляри Vuzix Blade

Вже реалізовані такі речі, як управління музикою, камерою, перегляд зображень, деякі ігри, також запущено додаток транскрипції в реальному часі. Добре зроблений дисплей, фотографії виглядають чіткими і яскравими, присутня 8-мегапіксельна камера і 4 Гб пам'яті, які можна заповнити чим завгодно, проте час безперервної роботи становить близько 3-4 годин.

Компанія Solos запропонувала варіант окулярів ДР, який підходить для людей, які ведуть активний спосіб життя, наприклад, велосипедистів. Окуляри забезпечені невеликим дисплеєм, що дозволяє в режимі реального часу переглядати безліч корисних даних, включаючи швидкість, частоту обертання педалей, частоту серцевих скорочень і зони харчування. Окуляри представлені на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 - Окуляри ДР компанії Solos

Передбачається, що окуляри будуть працювати з існуючими фітнес-додатками і пропонувати навігацію, також по Bluetooth вони сумісні з іншими комплектами для велосипедистів. Окуляри були протестовані командою з велоспорту США, показали себе легкими і зручними і отримали позитивні відгуки.

Epson MOVERIO VT-300, представлені на рисунку 1.13, також відомі як MOVERIO VT-300 FPV, впоралися з незграбністю свого попередника і пропонують більш витончену пару окулярів ДР. Вони легше, ніж попередня модель, але ще не ідеальні - це якісні інтелектуальні окуляри з доповненою реальністю, з вражаючими характеристиками і доступною ціною.

У цій моделі використовується значно чіткіший OLED-дисплей з роздільною здатністю HD 720p і 5-мегапіксельна фронтальна камера. Вони також працюють на базі чотирьох ядерного процесора Intel Atom, а ОС Android дозволяє самостійно розробляти програми ДР.



Рисунок 1.13 - Окуляри ДР Epson Moverio BT-300

Розумні окуляри Epson завжди були орієнтовані на бізнес, але BT-300 трохи розширив сферу їх застосування. Є також версія для БПЛА, яку можна використовувати для управління квадрокоптера. До переваг можна віднести OLED дисплей з високою роздільною здатністю, версія ПО для управління БПЛА, тривалий час автономної роботи і виділений контролер. Однак, мінуси теж є, до них можна зарахувати маленький кут огляду і пам'ять, обмежена 32 Гб картою microSD.

Розглянуті приклади окулярів ДР далеко не всі розробки, які представлені сьогодні на ринку. Очевидно, що дослідження триватимуть і в найближчому майбутньому можна буде спостерігати нові технологічні рішення як для загального застосування, так і вузько, наприклад, для спорту, дизайну, туризму.

Можливо, однією з найбільш мальовничих та зрозумілих функцій окулярів ДР було б розширення людино-машинного взаємодії в області розваг. Спортивна концепція компанії Panasonic проілюструвала такий приклад на основі сценарію футбольного матчу. Під час матчу фанати зможуть переглядати профіль гравця і спортивну аналітику, накладену у вигляді графіки на гру на полі, а також можна в реальному часі брати участь в ряді нових дій, таких як прогнозування формування атак. На рисунку 1.14 представлена розробка Panasonic ДР.



Рисунок 1.14 - Трансляція матчу Panasonic ДР

1.3.5 Голографічний смартфон

Ринок доповненої реальності щорічно поповнюється новими пристроями і це не тільки добре зарекомендували себе окуляри ДР. Слід окремо відзначити новинку, яка надійшла в продаж в кінці 2018 року, - це перший голографічний смартфон, розроблений компанією RED, він отримав назву Hydrogen One, та представлений на рисунку 1.15.

Спочатку RED спеціалізується на виробництві високоякісних камер. По задуму авторів відмінною рисою смартфона і головною його перевагою стане можливість переглядати різний контент в тривимірному форматі, не одягаючи при цьому окуляри ДР. Для цього необхідно активувати режим H4V і голограми з'являться перед екраном.

Також, смартфон дозволяє робити тривимірні фотографії та миттєво відображати їх, дивитися фільми у форматі 3D без використання спеціальних окулярів або гарнітур. Найбільш привабливою для користувачів є функція відображення відео дзвінків в голографічному режимі, тобто можна розмовляти в реальному режимі часу з голограмою співрозмовника. У той же час був

доданий ефект «об'ємного звучання» до динаміків смартфона, який створює враження чутності звуків, які знаходяться далеко або наближаються.



Рисунок 1.15 - Смартфон з голографічним екраном

Однак, спірний дизайн і досить висока вартість, привели до низьких продаж. Також були скарги на якість голографічного зображення. У зв'язку з цим компанія вирішила закрити цей проект і, проаналізувавши помилки, приступила до створення нового смартфона з підтримкою голограм під назвою Hydrogen Two.

Для реалізації програм ДР крім спеціалізованих пристроїв необхідна взаємодія з іншими елементами послуги, наприклад, серверами, базами даних, через мережу зв'язку.

1.4 Постановка мети й завдань дослідження

На сьогодні поява концепцій мереж і Інтернету Навичок передбачає масове використання додатків доповненої реальності як в реальному житті населення, так і в різних областях господарської діяльності суспільства, включаючи

промисловість, охорону здоров'я та освіту, тому, дослідження об'єктивної оцінки якості сприйняття для послуг доповненої реальності буде актуальним.

Мета дослідження – підвищення ефективності якості сприйняття додатків доповненої реальності користувачем шляхом проведення експериментального дослідження взаємодії додатків доповненої реальності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1 Провести огляд і аналіз існуючого стану реалізації послуг та технологій доповненої реальності.
- 2 Провести дослідження методів оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності.
- 3 Провести експериментальне дослідження взаємодії додатків доповненої реальності.
- 4 Провести аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень.

1.5 Висновки по розділу 1

В першому розділі проведено аналіз областей застосування технологій доповненої реальності. Розроблено класифікацію додатків доповненої реальності за різними критеріями, що враховує цільове призначення послуги, спосіб розпізнавання об'єкта ДР і відображення інформації користувачеві, тип мобільності і безпеки додатків, спосіб взаємодії з користувачем і ступінь впливу на навколишнє середовище з урахуванням появи таких додатків, як Тактильний Інтернет та Інтернет навичок.

Досліджено основні пристрої ДР, що дозволяють передавати і відтворювати користувачеві різні типи інформації з урахуванням його місця розташування та інтересів, в тому числі тривимірне і голографічного зображення.

Зроблено постановку мети й завдань дослідження.

2 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДЛЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

2.1 Дослідження методів визначення показника якості сприйняття контенту для реалізації послуг доповненої реальності

Нинішній період в області телекомунікацій ознаменувався появою нових концепцій таких як концепція Інтернету речей і мереж зв'язку. Лавиноподібне зростання додатків в даній області дозволяє сьогодні говорити про окремі напрямки розвитку послуг і мереж. З появою доповненої реальності змінилися не тільки підходи до організації мережі, а й соціокультурні аспекти діяльності людини.

Наступний етап розвитку - це Тактильний Інтернет, який передбачає передачу тактильних відчуттів через мережу зв'язку. Поява подібних технологій змушує в стислі терміни і кардинально переглядати вимоги до характеристик роботи мережі. Так при доставці мови в телефонних мережах загального користування значення затримки не повинна була перевищувати 100 мс. Для інших послуг реального часу, де часто здійснюється передача відеопотоків, затримка повинна була бути 10 мс, наприклад, медичні мережі. Для додатків доповненої реальності необхідно забезпечувати затримку в 5 мс. Що ж стосується передачі тактильних відчуттів, для прийнятної роботи додатків тактильного Інтернету необхідно забезпечити затримку в 1 мс. Очевидно, що вимоги до мереж істотно змінилися. Більш того постачальники послуг і оператори крім пропускної здатності мережі повинні контролювати і масу інших показників, які раніше не входили в зону їх відповідальності.

2.1.1 Метод DSIS

Метод DSIS (Double Stimulus Impairment Scale, метод оцінки спотворень з двома джерелами впливу) є традиційним і може бути застосований для оцінки функціонування як нової системи, так і спотворень, що вносяться на шляху передачі. На початку організації випробувань необхідно провести підбір випробувального матеріалу таким чином, щоб охопити максимальну кількість параметрів оцінки і надати широкий діапазон змін цих параметрів. Також визначаються умови, в яких слід проводити випробування. Якщо метою тестування є оцінити зміну впливу якогось параметра, то необхідно вибрати такий набір його значень, який охоплює весь діапазон зміни спотворень з використанням невеликого числа великих кроків рівного розміру. Якщо оцінюється нова система, для якої значення параметрів не може бути змінено таким способом, тоді необхідно додати суб'єктивні спотворення або вибрати інший суб'єктивний метод. В ході тестування експерту показують спочатку еталонне відео, а потім те ж саме відео, яке зазнало погіршуючий впливів. Після цього його просять оцінити другий зразок щодо першого. Для оцінок використовують шкалу, аналогічну представлений в таблиці 2.1. В ході випробування експерту показують набори послідовностей у випадковому порядку з різними спотвореннями, які охоплюють всі можливі комбінації. Серед оцінюваних послідовностей обов'язково кілька разів включається еталонна, щоб підвищити адекватність оцінок.

Таблиця 2.1 - Шкала оцінок для методу DSIS

5	спотворення не помітно
4	спотворення помітно, але не дратує
3	спотворення злегку дратує
2	спотворення дратує
1	спотворення дуже дратує

Експертам надається бланк зі шкалою для оцінювання та пронумеровані графи для різних наборів послідовностей.

2.1.2 Метод DSCQS

Метод DSCQS (Double-Stimulus Continuous Quality-Scale, метод з двома джерелами впливу і безперервною шкалою якості та з використанням шкали спотворень) також застосуємо для оцінки функціонування нової системи, або впливів трактів передачі на якість доставки відео. Метод DSCQS використовується в тих випадках, коли обмежені можливості джерел впливу і складно забезпечити умови випробування, що охоплюють повний діапазон оцінок якості. Метод є циклічним, тобто експертів просять розглянути пару зображень, отриманих від одного і того ж джерела, але одне з них при цьому піддалося процесу обробки (наприклад, погіршуючи вплив обробки, тобто можуть бути додатково внесені затримки, знижена бітова швидкість, створені втрати), а друге отримано безпосередньо від джерела без впливу.

В даному методі оцінка відеопослідовності відбувається попарно, кожній відеопослідовності необхідно поставити свою оцінку, причому обидві відеопослідовності можуть як піддаватися викривленням, так і бути еталонними. Спостерігачам пропонують просто оцінити, як сприймається якість кожного представленого зображення, проставивши позначку на вертикальній шкалі.

Такі вертикальні шкали друкуються попарно для зведеного уявлення кожного тестованого зображення. Ці шкали являють собою систему безперервної оцінки, щоб уникнути помилок квантування, але вони розділені на п'ять відрізків рівної довжини, відповідною типовою п'ятибальною шкалою якості MSE [14], прийнятої для оцінки якості передачі мови. Терміни, що визначають різні рівні, попередньо пояснюються спостерігачам щоб уникнути неправильних оцінок. На рисунку 2.1 показана частина типового бланка оцінок. Для того щоб виключити будь-яку можливість плутанини між поділами шкали і

відмітками результатів випробувань, шкали друкуються синім кольором, а запис результатів ведеться чорним кольором.

	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Відмінно										
Добре										
Задовільно										
Погано										
Неприпустимо										

Рисунок 2.1 – Таблиця для шкали оцінок методом DSCQS

Оцінки експертів обох зображень (еталонного і випробовуємого), для кожного умови випробувань перетворюють з вимірювань довжини на бланку оцінок в нормовані оцінки, розташовані в діапазоні від 0 до 100. Потім розраховуються різниці між оцінкою в умовах еталонного і випробовуємого зображення.

2.1.3 Метод SDSCE

Метод SDSCE (Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation, метод з двома джерелами одночасного впливу для безперервної оцінки). Ідея проведення безперервної оцінки була запропонована MCE [15], оскільки попередні методи містили деякі невідповідності вимірам якості відеозображень в разі схем цифрового стиснення. Основні недоліки попередніх стандартизованих методів були пов'язані з виникненням контекстних артефактів на демонстрованих цифрових зображеннях. У попередніх протоколах тривалість часу перегляду оцінюваних відеозображень була, як правило, обмежена 10 секундами, що, очевидно, недостатньо для спостерігача, щоб дати якісну оцінку,

особливо якщо враховувати останні рекомендації, що стосуються QoE. Цифрові артефакти сильно залежать від просторового і тимчасового отримання зображення джерела. Це є вірним для схем стиснення, але також слід враховувати схеми маскування помилок, які застосовуються в кодеках.

Група учасників одночасно переглядає дві послідовності: одну - еталонну, іншу - відносно до одного з умов випробування. Якщо формат послідовностей CIF (Common Intermediate Format, загальний проміжний стандарт) або формат меншого розміру, то обидві послідовності можуть відображатися поруч на одному моніторі, в іншому випадку повинні використовуватися два монітори, як стоять поруч.

Учасникам пропонується виявити відмінності між двома послідовностями і оцінити вірність відеоінформації шляхом ручного пристрою голосування. Учасники проінформовані, на якому екрані демонструється еталонне зображення, і їм пропонується висловити свою думку в процесі перегляду послідовностей на всьому протязі їх демонстрації.

2.1.4 Методи з одним джерелом впливу (Single Stimulus)

У методах з одним джерелом впливу експерту відтворюється одна відеопослідовність або серія відеопослідовностей і оцінка відбувається в кінці всієї демонстрації. Еталонна послідовність може бути включена в серію, але окремо ніяк не виділяється і оцінюється в загальному порядку. Відеопослідовності підбираються таким чином, щоб вони охоплювали максимальний діапазон одного або декількох факторів. Причому в ході експерименту може розглядатися вплив тільки одного фактора, потім наступного і т.д. Або вплив декількох факторів одночасно, що дозволяє виявляти взаємодії між факторами і встановити рівень неаддитивного впливу.

Методи оцінок з використанням певних категорій відносяться до методів з одним джерелом впливу, тобто спостерігачі привласнюють одну категорію

відеозображення із запропонованого набору. Приклади категорій наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Категорії оцінок

П'ятибальна шкала			
Якість		Спотворення	
5	Відмінно	5	Непомітно
4	Добре	4	Помітно, але не дратує
3	Задовільно	3	Злегка дратує
2	Погано	2	Дратує
1	Неприйнятно	1	Дуже дратує

Дані методи набули широкого поширення, вони зрозумілі і охоплюють досить великий спектр оцінюваних параметрів. Також можуть застосовуватися при експлуатаційному контролі.

Методи оцінок без використання категорій діляться на 2 групи. До першої групи входять методи з використанням безперервної шкали, тобто спостерігач ставить крапку на лінії, проведеної між двома семантичними категоріями, наприклад, як в таблиці 2.2. Шкала може містити додаткові мітки між категоріями. У другій групі методів використовується цифрова шкала. В даному випадку експерт оцінює кожне зображення цифрою. Набір цифр може бути обмеженим і лежати, наприклад, в діапазоні від 0 до 100, а може бути і необмеженим. Обидва підходи в результаті дають розподіл цифрових оцінок для кожного випробування.

2.1.5 Методи порівняння впливу (Stimulus Comparison)

Методи порівняння мають на увазі, що експерту одночасно транслюються дві відеопослідовності і його завдання оцінити одну відносно іншої. Також можливе використання різних шкал залежно від цілей випробування.

2.1.6 Метод SSCQE

Безперервна оцінка якості при одному джерелі впливу (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation). Методи з двома джерелами впливу не завжди можуть бути використані й не дозволяють імітувати випадки домашнього перегляду, коли користувач бачить відеопослідовність тільки один раз без перегляду відеопослідовності від еталонного джерела. Даний метод був розроблений для того, щоб виправити зазначені вище недоліки. Більш того в даний час практично всі відеопотоки піддаються цифровому стиску і обробці, якість зображення може сильно змінюватися від фрагмента до фрагмента, а спотворення бути досить короткими і метод SSCQE використовується для оцінки таких відеопослідовностей.

2.1.7 Метод ACR

Метод абсолютної оцінки категорій (ACR, Absolute Category Rating). Останнім часом широкого поширення набули інші способи надання користувачеві відеопослуг. Наприклад, інтернет-відео, або послуга відео за запитом, що передається по ненадійній лінії зв'язку на різні мобільні і нерухомі пристрої, розташовані в середовищі, наповненим відволікаючими звуками, з використанням рідкокристалічних дисплеїв (РК-дисплеїв) і інших пристроїв з плоским екраном. Ці нові підходи впливають на ключові характеристики якості доставки відео, такі як середовище перегляду, середовище прослуховування і т.д. Сучасні користувачі дуже мобільні, протягом дня вони можуть переходити від одного пристрою до іншого при перегляді однієї і тієї ж передачі. Так вранці користувач починає дивитися програму на домашньому телевізорі з високою якістю, потім продовжує дивитися на смартфоні в дорозі або на персональному комп'ютері в офісі. Це вимагає перегляду підходів до суб'єктивної оцінки якості передачі відео, наприклад, надання додаткової інформації, що означає «добре» в

даному контексті перегляду відео. При дотриманні умов випробування, рекомендованих МСЕ в BT-500.13 втрачається дуже багато параметрів, які впливають на оцінку якості. Так в рекомендації повністю виключається вплив навколишнього середовища, проте сучасні програми доповненої реальності і інтернету речей пропонують багато рішень, які працюють в критичних ситуаціях (пожежа, евакуація і т.д.), в яких користувача відволікають шум, яскраве світло або його відсутність. Рекомендація МСЕ P.913 враховує зміни, що відбулися і розширює умови експериментів по оцінці якості передачі відео. У ній запропоновано кілька методів, одним з яких є метод абсолютної оцінки категорій (ACR, Absolute Category Rating) - це оцінка з використанням шкали категорій, при якій тестові відеопослідовності представляються по одній і оцінюються незалежно. ACR - це метод з одним джерелом впливу. Експерт переглядає одну відеопослідовність і потім відразу її оцінює. Метод ACR виробляє велику кількість оцінок за короткий період часу. Оскільки використовуються відеопослідовності тривалістю від 5 до 20 с, рекомендується вибирати матеріал на 8-10 с, інакше спостерігачеві стає важко враховувати всі відмінності якості та правильно проводити оцінку. Оцінки ACR змінюють вплив погіршення з впливом контенту на експерта (наприклад, чи подобається йому чи не подобається якість відтворення відеопослідовності).

2.1.8 Метод DCR

Метод оцінки категорій погіршення (DCR, Degradation category rating). Даний метод відтворює пару відеопослідовностей. представляє стимули в парах. Перше зображення, представлене в кожній парі, завжди є еталоном. Друге являє собою еталонну відеопослідовність після обробки системами, які тестуються. DCR - це метод з двома джерелами впливу. Метод DCR має багато спільного з методом DSIS за винятком нових аспектів, введених в рекомендації P.913.

Зазначені вище методи оцінок якості передачі відео дозволяють виставити оцінку, яка залежить не тільки від якості відео, отриманого на пристрій перегляду, але і від гостроти зору у спостерігачів, сприйняття кольору, кута огляду екрану, а також від сюжету відеопослідовності, в нових методах також враховується вплив довкілля, способу доставки відео до користувача і пристрою відображення.

Методи суб'єктивних оцінок необхідні для визначення якості телевізійних систем і доставки відео, так як вони виражають реакцію людей, які в свою чергу і є одержувачами відеоконтенту. Але оцінити повністю систему можна тільки використовуючи суб'єктивну і об'єктивну оцінку спільно.

2.2 Дослідження параметру Херста та суб'єктивних оцінок якості сприйняття

Трафік доповненої реальності в більшості додатків містить в собі передачу відеотрафіка. Збільшення числа послуг, в яких потрібно передавати відео, а також очікування користувачів отримувати нові послуги з найкращою якістю, призводять до необхідності розширення номенклатури показників якості сприйняття в сучасних мережах зв'язку. Одним з можливих показників об'єктивної оцінки якості сприйняття для послуг доповненої реальності може бути параметр Херста. Відеотрафік є самоподібним для великого числа додатків, що підтверджують численні дослідження. При цьому встановлено, що ступінь самоподібності, а точніше сказати її збільшення або зменшення впливає на зміну відомих показників якості обслуговування, таких як затримки і втрати, в порівнянні з іншими видами трафіку, наприклад, з пуассоновским. Аналіз якості самоподібності відеотрафіку, а також його відстеження і контроль, дозволить здійснювати більш якісне відтворення відеопотоків користувачам, поліпшити точність оцінки якості, переданого відео і розробити нові об'єктивні методи і показники оцінки якості сприйняття, сприяють наближенню до реального

розуміння задоволеності послугою. Одним з найбільш перспективних показників, які претендують на включення в об'єктивну оцінку якості передачі відео є параметр Херста, що враховує ступінь самоподібності трафіку. Для відеододатків протягом тривалого часу ведуться роботи над створенням методу об'єктивної оцінки якості сприйняття, який отримав назву V-фактор. Ідея полягає у відборі показників роботи мережі, устаткування, характеристик трафіку, які мають найбільший вплив на якість надання послуг по аналогії з R-фактором для мови.

Крім того, при наданні послуг доповненої реальності в мережі крім відеотрафіка існують і інші види трафіку. Зокрема, голосовий трафік, який пред'являє інші вимоги до якості передачі, наприклад, у порівнянні з відеопотоком необхідно забезпечувати істотно більш низьку пропускну здатність, однак, вона повинна бути постійною. Тому при розрахунку мереж, їх проектуванні, а також розробці та впровадженні нових послуг слід враховувати наявність інших видів трафіку. Оскільки в мережах з комутацією пакетів застосовується статичне мультиплексування, тобто об'єднання потоків пакетів від різних джерел, виходить, що якщо від одного джерела надходить трафік із властивістю самоподібності, то і загальний потік буде самоподібним. Автокореляційна функція (АКФ) дозволяє визначити самоподібний процес. У свою чергу параметр Херста характеризує ступінь самоподібності. Зміна значень параметра Херста може призводити до перетворення інших показників об'єданого потоку. Процес зміни інших характеристик загального потоку може викликати деякі проблеми при постійному контролі й управлінні мережею зв'язку, так складніше вибрати модель обслуговування черг адекватних змін, що відбуваються в стані мережі, а також механізми управління потоком, запобігання перевантажень і балансування трафіку. Застосування параметра Херста при спостереженні за мережею сприяє вирішенню цих проблем, а також допомагає виявити вторгнення на мережі, різні атаки і виявити аномалії трафіку. Як приклад у статті [16] зміни значення параметра Херста в сторону зменшення

взаємопов'язане із здійсненням DDoS атаки. Сьогодні особлива увага дослідників направлена на питання захисту ресурсів мережі. І важливим завданням при цьому є своєчасна оцінка характеристик функціонування мережі, виявлення та локалізація відмов обладнання, збоїв в роботі мережі, виявлення порушників і несанкціонованого доступу, виявлення вірусів і інших процесів, які можуть призвести до часткової або повної втрати працездатності мережі. Вирішенню завдань по виявленню аномалій у функціонуванні мережі присвячено кілька робіт. У даних роботах автори аналізують, досліджують і розробляють нові моделі і методи виявлення аномалій трафіку в пакетних мережах, що сприяє своєчасному виявленню і детектуванню атак на системи і пристрої телекомунікацій. На сьогоднішній день не існує моделі мережевого трафіку визнаної в якості еталонної або типової. Зміна трафіку може залежати від різних факторів, так, наприклад, завантаження каналу зв'язку. Поведінка трафіку в каналах з низьким завантаженням більш нестійка, ніж при високій. У разі ж сильного завантаження, включаються механізми, спрямовані на її зниження, що в цілому ускладнює загальне розуміння процесів, що відбуваються на мережі, встановлення залежностей сплеску трафіку в мережі від святкових подій, заходів з масовим скупченням людей і детектування збільшення самоподібного трафіку в мережі.

Доведено, що особливістю відеотрафіку є наявність самоподібності, отже, при відстеженні значень параметра Херста, можна встановити присутність в мережі відеотрафіку, відповідно, по варіаціям цих значень можна спрогнозувати характеристики відеопотоку і зміна їх значення, що в свою чергу може відіб'ється на оцінці якості сприйняття.

Таким чином, виявлення взаємозв'язку між параметрів Херста та значеннями оцінок суб'єктивних методів, використовуваних для розуміння задоволеності користувача відеопослуги, дозволить розглядати параметр Херста як один з основних об'єктивних показників якості сприйняття відео. Встановлення вищеописаних залежностей передбачає можливість використання

параметра Херста в якості об'єктивної метрики для оцінки якості сприйняття відеопотоку, аналогічно параметрам, задіяним в розрахунку R-фактора, широко застосовується для об'єктивної оцінки якості доставки мови. Таким чином, вплив параметра Херста на значення суб'єктивних оцінок дозволить розширити набір показників якості сприйняття і запропонувати новий метод оцінки якості передачі відеопотоку, що є основним типом трафіку при наданні послуг доповненої реальності.

2.2.1 Методи оцінки параметру Херста

При оцінці параметра Херста для реального трафіку завдання ускладнюється тим, що навіть при визначенні ряду властивостей самоподібності трафіку, не можна з усією визначеністю встановити, що досліджувані дані мають структуру самоподібності, оскільки вони могли піддатися зовнішньому впливу, що вплинуло на їх структуру і призвело до появи властивостей самоподібності, наприклад, наявність нестационарності може робити такий вплив. Отже, при визначенні ступеня самоподібності для реальних потоків трафіку, необхідно в заданому масштабному діапазоні враховувати для заданого набору даних самоподібну структуру. У той же час на розрахунок параметра Херста впливають інші чинники, серед них розмір вибірки, вибір методу оцінки, досліджуваний масштаб або проміжок часу і т.д.

Сьогодні відомий ряд методів для оцінки параметра Херста з метою встановлення ступеня самоподібності трафіку. У тимчасовій області одним з перших і популярних методів оцінки, розроблених ще самим Х.Е. Херстом, є метод R/S статистики або метод аналізу нормованого розмаху. Херст розробив даний метод на підставі спостережень різних природних явищ, наприклад, таких як зміна рівня води в річці. Запропонована Херстом нормована безрозмірна величина дозволяє описати мінливість. Проте, метод R/S статистики вважається недостатньо точним, оскільки дає оцінку тільки рівня самоподібності в

тимчасовому ряді. В наслідок цього, даний метод найчастіше використовують в якості перевірки наявності властивості самоподібності в часі ряду. У разі, якщо таку відповідність визначено, то він дає грубу оцінку параметру Херста. Для цілей дослідження властивостей відеопотоку в мережах зв'язку в якості основного методу був обраний метод аналізу графіка зміни дисперсії. Далі на прикладі даного методу розглянуто розрахунок автокореляційної функції. Даний метод оцінки значень параметра Херста дає можливість оцінити ступінь самоподібності для агрегованого потоку і далі він буде розглянутий докладніше.

2.2.1.1 Метод аналізу графіка зміни дисперсії

Метод аналізу графіка зміни дисперсії докладно описаний в [17]. Суть методу полягає в дослідженні повільно загасаючої дисперсії самоподібного агрегованого процесу.

Для полегшення завдання розрахунку параметрі Херста був обраний пакет моделювання ns2, тому що він дозволяє реалізовувати широкий набір функцій, що описують різні властивості потоків трафіку. В результаті моделювання формується «tracelog» файл. У вказаному файлі містяться відомості про всі пакети всіх видів трафіку, переданих в ході дослідження в побудованій модельній мережі. Кожен запис в «tracelog» файлі складається з наступних значень: тимчасова мітка, тип пакета, відправник і одержувач повідомлення, а також необхідні додаткові службові дані. При порядковому аналізі отриманого файлу витягується інформація, необхідна для розрахунку параметра Херста.

В першу чергу оцінюється зміна числа пакетів, які були передані одержувачу з плином часу. В ході моделювання вибирається тривалість, яка змінюється в залежності від поставлених завдань дослідження і при необхідності розбивається на відрізки довжиною в необхідну кількість секунд. Це в свою чергу дає можливість моделювати характеристики відеопотоків в широкому діапазоні, тим самим імітуючи роботу різних додатків. При запуску процедури

моделювання тривалість можна змінити. Відеопослідовності мають ряд специфічних особливостей, для того щоб їх врахувати слід вибирати діапазон моделювання більше або рівним 600 секундам. Однак, для наближення до реальних умов надання відеопослуг інтерес представляє моделювання на більш тривалі проміжки часу. При аналізі «trase» файлу пакети фільтруються за адресою одержувача, далі аналізується час надходження пакета кожному потоку. В результаті аналізу пакети співвідносяться до певних інтервалів надходження. Проаналізовані дані записуються і отримані результати зберігаються для подальших розрахунків. У деяких випадках для наочності дані можна представити у вигляді діаграм і графіків. На рисунку 2.2. представлений приклад агрегації даних з інтервалом в 1 секунду.

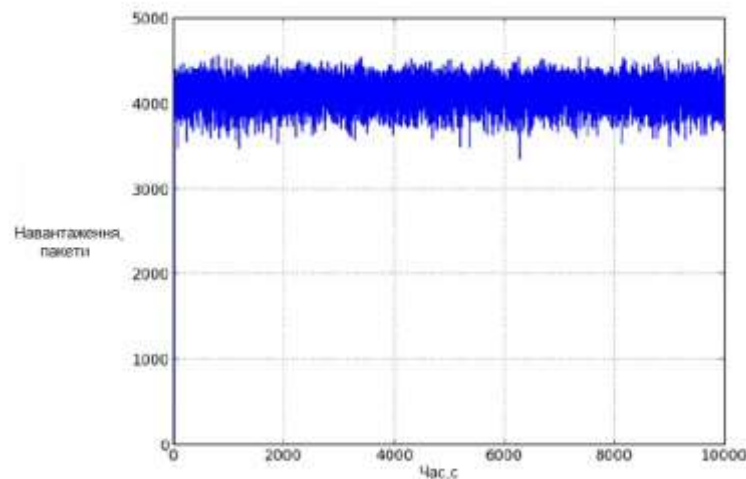


Рисунок 2.2 - Приклад агрегації даних з інтервалом в 1 секунду

Здійснюючи агрегацію за різними тимчасовим інтервалом, відбувається спостереження за навантаженням при різних масштабах, проте загальна форма навантаження при цьому залишається однаковою. Цей процес є одним з основних властивостей самоподібності, тобто зміна тимчасового масштабу еквівалентна зміні просторового масштабу стану. Незалежно від розглянутого масштабу часу, типові реалізації самоподібному процесу візуально схожі. На

рисунках 2.3-2.4 представлена агрегація навантаження відеопотоку за різними тимчасовими інтервалами.

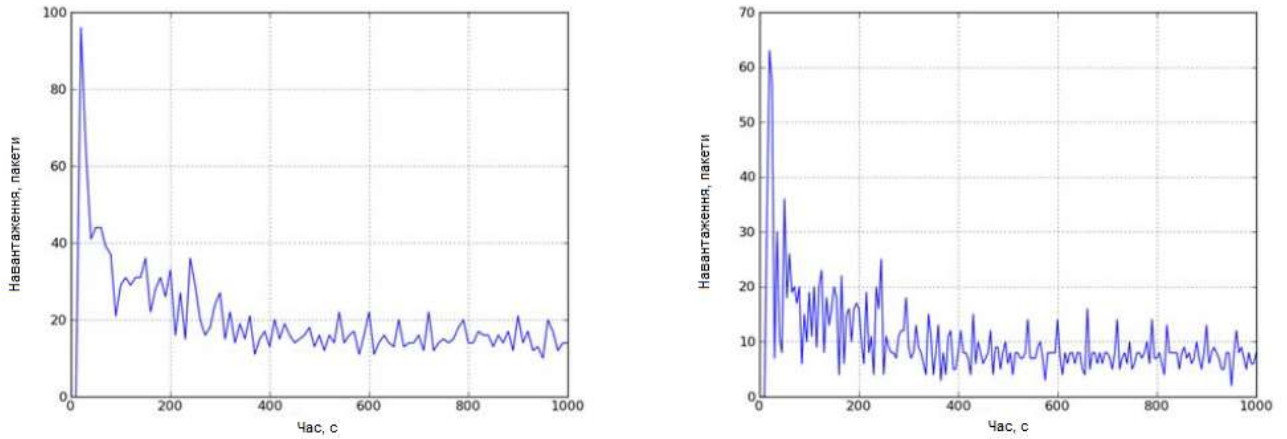
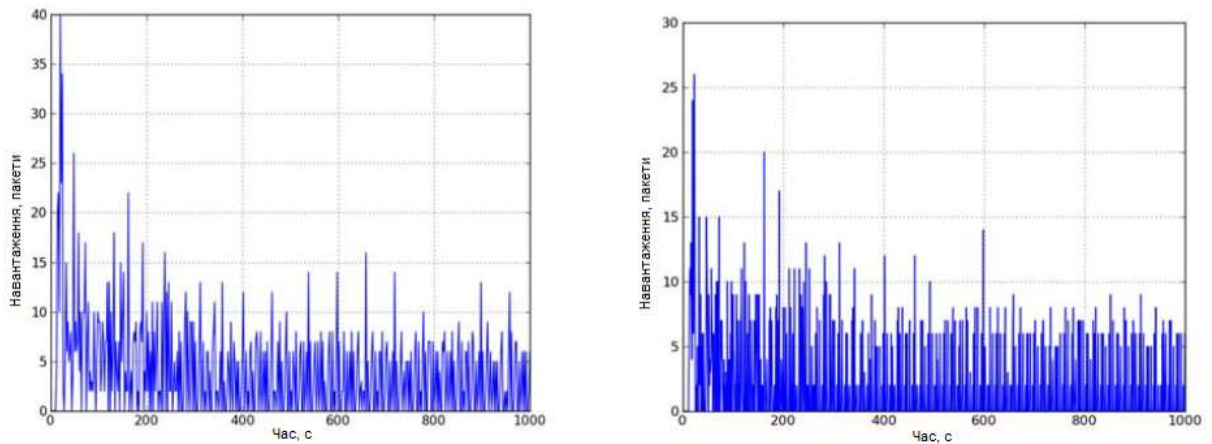


Рисунок 2.3 - Агрегація навантаження по тимчасових інтервалах (Зліва направо, 5 с і 10 с.)

Якщо проаналізувати отримані графіки, то стає очевидно, що потоки мають дві явні фази. Перша фаза є перехідним процесом, яка триває не більше 200 секунд, а друга - стаціонарною.



Малюнок 2.4 - Агрегація навантаження по тимчасових інтервалах (Зліва направо, 1 с і 2 с.)

Пояснити наявність перехідного процесу, можна особливостями передачі по пакетним мереж, а саме, формування таблиці маршрутизації, розподіл трафіку по мережі і т.д. Наявність двох фаз спостерігається для всіх потоків незалежно від їх характеристик.

2.2.2 Розрахунок параметру Херста

З отриманого в результаті моделювання «trace» файлу витягується інформація про кількість переданих пакетів і часу їх надходження. Отримані дані використовуються для розрахунку значень параметра Херста з метою встановлення ступеня самоподібності трафіку в мережі.

Самоподібність можна встановити через автокореляційну функцію. Нехай процес заданий послідовністю, де при імітаційному моделюванні трафіку в мережі значення X_t представляється як число пакетів (набагато рідше X_t інтерпретують як сумарний обсяг даних в байтах), які надійшли в канал зв'язку протягом досліджуваного інтервалу часу t .

Тоді, автокореляційну функцію можна уявити, як:

$$r(k) = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{(N - k)\sigma^2} \quad (2.1)$$

де:

- N - число елементів послідовності,
- σ^2 - дисперсія.

Під агрегованим процесом розуміється процес, заданий послідовністю, елементи якої отримані з елементів вихідного процесу шляхом усереднення по блокам з m послідовних елементів [104].

Таким чином, агрегований процес по блокам довжини m , $X^{(m)} = (X_1^{(m)}, X_2^{(m)}, \dots, X_t^{(m)})$, має наступну автокореляційну функцію $r_m(k)$:

$$X_t^{(m)} = \frac{1}{m} (X_{tm-m+1} + \dots + X_{tm}) \quad (2.2)$$

Процес X називається строго самоподібним в широкому сенсі, якщо

$$r_m(k) = r(k), \text{ де } m=2,3,\dots \quad (2.3)$$

Іншими словами, процес строго самоподібним в широкому сенсі, якщо при його агрегуванні по блокам будь-якої довжини автокореляційні функції вихідного процесу і агрегованих процесів рівні, тобто коефіцієнт кореляції не змінюється при усередненні по блокам.

Процес X називається асимптотично самоподібним (другого порядку), якщо

$$\lim_{m \rightarrow \infty} r_m(k) = g(k) \quad (2.4)$$

тобто при усередненні по блокам процес сходиться до самоподібності.

Процес X називається строго самоподібним у вузькому сенсі, якщо

$$m^{1-H} X^{(m)} = X \text{ (рівність розподілів)} \quad (2.5)$$

де H - параметр Херста.

Параметр Херста H може варіюватися в інтервалі від нуля до одиниці і в залежності від значення визначається ступінь самоподібності процесу. Якщо значення параметра наближається до одиниці, то можна спостерігати яскравий прояв фрактальних властивостей трафіку. Тим не менш, якщо параметр Херста дорівнює, $0,5$, $H = 0,5$, то це говорить про відсутність самоподібності. У зв'язку з цим, часто при проведенні досліджень на встановлення ступеня самоподібності, значення записують в діапазоні від $0,5$ до 1 .

Якщо функції розподілу вихідного і агрегованих процесів однакові, то це називають самоподібним у вузькому сенсі. І ступінь самоподібності також характеризується параметром Херста.

З виразу (2.5) випливає, що для дисперсій процесів

$$D(X^{(m)}) = m^{2(H-1)} D(X) \quad (2.6)$$

Використовуємо такий вираз для оцінки параметра Херста:

$$\ln\left(\frac{D(X^{(m)})}{D(X)}\right) = (2H - 2) \ln(m) \quad (2.7)$$

В даному випадку дужка має геометричний сенс коефіцієнта нахилу прямої, яка апроксимує функцію

$$\ln\left(\frac{D(X^{(m)})}{D(X)}\right) = f(\ln(m)) \quad (2.8)$$

Цей вираз впливає з твердження, що для самоподібного процесу зв'язок між дисперсією об'єднаного процесу $X^{(m)}$ і розміром блоку m представляється в такий спосіб:

$$\sigma^2(X_t^{(m)}) \sim \alpha m^{-\beta} \text{ при } m \rightarrow \infty, \quad (2.9)$$

де α - кінцева позитивна константа. Прологарифмуємо обидві частини, отримаємо залежність:

$$\log\left(\sigma^2(X_t^{(m)})\right) \sim -\beta * \log(m) + \log(\alpha) \text{ при } m \rightarrow \infty, \quad (2.10)$$

Обчисливши $\log\left(\sigma^2(X_t^{(m)})\right)$ для різних значень m і графічно відобразивши залежність від $\log(m)$, отримаємо значення β . β можна визначають як негативний нахил прямої, який підбирається за методом найменших квадратів. Для встановлення зв'язку параметра H з отриманим β використовуємо такий вираз:

$$H = 1 - \beta/2 \quad (2.11)$$

Описаний вище метод аналізу графіка зміни дисперсії проілюстровано на рисунку 2.5.

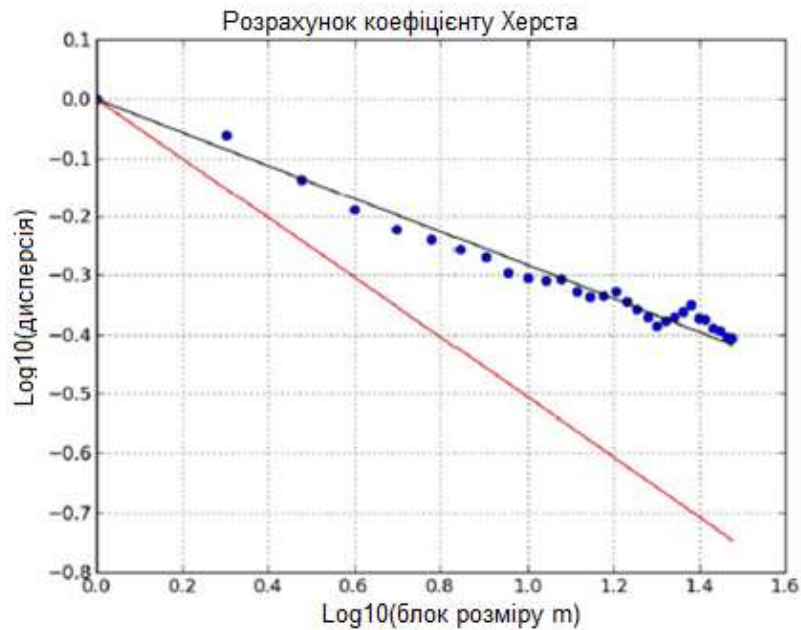


Рисунок 2.5 - Розрахунок параметра Херста методом аналізу графіка зміни дисперсії

2.2.2.1 Розрахунок автокореляційної функції

За допомогою автокореляційної функції можна охарактеризувати зв'язок між значеннями одного і того ж випадкового процесу в рознесені моменти часу. Прийнято вважати, що процес має повільну спадаючу залежність (МУЗ), в тому випадку, коли його можна охарактеризувати автокореляційною функцією, яка при збільшенні тривалості затримки гіперболічно убуває. Очевидно, що крім МУЗ існує поняття швидко спадаючої залежності (БУЗ).

Після розрахунку параметра Херста, за допомогою формули (2.12) можна апроксимувати АКФ і отримати графік апроксимації.

$$r(k) = 1/2 * ((k + 1)^{2H} + 2k^{2H} - (k - 1)^{2H}) \quad (2.12)$$

На рисунку 2.6 показаний приклад графіка апроксимації АКФ для даних, які були отримані в результаті моделювання відеотрафіка в пакетній мережі, що містить 8 вузлів.

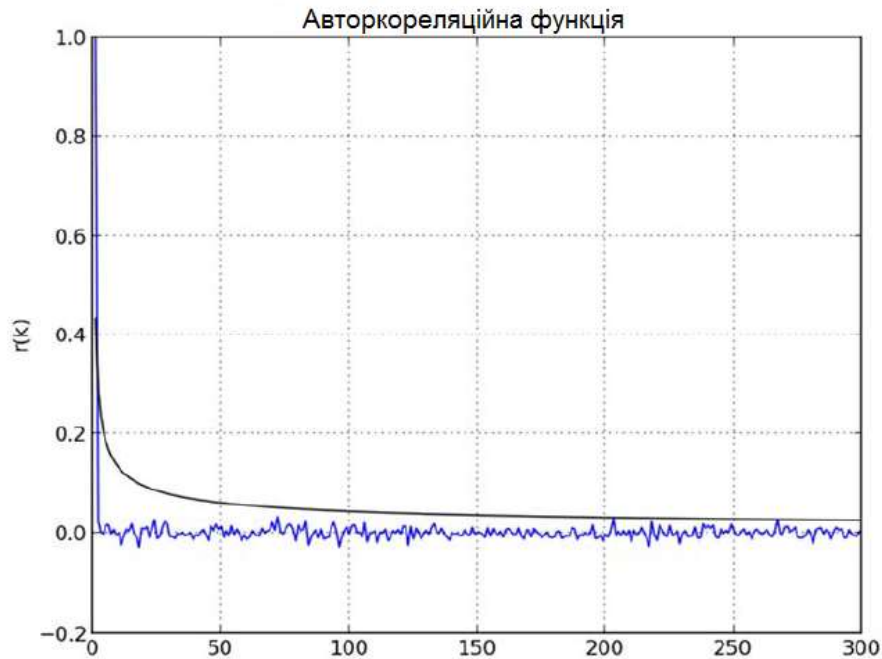


Рисунок 2.6 - Графік апроксимації АКФ

З графіка АКФ, наведеному на рисунку 2.6 можна бачити, що досліджуваний потік володіє довготривалою спадною залежністю. Гіперболічне загасання автокореляційної функції на нескінченності є ознакою не сумовності. Ряд, який утворений значеннями кореляційної функції розходиться. Гіперболічне повільне згасання є ознакою процесів з довготривалою залежністю, відмінних від процесів з короткочасної залежністю, з сумовною АКФ, порядку спадання.

Причиною яскраво виражених пульсацій процесу є довгострокова залежність. Однак, в невеликих межах часу це дозволяє говорити про деяку передбачуваність..

Іншою відмінною властивістю процесів з самоподібності можна назвати повільно спадаючу дисперсію. У разі усереднення процесу дисперсія вибірково середнього загасає повільніше, ніж величина, зворотна розміру вибірки. Ця властивість вказує на можливість істотних викидів, що не згладжується

усередненням у випадковому процесі, і відносить самоподібність до розподілів з важкими хвостами.

Далі розглянемо найбільш популярні і широко застосовні методи розрахунку параметра Херста, оскільки як було сказано раніше, визначення властивості самоподібності для реального трафіку є складним завданням. Для отримання достовірних оцінок використовується як правило кілька методів, які працюють в парі. Один дозволяє встановити, що процес самоподібний, а другий визначити ступінь самоподібності.

2.2.2.2 Метод аналізу нормованого розмаху

Метод аналізу нормованого розмаху відноситься до методів оцінки в тимчасовій області. Цей метод одним з перших був запропонований Херстом для оцінки самоподібності. У цьому методі він пропонує використовувати деяку розроблену ним нормовану безрозмірну величину, для опису мінливості процесів. Ця міра була названа Херстом нормованим розмахом і широко прийнято позначення цього заходу, як R/S . Більш докладно метод R/S описаний в [17]. Даний метод не можна віднести до точних методів оцінки, оскільки він дозволяє визначити тільки рівень самоподібності в тимчасовому ряді. Оцінки, отримані за допомогою даного методу, можна застосовувати для визначення значення параметра Херста за заданим рядом спостережень, а також для того, щоб упевнитися, чи є часовий ряд самоподібним. Якщо встановлено, що ряд самоподібний, даний метод дає досить грубу оцінку параметру Херста. Приклад розрахунку параметру Херста методом аналізу нормованого розмаху представлений на рисунку 2.7.

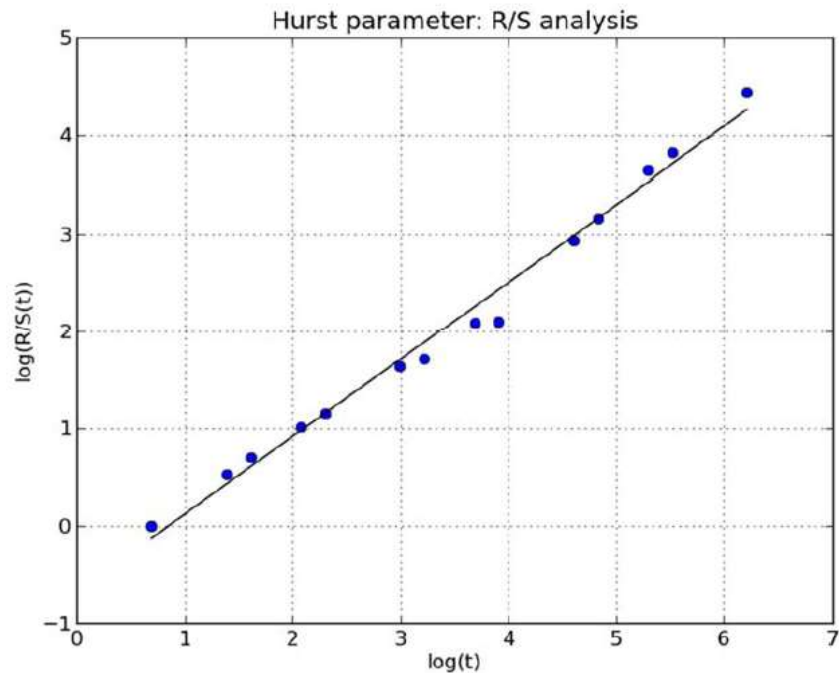


Рисунок 2.7 - Розрахунок параметра Херста методом аналізу нормованого розмаху

2.2.2.3 Метод Віттла

Оскільки розглянуті вище методи оцінки показника Херста в тимчасовій області вважаються наближеними, то метод аналізу зміни дисперсії і метод аналізу нормованого розмаху застосовуються при деяких обмеженнях. Зокрема, метод аналізу зміни дисперсії обґрунтований і застосовується при малій кількості статистичних даних, які доступні для спостереження в рамках окремої вибірки самоподібного процесу. Таким чином, аналіз зміни дисперсії може застосовуватися тільки для перевірки самоподібності тимчасового ряду, і в разі встановлення властивості самоподібності, дозволяє отримати досить наближену оцінку параметра Херста. Більш детальний аналіз даних можливий, якщо для цього використовувати оцінки максимальної правдоподібності (ЗМУ). Розглянемо один з них, який називається метод Віттл.

Даний метод відносять до групи методів оцінки параметра Херста в частотній області. Методи, засновані на оцінках максимальної правдоподібності в принципі демонструють непогану статистичну ефективність, але все ж мають один недолік. Оскільки ОМП є параметричними, то вони вимагають, щоб аналітична форма спектральної щільності була визначена заздалегідь. Це призводить до деяких складнощів при оцінці великих наборів даних, пов'язаних з необхідністю забезпечувати істотні обчислювальні потужності. В іншому випадку, якщо виявиться, що модель спектральної щільності була некоректною, то і отримана за допомогою даного методу оцінка також виявиться необ'єктивною, що в практичних умовах призведе до нестійкого результату. Внаслідок чого рекомендовано перед використанням методу Віттл переконатися, що часовий ряд дійсно має самоподібну структуру, для цих цілей якраз і використовуються методи в тимчасовій області, описані вище: методи аналізу зміни дисперсії і нормованого розмаху (R/S). Приклад розрахунку параметра Херста методом Віттл представлений на рисунку 2.8.

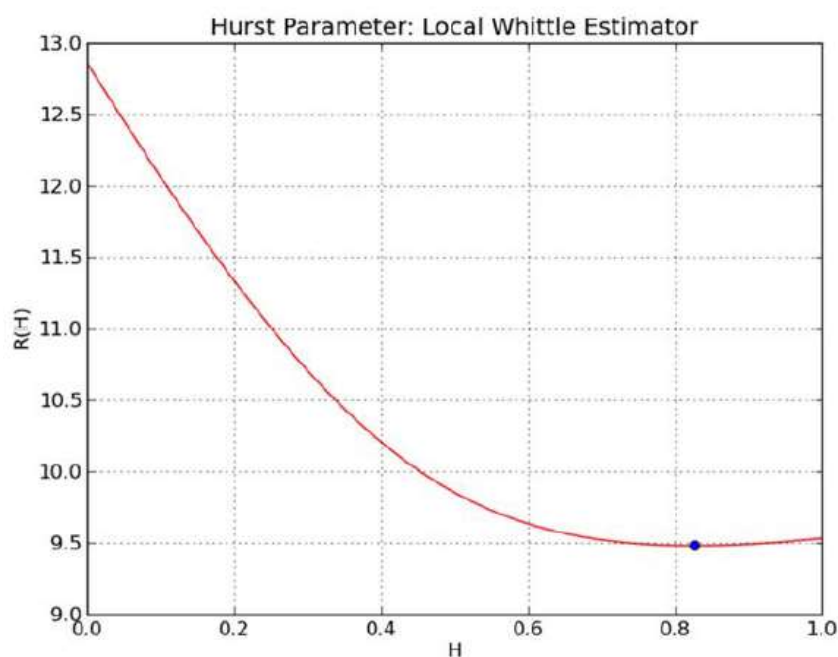


Рисунок 2.8 - Розрахунок параметра Херста методом Віттла

2.2.2.4 Метод Хігучі

Серед методів оцінки параметра Херста для обмеженої вибірки можна обрати метод Хігучі. Метод Хігучі ґрунтується на обчисленні довжини траєкторії і подальшому перебуванні фрактальної розмірності траєкторії, що обчислюється. Після цього отримують часткові суми початкового ряду і далі знаходять нормалізовану довжину кривої, і потім вже обчислюють значення параметра Херста. У методі Хігучі фрактальна розмірність пов'язана з параметром Херста наступне співвідношення: $H=2-D$ пов'язує параметр Херста і фрактальну розмірність для методу Хігучі. Фрактальну розмірність можна оцінити, як тангенс кута між віссю абсцис і лінійною апроксимацією точок, яка отримані в ході відображення усереднених довжин дуг $L(k)$ при різних k в логарифмічних осях. Приклад розрахунку параметра Херста методом Хігучі представлений на рисунку 2.9.

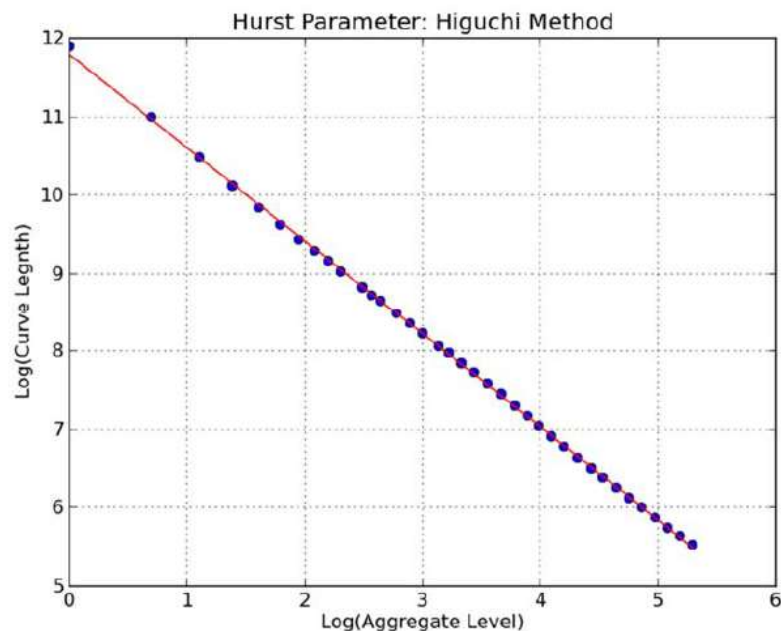


Рисунок 2.9 - Розрахунок параметра Херста методом Хігучі

2.2.3 Метод оцінки якості сприйняття на основі параметру Херста та суб'єктивних оцінок

В даний час послуги передачі відео дуже різноманітні і включають в себе різні формати, які залежать від способу організації самої послуги. У додатках доповненої реальності на сьогодні частіше використовують передачу відеопотоків з низьким розширенням і невисокою швидкістю, це пов'язано з тим, що і бездротові мережі, і термінальне обладнання доповненої реальності, а також їх сумісність ще активно досліджуються. Найбільш опрацьовані рішення пропонують оператори при наданні інтерактивних послуг IPTV, для реалізації яких задіяна інфраструктура оператора і він контролює весь процес організації послуги

Традиційні оператори зв'язку для надання послуг інтерактивного телебачення з належною якістю, звичайно застосовували цілий комплекс методів і алгоритмів, що дозволяють максимально підвищити ефективність роботи мережі при обмежених ресурсах. Наприклад, особливо гостро брак ресурсу пропускної здатності можна було спостерігати на абонентському ділянці і рівні агрегації. Однак, останнім часом сучасні технології, протоколи, методи організації мереж дозволяють транслювати телевізійні канали та здійснювати доставку відеоконтенту в реальному режимі часу з належною якістю сприйняття, більш того багато постачальників послуг активно використовують технологію доповненої реальності для підвищення задоволеності користувачів і більшої їх зацікавленості. Зараз помітною популярністю користуються трансляції відеоконтенту безпосередньо його виробниками, так більшість телерадіокомпаній (ТРК) володіють власними сайтами в Інтернеті, з яких здійснюється мовлення телевізійних програм в режимі «онлайн». Отже, можна говорити про те, що сьогодні в мережі значну частку трафіку становить відеотрафік в реальному режимі часу, що в підсумку впливає на характеристики інших видів трафіку.

Для наочності дослідження і наближеності до реальних умов для експерименту по встановленню взаємозв'язку між об'єктивними оцінками якості передачі відео в вигляді параметра Херста і суб'єктивними оцінками, був обраний трафік мовлення телеканалів у режимі «онлайн» через Інтернет.

Для дослідження особливостей відеотрафіка при трансляції через Інтернет був обраний трафік телеканалу «ІНТЕР», доступ до якого здійснювався через онлайн трансляцію. Характеристики досліджуваного трафіку і маршрутів його доставки представлені в таблиці 2.3. В ході проведення експерименту використовувався канал доступу з пропускнуною спроможністю 20 Мбіт/с.

Таблиця 2.3 – Характеристика трафіку «ІНТЕР»

№	Назва каналу	Якість	Швидкість потоку, Кбіт/с	Затримка доставки, мс	Число переходів в маршруті
1	ІНТЕР	LQ(SD)	300	11	8
2	ІНТЕР	SD	1000	8	8
3	ІНТЕР	HD	2300	9	8
4	ІНТЕР	HD	3700	12	8

Як видно в таблиці 2.3 досліджувалося відео в різних форматах: низька якість стандартної роздільної здатності (LQ - англ. Low Quality), стандартний дозвіл (SD - англ. Standard Definition) і два формати з високою роздільною здатністю (HD - англ. High Definition). Дозволи відео залежать від типу кодека і варіюються в широкому діапазоні, проте, найбільш популярні наступні формати для відео: 640×360 (відповідає низькій або в деяких випадках середній якості) і 720×540 (відповідає хорошій якості), HD-відео, як правило, має роздільну здатність 1280×720 (720p) і передбачає високу якість.

На малюнках 2.9-2.11 представлена реалізація потоку трафіку «ІНТЕР» при різних інтервалах виміру. Захоплення трафіку здійснювався за допомогою вільного програмного забезпечення Wireshark.

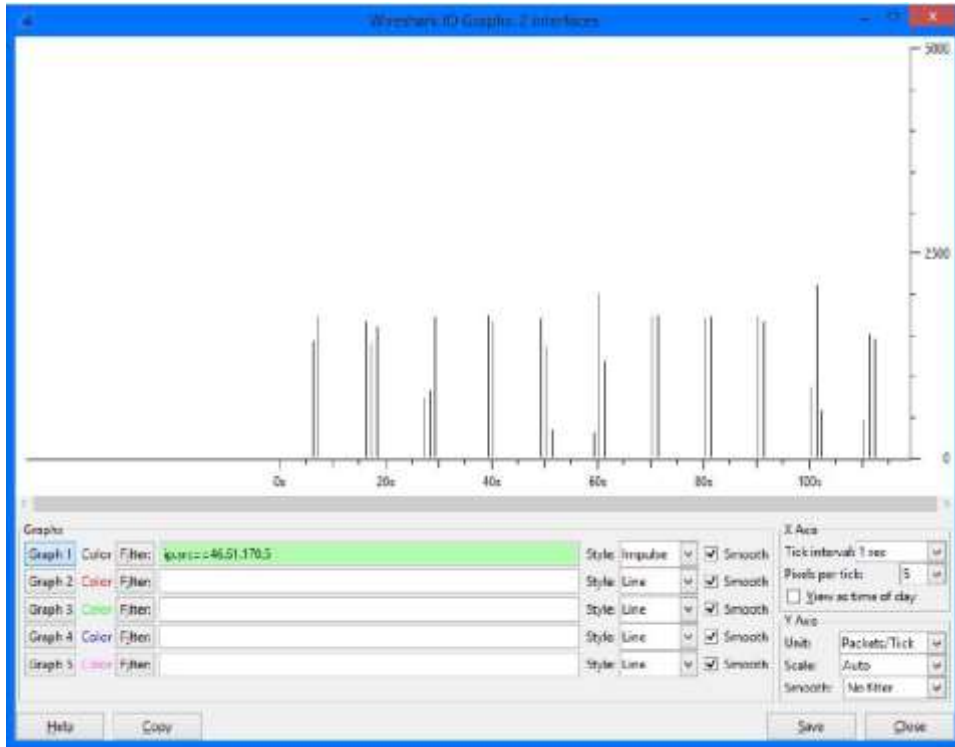


Рисунок 2.9 - Потік каналу «ІНТЕР» при інтервалі вимірювання 1 с

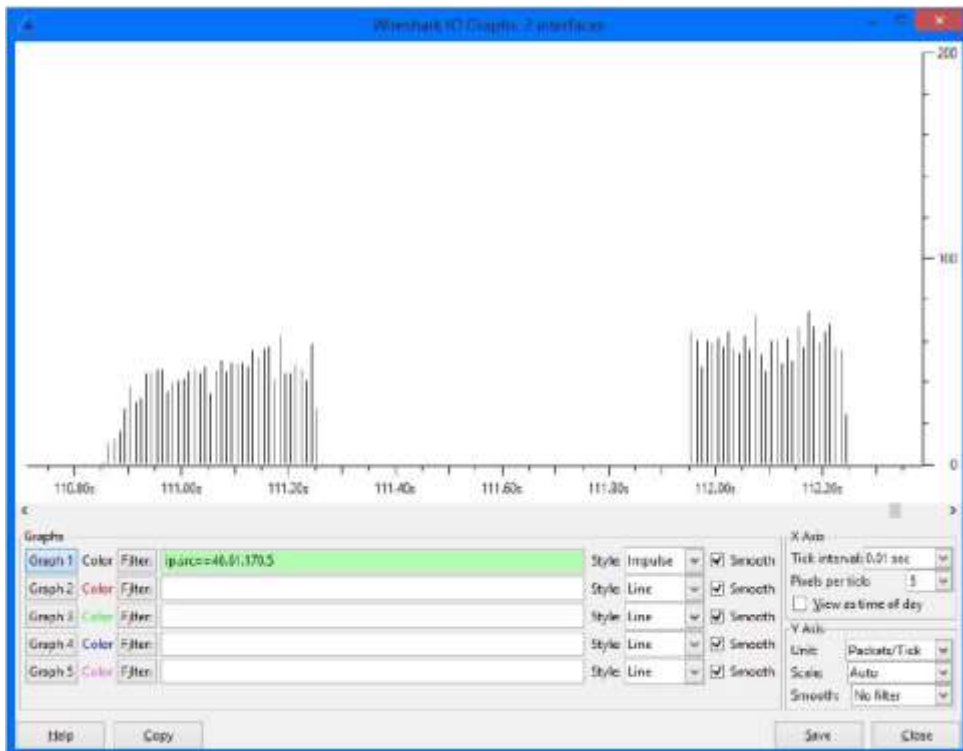


Рисунок 2.10 - Потік каналу «ІНТЕР» при інтервалі вимірювання 10 мс

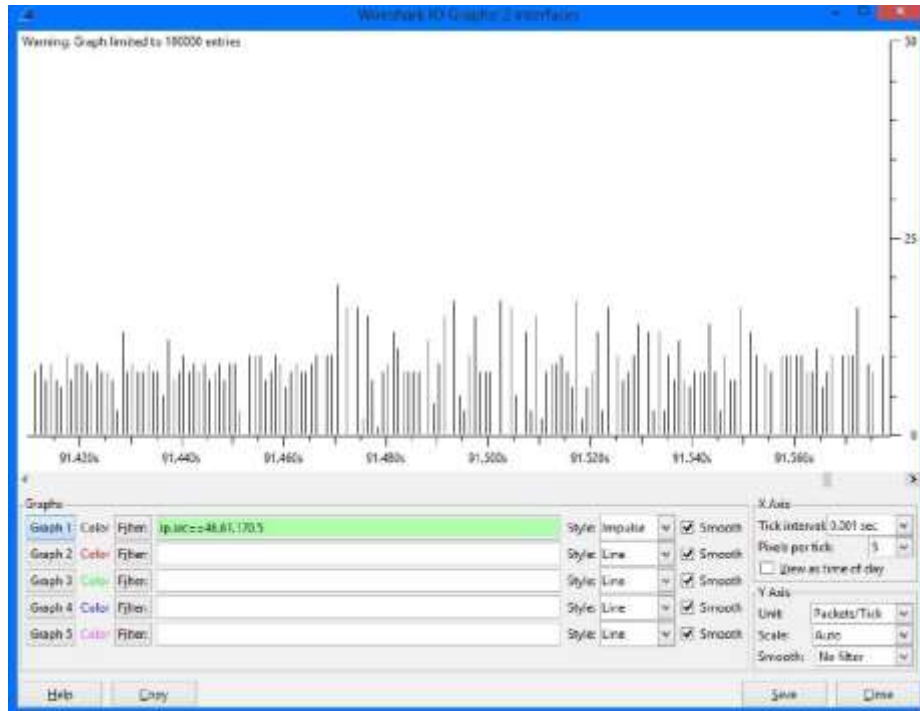


Рисунок 2.11 - Потік каналу «ІНТЕР» при інтервалі вимірювання 1 мс

На рисунках 2.9-2.11 видно, що трафік при інтервалі вимірювання 1 с і 10 мс має виражений пачковий характер, що ж стосується трафіку при інтервалі вимірювання 1 мс, пачковий характер трафіку менш помітний.

Дані відеопотоку передаються IP-пакетами з максимальною довжиною в 1514 байт поверх протоколу TCP. Маршрути передачі відеоданих складаються з восьми переходів, в середньому затримка доставки пакета від відправника до одержувача варіюється в межах 10 мс. Оцінка параметра Херста проводиться методом аналізу зміни дисперсії і показана на рисунку 2.12.

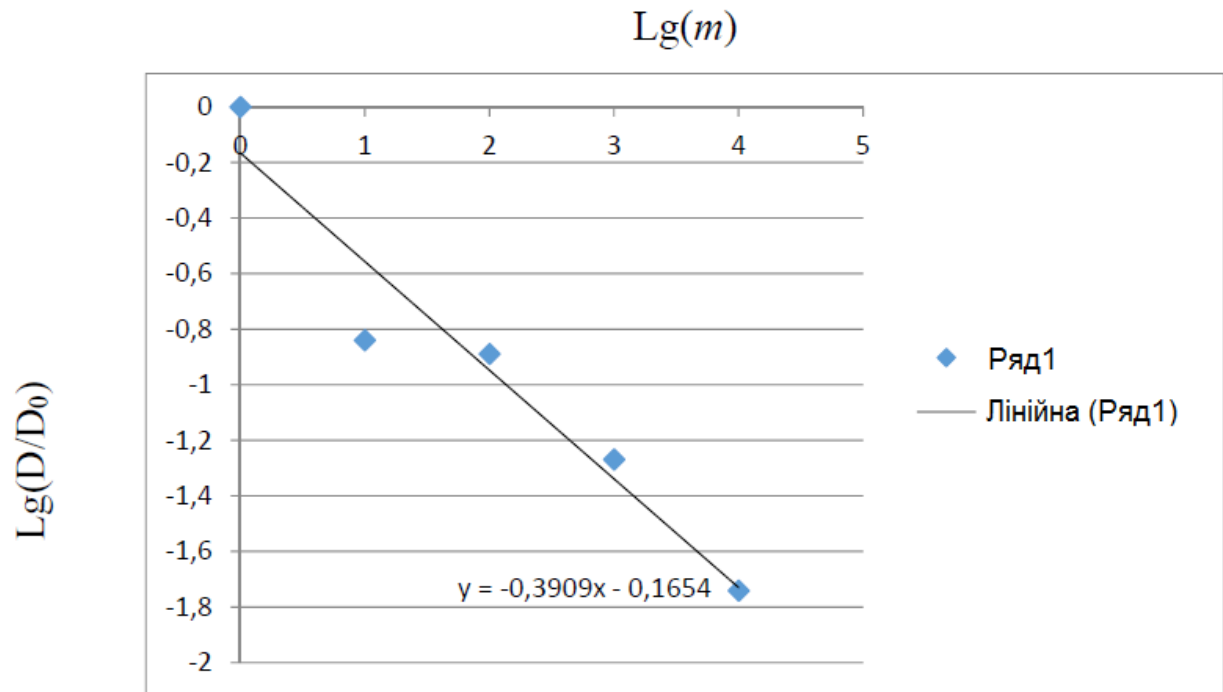


Рисунок 2.12 – Приклад оцінки параметра Херста методом аналізу зміни дисперсії

У таблиці 2.4 наводиться деякі характеристики відеотрафіка при трансляції з різною швидкістю потоку.

Таблиця 2.4 - Загальні характеристики відеотрафіка

№	Характеристика	Одиниця вимірювання	Швидкість потоку, Кбіт/с			
			300	1000	2300	3700
1	Протокол	-	IP/TCP	IP/TCP	IP/TCP	IP/TCP
2	Інтенсивність пакетів	Пакетів/с	301,8	164,2	221,4	358,7
3	Середня довжина пакету	байт	1478,6	916,9	1472,1	1474,3
4	Середня швидкість передачі	Мбіт/с	3,52	1,17	2,57	4,31
5	Коефіцієнт Херста	-	0,806	0,713	0,788	0,751
6	Порівняльна оцінка якості по п'ятибальній шкалі	-	2,54	3,52	3,91	4,73

При аналізі отриманих даних, очевидно, що статистичні властивості відеотрафіка, одержуваного користувачем від одного джерела, але при різних швидкостях трансляції сервером, відрізняються. Це відбувається через особливості передачі по пакетним мережам, а саме маршрутами доставки і їх завантаженістю на момент передачі відеотрафіка.

Дані, наведені в таблиці 2.4 характеризують одиничний потік трафіку від сервера до користувача, тобто потік, який може передаватися на рівні абонентського доступу (в разі, якщо користувач в даний момент отримує тільки одну послугу) або на рівні агрегації, за умови відсутності інших активних користувачів. В реальних умовах мережеве обладнання обслуговує агрегований потік від великого числа користувачів, і як правило, користувач одночасно отримує кілька послуг (електронна пошта, мовлення телевізійних каналів або відтворення відеофільму, передача голосового трафіку і т.д.). Тому більший інтерес представляє дослідження властивостей агрегованого потоку.

Для встановлення взаємозв'язку між значеннями параметра Херста і суб'єктивними оцінками якості передачі відео було обрано метод SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation, Метод безперервної оцінки якості при одному джерелі впливу), описаний вище. Даний метод застосовується для оцінки якості передачі відео в умовах, коли немає можливості паралельно переглядати еталонне відео з джерела і порівнювати з тестованою відеопослідовністю, що дуже близько до реальних умов надання відеопослуг. Метод SSCQE передбачає безперервну оцінку якості відеопотоку, що дає можливість оцінювати кожен фрагмент тестованого матеріалу. Експерти можуть переглядати відеофрагмент тільки один раз, не маючи при цьому еталонного зображення. Для виставлення оцінок застосовуються бланки з безперервною шкалою. Експертам пропонують оцінити загальне враження від якості відео, і поставити йому оцінку на вертикальній шкалі. Згідно з рекомендацією МСЕ-Р ВТ-500.13 шкала являє собою систему безперервної оцінки, щоб мінімізувати помилки квантування, і для зручності вона розділена на п'ять рівних по довжині відрізків, які

відповідають загальноприйнятій п'ятибальною шкалою якості суб'єктивних оцінок. В даному випадку для визначення рівня якості використовувалися терміни, добре знайомі і зрозумілі експертам, а саме: відмінно, добре, задовільно, погано, неприйнятно.

У таблиці 2.5 представлені суб'єктивні оцінки і значення параметра Херста для одиничного потоку від сервера до користувача, а в таблиці 2.6 наведені значення агрегованого потоку з різною кількістю відеопослідовностей.

Таблиця 2.5 - Значення параметра Херста і оцінки SSCQE для одиничного потоку відео

№	Оцінки SSCQE	Параметр Херста
1	2,48	0,809
2	3,53	0,721
3	3,79	0,789
4	4,17	0,762
5	4,63	0,791

Таблиця 2.6 – Значення параметра Херста і оцінки SSCQE для агрегованого потоку

№	Оцінки SSCQE	Параметр Херста
1	1,57	0,742
2	2,69	0,768
3	4,01	0,889
4	3,45	0,814
5	3,78	0,863

Проаналізувавши результати в таблиці 2.5 видно, що існує взаємозв'язок між значеннями параметра Херста і суб'єктивними оцінками якості передачі відео методом SSCQE. З таблиці 2.6 видно, що присутність в мережі додаткового трафіку веде до збільшення параметра Херста і до збільшення значень суб'єктивних оцінок якості відео. Отже, при широкомасштабних дослідженнях

залежності параметра Херста від зміни стану мережі та взаємопов'язаності з суб'єктивними оцінками, можна включити параметр Херста в метод об'єктивної оцінки якості передачі відео, що призведе до збільшення точності оцінок якості сприйняття.

Таким чином, можна припустити, що з істотним збільшенням кількості потоків в мережі, знижується властивість самоподібності агрегованого потоку. Можливо це відбувається при перевищенні максимальної пропускної здатності мережі, на яку мережа реагує механізмами зниження трафіку, що викликає втрати і як результат зменшення загального обсягу надходить трафіку.

На рисунку 2.13 представлена апроксимація логістичної кривої взаємозв'язку між суб'єктивними оцінками якості сприйняття і значеннями параметра Херста.

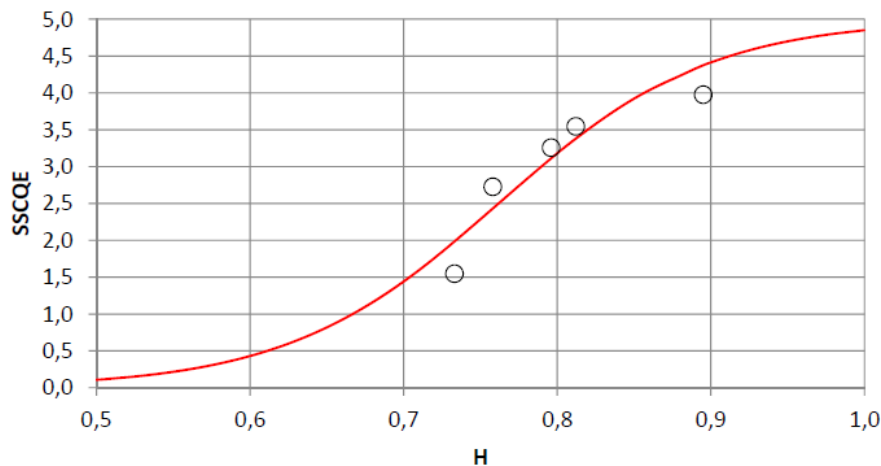


Рисунок 2.13 - Розрахунок коефіцієнта для визначення параметра Херста

Встановлений взаємозв'язок параметра Херста і суб'єктивних оцінок якості сприйняття, отриманих за допомогою методу SSCQE, можна представити таким виразом:

$$F(H) = \frac{M}{1 + e^{-\frac{h-h_0}{b_0}}} \quad (2.13)$$

де:

- M - максимальне значення оцінок суб'єктивного методу (в даному випадку - 5);
- h - значення параметра Херста;
- h_0 - відносне значення параметра Херста;
- b_0 - параметр, що враховує мережеві характеристики.

Згідно з отриманими результатами, можна зробити висновок про те, що значення суб'єктивної оцінки якості передачі відео і параметра Херста мають взаємо однозначну відповідність, і, отже, параметр Херста може бути включений в об'єктивну оцінку якості надання відеопослуг.

Також встановлено, що збільшення числа потоків в мережі і відсутність її науково-обґрунтованого розрахунку призводять до зниження властивостей самоподібності агрегованого потоку, до збільшення втрат пакетів і внаслідок цього до зменшення загального обсягу надходить трафіку.

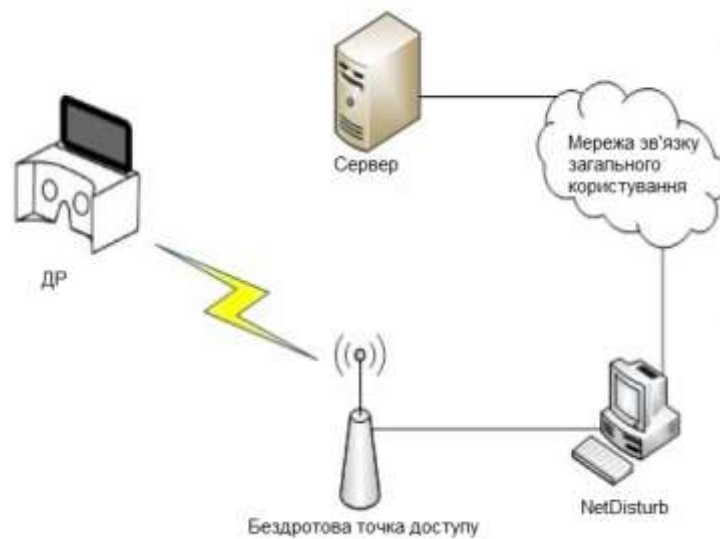
Очевидно, що взаємозв'язок параметра Херста і суб'єктивних оцінок якості сприйняття відеозображень аналогічний встановленому взаємозв'язку суб'єктивних оцінок методу MOS і об'єктивних оцінок R-фактора, що застосовується для оцінки якості передачі мови в пакетних мережах.

2.2.4 Метод оцінки якості сприйняття контенту в системах доповненої реальності

В даний час, у зв'язку з розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, отримали розвиток технології доповненої реальності. Доповнена реальність відкриває для людини нові можливості сприйняття і взаємодії з навколишнім світом, яка дозволяє отримати корисну інформацію, застосовуючи для цього мінімум зусиль. Передбачається, що застосування даних технологій в сучасних інформаційно-комунікаційних системах, відкриє новий виток розвитку мереж зв'язку пост-NGN і для послуг Інтернету Речей зокрема. У свою чергу, для

мережевих додатків, що працюють в режимі реального часу, необхідно забезпечувати певну якість обслуговування. Якість обслуговування визначається такими параметрами як: пропускна здатність, затримка при передачі пакета, джиттер і втрата пакетів. Однак, користувач послуги оцінює якість надання послуг суб'єктивно. Таку оцінку прийнято називати оцінкою якості сприйняття. У системах доповненої реальності суб'єктивна оцінка користувача виходить на перше місце, тому що її призначенням є створення відчуття реального світу, який доповнений для поліпшення будь-яких характеристик оточуючого нас світу. Це може бути зроблено з метою полегшення управління технічними або транспортними засобами, навчання, тренування, ігри, спілкування, інформування. Таким чином, в доповненій реальності необхідно оперативно обробляти дані, вчасно відображати об'єкти, сигнали від датчиків передавати без помилок, рух об'єктів повинний бути звичний для людського ока. Поняття якості є предметом стандартизації, в тому числі якості послуг зв'язку. Існують стандарти і методи для оцінки якості передачі мови, відео, телевізійних програм, але для додатків доповненої реальності мало стандартів особливо в області оцінки якості послуги.

Щоб виміряти коефіцієнт Херста для послуг доповненої реальності, необхідно перехопити і проаналізувати трафік, що генерується додатком доповненої реальності. Був проведений наступний експеримент. Встановлено взаємодію між сервером і пристроєм доповненої реальності (клієнт). Як пристрій доповненої реальності використовувалися окуляри Moverio BT-200 компанії Epson. Для створення умов, максимально наближених до реального взаємодії клієнта і сервера в мережі зв'язку загального користування, в мережу був доданий комп'ютер з вільним програмним забезпеченням NetDisturb, який дозволяє вносити в мережу різного роду погіршення, наприклад, імітувати затримки і втрати на мережі. Архітектура мережі для проведення експерименту представлена на рисунку 2.13.



Малюнок 2.13 - Архітектура досліджуваної мережі

Для перехоплення трафіку, характерного для послуг доповненої реальності, був розроблено клієнт-серверний додаток, який дозволяв би клієнту спостерігати за переміщенням віртуального об'єкта в режимі реального часу. Серверна частина цього додатка відповідає за отримання, обробку та відправку координат місця розташування об'єкта, при кожному оновленні кадру віртуальної реальності. Після підключення клієнта до сервера через безпроводну точку доступу з виходом в мережу Інтернет, останній приймає запити і відповідає на них, тим самим передаючи координати віртуального об'єкта. Додаток обробляє повідомлення і переміщує об'єкт в задану точку. Завдяки постійній взаємодії клієнта і сервера (запит - відповідь) з'являється можливість встановити кореляцію між об'єктивними параметрами якості обслуговування і суб'єктивною оцінкою користувача.

У свою чергу, в якості клієнта виступає пристрій, що використовується для візуальної взаємодії з користувачем. На ньому зберігається попередньо сконструйований віртуальний світ, включаючи об'єкти і їх властивості. Цей пристрій має гіроскоп і акселерометр для системи спостереження і керування доповненою реальністю. Для оцінки показників QoS і QoE досить двох

характеристик перехоплених пакетів потоку доповненої реальності - час і розмір. Після того, як визначені й записані значення цих характеристик, можна приступати до їх обробки. Для визначення якості сприйняття даної мережі було вирішено використовувати параметр Херста.

Для того, щоб параметр Херста був точнішим, перехоплення пакетів буде здійснюватися протягом 1 хвилини. Для часових рядів в 1 хвилину будуть вираховані дисперсії за формулою (2.14):

$$\frac{\sum(C_i - \bar{C})^2}{n - 1} \quad (2.14)$$

Щоб точніше визначити параметр Херста, інтервал часового ряду буде змінений з 1 мс до 10 мс, 100 мс і 1000 мс. Для кожного такого ряду розраховується дисперсія і за допомогою методу найменших квадратів (рисунок 2.14) розраховується коефіцієнт а рівняння прямої.

Після цього отримаємо значення параметра Херста:

$$H = 1 + \frac{a}{2} \quad (2.15)$$

За допомогою створеного програмного забезпечення з метою тестування було проведено оцінку якості сприйняття в системі доповненої реальності. Було здійснено перехоплення пакетів і їх обробка при різних умовах роботи мережі - без перешкод, із затримками, з втратами, зі зменшенням пропускнуої спроможності. За еталон був прийнятий експеримент без внесення перешкод, тобто всі параметри в такому експерименті мають оцінку близьку до п'яти балів. Всі оцінки були зведені в узагальнюючі таблиці із середньою оцінкою по кожному параметру.

У таблиці 2.7 представлені результати при збільшенні затримки в мережі.

Суб'єктивна оцінка користувачів показала, що затримки в 5 мс не роблять негативного впливу на якість сприйняття доповненої реальності, що повністю відповідає значенням показника затримки в рекомендації МСЕ-PM.2083.

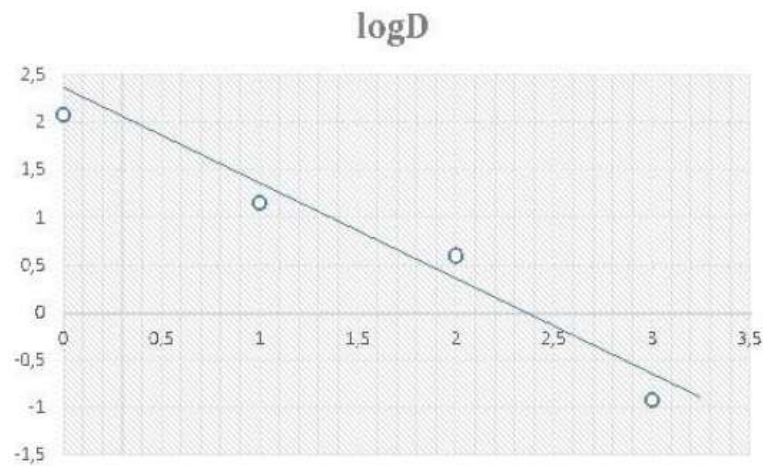


Рисунок 2.14 - Метод найменших квадратів

Таблиця 2.7 – Результати, отримані при збільшенні затримки в мережі

Характеристика	Затримка				
	50мс	25мс	15мс	10мс	5мс
Частота оновлення кадру	3	4	5	5	5
Швидкість руху	1	3	4	4	5
Плавність руху	4	5	5	5	5
Смуга пропуску, кбіт/с	6-8	11-13	15-17	18-22	23-26
Параметр Херста	0,463	0,523	0,561	0,602	0,610

При затримці пакетів на 10-15 мс погіршується сприйняття швидкості руху об'єкта, при великих затримках починає зменшуватися частота оновлення кадру. Для кожної величини затримки були виміряні пропускна здатність і параметр Херста. З таблиці 2.7 видно, що найбільший параметр Херста відповідає найвищій оцінці якості сприйняття. Це означає, що трафік самоподібний і збільшення затримки, а, отже, і погіршення якості сприйняття, не відбудеться з тією ж імовірністю, з якою параметр Херста - H наближений до 1. Для значень затримки перевищує 25 мс H приймає значення $<0,5$. Такий трафік не є самоподібним і передбачити його поведінку і оцінку якості сприйняття досить складно. Очевидно, що параметр Херста підходить для використання при оцінці

якості сприйняття з урахуванням затримок. У таблиці 2.8 представлені результати експерименту при зміні рівня втрат.

Очевидно, що втрати пакетів негативно позначаються на оцінці якості сприйняття користувачів. Навіть при 1% втрачених пакетів не досягається високою суб'єктивної оцінки якості.

Найбільше страждають частота оновлення кадрів і плавність руху віртуального об'єкта. Це означає, що користувач сприймає зображення ривками, також користувач спостерігає довгий відгук сцени на рухи користувача, наприклад, поворот голови. Проте, значення параметра Херста залишаються $> 0,5$. У зв'язку з цим, можна зробити висновок, що параметр Херста менше відображає наявність втрат пакетів.

Таблиця 2.8 - Результати при збільшенні значення втрат

Характеристика	Втрати			
	10%	5%	2%	1%
Частота оновлення екрану	1	1	2	3
Швидкість руху	1	2	4	5
Плавність руху	1	1	1	2
Смуга пропуску, кбіт/с	8-10	11-13	14-16	17-20
Параметр Херста	0,573	0,523	0,578	0,618

У таблиці 2.9 представлені результати зі зниженням пропускної здатності.

Згідно з отриманими даними в таблиці 2.9 пропускна здатність впливає на оцінку якості сприйняття доповненої реальності, і це зміна відображають значення параметра Херста. Для створеної системи ДР достатньою пропускною здатністю каналу є 30 кбіт / с. При зниженні пропускної здатності страждає швидкість пересування об'єкта.

Таблиця 2.9 - Результати при зміні пропускної здатності

Характеристика	Пропускна здатність			
	5 кбіт/с	10 кбіт/с	20 кбіт/с	30 кбіт/с
Частота оновлення кадру	2	4	5	5
Швидкість руху	1	1	4	5
Плавність руху	5	5	5	5
Параметр Херста	0,480	0,525	0,574	0,587

2.3 Висновки по розділу 2

У другому розділі розглянуто новий підхід до оцінки якості надання послуг - якість сприйняття, що включає в себе оцінку як об'єктивних показників роботи мережі, так і компонент сприйняття людини, стосовно до нових видів послуг, що базуються на доставці відео користувачеві. Проведено аналіз існуючих суб'єктивних методів оцінки якості передачі відео, що враховують нові особливості реалізації послуг доповненої реальності, які дозволяють максимально близько оцінити ступінь задоволеності користувача послугою.

Проведено аналіз показників якості сприйняття для реалізації існуючих відеопослуг, в тому числі включають в себе додатки доповненої реальності.

Проведено аналіз суб'єктивних методів оцінки якості сприйняття, що дозволяють враховувати специфіку надання відеопослуг з використанням доповненої реальності і Інтернету речей.

Розроблено метод об'єктивної оцінки якості сприйняття для послуг доповненої реальності і Інтернету Навичок з використанням значення параметра Херста і встановлені залежності показників якості обслуговування і значень параметра Херста для додатків доповненої реальності.

3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДЛЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Послуги доповненої реальності є черговим кроком розвитку послуг рухомого зв'язку. Поєднання властивостей мобільності терміналу, його обчислювальних можливостей, способів взаємодії з навколишнім середовищем (розпізнавання відео, звукових і тактильних образів, обчислення координат і орієнтації в просторі), а також сучасної мережі зв'язку дозволяють реалізувати якісно новий рівень послуг, що володіють високим ступенем інтерактивності [18]. Зокрема, це послуги доповненої реальності. Сьогодні вже широко відомі і популярні такі послуги як інтерактивні карти міст і населених пунктів, зоряного неба, різного роду путівники, додатки для замовлення товарів і послуг. Однак, якщо уявити який обсяг трафіку породжують в мережі всі ці додатки, то стає очевидним, що необхідно міняти існуючі структури мережі і механізми розподілу трафіку в мережі. При наданні послуг доповненої реальності часто можна спостерігати тісний контакт з пристроями Інтернету речей, які також генерують досить значний обсяг трафіку. Ясно, що структура послуги, при якій звернення йде до деякого сервера в мережі, не застосовується при такій кількості пристроїв.

3.1 Структура реалізації послуги доповненої реальності

Послуги доповненої реальності дозволяють користувачеві своєчасно отримувати необхідну інформацію. При цьому її вибір виконується автоматично на підставі даних про його стан, наприклад, положення в просторі (географічні координати), на мапі і плані території (на основі даних геолокації), про перебування транспортного засобу та ін. Як було показано в [19, 20], реалізація

послуги вимагає організації обміну даними з сервером послуги та/або безпосередньо с пристроями, що знаходяться в зоні зв'язку абонентського терміналу, при використанні технологій D2D [21].

При цьому час між запитом і доставкою даних не повинно перевищувати деякої величини, при якій ще не відчуває зниження якості послуги. Це час визначається часом: формування запиту (залежить від реалізації послуги), доставки запиту від терміналу до сервера послуги, обробки запиту, доставки даних від сервера послуги до терміналу та подання інформації користувачу. Їх умовно можна розділити на три групи: час, який визначається обробкою даних терміналом користувача, час доставки даних по мережі зв'язку і час обробки даних сервером. У загальному випадку ці складові взаємно залежні.

Істотну роль грає процес формування запиту даних. Запит формується при зміні оточення користувача (або стану користувача) про що можна судити по зміні деяких параметрів. Такими параметрами можуть бути дані датчиків, географічні координати, положення терміналу в просторі, прискорення, а також результати аналізу зображення або звуку, одержуваного від камер і мікрофонів терміналу. Наприклад, якщо запит даних формується за результатами розпізнавання образу (відео, знятого камерою терміналу), то функції розпізнавання образів можуть бути реалізовані або в додатку терміналу, або на сервері послуги. У першому випадку при низькій обчислювальній продуктивності терміналу час буде витрачатися на виконання функцій розпізнавання терміналом, у другому - на передачу відео через мережу зв'язку і час його обробки сервером.

Очевидно, що вибір першого або другого варіанта залежить від продуктивності терміналу, пропускнуєї спроможності (ПС) мережі зв'язку, продуктивності і завантаження сервера, тобто має місце задача вибору оптимального варіанта реалізації послуги. Описану тут модель можна розширювати, ввівши додаткові параметри, наприклад, залежність часу обробки запиту сервером послуги від обсягу даних (розміру бази даних) і інтенсивності

запитів. В такому випадку має сенс кластеризація даних і організація локальних серверів послуги.

Розглядаючи перспективну мережу 5G, технологію зв'язку D2D, а також застосування SDN (Software-Defined Network, програмно-конфігуровані мережі), можна уявити структуру реалізації послуги, наведену на рисунку 3.1.

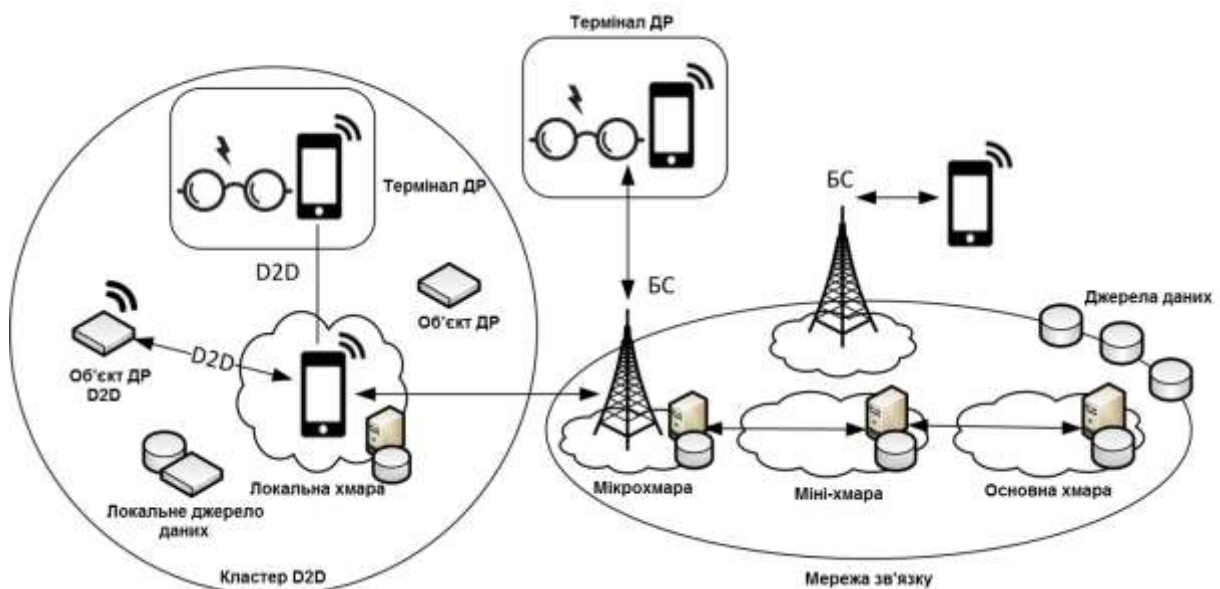


Рисунок 3.1 - Можлива структура реалізації послуги ДР

Вважаємо, що мережа зв'язку побудована з використанням архітектури SDN, в якій присутні центри обробки даних (ЦОД) різних рівнів [22], що дає можливість локалізувати трафік і дані «ближче» до користувачів. На схемі ці ЦОД зображені як хмари мікро, міні та основного рівня. У реальному мережі таких рівнів може бути стільки, скільки буде необхідно для найкращої реалізації послуги. Базова станція мережі взаємодіє безпосередньо з терміналом ДР або з мобільним терміналом, який виконує роль локальної хмари, що взаємодіє з терміналом ДР за допомогою технологій D2D, що підвищує ефективність використання радіочастотного спектру [21]. Тут під хмарою розуміється якийсь

обсяг обчислювальних ресурсів і ресурсів пам'яті, який може бути застосований для організації сервера і бази даних (БД) послуги.

Як буде показано нижче, надання послуги може бути реалізоване на декількох рівнях таких серверів і БД, що дозволяє за рахунок локалізації даних і трафіку знизити вимоги до ПС мережі і підвищити показники якості надання послуги. Нижче завдання кластеризації даних і локалізації їх обробки розглядається як задача розподілу ресурсів.

3.2 Модель послуги

Для побудови моделі послуги необхідно пов'язати показники (параметри), що характеризують якість її надання, з параметрами системи зв'язку. Модель представлення послуги доповненої реальності представлена на рисунку 3.2.

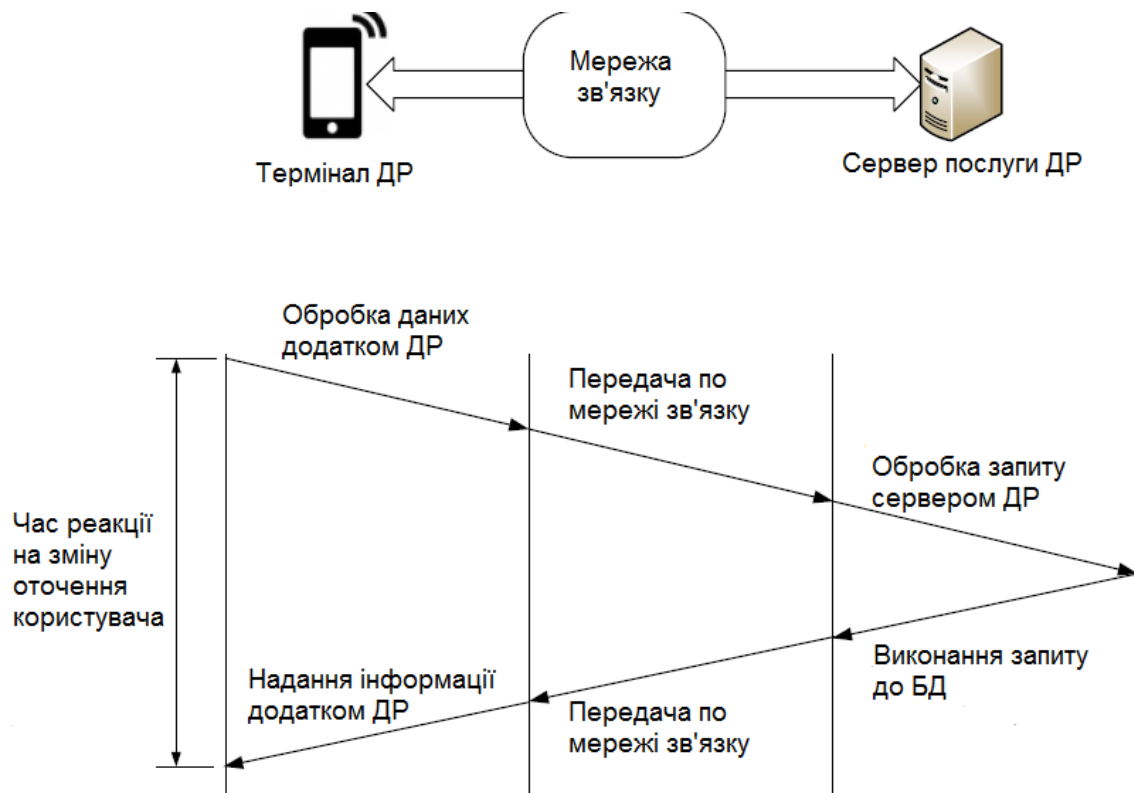


Рисунок 3.2 - Модель надання послуги ДР

В якості основного показника виберемо час реакції на зміну оточення користувача - τ . Будемо вважати, що цей час включає всі складові: час розпізнавання зміни і попередньої обробки додатком мобільного терміналу t_r , час передачі даних (запиту) на сервер послуги через мережу зв'язку t_q , час обробки запиту сервером послуги t_s , час доставки даних через мережу зв'язку t_a і час представлення інформації користувачеві додатком мобільного терміналу t_d .

Загальний час можна уявити арифметичною сумою всіх складових.

Будемо вважати, що кожна з них є випадковою величиною. Тоді, зробивши припущення про їх незалежності, середнє значення для часу реакції буде визначатися як

$$\bar{\tau} = \bar{t}_r + \bar{t}_q + \bar{t}_s + \bar{t}_a + \bar{t}_d. \quad (3.1)$$

Розглянемо окремо кожен з складових. Час розпізнавання зміни оточення користувача t_r , в свою чергу, включає всі складові, пов'язані з виявленням цієї зміни і збором інформації, необхідної для формування запиту, що направляється на сервер послуги. Виявлення зміни може бути реалізовано шляхом аналізу даних від різних датчиків і пристроїв (датчики магнітного поля землі, освітленості, прискорення, приймача сигналів глобальних систем позиціонування, сенсорного екрану і ін.), А також відеокамер і мікрофонів. Аналіз може включати, як відносно прості завдання порівняння декількох чисельних значень, так і ресурсомісткі завдання розпізнавання образів. Тому чисельне значення t_r залежить від виду послуги, способу її реалізації і обчислювальних ресурсів мобільного терміналу.

Таким чином, ресурси мобільного терміналу впливають на якість послуги через величину t_r . Будемо вважати, що існує якась функціональна залежність між цим часом і обчислювальними ресурсами мобільного терміналу

$$\bar{t}_r = f_r(O), \quad (3.2)$$

де O - параметр, що характеризує продуктивність мобільного терміналу, наприклад, кількість виконуваних в секунду операцій або команд, тактова частота процесора, обсяг пам'яті або деякий комплексний показник.

Час передачі запиту на сервер послуги t_q залежить від об'єму даних і ПС маршруту між мобільним терміналом і сервером послуги C . Чисельна оцінка цього часу при допущенні, що час витрачається тільки на передачу даних (ПД), тобто без урахування втрат на очікування передачі в вузлах маршруту може бути отримана як

$$\bar{t}_q = f_q(C) = \frac{\bar{v}_q}{C}, \quad (3.3)$$

де:

- C - ПС маршруту (біт/с);
- q v - середній обсяг даних, переданих в запиті (біт).

Середній обсяг даних в запиті \bar{v}_q залежить від виду послуги та способу її реалізації. Наприклад, якщо для ідентифікації зміни оточення потрібен аналіз зображень, одержуваних від відеокамери пристрою, то цей аналіз може бути виконаний як засобами програми мобільного терміналу, так і сервером. У першому випадку запит буде містити відносно мало даних, які є лише ідентифікаторами об'єктів в БД послуги, інформацію про які потрібно надати. У другому випадку необхідно передати всі дані зображення (або декілька зображень), аналіз яких необхідно провести засобами сервера послуги. Можливі й проміжні варіанти, коли на сервер буде відправлятися лише частина відеоданих.

Час обробки запиту сервером t_s є найбільш складною характеристикою, оскільки залежить від багатьох параметрів: часу аналізу даних запиту τ_s , що надходять даних; інтенсивності запитів від мобільних терміналів користувачів λ_s ; продуктивності сервера μ_s , яка, в свою чергу, залежить від розміру БД n_s :

$$\bar{t}_s = f_s(\tau_s, \lambda_s, \mu_s(n_s)). \quad (3.4)$$

Час передачі відповіді сервера t_a , як і час передачі запиту, залежить від об'єму даних і ПС маршруту між сервером послуги та мобільним терміналом C . Чисельна оцінка цього часу при аналогічних допущеннях може бути записана як

$$\bar{t}_a = f_a(C) = \frac{\bar{v}_a}{C}, \quad (3.5)$$

де:

- C - ПС маршруту (біт/с);
- \bar{v}_a - середній обсяг даних, переданих у відповіді сервера (біт). Середній обсяг даних у відповіді сервера \bar{v}_a залежить від виду послуги та способу її реалізації. Цими даними може передаватися текст, растрові або векторні зображення, звук, чисельні значення.

Час подання повідомлення t_d включає всі складові, пов'язані з обробкою і представленням прийнятих додатком мобільного терміналу даних. У загальному випадку повідомлення може бути представлено візуально: в вигляді тексту, піктограми, відео чи іншого зображення; звуку - мови або мелодії; тактильно - вібрації. Будемо вважати, що існує якась функціональна залежність між часом і обчислювальними ресурсами мобільного терміналу:

$$\bar{t}_d = f_d(O). \quad (3.6)$$

Як видно з обраних вище моделей, час реакції істотно залежить від таких параметрів як продуктивність мобільного терміналу, ПС мережі зв'язку і часу обробки запиту сервером, яке визначається його продуктивністю і завантаженням.

3.3 Формування і оновлення даних

Дані, що використовуються для послуги, можуть мати різне походження і розміщення в мережі. Постачальниками даних можуть бути різні люди, організації та технічні системи, що створюють або представляють інформаційне забезпечення в областях, доступних користувачеві послуги. Пошук необхідних даних виробляє сервер послуги за допомогою відповідного програмного забезпечення, на основі даних запиту, сформованих абонентським терміналом. Як було показано вище, таких пошукових систем (серверів) може бути кілька.

Кожна з них має власну БД, в якій зберігаються найбільш затребувані дані, що дозволяє зменшити витрати часу, необхідного для доставки даних. Наприклад, система рівня клієнта може бути розміщена на терміналі користувача, а її БД містити дані про поточний оточенні клієнта. Це - дані про об'єкти, які можуть бути ідентифіковані на основі показників датчиків терміналу користувача. Наприклад, дані про об'єкти, що знаходяться в безпосередній близькості від користувача, що оцінюється за інформацією про географічне положення користувача (терміналу).

Функціональність пошукових систем послуги ДР аналогічна функціональності існуючих систем [23] за винятком специфіки надання послуги, яка визначається набором ознак, за якими проводиться пошук, і способу представлення результатів пошуку. Сформулюємо вимоги до пошукової системи:

1 Можливість пошуку за такими ознаками, як географічні координати, локальні координати (всередині будівель і приміщень), графічні і текстові ідентифікатори об'єктів (Bar- і QR-коди, текстові назви), нерухомі і рухомі зображення об'єктів пошуку (пошук графічних образів), мова і звуки (розпізнавання мови, музики та ін. звуків). Для реалізації такої можливості зазначені ознаки повинні бути досить формалізовані, а також визначені методи їх формування відповідним додатком на мобільному терміналі або сервері послуги.

2 Можливість класифікації даних про об'єкти пошуку за цільовим призначенням, прикладної області, типу послуги, географічному положенню, приналежності, виду уявлення, типу джерела даних. Наприклад, одному об'єкту можна порівнювати кілька блоків даних, наданих різними джерелами. В такому випадку необхідний метод вибору необхідного блоку даних, який відповідає параметрам наданої послуги.

3 Можливість вибору форми представлення даних, наприклад, текстове повідомлення, зображення або рухоме відео, піктограма, мовне або звукове повідомлення, мову повідомлення і т.д.

Час зберігання даних в локальних БД має визначатися виходячи з інформації про їх затребуваності і вимог до якості обслуговування (часу пошуку).

Як було зазначено вище, основна функціональність послуги ДР - надання необхідної інформації відповідно до даних запиту. Очевидно, що в такому загальному формулюванні, це завдання аналогічне тому, яке вирішується пошуковими системами глобальної мережі інтернет. Однак в разі послуги ДР необхідно врахувати ряд особливостей як запитів, так і наданих даних. Сам принцип організації послуги визначає, наприклад, такі особливості як кореляція між затребуваністю інформації та вмістом оточення користувача. З цього випливає, що ймовірність отримання сервером запиту до певного інформаційного блоку залежить від географічного положення об'єкта, якому він зіставлений і географічного положення користувача. Справедливо припустити, що чим вони ближче один до одного, тим вище ця вірогідність. Фактично вона визначає частку трафіку, створюваного користувачами на сервер [24] (сервери послуги). З наведених міркувань випливає, що затребуваність інформації ДР різна і залежить від різних чинників, принаймні географічних, що дозволяє локалізувати (кластеризувати) дані ДР як показано на рисунку 3.3. При цьому фізично кластер даних може розміщуватися в БД сервера, який, в свою чергу, знаходиться в географічній близькості до потенційних користувачам. Звичайно, що в такому випадку економиться ресурс мережі зв'язку.

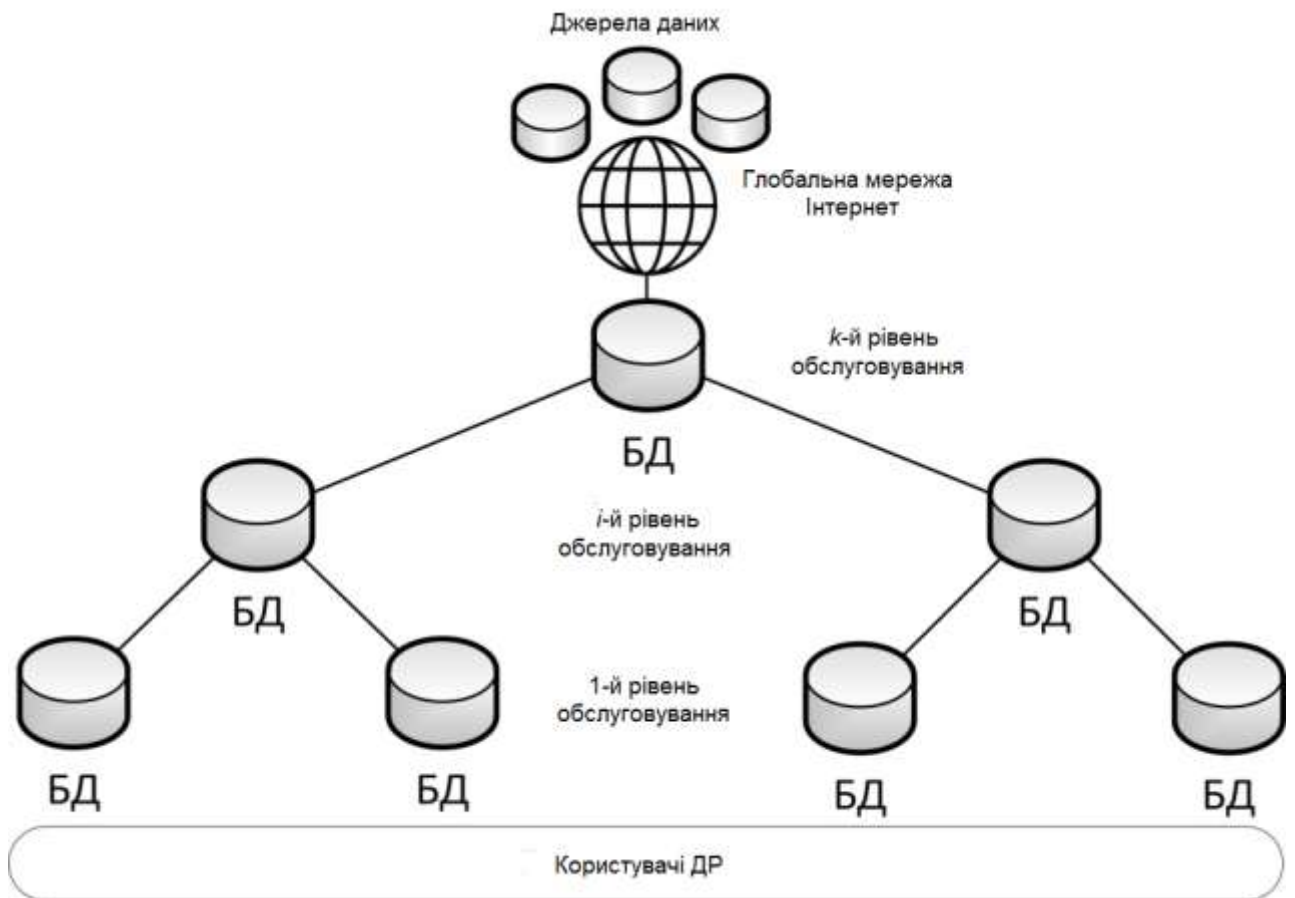


Рисунок 3.3 - Структура розміщення даних в системі обслуговування ДР

Велика частка трафіку користувачів буде замикатися в рамках мережі, яка обслуговує певну географічну область. Даний підхід може бути реалізований при організації декількох рівнів обслуговування запитів користувачів та розподілі даних і трафіку.

3.4 Ієрархічна структура надання послуг доповненої реальності для розподілу навантаження і даних

Для зменшення часу реакції шляхом зниження навантаження на сервер послуги можна організувати ієрархічну структуру, що включає кілька рівнів обслуговування. Сервер кожного з рівнів доступний різній кількості

користувачів. Наприклад, сервер першого (нижчого) рівня може бути організований безпосередньо в мобільному терміналі і мати єдиного користувача. Звернення до сервера більш високого рівня відбувається в разі, коли необхідну інформацію не знайдено в БД серверів нижчих рівнів. БД сервера кожного з рівнів містить інформацію про оточення кожного з користувачів, для яких цей сервер доступний, а також інформацію, потрібну користувачами, причому ймовірність цієї вимоги дорівнює p . Ієрархічна структура надання послуги показана на рисунку 3.4.

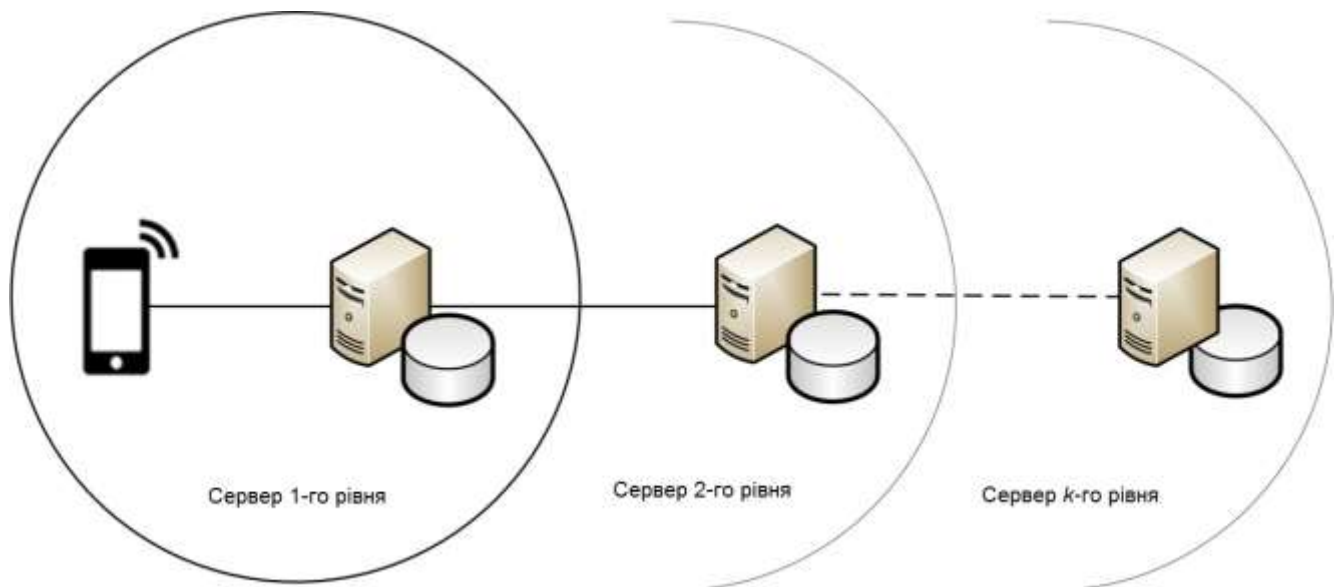


Рисунок 3.4 - Ієрархічна структура надання послуги

Розглянемо модель надання послуги. При виявленні зміни оточення термінал [25] користувача передає дані (можливо вже сформований запит) на сервер послуги 1-го рівня. Сервер виробляє обробку даних і запиту. При успішній обробці і наявності даних сервер відправляє відповідь в термінал користувача. Якщо з яких-небудь причин запит не виконано сервером даного рівня, запит передається на сервер наступного рівня і так далі. Причиною неуспіху може бути відсутність необхідних даних на поточному рівні

обслуговування. Побудова ієрархічної моделі надання послуги дозволяє шляхом розподілу трафіку і даних між рівнями забезпечити необхідні показники якості надання послуги.

3.5 Взаємодія додатків доповненої реальності

Для проведення дослідження використовувався експериментальний стенд та здійснювалося управління безпілотним літальним апаратом (БПЛА) за допомогою технології доповненої реальності. При цьому проводилася оцінка якості обслуговування трафіку і здійснювалася суб'єктивна оцінка якості сприйняття спостерігачами. В ході дослідження визначаються характеристики роботи мережі зв'язку, необхідні для забезпечення заданої якості сприйняття при управлінні БПЛА за допомогою додатка доповненої реальності [26].

Управління безпілотними літальними апаратами в умовах міської забудови є складним завданням, оскільки на шляху прямування БПЛА можуть виникати непередбачені перешкоди, які необхідно швидко виявити і огинати. Для широкого впровадження систем БПЛА необхідно вирішити завдання забезпечення надійного і своєчасного управління апаратом. У літаючих сенсорних мережах БПЛА активно використовуються в якості літаючого сегмента, який збирає дані з наземних сенсорів і здійснює їх доставку на сервер для подальшої обробки. Літаючі сенсорні мережі виявилися популярними в галузі сільського господарства, коли необхідно здійснювати контроль за великою територією, в промисловості, коли необхідно здійснювати моніторинг за важкодоступними і віддаленими об'єктами, наприклад, газопроводи, а також добре себе зарекомендували в ролі маршрутизаторів, які використовуються для швидкого розгортання мережі в місцях великого скупчення людей.

Прийнято розрізняти три види управління БПЛА: ручне, автоматизоване і автоматичне. У першому випадку ручного управління пілот БПЛА ґрунтується на інформацію, отриману в форматі відеозображення з камери БПЛА. При

даному управлінні можна застосовувати технологію доповненої реальності і додатки тактильного інтернету для полегшення задач управління. Доповнена реальність дозволяє додавати до об'єктів навколишнього фізичного світу віртуальні дані за допомогою спеціально розроблених пристроїв відображення, зокрема очок доповненої реальності. До завдань тактильного інтернету входить доставка по мережі інформації про вплив на предмет, що знаходиться на віддаленій відстані, і передача відповідної реакції назад. Очевидно, що при такому обміні даними затримка доставки повинна бути мінімально можливою.

При управлінні БПЛА пілот здійснює зміну положення БПЛА в просторі поворотом або нахилом голови через додаток доповненої реальності, ґрунтуючись на відео, яке надходить з камери, встановленої на БПЛА, в пристрій відображення ДР.

Для забезпечення стабільного управління БПЛА за допомогою додатків доповненої реальності, необхідно забезпечити вирішення таких завдань:

- здійснювати передачу даних про зміну положення голови пілота з пристроєм ДР на БПЛА;
- здійснювати безперервну передачу відеозображення з камери БПЛА на пристрій ДР;
- забезпечити виконання заданих характеристик роботи мережі;
- оцінити якість сприйняття при здійсненні процесу управління БПЛА за допомогою додатка ДР.

Як було сказано раніше, пілот керує рухами БПЛА і встановленої на ньому відеокамери за допомогою нахилів і поворотів голови, тобто зміни її положення в просторі. В ході проведення експерименту камера розміщувалася на БПЛА так, що забезпечувалося обертання тільки по вертикальній осі, отже, для забезпечення максимального радіуса огляду необхідно було повертати в потрібному напрямку сам БПЛА. Окуляри ДР одягнені на пілота і в них відображається відеопотік з камери БПЛА. Таким чином, пілот бачить навколишні БПЛА об'єкти і може міняти місце розташування БПЛА, тим самим

переміщаючи камеру в потрібному напрямку. Для нормальної роботи пілота необхідно забезпечити не тільки якісне відображення відеопотоку на пристрій ДР, а й передати своєчасний відгук на зміни положення голови керуючого на БПЛА і камеру.

Таким чином, реакція БПЛА повинна відповідати командам впливу, наприклад, при нахилі голови вниз, камера повинна поміняти своє становище і також повернутися вниз максимально швидко, так щоб відеопотік був комфортним для сприйняття пілотом. Для виконання поставленого завдання застосовуються гіроскоп і акселерометр, встановлені на пристрої ДР. Дані з акселерометра і гіроскопа про зміну кута нахилу або повороту голови пілота передаються на БПЛА, який в свою чергу розуміє цю команду, як команду управління і передають її далі в залежності від призначення. На рисунку 3.5 показана модель взаємодії пристрою ДР і БПЛА.



Рисунок 3.5 - Модель взаємодії пристрою ДР і БПЛА

Однак, відео є трафіком великого обсягу і вимагає забезпечення належної пропускну здатності. В даному експерименті можна зіткнутися з виникненням перешкод в каналі зв'язку. Також на якість передачі відеоінформації впливають такі показники якості обслуговування як рівень втрати і затримки доставки. Погіршення значень даних показників призводить до збоїв в управлінні БПЛА і сильно впливає на якість сприйняття пілота і прийняття ним управлінських

рішень, оскільки вони здійснюються на основі відеоданих, що надходять з камери БПЛА. На основі вищевикладеного для дослідження була розроблена модель взаємодії (рисунок 4.19) приладу доповненої реальності і БПЛА, в якій в якості бездротової технології передачі даних обрана технологія Wi-Fi стандарту IEEE 802.11n. В рамках даного стандарту можливо здійснювати передачу великого обсягу даних з пропускною спроможністю до 150 Мбіт/с, що більш ніж достатньо для вирішення завдань дослідження.

До складу апаратного комплексу входить БПЛА, який представляє з себе квадрокоптер 3D Robotics IRIS Plus з відеокамерою GoPro, встановленої на його борту. Через Wi-Fi шлюз квадрокоптер підключається до окулярів ДР за допомогою пристрою бездротового доступу. Як пристрій доповненої реальності були обрані окуляри компанії Epson модель Moverio BT-200, які представляють собою прозорі біноклярні відеоокуляри. Окуляри Moverio BT-200 оснащені гіроскопом і акселерометром [24] і можуть взаємодіяти з іншими пристроями через точку доступу Wi-Fi. Структурна схема експериментального стенду наведена на рисунку 3.6.

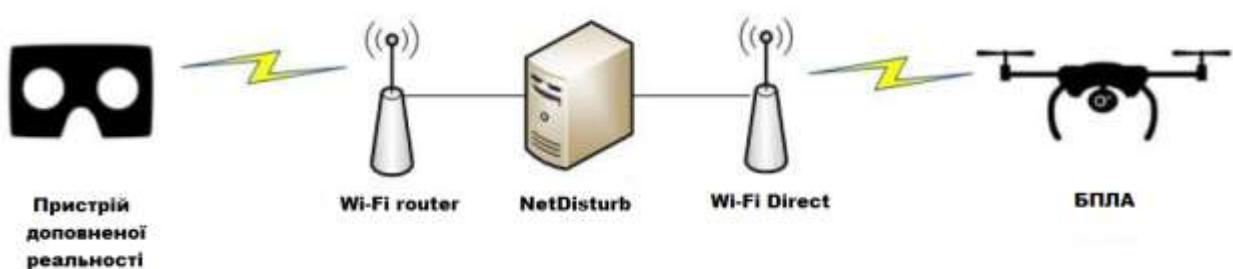


Рисунок 3.6 - Структурна схема експериментального стенду

Для того, щоб імітувати роботу реальної мережі і вносити перешкоди щодо впливу в мережу при передачі даних між пристроєм ДР і БПЛА, в досліджувану систему був доданий додатковий сервер, на якому встановлено вільне програмне забезпечення NetDisturb. ПЗ NetDisturb володіє широким набором функцій, який

вносить в мережу різні перешкоди, а саме збільшує затримку, причому можна задати різні закони формування затримки, а також змінювати рівень втрат і їх частоту, число дубльованих пакетів, змінювати значення джиттера. Для перехоплення і аналізу трафіку було розроблено ПЗ, здатне також оцінити вплив зміни показників якості обслуговування мережі в бік погіршення на якість сприйняття, тобто відображення відеоданих і передачу керуючих команд, в окулярах доповненої реальності при управлінні БПЛА.

Спеціалізоване програмне забезпечення перехоплює трафік, що курсує між квадрокоптером і окулярами ДР. Також відбувається аналіз основних характеристик перехопленого трафіку, а саме враховується час отримання пакету, розмір пакета. На основі отриманих даних проводиться розрахунок параметра Херста, який оцінює ступінь самоподібності і має взаємозв'язок з суб'єктивними оцінками враження від перегляду. Параметр Херста зменшується, якщо затримка між парою однакових змін значень часового ряду збільшується. Як було сказано раніше, потік вважається самоподібним, якщо значення параметра Херста $K_{Херст} > 0,5$, якщо значення лежить в діапазоні $0 < K_{Херст} < 0,5$, то такий потік називають антиперсистентним, і для нього більш ймовірна зміна напрямку відхилення, тобто високі значення відхилення слідує за низькими і навпаки.

Властивість самоподібного трафіку полягає в тому, що він виглядає однаково при будь-яких тимчасових масштабах. Говорячи іншими словами, ймовірність того, що трафік на наступному кроці відхилиться від середнього значення в тому ж напрямку, що і на попередньому етапі, велика настільки, наскільки параметр Херста наблизений до одиниці.

В ході експерименти було визначено, що для більш точних оцінок параметра Херста, необхідно здійснювати перехоплення пакетів протягом однієї хвилини. Для оцінки параметра Херста використовувався метод нормованого розмаху. Спочатку для тимчасового ряду в 1 хвилину розраховується дисперсія.

$$M[(R/S)_t] \sim cn^H \text{ при } n \rightarrow \infty, \quad (3.7)$$

де:

- $(R/S)_t$ – нормована оцінка ширини розмаху;
- c – константа;
- n – розмір досліджуваного блоку спостережень;
- H – параметр Херста, тобто ступінь самоподібності досліджуваного процесу.

Для заданого кінцевого часового ряду $X=X_1, X_2, \dots, X_n$ обчислимо середнє значення m :

$$m = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.8)$$

Потім обчислимо тимчасовий ряд відхилень від середнього Y :

$$Y_t = X_t - m, t=1,2,\dots,n \quad (3.9)$$

Обчислимо ряд відхилень Z :

$$Z_t = \sum_{i=1}^t Y_i, t = 1,2,\dots,n \quad (3.10)$$

Обчислимо ряд розмахів R :

$$R_t = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_t) - \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_t), t=1,2,\dots,n \quad (3.11)$$

Обчислимо ряд стандартних відхилень S :

$$S_t = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (X_i - u)^2}, t = 1,2,\dots,n \quad (3.12)$$

де u - середнє значення величин ряду від X_1 до X_t .

Обчислимо ряд нормованих розмахів (R/S) :

$$(R/S)_t = R_t/S_t, t = 1,2,\dots,n \quad (3.13)$$

Далі слід усереднити ряд $(R/S)_t$ на областях $[X_l, X_i]$ при різних значеннях t на інтервалі від 1 до n . Зазвичай беруть не всі n точок, а деяку достатню сукупність, яка рівномірно розподілена по всьому інтервалу від 1 до n .

Отримані усереднені значення $M[(R/S)_t]$ і відповідно їм довжини блоку усереднення t необхідно відобразити в логарифмічних осях. Потім отримані точки апроксимуємо лінійною функцією, побудованої за допомогою методу найменших квадратів. Кутовий коефіцієнт (тангенс кута нахилу до позитивного напрямку осі абсцис) отриманої лінії буде відповідно до формули (3.6) бути оцінкою параметра Херста початкового часового ряду.

В даному дослідженні параметр Херста використовується для визначення взаємозв'язку між об'єктивними оцінками якості обслуговування і суб'єктивними оцінками якості сприйняття в системах ДР при управлінні БПЛА.

3.6 Аналіз отриманих результатів щодо проведеного експерименту з управління безпілотним літальним апаратом за допомогою доповненої реальності

Експерт знаходиться в окулярах доповненої реальності, в яких відображається відеопотік, що надходить з камери, розташованої на квадрокоптері. Експерт повертає голову в різні боки, в тому числі вгору і вниз, тим самим змінюючи напрямок положення камери. Таким чином, змінюється кут огляду і починає відображатися інша відеоінформація. Завдання експерта суб'єктивно оцінити відгук квадрокоптера і якість зміненого відеозображення в окулярах ДР при наданні керуючого впливу. Було реалізовано три сценарії проведення експерименту, в кожному з яких досліджувалася вплив зміни мережевих характеристик, таких як затримка, втрати і зменшення пропускну здатності на якість сприйняття. Для кожного сценарію було проведено 20 експериментів. Для отримання адекватних оцінок демонструвався еталонний

випадок, в якому не вносилося ніяких погіршуючих впливів на мережу, тобто максимально наближений до ідеальних умов передачі даних.

Для еталонного випадку також був розрахований параметр Херста і його значення виявилось рівним 0,61, що свідчить про самоподібну структуру переданого трафіку. Для спрощення аналізу результатів експерименту, під час передачі еталонної послідовності була поставлена суб'єктивна оцінка якості сприйняття, яка дорівнювала 5 балам за п'ятибальною шкалою. У першому сценарії досліджувався вплив збільшення затримки на якість сприйняття. Отримані результати представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати експерименту при збільшенні затримки

Затримки, мс	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Значення параметру Херста
Без затримки	5,0	0,61
10-30	4,4	0,60
50-150	3,8	0,59
150-250	2,7	0,56
250-350	2,1	0,52

З таблиці 3.1 видно, що при затримках доставки, що не перевищують 100 мс, якість сприйняття відеопотоку експертом залишається на прийнятному рівні, однак при управлінні БПЛА з таким значенням затримки виникає деякий ряд труднощів. Через запізнення даних пілот (в нашому випадку експерт) не розуміє, в який момент точно необхідно змінити рух або зупинитися, таким чином, управління відбувається навімання без візуального контролю, команди передаються із запізненням, і, отже, відгук повертається з затримкою. В даному прикладі параметр Херста вірно встановлює взаємозв'язок між значеннями показників якості обслуговування і суб'єктивними оцінками якості сприйняття в системах ДР. Очевидно, при затримках вище 150 мс управління БПЛА за

допомогою додатка доповненої реальності здійснювати не представляється можливим.

Другий сценарій передбачав додавання втрат в канал зв'язку між квадрокоптером і пристроєм доповненої реальності. У таблиці 3.2 представлені результати даного експерименту.

Таблиця 3.2 - Результати експерименту при збільшенні рівня втрат

Рівень втрат, %	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Значення параметра Херста
Без втрат	5,0	0,61
0-1	4,7	0,61
0-3	3,9	0,60
0-5	2,5	0,59
0-9	1,8	0,47

Як видно з наведених результатів втрати істотно впливають на якість сприйняття користувача при управлінні квадрокоптера. Крім складнощів з керуванням, виникають також труднощі з розпізнаванням об'єктів відеозображення на пристрої доповненої реальності. Якість сприйняття відеопотоку істотно знижується при збільшенні рівня втрат пакетів, розібрати відео стає важко, більш того з відеопотоку «випадають» моменти часу, що чинить негативний вплив на управління БПЛА.

Третій сценарій досліджував вплив обмеження пропускної здатності на якість управління і відображення відеопотоку. Отримані результати представлені в таблиці 3.3.

За оцінками якості сприйняття і значенням параметра Херста, представленим в таблиці 3.3 видно, що критичне зниження пропускної здатності впливає на якість сприйняття користувача в системах доповненої реальності. Також як, і в двох попередніх випадках, спостерігаються труднощі при управлінні квадрокоптера, тому що експерт (пілот) перестає володіти

актуальною інформацією про переміщення БПЛА і оточуючих його об'єктах. Всі дані починають передаватися з великими затримками, частина з них втрачається, у експерта, що знаходиться в окулярах доповненої реальності починає крутитися голова.

Таблиця 3.3 - Результати експерименту при обмеженні пропускної здатності

Пропускна здатність, Кбіт/с	Суб'єктивна оцінка за п'ятибальною шкалою	Значення параметра Херста
Без обмежень	5,0	0,61
До 1700	4,9	0,61
До 1500	3,6	0,56
До 1000	2,7	0,55
До 500	1,7	0,49

3.7 Висновки по розділу 3

У третьому розділі описана структура та модель реалізації послуги доповненої реальності, описане формування та оновлення даних для використання доповненою реальністю, описана ієрархічна структура надання послуг доповненої реальності для розподілу навантаження і даних, проведено дослідження взаємодії додатків доповненої реальності. Встановлено, що основним показником якості надання послуги є час реакції, тобто час з моменту зміни оточення користувача до моменту подання користувачеві необхідного повідомлення. Цей час залежить від розподілу функцій надання послуги з виконавчим елементам (термінал користувача, сервери ДР, канали мережі).

Проведено експеримент, що оцінює якість сприйняття відеопотоку пілотом і ефективність управління квадрокоптера пілотом в окулярах ДР. В ході проведення експерименту встановлено, що додатки доповненої реальності можна застосовувати для управління безпілотними літальними апаратами. Однак, слід враховувати, що управління відбувається в режимі реального часу,

тому необхідно виконувати певні вимоги до характеристик роботи мережі для забезпечення своєчасного і комфортного управління БПЛА на основі актуальної відеоінформації. При дослідженні впливу показників якості роботи мережі на якість сприйняття користувача в системі доповненої реальності при передачі відеозображення для задач управління з камери БПЛА встановлено, що в мережі з мінімальними затримками до 100 мс управління квадрокоптером за допомогою програми доповненої реальності можливе без втрати якості сприйняття і точності управління.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено аналіз найбільш значущих областей застосування додатків доповненої реальності, і на основі цього аналізу запропоновано класифікацію послуг доповненої реальності за різними критеріями.

Проведено дослідження суб'єктивних методів оцінки якості передачі відео, встановлено взаємозв'язок між суб'єктивними оцінками і значенням параметра Херста.

Розроблено метод об'єктивної оцінки якості сприйняття для послуг доповненої реальності і Інтернету Навичок з використанням значення параметра Херста і встановлені залежності показників якості обслуговування і значень параметра Херста для додатків доповненої реальності.

Описана структура та модель реалізації послуги доповненої реальності, описане формування та оновлення даних для використання доповненою реальністю, описана ієрархічна структура надання послуг доповненої реальності для розподілу навантаження і даних, проведено дослідження взаємодії додатків доповненої реальності. Встановлено, що основним показником якості надання послуги є час реакції, тобто час з моменту зміни оточення користувача до моменту подання користувачеві необхідного повідомлення. Цей час залежить від розподілу функцій надання послуги з виконавчим елементам (термінал користувача, сервери ДР, канали мережі).

Проведено експеримент, що оцінює якість сприйняття відеопотоку пілотом і ефективність управління квадрокоптера пілотом в окулярах ДР. При дослідженні впливу показників якості роботи мережі на якість сприйняття користувача в системі доповненої реальності при передачі відеозображення для задач управління з камери БПЛА встановлено, що управління квадрокоптером за допомогою програми доповненої реальності можливе без втрати якості сприйняття і точності управління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Кучерявий, А. Е. Інтернет Речей/А.Є. Кучерявий//Електрозв'язок. - 2015. - № 1. - С. 21-24.
- 2 Younes, G. Virtual and augmented reality for rich interaction with cultural heritage sites: A case study from the Roman Theater at Byblos/G. Younes, R. Kahil, M. Jallad, D. Asmar, Imad H. Elhajj, G. Turkiyyah, H. Al-Harithy//Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. – 2017. - № 5. – P. 1-9.
- 3 Makolkina, M. Research of interaction between applications of augmented reality and control methods of UAVs/M. Makolkina, R. Kirichek, V. Teltevskaaya, E. Surodeeva//Lecture Notes in Computer Science (LNCS). — 2017. — Vol. 10 372. — P. 186–193.
- 4 Tom Dieck, M.C. A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism/M.C. Tom Dieck, T. Jung//Current Issues in Tourism. – 2015. – № 2(21). – P. 154-174.
- 5 The Tactile Internet. Technology Watch report. — Geneva: ITU-T, 2014. — 24 p.
- 6 De Oliveira, L.C. Indoor navigation with mobile augmented reality and beacon technology for wheelchair users/L.C. De Oliveira, A. de Oliveira Andrade, E. Chagas de Oliveira, A. Soares, A. Cardoso, E. Lamounier//Biomedical & Health Informatics (BHI). – 2017. – Proceedings IEEE EMBS International Conference.
- 7 Rashid, Z. Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities/Z. Rashid, J. Melià-Seguí, R. Pous, E. Peig//Future Generation Computer Systems. – 2017. – V. 76. – P. 248-261.
- 8 Mirzaei, M.R. Combining augmented reality and speech technologies to help deaf and hard of hearing people/M.R Mirzaei, S. Ghorshi, M. Mortazavi//in Virtual and Augmented Reality (SVR). – 2012 14th Symposium IEEE.

9 Vinumol, K. Augmented reality based interactive text book: An assistive technology for students with learning disability. in Virtual and Augmented Reality (SVR)/K.P. Vinumol, A. Chowdhury, R. Kambam, V. Muralidharan//2013 XV Symposium IEEE. – 2013. – V. 1. - P. 232-235.

10 Ivanko, A.F. Computer games and online journalism/A. F. Ivanko, M. A. Ivanko, E. V. Kulikova; J. M. Sultanova//International Journal of Engineering Technology and Computer Research (IJETCR). 2017. – V. 5. – Issue 3. – P. 11–15.

11 Vert, S. Augmented Reality Lenses for Smart City Data: The Case of Building Permits/S. Vert, R. Vasiu//Proceedings of World Conference on Information Systems and Technologies. – 2017. – P. 521-527.

12 Han, B.-O. Museum tour guide robot with augmented reality/B. Han, Y. Kim, K. Cho, H.S. Yang//16th International Conference, Virtual Systems and Multimedia (VSMM), IEEE. – 2010.

13 Thon, S. Flying a drone in a museum: An augmented-reality cultural serious game in Provence/S. Thon, D. Serena-Allier, C. Salvetat, F. Lacotte//in Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage), IEEE. – 2013.

14 Recommendation ITU-T P.800 «Methods For Subjective Determination Of Transmission Quality». ITU-T, Geneva, August, 1996.

15 Recommendation ITU-R BT.500-13 «Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures». ITU-R, Geneva, January 2012. — 46 p.

16 Wenger, S. “Error resilience support in H.263+”/S. Wenger, G.D. Knorr, J. Ott, F. Kossentini//IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. – 1998. – Vol. 8. – № 7. – P. 867-877.

17 Шелухін, О. І. Самоподібність і фрактали. Телекомунікаційні додатки/О. І. Шелухін, А. В. Осін, С. М. Смольський. - М.: Фізматліт, 2008.

18 Маколкін, М.А. Розподіл ресурсів при наданні послуги доповненої реальності/М.А. Маколкін, А.І. Парамонов, А.А. Гоголь, А. Є. Кучерявий//Електрозв'язок. - 2018. - № 8. м С. 23-30.

19 Маколкін, М.А. Характеристики мереж зв'язку та додатки доповненої реальності/М.А. Маколкін, А.І. Парамонов, А.Е. Кучерявий//У збірнику: Проблеми техніки і технологій телекомунікацій ПТіТТ 2016 Перший науковий форум "Телекомунікації: теорія і технології" ЗТ-2016. - 2016. - С. 137-138.

20 Маколкін, М.А. Дослідження взаємодії додатків доповненої реальності з хмарними сервісами 1С/М.А. Маколкін, Д.В. Окунева, В.А. Кулик В.А., Р.В. Киричок//Електрозв'язок. - 2017. - № 12. - С. 31-35.

21 Paramonov, A. Clustering Optimization for Out-of-Band D2D Communications/A. Paramonov, O. Hussain, K. Samouylov, A. Koucheryavy, R. Kirichek, Y. Koucheryavy//Wireless Communications and Mobile Computing. — 2017. — Vol. 2017. — ID. 6747052. — P. 1–11.

22 Makolkina M. The use of UAVS, SDN, and augmented reality for VANET applications/M. Makolkina, A. Paramonov, A. Vladyko, R. Dunaytsev, R. Kirichek, A. Koucheryavy//В збірнику: 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering (AIIE 2017) Сер. "DEStech Transactions on Computer Science and Engineering". – 2017. – С. 364-368.

23 Makolkina, M. Research of interaction between applications of augmented reality and control methods of UAVs/M. Makolkina, R. Kirichek, V. Teltevskaaya, E. Surodeeva//Lecture Notes in Computer Science (LNCS). — 2017. — Vol. 10 372. — P. 186–193.

24 Chi, H.-L. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction/H.-L Chi, S.-C. Kang, X. Wang//Automation in construction. - 2013. - № 33. - P. 116-122.

25 Kaklauskas, A. Housing health and safety decision support system with augmented reality/A. Kaklauskas, E. K. Zavadskas, J. Cerkauskas, J. Naimaviciene, I. Ubarte, A. Banaitis, M. Krutinis//The Journal of Innovation Impact. 2016. – № 6(1). – P. 143-150.

26 Xiaojun, C. IoT-based air pollution monitoring and forecasting system/C. Xiaojun, L. Xianpeng, X. Peng//Computer and Computational Sciences (ICCCS). – 2015. Proceedings IEEE International Conference.

27 Кучерявий, А.Е. Мережі, що самоорганізуються/Кучерявий А.Е., Прокоп'єв А.В., Кучерявий Е.А. - СПб .: Любавич, 2011. - 312 с.

28 Agiwal, M. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey/Agiwal, M., Roy, A. and Saxena, N//IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(3), pp.1617-1655, 2016.