НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАТИКИ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Кафедра автоматизованих систем обробки інформації і управління

«На правах рукопису»

УДК 004.946

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ *О.А.Павлов*
(підпис) (ініціали, прізвище)

"___" _____2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності *121 «Інженерія програмного забезпечення»*

на тему: «Методи та програмні засоби передачі об'єктів доповненої реальності»

Виконала: студентка VI курсу, групи *ІП-82мп*

Іванова Лідія Андріївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник *ст. вик. Олійник Ю.О.* _____
(посада, науковий ступінь, , вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант *доц., к.т.н., Ліщук К.І.* _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент *доц. к.т.н. доц. Остапченко К.Б.* _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет *інформатики та обчислювальної техніки*
(повна назва)

Кафедра *автоматизованих систем обробки інформації та управління*
(повна назва)

Рівень вищої освіти *другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою*

Спеціальність *121 «Інженерія програмного забезпечення»*
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
_____ *О.А. Павлов*
(підпис) (ініціали, прізвище)

«____» _____20*19* р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Івановій Лідії Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації *Методи та програмні засоби передачі об'єктів доповненої реальності*

науковий керівник дисертації *ст. вик. Олійник Ю.О..*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "____" _____20 *19* р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації "____" _____20 *19* р.

3. Об'єкт дослідження *процес передачі даних у рамках клієнт-серверної архітектури у застосунках доповненої реальності*

4. Предмет дослідження *швидкодія та ефективність методів передачі даних у рамках клієнт-серверної архітектури у застосунках доповненої реальності.*

5. Перелік завдань, які потрібно розробити *дослідження існуючих методів передачі даних у застосунках доповненої реальності; дослідження галузей, які можна оптимізувати для створення протоколу доповненої реальності; створення моделі*

оптимізованої передачі даних для застосунків доповненої реальності на основі проведених досліджень; розробка програмного забезпечення, яке використовує створену модель оптимізованої передачі; порівняння результатів реалізованої моделі із існуючими засобами передачі даних для застосунків доповненої реальності.

6. Перелік графічного матеріалу

1)Схема методу оптимізації передачі даних з використанням багатошляхової передачі

2) Схема методу оптимізації передачі даних з покращеним пониженням якості

7. Орієнтовний перелік публікацій *Виявлення об'єктів у просторі за допомогою глибинного навчання; Мережеві протоколи для передачі даних у застосунках доповненої реальності*

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання *“ 01” вересня* 20*19* р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	*Формалізація результатів дослідження застосунків доповненої реальності*	*20.09.2019*	
2	*Аналіз даних, що передаються у застосунках доповненої реальності. Постановка проблеми*	*10.10.2019*	
3	*Дослідження галузей, які можна оптимізувати для покращення ефективності передачі даних*	*20.10.2019*	
4	*Розробка практичних методів оптимізації передачі даних*	*25.10.2019*	
5	*Розробка програмного забезпечення для експерименту*	*15.11.2019*	
7	*Тестування методу оптимізації. Вбудова методу в існуючий програмний застосунок*	*20.11.2019*	
8	*Оформлення документації*	*01.12.2019*	
9	*Подання роботи на попередній захист*	*05.12.2019*	
10	*Подання роботи на основний захист*	*16.12.2019*	

Студент _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми: необхідність зменшення навантаження на мобільний пристрій під час використання застосунку доповненої реальності шляхом оптимізації передачі даних.

Мета дослідження: оптимізувати методи передачі даних для застосунків, що використовують доповнену реальність.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані **наступні завдання**: дослідження існуючих методів передачі даних у застосунках доповненої реальності; дослідження галузей, які можна оптимізувати для створення протоколу доповненої реальності; створення моделі оптимізованої передачі даних для застосунків доповненої реальності на основі проведених досліджень; розробка програмного забезпечення, яке використовує створену модель оптимізованої передачі; порівняння результатів реалізованої моделі із існуючими засобами передачі даних для застосунків доповненої реальності.

Об'єкт дослідження: процес передачі даних у рамках клієнт-серверної архітектури у застосунках доповненої реальності.

Предмет дослідження: швидкодія та ефективність методів передачі даних у рамках клієнт-серверної архітектури у застосунках доповненої реальності.

Методи дослідження: дослідження, аналіз, експеримент.

Наукова новизна: найбільш суттєвими науковими результатами магістерської дисертації є оптимізація передачі даних у застосунках доповненої реальності шляхом зменшення навантаження на мобільний пристрій.

Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що запропонований метод передачі даних може застосовуватися в застосунках доповненої реальності і покращити досвід використання користувача .

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Методи та

технології високопродуктивних обчислень та обробки надвеликих масивів даних». Державний реєстраційний номер 0117U000924.

Апробація: Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 3 всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління».

Публікації: Наукові положення дисертації опубліковані в матеріалах 2 та 3 всеукраїнських науково-практичних конференцій молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління».

Ключові слова: ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК.

ABSTRACT

Topicality: the need to reduce the load on the mobile device while augmented reality applications are running by optimizing data transfer.

Purpose of the research: to optimize data transfer methods for augmented reality applications.

To achieve this goal, **the following tasks** were formulated: research on existing data transmission methods in augmented reality applications; research into areas that can be optimized to create specialized augmented reality protocol; creating a model of optimized data transfer for augmented reality applications based on research; development of software that uses the created model of optimized transmission; comparison of the results of the implemented model with existing data transmission methods in augmented reality applications.

Object of research: the process of data transmission within the client-server architecture in augmented reality applications.

Subject of research: performance and efficiency of data transmission methods in the client-server architecture in augmented reality applications.

Research methods: research, analysis, experiment.

Scientific Novelty: the most significant scientific result of a master's thesis is the optimization of data transmission in augmented reality applications by reducing the load on a mobile device.

The practical value of the results is determined by the fact that the proposed method of data transmission can be used in augmented reality applications and improve the user experience.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics: The work was performed at the Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systemsof the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» within the topic «Methods and technologies of high-performance computing and processing of large data sets». State Registration Number is 0117U000924.

Testing: The main provisions of the work were reported and discussed at the 3rd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Information Systems and Management Technologies".

Publications: The scientific provisions of the dissertation are published in the materials of 2 and 3 all-Ukrainian scientific-practical conferences of young scientists and students "Information systems and management technologies".

Keywords: AUGMENTED REALITY, DATA TRANSFER, MOBILE APPLICATION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 10

ВСТУП 11

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ 13

1.1 Організація передачі даних у клієнт-серверній архітектурі 13

1.2 Типи доповненої реальності 16

1.3 Проблеми використання доповненої реальності у мобільних застосунках 17

1.4 Дані застосунків доповненої реальності 19

1.5 Мережеві протоколи для доповненої реальності 19

Висновки до розділу 21

2 МАТЕМАТИЧНИЙ РОЗДІЛ 23

2.1 Розробка AR-орієнтованого транспортного протоколу 23

2.2 Класифікований трафік 23

2.3 Вимоги до контролю заторів даних, справедливості до інших підключень, обробки екстремальних ситуацій 25

2.4 Відновлення втрачених даних і низька затримка 27

2.5 Множинні шляхи передачі даних 28

2.6 Розподілення мережі 29

2.7 Розміщення датацентрів для застосунків доповненої реальності 30

2.8 Безпека передачі даних 31

Висновки до розділу 31

3 РОЗРОБЛЕНІ МЕТОДИ 33

3.1 Методи оптимізації передачі даних 33

3.2 Критерій оптимізації 33

3.3 Метод оптимізації шляхом використання декількох шляхів передачі даних 34

3.4 Метод оптимізації шляхом покращеного зниження якості послуг .. 35
Висновки до розділу 35
4 ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ 36
4.1 Огляд загальної архітектури системи 36
4.2 Огляд використаних інструментів 37
Висновки до розділу 39
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ 40
5.1 Тестування програмного забезпечення 40
5.2 Результати експерименту 42
Висновки до розділу 44
6 БІЗНЕС-ПЛАН ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ 45
6.1 Ринок застосунків доповненої реальності 45
6.2 Стратегії впровадження розробки 48
6.3 Опис ідеї стартап-проекту 51
6.4 Технологічний аудит ідеї проекту 53
6.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту 54
6.6 Розроблення ринкової стратегії 62
6.7 Розробка маркетингової програми стартап проекту 66
Висновки до розділу 69
ВИСНОВКИ 70
СПИСОК ДЖЕРЕЛ 72
ДОДАТОК А ОПИС ПРОГРАМИ 76
ДОДАТОК Б ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ 92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AR – Augmented Reality, доповнена реальність.

GPS – Global Positioning System, глобальна система позиціонування.

TCP – Transmission Control Protocol, протокол контролю передачі даних.

MPTCP Multipath Transmission Control Prototol, багатошляховий протокол контролю передачі даних.

RSVP – Resource reservation Protocol, протокол резервування ресурсів.

RTP – Realtime Transfer Protocol, протокол передачі даних у реальному часі.

MPEG-TS – Moving Picture Experts Group Transport Stream, потік передачі MPEG.

D2D – Device to Device, пристрій до пристрою.

QUIC – Quick UDP Internet Connections, швидкі інтернет-підключення UDP.

DCCP – Datagram Congestion Control Protocol, протокол контролю застійності дейтаграми.

QoS – quality of service, якість послуг.

RTT – round trip time, кругова затримка.

UDP – user datagram protocol, протокол користувацьких датаграм.

TLS – transport layer security, безпека рівню передачі даних.

ВСТУП

Доповнена реальність — термін, що позначає всі проекти, спрямовані на доповнення реальності будь-якими віртуальними елементами. Доповнена реальність — складова частина змішаної реальності, в яку також входить «доповнена віртуальність» (коли реальні об'єкти інтегруються у віртуальне середовище). Користувачами доповненої реальності є сфера розваг, медицина, освіта, військові технології, ремонтні служби, авіація, експлуатація автомобіля, служби безпеки, транспортні компанії, будівництво тощо. [20]

Мобільні застосунки із використанням доповненої реальності стають все більш поширеними, оскільки все більше пристроїв переходить на нові версії мобільних операційних систем, що підтримують доповнену реальність у застосунках, та власне нові мобільні пристрої мають більш витривалі складові для інтенсивної роботи телефону, зокрема для застосунків доповненої реальності. Проте на сьогодні застосунки із використанням технології AR є такими, що під час роботи перевантажують пристрої, зокрема інтенсивно знижують заряд батареї.

На виникнення цієї проблеми впливають декілька факторів. По-перше, обробка 3D-моделей, їх рендеринг мобільним пристроєм є власне задачею, що займає достатньо велику кількість ресурсів. По-друге, зазвичай застосунки із використанням доповненої реальності також використовують геолокацію користувача, здійснюють клієнт-серверну взаємодію за допомогою підключення до мережі Інтернет, а іноді використовують моделі нейронної мережі для паралельного розпізнавання образів і додаткової взаємодії із користувачем.

Швидший та менш ресурсномісткий рендеринг досягається використанням менш якісної моделі, якщо це можливо для поставленої задачі. Щодо другої причини описаної проблеми, можливе використання більш ефективних методів передачі даних для застосунків AR.

Мета роботи – оптимізувати методи передачі даних для застосунків, що використовують доповнену реальність.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- дослідження існуючих методів передачі даних у застосунках доповненої реальності;
- дослідження галузей, які можна оптимізувати для створення протоколу доповненої реальності;
- створення моделі оптимізованої передачі даних для застосунків доповненої реальності на основі проведених досліджень;
- розробка програмного забезпечення, яке використовує створену модель оптимізованої передачі;
- порівняння результатів реалізованої моделі із існуючими засобами передачі даних для застосунків доповненої реальності.

Об’єкт дослідження – процес передачі даних у рамках клієнт-серверної архітектури у застосунках доповненої реальності.

Предмет дослідження – швидкодія та ефективність методів передачі даних у рамках клієнт-серверної архітектури у застосунках доповненої реальності.

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ

У даному розділі розглянуто теоретичні відомості про існуючі методи передачі даних у мобільних застосунках, методи використання доповненої реальності у мобільних застосунках, проблеми використання доповненої реальності, досліджено природу даних, що передаються у застосунках доповненої реальності, розглянуто методи передачі даних у AR-застосунках у мережі Інтернет.

1.1 Організація передачі даних у клієнт-серверній архітектурі

Більшість мобільних застосунків для платформ iOS і Android використовують клієнт-серверну архітектуру і прийнятні для цієї архітектури алгоритми і розповсюджені методи передачі даних.

Архітектура клієнт-сервер є одним із архітектурних шаблонів програмного забезпечення та є домінуючою концепцією у створенні розподілених мережних застосунків і передбачає взаємодію та обмін даними між ними. Вона передбачає такі основні компоненти:

– набір серверів, які надають інформацію або інші послуги програмам, які звертаються до них;
– набір клієнтів, які використовують сервіси, що надаються серверами;
– мережа, яка забезпечує взаємодію між клієнтами та серверами.

Сервери є незалежними один від одного. Клієнти також функціонують паралельно і незалежно один від одного. Немає жорсткої прив'язки клієнтів до серверів. Більш ніж типовою є ситуація, коли один сервер одночасно обробляє запити від різних клієнтів; з іншого боку, клієнт може звертатися то до одного сервера, то до іншого. Клієнти мають знати про доступні сервери, але можуть не мати жодного уявлення про існування інших клієнтів.

Схему клієнт-серверної архітектури зображено на рисунку 1.1.

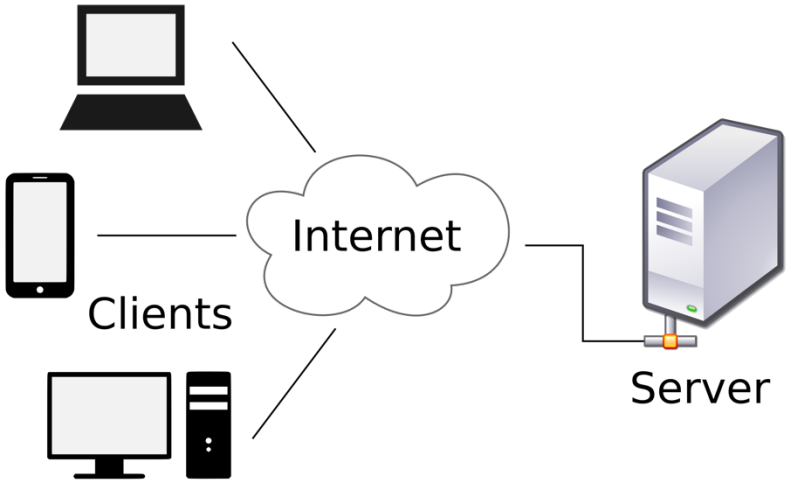


Рисунок 1.1 – Схема клієнт-серверної архітектури

Загальноприйнятим є положення, що клієнти та сервери — це перш за все програмні модулі. Найчастіше вони знаходяться на різних комп'ютерах, але бувають ситуації, коли обидві програми — і клієнтська, і серверна, фізично розміщуються на одній машині; в такій ситуації сервер часто називається локальним. [8]

Якщо розглядати клієнт-серверну архітектуру із використанням мобільних застосунків, зазвичай клієнтами виступають власне мобільні застосунки, сервер розміщено окремо і взаємодія здійснюється через мережу Інтернет.

Технологію клієнт-сервер можна описати таким алгоритмом:

– користувач міняє стан якогось об’єкта клієнтської програми, який насамперед формує і посилає запит до сервера, вірніше – до програми, яка обробляє запити;

– ця програма проводить відповідні маніпуляції з даними, що є на сервері, відповідно до запиту, міняє стан пов’язаного об’єкта і передає його клієнтській програмі;

– клієнтська програма отримує об’єкт, враховує новий стан цього об’єкта і чекає подальших дій користувача. Цикл повторюється до того часу, поки користувач не завершить роботу з сервером.

Стандартне програмне забезпечення, що реалізується технологією клієнт-сервер, має: масштабованість (ефективне використання нарощеного апаратного

забезпечення), стійкість в роботі, захист від несанкціонованого доступу і потужність під час роботи з великими проектами в галузі баз даних. [31]

Логічно можна відокремити три рівні операцій:

– рівень представлення даних, який по суті являє собою інтерфейс користувача і відповідає за представлення даних користувачеві і введення від нього керуючих команд;

– прикладний рівень, який реалізує основну логіку застосунку і на якому здійснюється необхідна обробка інформації;

– рівень управління даними, який забезпечує зберігання даних та доступ до них.

Дволанкова клієнт-серверна архітектура передбачає взаємодію двох програмних модулів — клієнтського та серверного. В залежності від того, як між ними розподіляються наведені вище функції, розрізняють:

– модель тонкого клієнта, в рамках якої вся логіка застосунку та управління даними зосереджена на сервері. Клієнтська програма забезпечує тільки функції рівня представлення;

– модель товстого клієнта, в якій сервер тільки керує даними, а обробка інформації та інтерфейс користувача зосереджені на стороні клієнта. Товстими клієнтами часто також називають пристрої з обмеженою потужністю: кишенькові комп’ютери, мобільні телефони та ін.

Трьохланкова клієнт-серверна архітектура, яка почала розвиватися з середини 90-х років, передбачає відділення прикладного рівня від управління даними. Відокремлюється окремий програмний рівень, на якому зосереджується прикладна логіка застосунку. Програми проміжного рівня можуть функціювати під управлінням спеціальних серверів застосунків, але запуск таких програм може здійснюватися і під управлінням звичайного веб-сервера. Нарешті, управління даними здійснюється сервером даних.

Дволанкова архітектура простіша, так як всі запити обслуговуються одним сервером, але саме через це вона менш надійна і висуває підвищені вимоги до продуктивності сервера.

Триланкового архітектура складніша, але завдяки тому, що функції розподілені між серверами другого і третього рівня, ця архітектура проявляє:

– високий ступінь гнучкості і масштабованості.

– високу безпеку (тому що захист можна визначити для кожного сервісу або рівня).

– високу продуктивність (тому що завдання розподілені між серверами). [32]

1.2 Типи доповненої реальності

Використання методів передачі даних у застосунках доповненої реальності відрізняється в залежності від обраної технології застосування доповненої реальності.

Існує два типи найбільш розповсюджених засобів розміщувати об’єкти у доповненій реальності. Вони відрізняються між собою у межах використовуваних сенсорів і технологічних рішень для імплементації, проте базовий принцип залишається однаковим: обидва методи дозволяють розміщувати віртуальні 3D-об’єкти на відображенні камери.

Маркерна технологія доповненої реальності

Маркерна технологія використовує алгоритми розпізнавання зображень для знаходження позиції і куту повороту маркерів. У результаті здійснюється відображення 3D-об’єкту у потрібному місці.

У якості маркеру для початку використовувалися QR-коди і подібні графічні об’єкти, проте на сьогодні існують технології і інструменти, які дозволяють розпізнавання майже всього – від тексту до обличчя людини.

Маркерна технологія використовує розпізнавання зображень для розміщення 3D-об’єктів у просторі, потім зображення оброблюється для отримання позиції і орієнтації маркеру.

Прикладами використання маркерної технології доповненої реальності є Snapchat – мобільний застосунок, що накладає графічні фільтри на обличчя за допомогою використання алгоритмів розпізнавання обличчя, і Inkhunter – мобільний застосунок, що накладає віртуальні зображення на тіло людини.

Технологія доповненої реальності без маркерів

Дана технологія використовує простіші алгоритми для розміщення об’єктів, проте значно складніші методи роботи з фізичними сенсорами. Технологія доповненої реальності без маркерів використовує фізичні сенсори для знаходження позиції і орієнтації пристрою, а саме:

– акселерометр;
– гіроскоп;
– магнитометр.

Завдяки вказаним сенсорам можливе розрахування точного куту повороту за кожною віссю у 3D-просторі. У багатьох випадках також необхідне використання GPS-даних [12] для розміщення 3D-об’єктів на певній відстані.

Прикладами використання технології доповненої реальності без маркерів є Ikea Place – застосунок для розміщення віртуальних меблів у приміщенні, а також Google Maps AR – застосунок від Google для покращеної навігації містом. [5]

1.3 Проблеми використання доповненої реальності у мобільних застосунках

Існують розповсюджені проблеми використання доповненої реальності у мобільних застосунках:

– точність – датчики мобільних пристроїв схильні до зміщення. Це означає, що точність відображених предметів буде меншою хвилиною за хвилиною. У нових пристроях датчики набагато точніші, але майте на увазі, що вони не є ідеальними;

– батарея – дисплей увімкнено, камера увімкнена, датчики орієнтації, розпізнавання зображень, GPS. Вони вважаються обладнанням, що споживає найбільше енергію в кожному мобільному пристрої. Це означає, що використовуючи доповнену реальність навіть кілька хвилин, можна істотно розрядити акумулятор;

– доступність – у 2018 році Google випустив ARCore, основу для створення програм AR. Хоча він оптимізований, він підтримується на обмеженій

кількості пристроїв. Список зростає, але наразі він містить близько 100 пристроїв. Наразі це найпростіший спосіб створити додатки розширеної реальності. [5]

Таким чином, методи передачі даних мають бути оптимізованими для застосунків доповненої реальності і використовуватися таким чином, щоб не ускладнити проблеми, які викликає доповнена реальність і посприяти їх рішенню або зменшення.

У таблиці 1.1. продемонстровано характеристики пристроїв, які приймають участь у клієнт-серверній архітектурі із мобільними застосунками доповненої реальності. [11]

Таблиця 1.1 – Характеристики пристроїв, що приймають участь у архітектурі доповненої реальності

Платформа	Обчислювальні можливості	Сховище даних	Життя батареї	Доступ до мережі
Розумні окуляри	Дуже низькі	4-16 GB	2-3год.	Bluetooth
Смартфон	Низькі	16-128 GB	6-8год.	WiFi / Мобільна мережа
Планшет	Середні	32-256 GB	6-8год.	WiFi / Мобільна мережа
Ноутбук	Середні/високі	128GB – 2TB	2-8год.	WiFi / Мобільна мережа/Ethernet
Персональний компьютер	Високі	512 GB – 2 TB	Не обмежено	WiFi/Ethernet
Хмара	Не обмежено	Не обмежено	Не обмежено	Ethernet / Оптоволокно

1.4 Дані застосунків доповненої реальності

Дані, що використовуються і передаються у застосунках доповненої реальності, залежать від технології доповненої реальності, що використовується, а також від тематики застосунку.

У випадку застосунків, що використовують маркерну технологію, найчастіше моделі, їх анімації і зображення є вбудованими ресурсами у застосунок. Проте клієнт-серверна взаємодія не є виключенням для таких застосунків, і найчастішими даними, що передаються, є:

– 3D-моделі об’єктів;
– аналітичні дані;
– дані з шару бізнес-логіки;
– дані розпізнавання, якщо використовується користувацька модель розпізнавання образів і її розміщено на сервері;
– зображення, відео, аудіо для відображення в AR.

У випадку застосунків, що використовують технологію доповненої реальності без маркерів, передача даних є більш розповсюдженою. Дані, що зазвичай передаються, є наступними:

– дані локації користувацького пристрою;
– дані сенсорів;
– 3D-моделі об’єктів;
– аналітичні дані;
– дані з шару бізнес-логіки;
– зображення, відео, аудіо для відображення в AR.

1.5 Мережеві протоколи для доповненої реальності

Наразі мережеві інфраструктури не готові до безпроблемного мобільного досвіду у доповненій реальності. Навіть якщо 5G може змінити ситуацію, є ймовірність, що потреби використання скоро наздожене цю технологію. У серпні 2016 року середня пропускна здатність для завантаження в Америці становила близько 50 Мб/с. На думку аналітиків CISCO [6], для деяких побутових додатків незабаром знадобиться 1 Гбіт/с, і 10 Гбіт/с не буде надмірною швидкістю.

Враховуючи це явище, підвищення продуктивності у результаті використання 5G є помилковим припущенням. Ми також не можемо чекати 6G, щоб вирішити проблематику, що зростає в наступному десятилітті. Безшовний мобільний AR буде досягнутий лише завдяки розумному, але шанобливому використанню різних доступних посилань. Іншими словами, з'єднання повинне максимально використовувати доступну пропускну здатність, одночасно справедливо ставлячись до інших з'єднань. Тим не менш, жоден транспортний протокол не був розроблений з урахуванням Mobile AR. Однак кілька протоколів реального часу можуть бути джерелом натхнення для майбутніх протоколів AR.

Кілька протоколів були розроблені спеціально для передачі відео. Оскільки AR передбачає великі передачі відео, зображень та даних у напрямку висхідної лінії зв'язку, протоколи мультимедійної мережі можуть стати належним джерелом натхнення для транспортного протоколу AR. Нижче ми обговорюємо деякі найпопулярніші такі протоколи:

– RSVP (протокол резервування ресурсів) – використовується для резервування ресурсу в мережі. Цей протокол використовується хостами та маршрутизаторами для запиту та надання гарантій якості обслуговування на конкретних потоках. Хоча це безпосередньо не стосується загальних програм AR, можливість надання гарантій QoS для конкретних програм AR може бути комерційним аргументом для операторів мобільного широкосмугового зв’язку; [21]

– RTP (протокол у режимі реального часу) та RTCP (протокол управління в режимі реального часу) – обидва працюють над версією UDP. RTP полегшує передачу даних у реальному часі через UDP, тоді як RTCP додає рівень QoS. Крім традиційної доставки замовлення, ці протоколи містять кілька корисних характеристик для додатків AR: механізми компенсації затримки пакетів; інтермедійна синхронізація, яка дозволяє отримувати контент з різних джерел; інформація про якість повідомляється додатку, який може таким чином адаптувати якість відео, швидкість передачі або інші параметри до мережевих умов; [22]

– MPEG-TS (MPEG Transport Stream) – також передбачена синхронізація потоку з можливістю переплетення декількох потоків разом. Він також забезпечує виправлення помилок вперед (FEC) для відновлення втрачених або пошкоджених кадрів; [16]

– мультимедійні протоколи D2D – у контексті зв'язку D2D немає пропозицій, присвячених мультимедійній передачі лише між мобільними пристроями. Однак у контексті мобільної спеціальної мережі різні пропозиції зосереджуються на створенні контуру в кінець.

Інші загальні протоколи передачі були розроблені для покращення загальної продуктивності та максимізації використання доступних посилань.

– багатосторонній TCP [17] і SCTP [23] (протокол передачі потоку управління) – це два протоколи, розроблені для використання декількох різних шляхів передачі. Використання декількох шляхів має дві основні переваги: максимізувати використання ресурсів за рахунок комбінування потужностей мереж 4G та WiFi для задоволення вимог пропускної здатності AR та забезпечити надмірність. Це було успішно використано для посилення процесу передачі в WiFi;

– швидке підключення до Інтернету UDP (QUIC [19]) – забезпечує повний набір функцій поверх UDP [29] та поєднує в собі функції з протоколів TCP [27], Multipath TCP, TLS [28] та HTTP; [13]

– протокол контролю застійності дейтаграми (DCCP) [7] – забезпечує контроль заторів без надійної доставки замовлення. Нові дані завжди віддають перевагу колишнім даним для передачі. [11]

Висновки до розділу

У результаті аналізу джерел було виявлено основні положення побудови клієнт-серверної архітектури , було розглянуто типи доповненої реальності, дані, що передаються у застосунках доповненої реальності у маркерних і безмаркерних типах застосунків.

Було розглянуто проблеми використання доповненої реальності у мобільних застосунках. Було обгрунтовано необхідність використання

оптимізованого мережевого протоколу для передачі даних і виявлено, що на сьогодні не існує спеціалізованого протоколу передачі даних для застосунків доповненої реальності.

Було розглянуто ряд існуючих протоколів, які частково можуть задовольняти потреби застосунків доповненої реальності.

2 МАТЕМАТИЧНИЙ РОЗДІЛ

У даному розділі розглянуто можливі оптимізації передачі даних у застосунках доповненої реальності.

2.1 Розробка AR-орієнтованого транспортного протоколу

Розробка транспортного протоколу, орієнтованого на застосунки AR, представляє колосальну проблему. Експлуатувати кожен окремий канал зв'язку буде необхідним для ефективного розвантаження. Потрібне переосмислення загальної архітектури розвантажувальних систем і створення більш розподілених рішень. На сьогодні можливе розвантаження мережі подібно до застосунків мобільних ігор. Для цього можливе здійснення наступних кроків:

– класифікований трафік: застосунки доповненої реальності можуть передавати різні типи даних з різними вимогами (а саме пропускною здатністю, затримкою та цілісністю) та пріоритетами;

– справедливість до інших підключень, використовувати максимальну доступну пропускну здатність;

– низька затримка та відмовостійкість: деякі вибрані дані мають бути привілейовані для повторної передачі, щоб підтримувати зв’язок у режимі реального часу;

– багатошляховість: використання більшої кількості посилань для максимальної пропускної здатності та мінімізації затримок;

– розподіленість або напіврозподіленість: декілька серверів та комунікація від пристрою до пристрою для оптимальної роботи;

– безпека з точки зору конфіденційності користувачів. [11]

2.2 Класифікований трафік

Мобільні застосунки доповненої реальності можуть генерувати кілька типів трафіку з різними вимогами: аудіо та відео, метадані підключення, результати обчислень тощо. Необхідно визначити кілька класів трафіку, щоб

відповідати різним необхідним рівням якості. В якості основи можна розглянути наступні класи:

– повне найкраще зусилля: для даних, де затримка є найважливішим параметром, а перевага надається більш новим даним. Сюди входить більшість даних датчиків, що надсилаються по висхідній лінії зв'язку;

– найкращі зусилля і відновлення втрат: конфіденційні дані з вимогами затримки (наприклад, довідкові кадри відеопотоку);

– критичні дані: де надійна доставка даних важливіша, ніж затримка. До даної групи даних входить більшість метаданих підключення.

Завдяки величезному розмаїттю трафіку, який може генеруватися мобільним додатком доповненої реальності, можна визначити деякі інші проміжні класи трафіку з різними вимогами затримки, пропускної здатності та надійності.

Паралельно цим класам трафіку застосунок повинен встановлювати пріоритети трафіку. Дійсно, у разі перевантаженості або поганого підключення до мережі, мобільний застосунок доповненої реальності повинен достатньо якісно підтримувати погіршення стану, тобто викидання або затримку певного трафіку під час очікування покращення ситуації із підключенням до мережі. Потрібно визначити щонайменше чотири пріоритети:

– найвищий пріоритет: дані не слід відкидати і не затримувати, якщо в мережі присутній інший трафік;

– середній пріоритет 1: дані можуть затримуватися, але ніколи не повинні бути відкинуті (наприклад, дані, що належать до класу критичного трафіку даних);

– середній пріоритет 2: дані слід відкидати, але не затримувати. Наприклад, нові дані у відеопотоці постійно замінюють колишні дані, і своєчасна доставка важливіша, ніж цілісність потоку (доки передаються опорні кадри);

– найнижчий пріоритет: цей тип потоку може бути повністю викинутий у разі заторів.

Для кожного пріоритету можуть бути визначені різні рівні, щоб точно описати порядок, в якому важливість даних і їх обробки слід зменшити. [11]

2.3 Вимоги до контролю заторів даних, справедливості до інших підключень, обробки екстремальних ситуацій

Через об'єм трафіку, що генерується мобільним застосунком доповненої реальності, неконтрольована передача даних буде катастрофічною для інших з'єднань, що паралельно передаються в мережі. Реалізація ефективного алгоритму контролю перевантаженості з метою дотримання справедливості використання в сьогоднішніх мережах має високий пріоритет. Для мобільних застосунків доповненої реальності, своєчасний отримання даних залишається абсолютним пріоритетом. Для досягнення такого результату зв'язок між протоколом та програмою є первинним. У TCP, коли виникає перевантаженість, неможливо зменшити вікно перевантаженості для надсилання меншої кількості даних. Застосунок AR повинен ідеально функціонувати із зниженою продуктивністю, навіть якщо мережеве підключення недоступне. У разі перевантаженості мережі слід зробити вибір для того, щоб визначити, який трафік відкинути або затримати, для аналогічних результатів.

Завдяки класам та пріоритетам трафіку програма може сигналізувати протоколу, які дані слід викинути у випадку заторів, продовжуючи отримувати найважливішу інформацію. Крім того, протокол може надавати інформацію про якість підключення застосунку. У разі перевантаженості програма може знизити якість відео, кількість зразків тощо. Отже, досвід користувача безперебійний, хоча і погіршений.

На рисунку 2.1 узагальнені ідеї, що стоять за покращеним зниженням якості, сумісним з TCP. Для прикладу обрано потік даних доповненої реальності з чотирма типами трафіку:

– метадані підключення: ці дані постійно генеруються і не повинні втрачатися чи затримуватися. Вони належать до класу критичних даних з найвищим пріоритетом;

– різні дані датчиків: положення, орієнтація тощо. Вони не приділяють багато трафіку і можуть використовуватися як регульована змінна. Вони належать до повного класу найкращих зусиль із середнім пріоритетом 1;

– кадри відеопосилання: ці кадри є первинними для декодування відеопотоку. Вони не повинні втрачатися чи затримуватися. Вони належать до найкращих зусиль із класом відновлення втрат, з найвищим пріоритетом;

– інтерфейси відео: ці кадри кодуються за допомогою посилальних кадрів. Вони будуть нашими основними регульованими змінними. Вони повні найкращі зусилля з найнижчим пріоритетом.

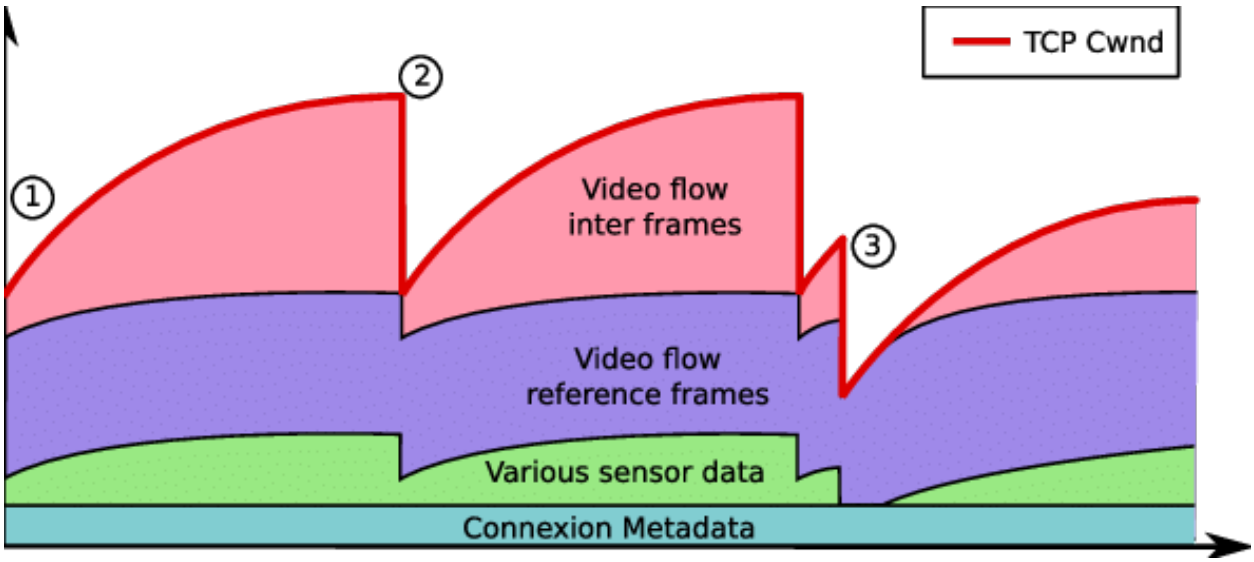


Рисунок 2.1 – Вікно перевантаженності у TCP і покращене зниження якості

На малюнку 2.1 розглянуто 3 різні ситуації. По-перше, без втрат вікно перевантаженості TCP лінійно зростає. Так само кількість даних, що надсилаються застосунком, лінійно зростає. Змінюючи кількість вибірок сенсорних даних та якість та кількість інтерфреймів у відео, алгоритм може спробувати заповнити посилання, не впливаючи на передачу суттєвих даних (наприклад, кадри відеопосилання та метадані підключення). По-друге, коли в TCP трапляються втрати, алгоритм контролю перевантаженості ділить вікно перевантаженості з метою зниження швидкості передачі. У випадку мобільного застосунку доповненої реальності, алгоритм повинен вибрати, які дані

припинити надсилати. Компроміс досягається за рахунок різкого скорочення відеокадрів та даних датчиків. Метадані підключення та кадри відео посилань не піддаються впливу. По-третє, після зміни обставин і якості мережевого підключення відбувається інша втрата. TCP ще раз розділяє вікно перевантаженості, щоб відповідати новим вимогам мережі. У такому випадку зупинки передачі даних сенсора та відеокадрів недостатньо для досягнення потрібної швидкості. Метадані підключення повинні бути незмінними за будь-яких обставин. У цьому сценарії алгоритм може тимчасово знизити якість та кількість посилальних кадрів. Користувач відчуває сильну деградацію, але програмне забезпечення функціонує. Що стосується конструкції, алгоритм управління перевантаженням повинен ретельно контролювати затримки і відповідно реагувати. Раптовий підйом затримки слід трактувати як показання перевантаженості з негайною реакцією. Це особливо стосується даних, що надсилаються таким чином, щоб не заважати існуючим завантаженням. Тим не менш, ця стратегія може призвести до несправедливості по відношенню до зв'язку, коли конкурує з кількома іншими потоками. Необхідно виявити компроміс між вимогами затримки та пропускної здатності. [11]

2.4 Відновлення втрачених даних і низька затримка

Оскільки відновлення коштує дорого в умовах обмеженої затримки, протокол в ідеалі повинен уникати відновлення втрачених. Наприклад, TCP займає щонайменше один (як правило, 2 - 3) кругову затримку (RTT) для виявлення та відновлення втрат. Якщо застосунок генерує 30 кадрів в секунду, з максимально допустимою затримкою не вище 75 мс, можливо дозволоити собі відновити єдиний втрачений кадр, лише якщо час передачі даних в обидва кінці становить не більше 37,5 мс. Зважаючи на те, що середні терміни затримки для 4G та Wi-Fi становлять приблизно 80 мс і 150 мс відповідно, відновлення втрат неможливе без великої деградації якості послуг. Деякий трафік може бути не чутливим до втрати даних. У відеопотоці, що використовує міжкадрове стиснення, слід захищати лише опорні кадри, оскільки вони важливі для правильного декодування потоку. Однак якщо втрачено занадто багато інших

кадрів, отриманий потік може бути занадто деградованим для отримання корисної інформації. Бажано було б ввести деяку надмірність у потоці даних або шляхом виконання мережевого кодування, виправлення помилок наперед, або шляхом використання декількох шляхів передачі даних. Тим не менш, більшість із цих рішень додають незначну кількість інформації для передачі посиланнях, де ресурси рідкісні, змушуючи ще раз досягти компромісу між затримкою та пропускною здатністю. [11]

2.5 Множинні шляхи передачі даних

Через вимогу до високої пропускної здатності та низької затримки, використання одного шляху передачі даних може бути недостатнім для очікуваної якості. Протокол доповненої реальності повинен забезпечувати можливість одночасного використання декількох шляхів передачі.

Використання 4G та WiFi справді може внести значні покращення. По-перше, наявна пропускна здатність збільшується, частково фіксуючи високі вимоги до швидкості передачі даних. По-друге, дані, що обмежені затримкою, можуть надсилатися за посиланням з найменшою кількістю кругових затримок. Пакети даних, що належать до класу трафіку з відновленням втрачених даних, також можуть надсилатися обома шляхами, щоб запобігти дорогому процесу відновлення. Доведено, що багатопроменевий шлях ефективно скорочує час без підключення при виконанні хендоверу.

Мережі 4G, як правило, дорогі для кінцевого користувача, з обмеженою кількістю даних, включеними в базові плани. Вартно передбачити три поведінки:

– використання WiFi весь час, використання 4G для передачі даних: дозволяє користувачеві з планами передачі даних нижчого класу відчувати безперебійний досвід застосунку доповненої реальності практично без використання мереж LTE;

– використання WiFi більшу частину часу, викоритання 4G для передачі та коли Wi-Fi недоступний: користуючись таким підходом, кінцевий споживач може отримувати високоякісний досвід використання, зберігаючи при цьому низьке використання своїх даних LTE;

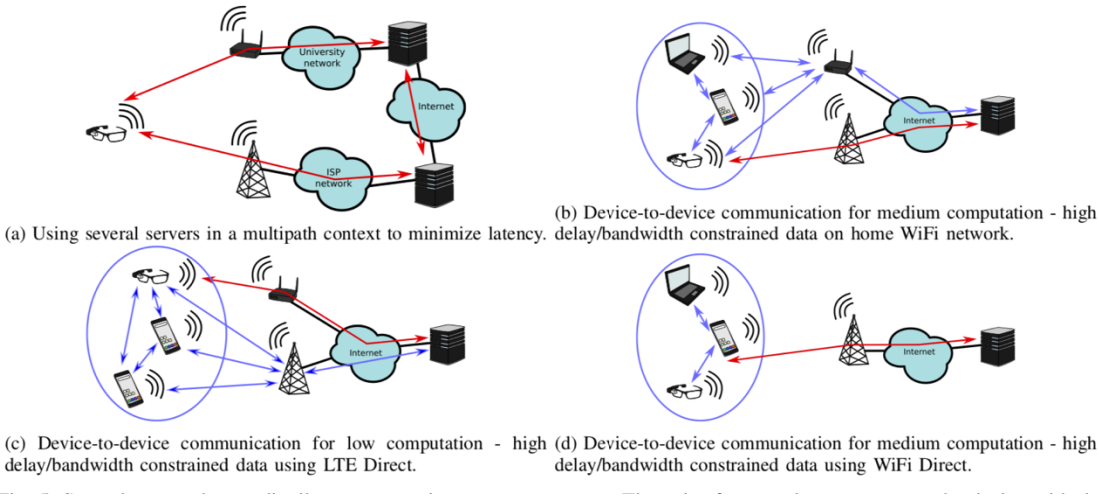
– WiFi та 4G: за допомогою одночасного використання WiFi та LTE можна значно покращити затримку та пропускну здатність. [11]

2.6 Розподілення мережі

Після використання кількох шляхів до досягнення одного сервера наступним кроком буде завантаження даних на різні сервери, залежно від вимог затримки та пропускної здатності.

На рисунку 2.2 продемонстровано приклад того, як використання декількох серверів може бути корисним у якості розширення парадигми edge computing, де найближчий сервер був би обраний для заданого шляху. На малюнку (a) користувач експлуатує різні сервери, використовуючи багатосторонній зв'язок. Наприклад, під час підключення до WiFi мережі університету може бути переважніше розвантажитись на університетський сервер, тоді як з'єднання, що використовує 4G через широкосмуговий мобільний оператор, може зв’язатися з іншим сервером. Це забезпечує меншу затримку отримання пакетів. Однак для ефективної обробки даних сервери мають бути поєднані між собою. Для досягнення цього також потрібно вирішити питання міжсерверної синхронізації. З'єднання між декількома серверами може мати затримку від середньої до високої, залежно від взаємозв'язку, брандмауерів тощо.

Інша ідея полягає у використанні комунікації між пристроями для найбільш обмеженої інформації. Це може бути особливо корисно для таких пристроїв, як розумні окуляри, де навіть просте вилучення функцій може значно уповільнити процес. У цій ситуації інші сусідні смартфони можуть допомогти, поділившись наявними процесорними можливостями. На рисунку (b) продемонстровано можливість використання домашнього WiFi мережі для завантаження деяких обчислень на смартфон та / або комп'ютер користувача, одночасно вивантажуючи операції з хмарним сервером із меншою затримкою. На малюнках (c) та (d) показано, як відповідно використовувати LTE Direct та WiFi Direct для завантаження інформації, що залежить від затримок, на інші пристрої. [11]



(a) Using several servers in a multipath context to minimize latency.

(b) Device-to-device communication for medium computation - high delay/bandwidth constrained data on home WiFi network.

(c) Device-to-device communication for low computation - high delay/bandwidth constrained data using LTE Direct.

(d) Device-to-device communication for medium computation - high delay/bandwidth constrained data using WiFi Direct.

Рисунок 2.2 – Підходи до організації інфраструктури обчислювальних пристроїв

2.7 Розміщення датацентрів для застосунків доповненої реальності

Як це було обґрунтовано у попередніх розділах, діючі протоколи та існуючі архітектури не можуть надати гарантій у затримці. Щоб вирішити цю проблему, провайдерам мережі необхідно встановити крайові центри обробки даних, близькі до користувачів, які зможуть обробляти запити на розвантаження застосунків доповненої реальності. Математично цю проблему можна сформулювати таким чином:

$$min_C|C|, \text{ за умови, що}$$

$$P^{(a)}_{\text{завантаження}}\left(R_m, R_c, f^{(a)}, p^{(a)}, d^{(a)}, o^{(a)}, b_{mc}, l_{mc}, x, y\right) < \delta_a$$

$$\forall\, c \in C, \forall m \in M, \forall\, a \in A$$

де:

– C – множина датацентрів, і кожен датацентр характеризується його локацією і ресурсами;

– M – множина користувачів мобільних пристроїв;

– A – множина застосунків. [11]

2.8 Безпека передачі даних

Нарешті, для розробки протоколу доповненої реальності слід докласти значних зусиль щодо безпеки передачі даних. Дійсно, оскільки програми AR передають аудіо- чи відеоканали з камери, конфіденційність користувачів є первинною. Для кожної сесії підключення слід виконувати належне шифрування трафіку. У контексті пристрій-до-пристрою дані, завантажені на пристрої інших користувачів не мають підлягати відновленню. Його потрібно анонімізувати, якщо зловмисний користувач намагається отримати доступ до цих елементів. Кожен елемент, який може призвести до розпізнавання місцеположень, людей чи іншої особистої інформації, повинен бути видалений з цих даних. Наприклад, у випадку зображення, принаймні обличчя, номерні знаки та видимі вуличні таблички повинні бути розмитими, перш ніж надсилати іншим користувачам на обробку. У кількох дослідженнях зосереджено увагу на тому, які конфіденційні дані можуть просочуватися завдяки застосуванню AR та мобільному фотографуванню в цілому, і пропонувалися різні рішення. Серед них PrivateEye та WaveOff дозволяють користувачеві вручну визначати зони на знятих зображеннях, які безпечно відпускати в додаток. PrivacyTag використовує фізичні теги для захисту конфіденційності користувачів. I-PIC – це повне програмне рішення, де користувачі можуть визначати рівні конфіденційності, захищаючи свої візуальні функції. У статті також визначений захищений протокол для передачі інформації, що стосується конфіденційності. Необхідно знайти компроміс між конфіденційністю користувача та кількістю особистих даних, необхідних для правильної поведінки програми. [11]

Висновки до розділу

У даному розділі сформульовано вимоги до спеціалізованого протоколу доповненої реальності, а саме класифікований трафік; справедливість до інших підключень; низька затримка та відмовостійкість; багатошляховість; розподіленість або напіврозподіленість; безпека з точки зору конфіденційності користувачів.

Було детально розглянуто вказані галузі оптимізації, запропоновано і обґрунтовано теоретичні підходи оптимізації, які можна у подальшому експериментальним шляхом підтвердити практично і покласти у основу протоколу передачі даних доповненої реальності.

3 РОЗРОБЛЕНІ МЕТОДИ

У даному розділі розглянуто методи оптимізації передачі даних у застосунках доповненої реальності, розроблені на основі досліджень і обґрунтувань попередніх розділів.

3.1 Методи оптимізації передачі даних

Написання повноцінного протоколу доповненої реальності є комплексним завданням, яке потребує експериментальних емпіричних досліджень теоретичних методів оптимізації передачі даних.

Серед розглянутих методів теоретичної оптимізації розглянемо наступні:

– використання декількох шляхів передачі даних;
– покращене зниження якості послуг застосунку.

Обидва методи є можливими для практичної реалізації на мобільних пристроях.

3.2 Критерій оптимізації

Критерієм оптимізації обох розглянутих методів є зниження навантаження на пристрій, використання пристроєм енергії. Для практичних вимірювань використовується показник використання енергії, отриманий за допомогою методу налагодження і відстеження ефективності Energy Profiler інструменту Android Studio.

Energy Profiler стежить за використанням процесора, мережі та GPS-датчика, і відображає візуалізацію того, скільки енергії використовує кожен з цих компонентів. Energy Profiler також системні події (блокування, тривоги, завдання та запити про місцезнаходження), які можуть вплинути на споживання енергії.

Energy Profiler використовує модель, яка оцінює споживання енергії для кожного ресурсу на пристрої. [1]

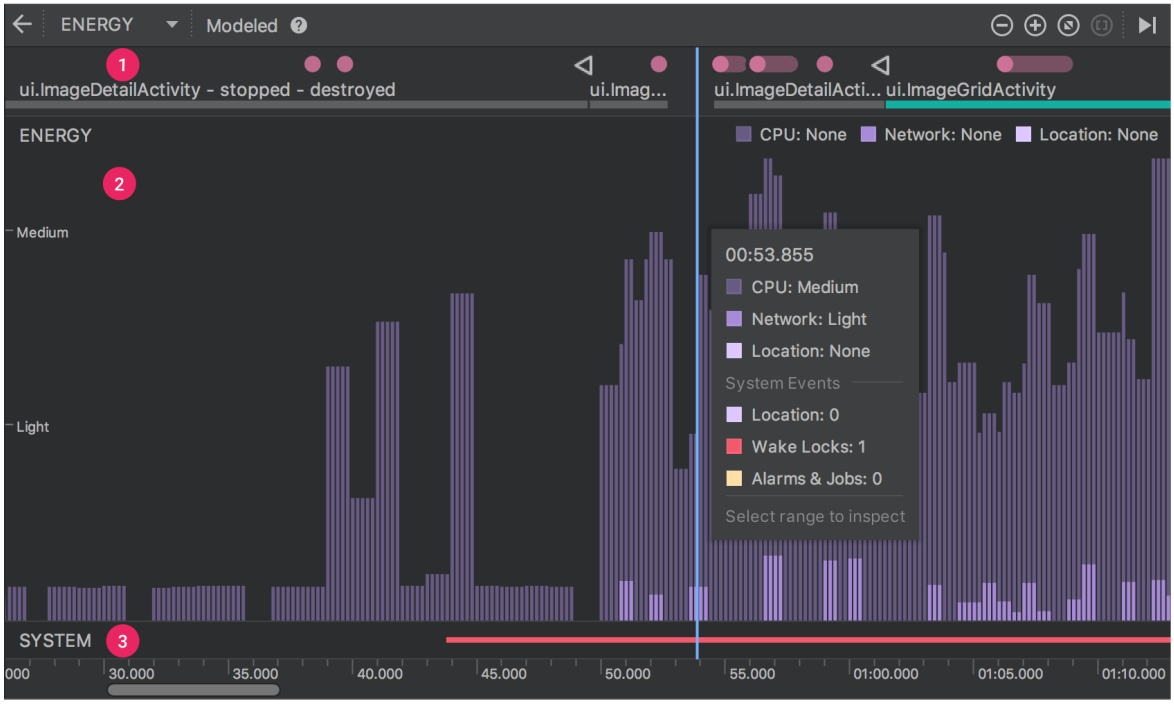


Рисунок 3.1 – Energy Profiler

3.3 Метод оптимізації шляхом використання декількох шляхів передачі даних

Більшість сучасних мобільних пристроїв, що підтримують доповнену реальність, мають методи одночасного підключення до WiFi і мобільної мережі.

Зазвичай у основі сучасних протоколів передачі даних використовується протокол TCP. Використання Multipath TCP замість TCP за можливості для передачі даних мережею теоретично може зменшити навантаження на мобільний пристрій і оптимізувати передачу даних.

Алгоритм продемонстровано у графічному матеріалі до магістерської дисертації як «Схема методу оптимізації передачі даних з використанням багатошляхової передачі».

Таким чином, вибір використання передача даних має відбуватися наступним чином:

– користувач мобільного пристрою заходить у застосунок доповненої реальності, таким чином ініціює мережеву взаємодію;

– застосунок здійснює запит до операційної системи, які підключення наявні;

– операційна система повертає результати підключення, які можуть бути наступними: підключення відсутнє, підключення присутнє (використання WiFi), підключення присутнє (використання мобільної мережі), підключення присутнє (використання WiFi і мобільної мережі);

– якщо операційна система повертає результат підключення, що підтверджує використання обох методів підключення, застосунок використовує Multipath TCP у базі мережевих протоколів;

– якщо операційна система повертає результат підключення, що підтверджує використання лише одного типу мережевого підключення, застосунок використовує TCP у базі мережевих протоколів.

3.4 Метод оптимізації шляхом покращеного зниження якості послуг

Мобільні застосунки доповненої реальності отримують велику кількість контенту для інтеракції з користувачем, зокрема медіа-контент, 3D-об’єкти для сцен тощо. За умовою неякісного підключення, помилок мережі необхідно відтворювати якісний досвід користувача і доцільно використовувати ресурси пристрою.

Для оптимізації шляхом покращеного зниження якості послуг можна використовувати системні події зміни стану мережі шляхом підписки на ці події.

Алгоритм продемонстровано у графічному матеріалі до магістерської дисертації як «Схема методу оптимізації передачі даних з покращеним пониженням якості».

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено алгоритми і схеми методів оптимізації передачі даних у застосунках доповненої реальності на основі проведених досліджень і аналізу джерел.

Було сформульовано критерій оптимізації і обрано метод перевірки виконання критерію оптимізації.

4 ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

У даному розділі було розглянуто програмну архітектуру і використані інструменти для програмної реалізації.

4.1 Огляд загальної архітектури системи

Програмне забезпечення має клієнт-серверну архітектуру з клієнтом, який представлено мобільним застосунком для платформ iOS і Android, а також у межах якої здійснено оптимізації мережевої взаємодії, розглянуті у математичному розділі і розділі розроблених методів.

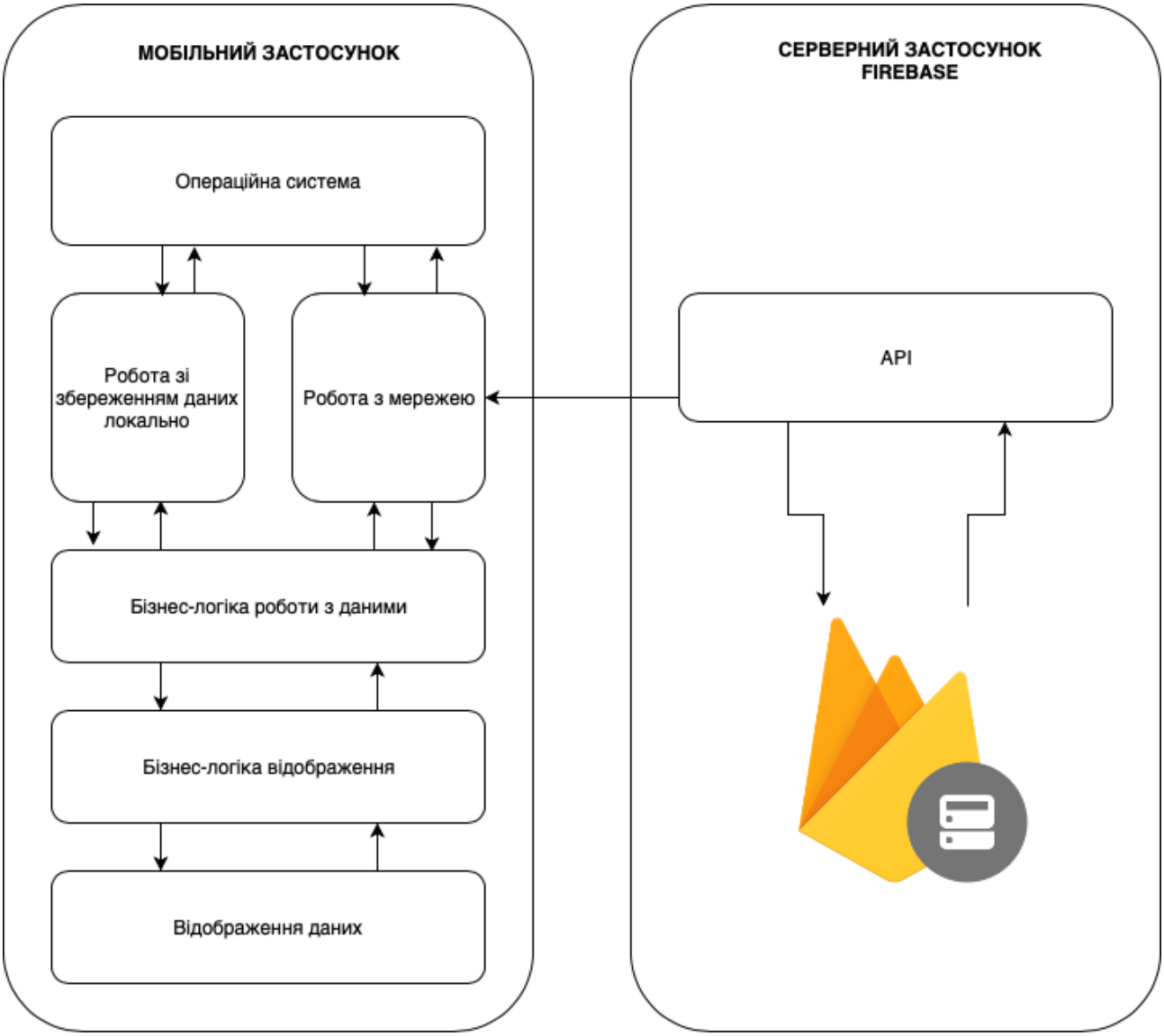


Рисунок 4.1 – Схема клієнт-серверної архітектури

4.2 Огляд використаних інструментів

Як рішення для тестування клієнт-серверної взаємодії у якості хмарного сховища об’єктів було обрано продукт Firebase Realtime Database. [10]

Для розробки кросплатформеного застосунку було використано платформу Unity. [30]

Unity — багатоплатформовий інструмент для розробки дво- та тривимірних додатків та ігор, що працює на операційних системах Windows і OS X. Створені за допомогою Unity застосунки працюють під системами Windows, OS X, Android, Apple iOS, Linux, а також на гральних консолях Wii, PlayStation 3 і XBox 360.

Нативні методи розробки AR застосунків використовують відповідні платформам фреймворки для відтворення доповненої реальності: операційна система Android використовує ARCore [2], система iOS використовує ARKit [4].

ARCore - це набір для розробки програмного забезпечення, розроблений Google, який дозволяє будувати додатки доповненої реальності. ARCore використовує три ключові технології для інтеграції віртуального контенту з реальним світом, що спостерігається через камеру телефону:

– відстеження руху дозволяє телефону зрозуміти та відстежувати його положення відносно світу;

– екологічне розуміння дозволяє телефону визначати розміри та розташування плоских горизонтальних поверхонь, таких як земля або журнальний столик;

– оцінка світла дозволяє телефону оцінити поточні умови освітлення навколишнього середовища.

Набір інструментів ARKit, представлений розробникам в рамках конференції WWDC 2017, являє собою новий погляд на технологію доповненої реальності. Розробка здатна розпізнавати габарити навколишнього простору і враховувати умови освітлення, щоб максимально достовірно інтегрувати віртуальні об'єкти в реальне життя. А сумісність з переважною більшістю

сучасних iOS-пристроїв робить ARKit наймасовішою платформою доповненої реальності в світі.

Для відтворення доповненої реальності використовується фреймворк AR Foundation [3]. Це середовище, створене спеціально для розробки AR, яке дозволяє створити застосунок, а потім випустити його на всіх цільових мобільних AR-пристроях і гарнітурах. До складу середовища включені базові функції всіх підтримуваних платформ, а також реалізовані унікальні особливості Unity, включаючи фотореалістичний рендеринг, фізику, оптимізацію під конкретні пристрої і багато іншого.

Перевагою використання AR Foundation є його зручність для кросплатформеного використання. Сьогодні AR Foundation пропонує API-скриптинг сценаріїв API та MonoBehaviours для створення додатків ARCore та ARKit, які використовують основні функціональні можливості, що діляться між обома платформами. Це дозволяє розробникам один раз розробити додаток та розгорнути на обох пристроях без будь-яких змін.

Однак AR Foundation ще не реалізує всі функції для ARKit та ARCore, тому якщо застосунок залежить від конкретної функції, яка ще не існує в AR Foundation, можна використовувати ці конкретні SDK окремо.

На рисунку 4.2. зображено архітектуру AR Foundation.

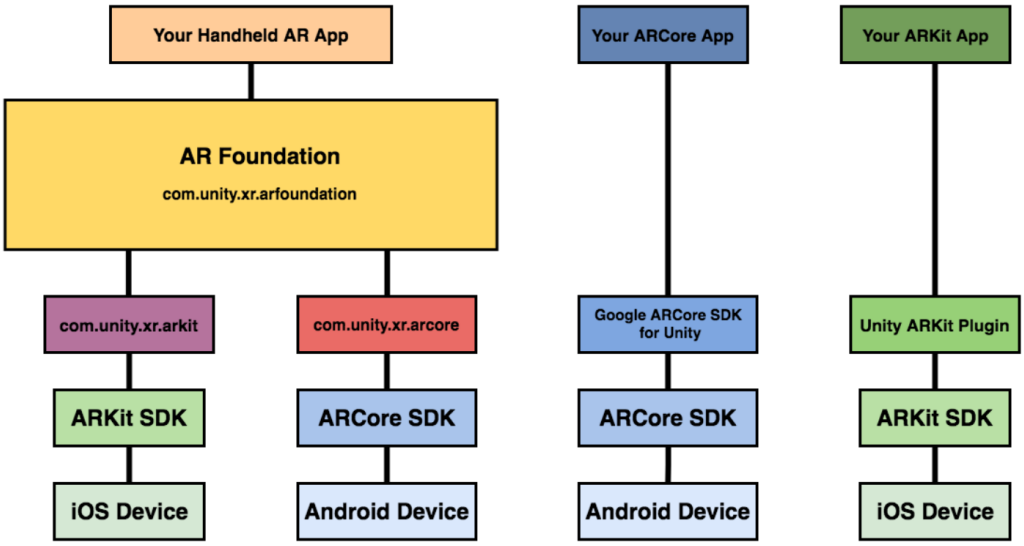


Рисунок 4.2 – Архітектура фреймворку AR Foundation

Висновки до розділу

У даному розділі було описано архітектуру програмного рішення, наведено схему клієнт-серверної архітектури.

Також було описано фреймворки, які будуть використовуватися для практичної реалізації методу оптимізації передачі даних у застосунках доповненої реальності.

Обґрунтовано вибір технологій, наведено порівняння із аналогами.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

У даному розділі описано експериментальне дослідження ефективності розроблених методів.

5.1 Тестування програмного забезпечення

Для тестування програмного забезпечення було розроблено тест-сценарії, які описано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Тестові сценарії для експериментальної перевірки методів оптимізації передачі даних

Сценарій тестування	Кроки тестування	Очікуваний результат
ТС-1: Використання багатьох шляхів передачі даних для оптимізації передачі даних: тест TCP	1.Налаштувати підключення до WiFi, 2. Налаштувати замірювання ефективності через Android Profiler, 3. Зайти у застосунок, отримати дані у результаті здійснення мережевого запиту. 4. Зберегти результати тестування.	1. Застосунок отримує дані для відображення у AR. 2. Здійснено заміри використання енергії пристроєм для отримання даних. Очікується скачок використання енергії під час отримання даних мережею.

Продовження таблиці 5.1

ТС-2: Використання багатьох шляхів передачі даних для оптимізації передачі даних: тест MPTCP	1.Налаштувати підключення до WiFi і мобільної мережі 2. Налаштувати замірювання ефективності через Android Profiler 3. Зайти у застосунок, отримати дані у результаті здійснення мережевого запиту 4. Зберегти результати тестування	1. Застосунок отримує дані для відображення у AR. 2. Здійснено заміри використання енергії пристроєм для отримання даних. Очікується скачок використання енергії під час отримання даних мережею.
ТС-3: Використання покращеного зменшення якості при передачі даних для оптимізації передачі даних: тест з якісним підключенням	1. Налаштувати підключення до мережі з високим рівнем якості підключення 2. Налаштувати замірювання ефективності через Android Profiler. 3. Зайти у застосунок, отримати дані у результаті здійснення мережевого запиту. 4. Зберегти результати тестування.	1. Застосунок отримує дані для відображення у AR у високій якості. 2. Здійснено заміри використання енергії пристроєм для отримання даних. Очікується скачок використання енергії під час отримання даних мережею.

Продовження таблиці 5.1

ТС-4: Використання покращеного зменшення якості при передачі даних для оптимізації передачі даних: тест з недостатньо якісним підключенням	1. Налаштувати підключення до мережі з низьким рівнем якості підключення 2. Налаштувати замірювання ефективності через Android Profiler. 3. Зайти у застосунок, отримати дані у результаті здійснення мережевого запиту. 4. Зберегти результати тестування.	1. Застосунок отримує дані для відображення у AR у низькій якості. 2. Здійснено заміри використання енергії пристроєм для отримання даних. Очікується незначний скачок використання енергії під час отримання даних мережею.

Для тестування було використано медіа-контент у форматі .mp4, що міститься у різній якості для відповідних рівней якості підключення і забезпечення безперервного досвіду користувача.

5.2 Результати експерименту

У рамках експерименту було здійснено відповідні заміри використання енергії пристроєм із використанням методів оптимізації та без них. Результати експерименту продемонстровано на рисунках 5.1, 5.2, 5.3 і 5.4.

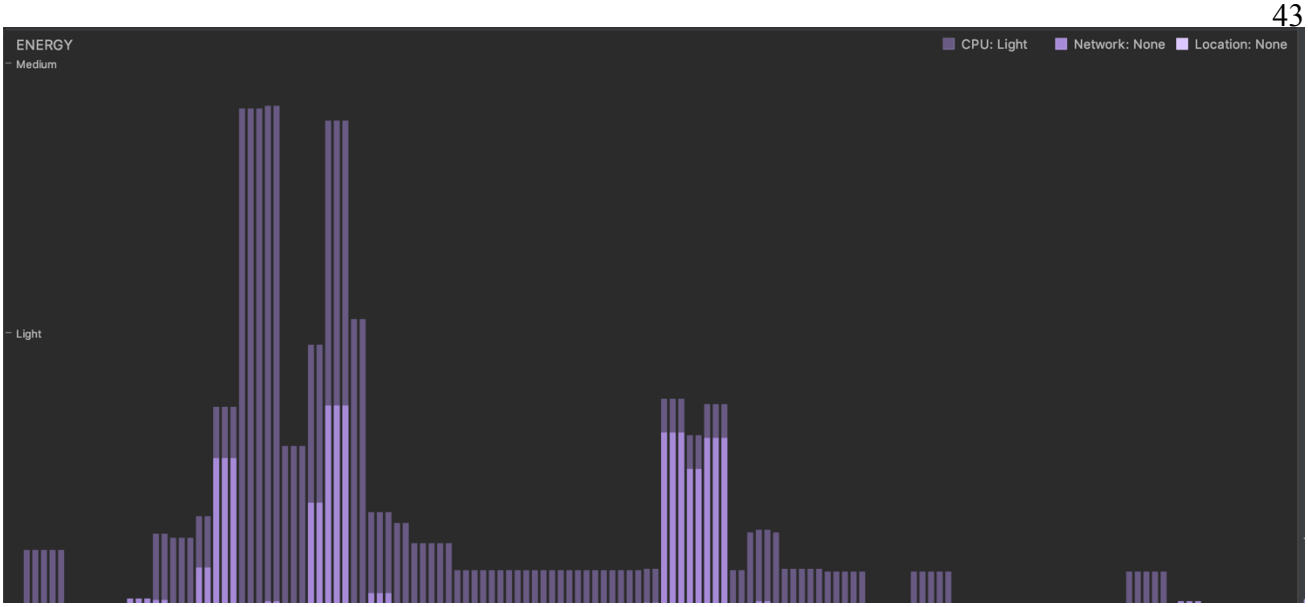


Рисунок 5.1 – Результат виконання сценарію ТС-1

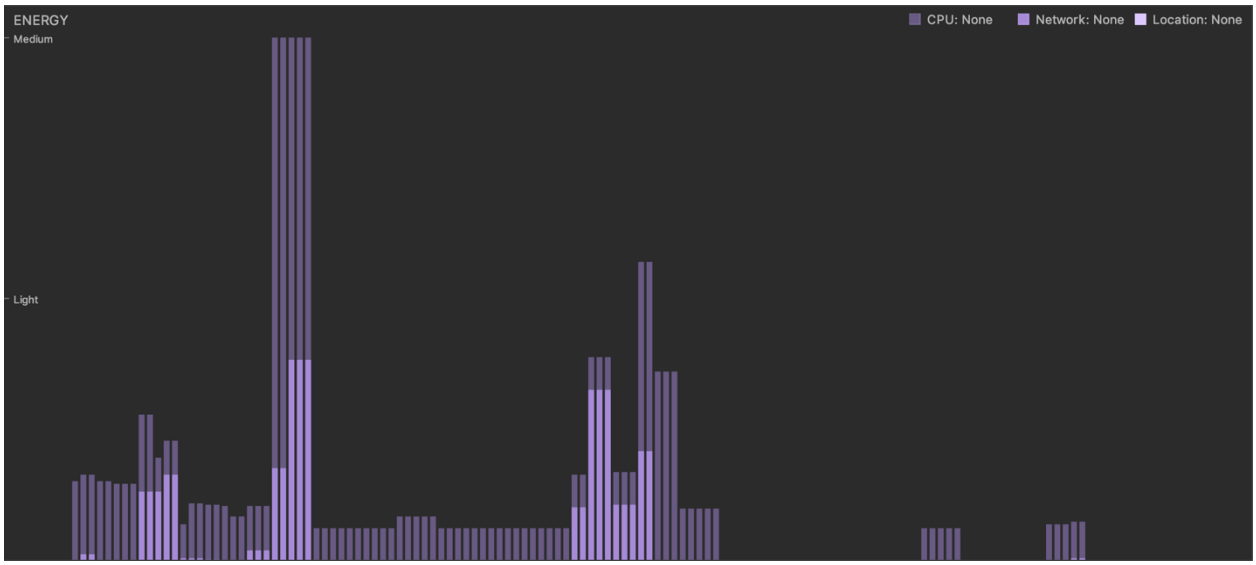


Рисунок 5.2 – Результат виконання сценарію ТС-2

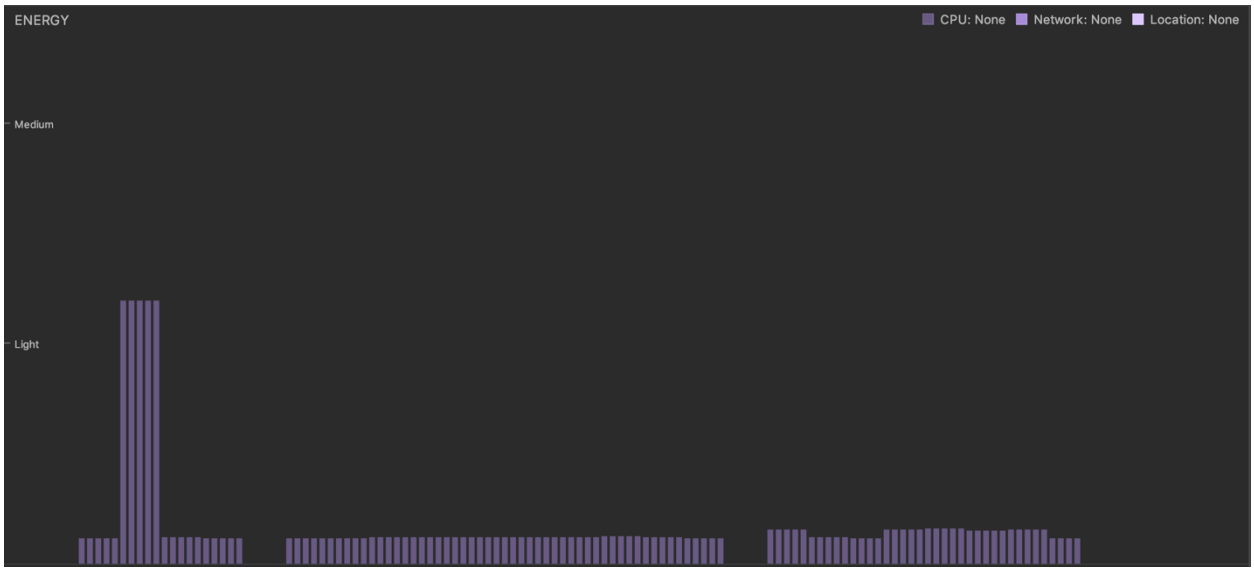


Рисунок 5.3 – Результат виконання сценарію ТС-3

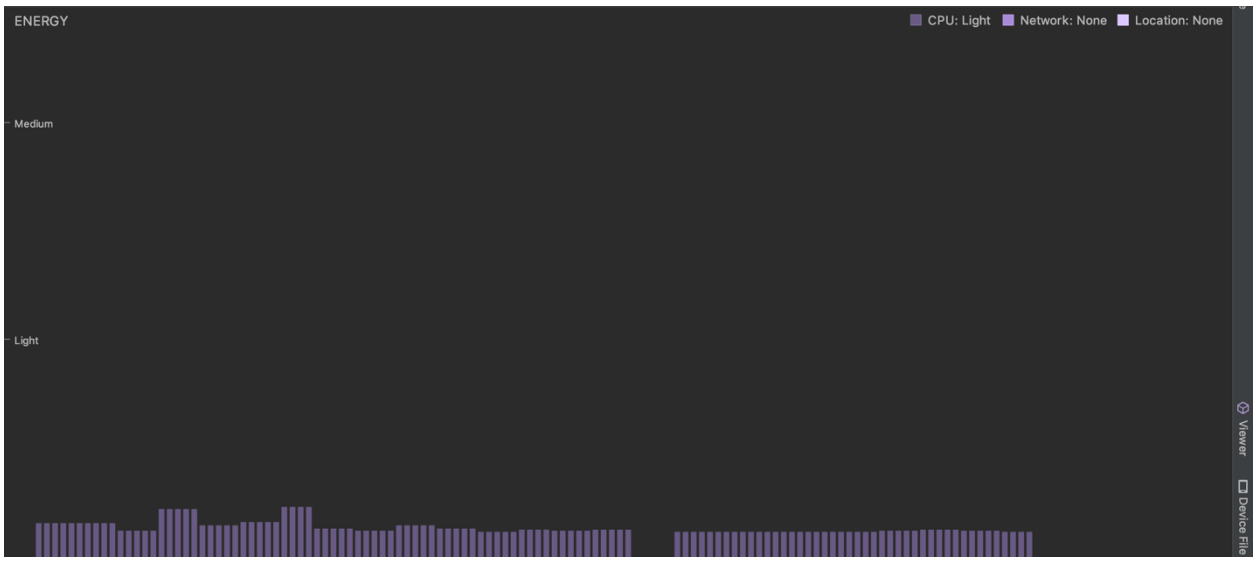


Рисунок 5.4 – Результат виконання сценарію ТС-4

Висновки до розділу

Було проведено експериментальне дослідження ефективності розробленого методу оптимізації передачі даних. Було здійснено виконання 4 тест-сценаріїв, у результаті яких було отримано ефективність витрачання енергії пристроєм при умовах використання неоптимізованого та оптимізованого методів.

Результати тестових сценаріїв ТС-1 і ТС-2 демонструють очікуваний скачок використання енергії. Результати ефективності подібні, проте за використання MPTCP скачок більший і загальне використання енергії менше, ніж за умови використання TCP. Таким чином експериманально продемонстровано доцільність використання Multipath TCP як оптимізації навантаження на пристрій у застосунках доповненої реальності.

Результати тестових сценаріїв ТС-3 і ТС-4 демонструють витрати енергії відповідно обсягам завантажуваного контенту. Таким чином, ресурси пристрою використовуються більш раціонально, а користувач застосунку отримує безперервний досвід користувача. Таким чином експериманально продемонстровано доцільність використання покращеного зменшення якості як оптимізації навантаження на пристрій у застосунках доповненої реальності.

6 БІЗНЕС-ПЛАН ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

У даному розділі описано ринок застосунків доповненої реальності, цінність розробленого програмного забезпечення і план практичного використання розробки.

6.1 Ринок застосунків доповненої реальності

Хоча жоден мобільний додаток AR не привернув такої уваги, як Pokémon GO [18], майбутнє додатків AR залишається світлим. І Google, і Apple представили інструменти, які дозволять розробникам створювати дивовижний мобільний досвід AR для сотень мільйонів користувачів Android та iOS. І все більше підприємств бачать цінність у надаванні мобільним користувачам доповненої версії світу.

Вищезгаданий Pokémon GO показав мільйонам користувачів, як реальний світ може перетворитися на ігровий простір. Один розробник пішов з цього приводу, створивши демонстраційний світ Super Mario AR [25] для пристрою Microsoft Hololens [14].

Платформи соціальних медіа незабаром потрапили на мобільну арену доповненої реальності. Один з найпопулярніших прикладів використання доповненої реальності у соціальних медіа – компанія Snapchat [24], яка ознайомила користувачів мобільних пристроїв зі своїми популярними фільтрами фотографій з використанням AR.

Насправді, нещодавнє опитування показало, що Snapchat – з його фільтрами для обличчя, – найкращий додатком на основі доповненої реальності у 2018 році.

Незабаром фільтри Snapchat почали використовувати компанії у контексті маркетингу власних брендів. Taco Bell [26] створив власний фільтр для Cinco de Mayo, який змінив обличчя користувача у гігантську оболонку тако. Фільтр мав успіх, за один день отримав понад 224 мільйони переглядів, середній користувач витратив на фільтр близько 24 секунд. У сучасному цифровому світі бренд, який

отримує 24 секунди безперебійного впливу користувачів у позитивному та веселому середовищі, є безцінним.

Тим часом Facebook [9] протягом останніх кількох років вкладає великі кошти в AR. Окрім ігрового досвіду, гігант соціальних медіа використовував AR, щоб допомогти рекламодавцям продавати свою продукцію в стрічці новин або на платформі Messenger.

Рисунок 6.1 – Приклад використання доповненої реальності у Facebook

Досвід роботи з доповненою реальністю в Facebook призначений для того, щоб користувачі могли практично спробувати модні аксесуари, косметику та інше, щоб допомогти користувачеві уявити, як він виглядає, використовуючи продукт, щоб вплинути на покупку.

Очікується, що ринок мобільних застосунків доповненої реальності швидко зростатиме протягом наступних кількох років. Snapchat та Facebook в даний час керують ринком реклами AR завдяки своєму агресивному накопиченню досвіду та моделей вимірювань. Однак завдяки платформам Apple і Google у менших компаній існує можливість здійснювати експерименти з

застосунками доповненої реальності достатньо легко і перевірити маркетингові гіпотези для власного бренду.

Бренди, які хочуть розробити довгострокові стратегії досвіду AR, потребують усунення розриву між новизною та корисністю. Компанії, які досягнуть успіху в рекламі AR, використовуватимуть доповнений досвід для задоволення конкретних потреб користувача в інформації, зручності та розвагах одночасно.

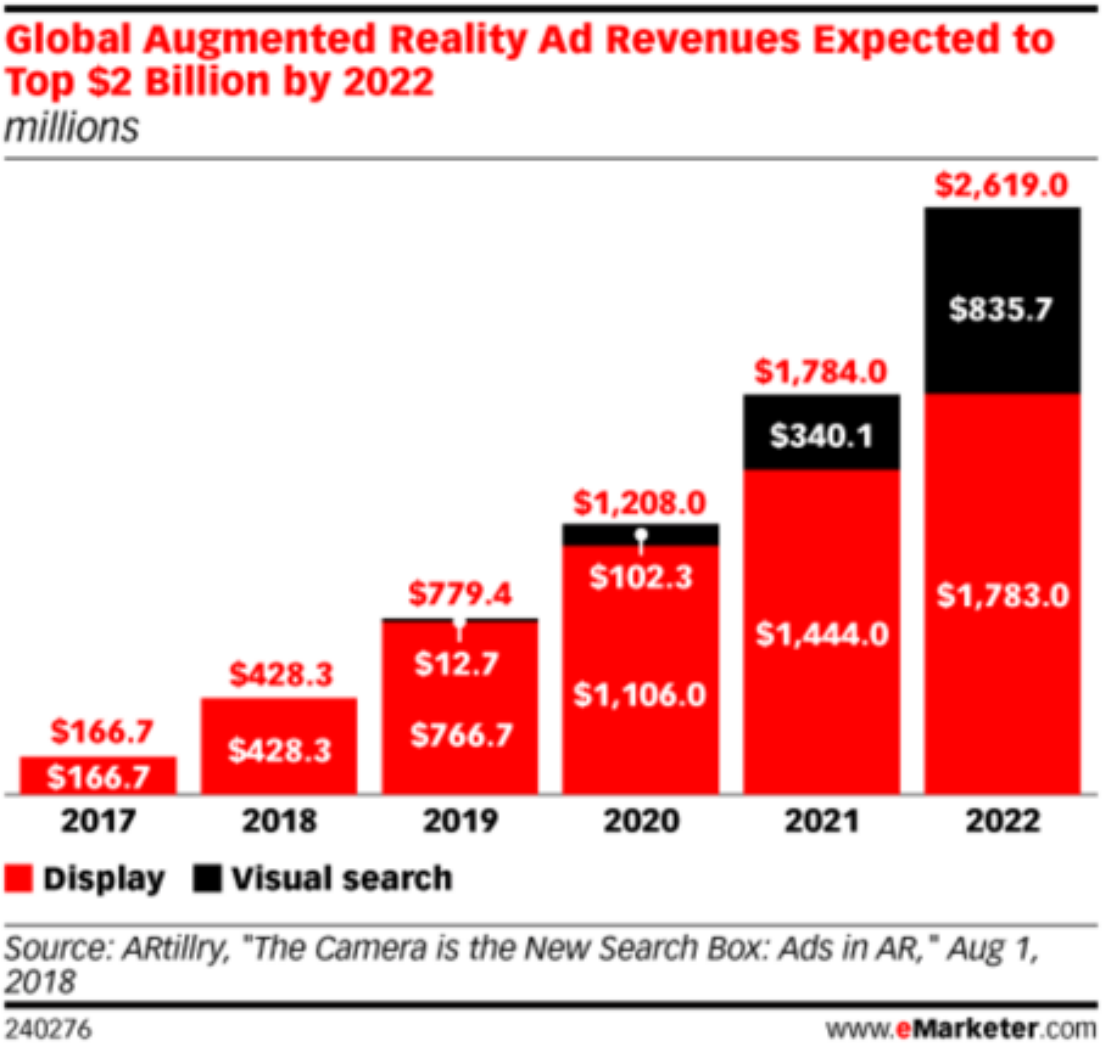


Рисунок 6.2 – Очікування розвитку ринку доповненої реальності

Окрім Snapchat та Facebook існують успішні кейси створення досвіду доповненої реальності. Додаток, спочатку побудований за допомогою технології ARKit Apple, дозволяє користувачеві розміщувати об'єкти IKEA в цифровому зображенні кімнати для створення нового середовища з новими продуктами.

Виробник фарб Dulux у Великобританії використовує AR, щоб допомогти користувачам зрозуміти, як будуть виглядати кольори фарби компанії у певному просторі.

Роздрібний дистриб'ютор компанії Lowe пропонує два додатки AR:

– measured - це одне з перших доступних, простих у використанні додатків, що використовують доповнену реальність для вимірювання об'єкта чи відстані в межах перегляду камери телефону;

– Envisioned by The Mine (компанія Lowe) слідує за лідерами IKEA і дозволяє користувачам переглядати високоякісні цифрові зображення меблів в масштабах будинку або комерційного приміщення.

Інші компанії, які успішно використовують додатки AR для стимулювання продажів, включають косметичну компанію Sephora та виробника висококласних годинників Rolex [15].

6.2 Стратегії впровадження розробки

Оптимізований метод передачі даних для застосунків доповненої реальності можна впровадити і монетизувати наступним чином:

– створити власний застосунок, що використовує розробку, і впроваджувати його на ринку застосунків доповненої реальності;

– продемонструвати розробку існуючим успішним компаніям, що використовують доповнену реальність;

– продемонструвати розробку існуючим успішним компаніям, які планують використовувати доповнену реальність;

– продавати технічне рішення як сервіс.

Створення власного застосунку, що використовує розробку, потребує найбільше зусиль і ресурсів серед перерахованих стратегій. Розробка продукту потребує власної ідеї, тривалої перевірки і відкидання маркетингових гіпотез, маркетингових досліджень цільової аудиторії, роботи технічної команди для створення MVP, маркетингового просування продукту і, звичайно, фінансування всіх вище перерахованих процесів. Ця стратегія є найбільш ризикованою, оскільки вимагає витрачання великої кількості коштів на власну розробку без

гарантії, що маркетингове дослідження було правильним, стан цільової аудиторії не зміниться на момент випуску продукту і продукт дійсно стане у нагоді користувачам і стане частиною їх повсякденного життя. Щодо технології AR, для створення застосунку, що буде використовуватися широко і постійно, потрібна дійсно потужна ідея і складне маркетингове дослідження: доросла аудиторія користувачів є консервативною до змін і технологій і не легко сприймає нові застосунки.

Стратегія продажу технології вже успішним AR-компаніям, таким як Snapchat або Facebook, потребує створення MVP власне технологічного рішення і роботи технічної команди над розробкою у форматі Research and Development до створення стабільного технологічного рішення. Реалізацію стратегії можливо здійснити двома шляхами:

– здійснити розробку MVP, що демонструє оптимізації, продемонструвати ефективність гіпотези тестами. Запропонувати ідею і MVP існуючій компанії, що використовує AR, запросити фінансування для розробки і подальшого виключного права використання технології для цієї компанії. Займатися розробкою до створення стабільного рішення, підтримувати технологічне рішення;

– здійснити розробку стабільного технологічного рішення, запропонувати готову технологію як сервіс із правом виключного використаня компанії, що вже успішно використовує AR, отримати фінансування за повну розробку або узгодити інші умови співпраці, наприклад, ексклюзивну підписку на сервіс. Займатися підтримкою технологічного рішення.

Стратегія продажу технології компаніям, які планують використовувати AR, дещо відрізняється від продажу технології вже успішним компаніям. Для втілення цієї стратегії потрібне маркетингове дослідження конкретної цільової компанії, її аудиторії, продуктів, потреб, для подальшого створення ідеї із використанням доповненої реальності для покращення ефективності цієї компанії. У результаті формування ідеї і створення прототипу доцільно запропонувати ідею представникам цільової компанії і у разі ухвалення

здійснити розробку індивідуального продукту для потреб компанії на основі аутсорсингової моделі разом із командою цільової компанії.

Продаж технологічного рішення як сервісу є розширеним засобом другої стратегії, проте одразу для декількох зацікавлених компаній і бізнесів. Такий підхід вимагає роботи технічної компанії над стабілізацією технології у форматі Research and Development і паралельної роботи маркетингової команди над пошуком загальних потреб розробників застосунків доповненої реальності для втілення їх у технології, розробки маркетингової кампанії для технології, втілення цієї кампанії. Технологічне рішення таким чином можливо продавати як сервіс на основі моделі підписки на використання і підтримки. Описана стратегія також є достатньо ризиковою, оскільки вимагає фінансування і достатньо складного маркетингового просування технологічного продукту.

Для вибору стратегії впровадження застосунку було здійснено порівняння запропонованих стратегій, результати порівняння наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Порівняння стратегій впровадження інноваційного продукту

№	Стратегія	Власні початкові інвестиції	Прибуток	Строк реалізації	Рівень ризику
1	Розробка власного продукту	Великі	Продажі застосунку, продажі реклами	6-8 місяців + постійна підтримка	Високий
2	Продаж технології існуючим комапніям	Середні	Разові продажі, можливий відсоток за використання або прибуток від підписки	3-6+ місяців + підтримка за контрактом	Середній

Продовження таблиці 6.1

№	Стратегія	Власні початкові інвестиції	Прибуток	Строк реалізації	Рівень ризику
3	Розробка AR-застосунку “під ключ” існуючій компанії	Малі	Разові продажі, можливий відсоток за використання	6+ місяців + підтримка за контрактом	Середній
4	Продаж технологічного рішення як сервісу	Великі	Прибуток від підписки використання	6+ місяців + постійна підтримка	Високий

Таким чином, стратегії 2 та 3 мають найменший ризик впровадження, оскільки потребують менше власних інвестицій і просування результату-застосунку стає відповідальністю компанії, якій було продано технологічне рішення. Стратегія 3 передбачає менший прибуток ніж стратегія 2, проте залежить від таргетової компанії. Надалі для стартап-проекту було обрано стратегію 3.

6.3 Опис ідеї стартап-проекту

Для реалізації стратегії 3 було обрано здійснити продаж технологічного рішення існуючій компанії як частину продукту “під ключ” на базі аутсорсингової моделі. Як таргетову компанію-користувача послуг було обрано компанію М., що займається описом турів закладами міста.

Продукт буде являти собою мобільний застосунок доповненої реальності з можливістю робити тури містом і всередені закладів у доповненій реальності. Тури, що пропонує застосунок, можна буде конфігурувати за допомогою

адміністративної веб-панелі, налаштовувати точки маршрутів, контент маршрутів у доповненій реальності.

Результати аналізу представлені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення мобільного застосунку доповненої реальності для туристичної компанії М. із використанням інноваційної розробки	1. Тури закладами міста	Зниження витрат на гідів та випуск поліграфічної продукції з турами для компанії М.
	2. Екскурсії всередені закладів	
	3. Інтерактивні квести містом	Екологічність рішення і PR на основі екологічності для компанії М.
	4. Інтерактивна взаємодія з туристичними об'єктами	Гейміфікація процесів
	5. Конфігурованість контенту	Розширення цільової аудиторії

На ринку існують аналоги систем, що використовують доповнену реальність для проведення турів, проте всі вони обмежуються появою об’єктів доповненої реальності на певному візуальному маркері, не пропонують доповнену реальність протягом всього досвіду користувача.

Доцільно провести аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів.

Результат аналізу у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Визначення характеристик ідеї продукту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів		Слабкі (W), нейтральні (N) та сильні (S) сторони		
Назва продукту	Travel with AR	AR Tour			
Операційна система	Android	Android		x	
Системні вимоги	Android 7.0+	Android 4.1+		x	
Мови програмування	Java	Java			x
Необхідність встановлення додаткового ПЗ	Необхідне встановлення ARCore	-			x

Системи-конкуренти працюють лише з вбудованими об’єктами і не мають клієнт-серверної взаємодії, коли проектована система буде мати можливість повністю конфігурувати тури і їх контент і буде застосовувати оптимізований метод передачі даних, завдяки якому навантаження на пристрій буде зменшено.

6.4 Технологічний аудит ідеї проекту

Для проведення технічного аудиту ідеї проекту, потрібно провести аудит технологій, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту. І для початку потрібно визначити можливість технологічної здійсненності проекту. Результат представлений у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології для реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення мобільного застосунку доповненої реальності для туристичної компанії М. із використанням інноваційної розробки	Мова програмування C#, фреймворк Unity, фреймворк AR Foundation, хмарне рішення Firebase Realtime Database	Наявні	Доступні на основі підписки

Обрані технології доступні, не потребують доробки, отримуються на основі підписки та частково безкоштовно та надають усі необхідні можливості для реалізації поставленої задачі.

6.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Для цього спочатку проводиться аналіз попиту (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Загальна потреба в продукції	Продукцію бажано реалізувати
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	До 100 000 завантажень застосунку на платформах iOS і Android
Ціна одиниці продукції	Безкоштовно, здійснюється оплата за вбудовані тури
Річні обсяги випуску в вартісних показниках	До $100 000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Пристрої, що підтримують AR, вікові обмеження
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні, проте бажано мати сертифікацію ISO 9001 для компанії розробника
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	80%

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Потенційним клієнтом є таргетова компанія М., потреба якої полягає у організації турів закладами міста.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Результати представлені у таблицях 6.6 та 6.7 відповідно.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 6.9) - за моделлю п’яти сил М. Портера, яка

вирізняє п’ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції:

– конкурент, що вже є у галузі;

– потенційні конкуренти;

– наявність товарів-замінників;

– постачальники, що конкурують за ринкову владу;

– споживачі, які конкурують за ринкову владу.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Поява конкурентів	Можлива поява конкурентів, які спроможуться створити повний продукт. Можлива поява більш дешевих продуктів.	Зменшення ціни з підвищенням якості при цьому, розробка удосконалень, розширення функціоналу, розробка нових маркетинг-проектів.
Зміни тенденцій ринку	Можлива ситуація, в якій з’явиться більш досконала програмна система від конкурентів, які значно довше на ринку.	Розробка нових сучасних необхідних удосконалень, тобто додання або заміна старого функціоналу на можливості розрахунку нових параметрів.
Зниження репутації компанії	Можлива ситуація, коли конкуренти спроможуться на більший попит.	Зміна партнерів, заключення нових контрактів, проведення рекламних та промо-акцій.
Економічний спад	Відсутність попиту на товар компанії через економічну складову.	Збільшення обсягів продажів, зменшення ціни; зміна цільової аудиторії.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Невелика кількість конкурентів	На ринку на сьогоднішній день значна кількість конкурентів, проте їх програмні продукти в переважній більшості вузько спеціалізовані, мають іншу локалізацію та не мають функціоналу проектованої системи.	Розповсюджувати створений продукт, розвивати його можливості.
Відповідні тенденції ринку	IT-ринок на сьогоднішній день потребує, а відповідно і надає всі можливості для впровадження систем, які надаватимуть користувачам можливість створення турів в доповненій реальності.	Розповсюджувати створений продукт, розвивати його можливості, додавати новий функціонал.
Можливість побудови власної репутації	Новий «гравець» на ринку має всі можливості для побудови власної репутації з «чистого листка»	Пошук замовників, можливих покупців створеного продукту, розширення бази замовників. Зарекомендувати себе, як надійну компанію. Можливо на вигідних умовах співпраці.

Надалі проводиться аналіз пропозиції – визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 6.8): визначаються тип можливої майбутньої конкуренції та її інтенсивність, рівень конкурентоспроможності за рівнем конкурентної боротьби, видами товарів і галузевою ознакою.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
Тип конкуренції	Залежить від кількості конкурентів та якості надання ними послуг у порівнянні за послугами компанії.	Покращення власного продукту через зниження ціни та підвищення якості.
За рівнем конкурентної боротьби	Локальна конкуренція на вітчизняному ринку, світова конкуренція.	На світовому ринку існують конкуренти, більшість з яких не має подібного функціоналу реалізованим. Перспектива – вихід на міжнародний рівень.
За галузевою ознакою	Загальногалузева Продукт може бути використаний у різних сферах діяльності	Є можливість розширювати використання проектованого застосунку і інноваційного продукту у будь-яких сферах, де застосовується доповнена реальність.

Продовження таблиці 6.8

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
Конкуренція за видами товарів	Марки-конкуренти Створений товар може мати конкурентів, які пропонують аналогічний товар	Зниження ціни, розширення функцій
За характером конкурентних переваг	Цінова Важливо за скільки продається товар, та скільки з нього прибутку	Можливе підвищення ціни на новий функціонал, зниження ціни на старі версії підписки для заохочення покупців у порівнянні з цінами конкурентів.
За інтенсивністю	Марочна Можуть з’являтись конкуренти.	При виході на ринок потрібно рекламувати кращий функціонал створеного продукту, встановлювати конкурентоспроможні ціни, та доводити свою надійність.

На основі аналізу конкуренції, проведеного у таблиці 6.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 6.2) та факторів маркетингового середовища (таблиці 6.6 і 6.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблицею 6.9, обґрунтування факторів за таблицею 6.10.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти	Товари замінники
Складові галузі	Розробники аналогічних систем	Кращі продукти, менші ціни	Має найбільше значення. Більш важлива постійна співпраця, ніж кількість	Відсутні. Є лише конкуренти аналогічних розробок
Висновки	Інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів незначна	Наявні усі можливості входу на ринок. Потенційні конкуренти не виявлені	Є таргетовий клієнт М., з яким потрібно тісно співпрацювати у довгостроковій перспективі	Немає обмежень

Таблиця 6.10 – Обгрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обгрунтування
Невелика кількість конкурентів на ринку	На світовому ринку немає конкурентів, що має запропонований функціонал, є достатньо далекі аналоги.
Доступність створеного продукту (програмно)	Кращі системні можливості забезпечать швидші та більш точні результати.

Продовження таблиці 6.10

Фактор конкурентоспроможності	Обгрунтування
Легкість і простота використання	Простий зрозумілий інтерфейс, створені довідка та інструкція для користувача.
Підключення до мережі Інтернет	Є потреба у підключенні до Інтернет.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (Strength, Weak, Opportunities, Troubles) (таблиця 6.11) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 6.11 – SWOT-аналіз проекту

Сильні сторони (S): - невелика кількість виконавців; - невелика кількість працівників; - гнучкий устрій команди; - відсутність функціоналу у конкурентів; - інноваційні технології.	Слабкі сторони (W): - брак контент-менеджменту; - недостатньо оборотних коштів; - відсутність репутації компанії; - розробка під одного клієнта.
Можливості (O): - додаткові послуги; - вихід на нові ринки; - розширення клієнтської бази; - співробітництво з іншими компаніями.	Загрози (T): - поява нових конкурентів; - небажання працювати з компанією-розробником; - зміни тенденцій попиту; - зниження репутації компанії.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний

оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 6.12).

Таблиця 6.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Реалізація власного продукту	Пошук інвесторів	6-8+ місяців, збільшення команди і початкових інвестицій.
Реалізація технології як сервісу	Пошук інвесторів	6+ місяців, збільшення команди і початкових інвестицій.
Продаж технології існуючим AR компаніям	Зміна таргетингу	3-6+ місяців, зміна таргетингу.

Спочатку необхідно вивести на основний ринок розроблену систему, а вже потім шукати можливості розширення програмного функціоналу для користувачів.

6.6 Розроблення ринкової стратегії

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, які визначені у таблиці 6.13. Описано потенційних клієнтів застосунку, який буде розроблено для таргетингової компанії М.

Таблиця 6.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в сегменті	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Туристи	Потребують	Попит є	Присутня	Помірно
Працівники музеїв	Потребують	Попит є	Незначна	Помірно
Міське самоврядування	Потребують	Попит є	Відсутня	Помірно

Оскільки всі вказані складові цільової аудиторії вже є клієнтами компанії М., завданням компанії-розробника, що буде здійснювати імплементацію проектованої системи, є завдання якнайкраще дослідити цільову аудиторію компанії М. У рамках цієї стратегії не потрібний масовий маркетинг, потрібні прямі продажі компанії М., яка в свій час буде здійснювати масовий маркетинг.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, яка визначається у таблиці 6.14.

Вибір стратегії конкурентної поведінки визначається у таблиці 6.15.

Таблиця 6.14 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Співпраця з компанією М.	Стратегія спеціалізації	Надання товару відмінних якостей, які роблять систему особливою на фоні аналогічних розробок, і тим самим роблять більш конкурентною компанію М.	Стратегія спеціалізації
Вихід на нові ринки (інші галузі, де застосовується AR)	Стратегія спеціалізації	Створення подібних продуктів для інших компаній	Стратегія спеціалізації

Таблиця 6.15 – Визначення базової конкурентної поведінки

Чи є проект «першопроходцем» на ринку	Так, на світовому.
Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Ні на першому етапі розвитку.
Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Так, успішні моделі організації досвіду користувача в AR.

Продовження таблиці 6.15

Стратегія конкурентної поведінки	Стратегія захвату ринкової ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 6.16), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку або проект.

Таблиця 6.16 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Доступна ціна, простота і зручність використання, універсальність	Стратегія спеціалізації	Вирішення важливих поставлених задач швидко, легко та зрозуміло навіть без інструкцій. Легкість і простота у використанні. Доступність через ціну та технічні характеристики	– стандарти якості – метрики ПЗ – ASQAS - automated system of quality assessment software

Результатом є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначатиме напрями роботи стартап-компанії на ринку.

Отже, робота стартап-компанії на ринку повинна бути спланована орієнтовано таким чином: за стратегією спеціалізації виконаний і буде поширюватись товар відмінний за властивостями від своїх аналогів, дотримуючись у конкурентній поведінці стратегії захвату ринкової ніші.

Далі наведенарозроблена трирівнева маркетингова модель товару: уточняються ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 6.18).

6.7 Розробка маркетингової програми стартап проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.17 підсумовані результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Оцінка якості ПП	Розширення цільової аудиторії таргетингової компанії М., зменшення витрат на іншу продукцію, що випускає компанія М., модернізація форматів проведення турів.	Можливість створення турів містом з будь-яким користувацьким контентом, безперебійний досвід AR, робота AR у приміщенні, інтерактивність, гейміфікація досвіду екскурсій.

Таблиця 6.18 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
Товар за задумом	Створення турів містом з декількох точок маршруту у доповненій реальності. Здійснення інтерактивної взаємодії з користувачем у доповненій реальності. Створення екскурсій у доповненій реальності у закладах. Конфігурація екскурсій і турів онлайн. Оновлення контенту турів у реальному часі.
Реалізований товар	Реалізовано створення турів містом з декількох точок маршруту у доповненій реальності. Реалізовано здійснення інтерактивної взаємодії з користувачем у доповненій реальності. Реалізовано створення екскурсій у доповненій реальності у закладах. Реалізовано конфігурацію екскурсій і турів онлайн. Реалізовано оновлення контенту турів у реальному часі.
	Якість: тестування пройшло задовільно
	До продажу: застосунок AR-екскурсій із покращенним методом передачі даних, конфігурацією маршрутів для компанії М.
	Після продажу: розширення контенту, створення нових маршрутів і екскурсій.

Визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, передбачає оцінку вартості робіт командою, що буде реалізовувати продукт, аналіз рівню доходів таргетингової компанії.

Таблиця 6.19 – Визначення меж встановлення ціни

Собівартість розробки	Рівень доходів компанії М.	Верхня та нижня межі встановлення ціни
$100000	$150000/рік	$120000-300000

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 6.20): проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників, вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту, вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 6.20 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Отримання прибутку з закладів, які включають в тури, оплата турів клієнтами	Високий рівень сервісу у закладах	Нульовий рівень: тільки виробник	Вертикальна маркетингова система

Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів компанії М. (таблиця 6.21).

Таблиця 6.21 – Концепція маркетингових комунікацій компанії М.

Поведінка цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
Бажання отримати більше за менші гроші	Будь-які, але бажано з великою кількістю візуального контенту	Низька ціна Широкий вибір функціоналу Легкий і простий у використанні та інтеграції продукт	Донести до користувача суть продукту, його якість, та залучити якомога більше зацікавлених клієнтів

Висновки до розділу

Ринок застосунків доповненої реальності демонструє позитивну динаміку, існують великі конкуренти на ринку, які успішно зайняли свої ніші у застосуванні доповненої реальності, як-от Snapchat та Facebook.

Розроблений інноваційний метод передачі даних у застосунках доповненої реальності можливо реалізувати чотирма описаними шляхами: розробка власного продукту із використанням методу, продаж методу компаніям-гігантам в індустрії, продаж методу разом з аутсорсом продукту для відомої компанії, яка може впровадити AR, а також продаж технології як сервісу на основі підписки. У результаті аналізу ризиків було обрано стратегію розробки продукту-застосунку доповненої реальності із використанням розробленого методу для компанії М., яка займається створенням турів закладами міст на міжнародному рівні.

Було описано маркетингову стратегію роботи з компанією М., оцінено ризики, конкурентне середовище тощо. Маркетингове дослідження демонструє позитивне становище стартап-проекту.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було оптимізовано методи передачі даних для застосунків, що використовують доповнену реальність.

Було досліджено природу даних, які передаються у застосунках доповненої реальності шляхом клієнт-серверної взаємодії. Було досліджено існуючі методи передачі даних у застосунках доповненої реальності та проаналізовано їх переваги та недоліки. Серед існуючих протоколів існує ряд мережевих протоколів, що можна використовувати для покращення передачі даних у застосунках доповненої реальності.

Було розглянуто теоретичні оптимізації, які могли б бути застосовані у протоколі передачі даних для застосунків доповненої реальності. Було виявлено, що основні пракатичні дії, які можна здійснити для оптимізації передачі даних, – це класифікований трафік; справедливість до інших підключень; низька затримка та відмовостійкість; багатошляховість; розподіленість або напіврозподіленість інфраструктури; безпека з точки зору конфіденційності користувачів.

На основі теоретичних досліджень було створено модель оптимізованої передачі даних для застосунків доповненої реальності. Було вирішено оптимізувати передачу даних шляхом використання багатошляхового підключення та покращеного зниження якості послуг у рамках низької затримкаи та відмовостійкості.

Було розроблено програмне забезпечення, яке використовує створену модель оптимізованої передачі. Програмне забезпечення використовує клієнт-серверну архітектуру, у якості сервреного застосування використовується Firebase, у якості клієнта – кросплатформений застосунок доповненої реальності, створений за допомогою Unity і AR Foundation.

Було здійснено порівняння результатів реалізованої моделі із існуючими засобами передачі даних для застосунків доповненої реальності. Було експериментально продемонстровано ефективність розроблених оптимізацій для

зменшення навантаження на пристрій у застосунку доповненої реальності. Оптимізації можна використовувати у якості основи протоколу передачі даних для застосунків доповненої реальності.

Було запропоновано декілька стратегій впровадження інноваційного продукту і детально розроблено стратегію впровадження продукту як частини програмного забезпечення “під ключ” для існуючої компанії.

Оптимального рішення мережевого протоколу для мобільних програм AR наразі не існує. Що стосується мережевої інфраструктури, то більшість сучасних архітектур представляють пропускну здатність та затримки значно нижче мінімальних вимог для застосування програм із використанням AR. Мережі 5G можуть забезпечити значне тимчасове поліпшення, поки використання технології AR не досягне лімітів мереж 5G і раптового підвищення використовуваних ресурсів. Більше того, комерційне розгортання мереж 5G не планується до 2022 року. Тому вимоги до додатків перевищуватимуть мережі 5G до 2025 року, а наступне покоління не стане реальністю до 2030 року.

Навіть якщо новіших технологій може бути недостатньо для розвантаження у найважливіших програмах, що використовують AR, було розглянуто декілька засобів щодо того, як максимально наблизитись до потреб застосунків, приділяючи особливу увагу доповненій реальності. Нинішні та майбутні бездротові мережі навряд чи зможуть протистояти кількості трафіку, викликаного розвантаженням AR.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1) Android Profiler [Електронний ресурс]: (Стаття) / Android Developers. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developer.android.com/studio/profile/android-profiler
2) ARCore [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google Developers. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developers.google.com/ar
3) AR Foundation [Електронний ресурс]: (Стаття) / Unity. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://unity.com/ru/unity/features/arfoundation
4) ARKit [Електронний ресурс]: (Стаття) / Apple. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://developer.apple.com/augmented-reality/
5) Augmented Reality [Електронний ресурс]: (Стаття) / Netguru. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.netguru.com/blog/augmented-reality-mobile-android – Назва з екрана.
6) Cisco [Електронний ресурс]: (Стаття) / Cisco. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.cisco.com/c/ru_ua/index.html
7) DCCP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc6773
8) Distributed Application Architecture [Електронний ресурс]: (Стаття) / Sun Microsystem. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://web.archive.org/web/20110406121920/http://java.sun.com/developer/Books/jdbc/ch07.pdf
9) Facebook [Електронний ресурс]: (Стаття) / Facebook. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.facebook.com

10) Firebase Realtime Database [Електронний ресурс]: (Стаття) / Firebase. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://firebase.google.com/docs/database
11) Future Networking Challenges [Електронний ресурс]: (Стаття) / CSE. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.cse.ust.hk/~panhui/papers/future-networking-challenges_CameraReady.pdf – Назва з екрана.
12) GPS: Global Positioning System (or Navstar Global Positioning System) Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard, Section B.3, Abbreviations and Acronyms. Archived April 27, 2017, at the Wayback Machine
13) HTTP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc7231
14) Microsoft Hololens [Електронний ресурс]: (Стаття) / Microsoft. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.microsoft.com/ru-ru/hololens
15) Mobile Augmented Reality in 2019 [Електронний ресурс]: (Стаття) / Medium. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://medium.com/@the_manifest/mobile-augmented-reality-in-2019-6a4f687f900
16) MPEG-TS [Електронний ресурс]: (Стаття) / Web Archive. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://web.archive.org/web/20080726181029/http://www.chiariglione.org/mpeg/faq/mp2-sys/mp2-sys.htm
17) MPTCP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc6824
18) Pokemon Go [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google Play Market. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nianticlabs.pokemongo&hl=ru

19) QUIC [Електронний ресурс]: (Стаття) / Web archive. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://web.archive.org/web/20131002201320/https://src.chromium.org/chrome/trunk/src/net/quic/
20) R. Azuma, A Survey of Augmented Reality Presence: Teleoperators and Virtual Environments, pp. 355—385, August 1997.
21) RSVP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc2205
22) RTP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc3550
23) SCTP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc4960
24) Snapchat [Електронний ресурс]: (Стаття) / Snapchat. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.snapchat.com
25) Super Mario AR [Електронний ресурс]: (Стаття) / Time. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://time.com/4830499/super-mario-bros-augmented-reality/
26) Taco Bell [Електронний ресурс]: (Стаття) / Taco Bell. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://www.tacobell.com
27) TCP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc793
28) TLS [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc6176
29) UDP [Електронний ресурс]: (Стаття) / IETF. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://tools.ietf.org/html/rfc768
30) Unity [Електронний ресурс]: (Стаття) / Unity. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://unity.com
31) Класифікація засобів модульної взаємодії між клієнтом і сервером [Електронний ресурс]: (Стаття) / LP. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу:

http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/12238/1/17_КЛАСИФІКАЦІЯ%20ЗАСОБІВ.pdf – Назва з екрана.

32) Клієнт-серверна архітектура та ролі серверів [Електронний ресурс]: (Стаття) / Medium. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: https://medium.com/@IvanZmerzlyi/клієнт-серверна-архітектура-та-ролі-серверів-9893d8048229 – Назва з екрана.

ДОДАТОК А ОПИС ПРОГРАМИ

Опис сервісу AuthService.cs

```
using System;

using Firebase.Auth;

using UniRx;

using UnityEngine;

namespace Core.Firebase
{
   [DefaultExecutionOrder(-200)]
   public class AuthService : MonoBehaviour
   {
      private FirebaseAuth _auth;

      public BehaviorSubject<FirebaseUser> User { get; } = new
BehaviorSubject<FirebaseUser>(null);

      public static AuthService Instance { get; private set; }

      private void Awake()
      {
         if(Instance == null)
         {
            Instance = this;
            DontDestroyOnLoad(gameObject);
            SetupFirebase();
```

```
    }
    else if(Instance != this)
    {
        Destroy(gameObject);
    }
}

private void OnDestroy()
{
    User.Dispose();
}

private void SetupFirebase()
{
    _auth = FirebaseAuth.DefaultInstance;
    Observable.FromEvent<EventHandler, FirebaseUser>(
            h => (sender, args) => h(AuthUserConversion()),
            h => _auth.StateChanged += h,
            h => _auth.StateChanged -= h)
        .Subscribe(User);
}

private FirebaseUser AuthUserConversion()
{
    if(_auth.CurrentUser == null && User.Value == null)
    {
        Debug.Log("Start anonymous authorization");
        SignInAnonymously();
    }
    // On auth state change
```

```
        else if(_auth.CurrentUser != null)
        {
            Debug.Log($"Signed in {_auth.CurrentUser.UserId} {_auth.CurrentUser.Email}\n" +
                $"Method: {_auth.CurrentUser.ProviderId}");
        }

        return _auth.CurrentUser;
    }

    /// <summary>
    /// Starts Firebase sign up with email. If account anonymous, links user id with email and change update creds
    /// </summary>
    /// <param name="username"></param>
    /// <param name="email"></param>
    /// <param name="password"></param>
    public IObservable<Unit> SignUpEmail(string username, string email, string password)
    {
        var profile = new UserProfile
        {
            DisplayName = username
        };

        if(User.Value != null)
        {
            var credential = EmailAuthProvider.GetCredential(email, password);
            return User.Value.LinkWithCredentialAsync(credential)
                .ToObservable()
```

```
            .SelectMany(_ => ChangeCredential(credential))
            .SelectMany(_ => UpdateUserProfile(profile))
            .ObserveOnMainThread()
            .Do(
                _ => Debug.Log("Credentials successfully linked"),
                e => Debug.LogError($"Link email error: {e}")
            );
        }

        return _auth.CreateUserWithEmailAndPasswordAsync(email, password)
            .ToObservable()
            .SelectMany(user => UpdateUserProfile(profile))
            .ObserveOnMainThread()
            .Do(
                _ => Debug.Log("User successfully created"),
                e => Debug.LogError($"Sign up with email error: {e}")
            );
    }

    /// <summary>
    /// Starts user sign in
    /// </summary>
    /// <param name="email"></param>
    /// <param name="password"></param>
    /// <returns></returns>
    public Iobservable<Unit> SignIn(string email, string password)
    {
        var credential = EmailAuthProvider.GetCredential(email, password);
        return _auth.SignInWithCredentialAsync(credential)
            .ToObservable()
```

```
            .ObserveOnMainThread()
            .Do(
                user => Debug.Log($"User signed in with email successfully: {user.DisplayName} ({user.UserId})"),
                e => Debug.LogError($"Sign in error: {e}")
            ).Select(_ => Unit.Default);
        }

        /// <summary>
        /// Signs out user
        /// </summary>
        public void SignOut()
        {
            _auth.SignOut();
        }

        /// <summary>
        /// Starts sign in user anonymously in background
        /// </summary>
        private void SignInAnonymously()
        {
            _auth.SignInAnonymouslyAsync()
                .ToObservable()
                .Subscribe(
                    user => Debug.Log($"User signed in anonymously successfully: ({user.UserId})"),
                    e => Debug.LogError($"Link email error: {e}")
                );
        }
```

```
/// <summary>
/// Signs out user and sign in with new credentials. Required for anonymous account upgrading.
/// </summary>
/// <param name="credential">Credentials for user authentication.</param>
/// <returns></returns>
private Iobservable<FirebaseUser> ChangeCredential(Credential credential)
{
    _auth.SignOut();
    return _auth.SignInWithCredentialAsync(credential)
        .ToObservable()
        .Do(
            user => Debug.Log($"Successfully change sign in for user {user.UserId}"),
            e => Debug.LogError($"Change credential error: {e}")
        );
}

/// <summary>
/// Updates Firebase user profile.
/// </summary>
/// <param name="profile">New profile.</param>
/// <returns></returns>
private Iobservable<Unit> UpdateUserProfile(UserProfile profile)
{
    return User.Value.UpdateUserProfileAsync(profile)
        .ToObservable()
        .Do(
            _ => Debug.Log("Successfully updated profile"),
            e => Debug.LogError($"Update profile error: {e}")
```

```
            );
        }
    }
}
```

Опис сервісу DataFetchService

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;

using Core.Models;

using Firebase;
using Firebase.Database;
using Firebase.Unity.Editor;

using Newtonsoft.Json;
using Newtonsoft.Json.Converters;

using UniRx;

using UnityEngine;

namespace Core.Firebase
{
    [DefaultExecutionOrder(-200)]
    public class DataFetchService : MonoBehaviour
    {
        private const string FirebaseDatabaseUrl = “https://pumpelpitz-
3b035.firebaseio.com/”;
```

```
private DatabaseReference _routeReference;

public static DataFetchService Instance { get; private set; }

private Iobservable<List<Route>> _routes;
private Iobservable<List<WorldEvent>> _markers;

private static readonly JsonConverter DateConverter = new IsoDateTimeConverter
    { DateTimeFormat = “dd-MM-yyyy” };

private void Awake()
{
    if(Instance == null)
    {
        Instance = this;
        DontDestroyOnLoad(gameObject);
        SetupFirebase();
    }
    else if(Instance != this)
    {
        Destroy(gameObject);
    }
}

private void SetupFirebase()
{
    FirebaseApp.DefaultInstance.SetEditorDatabaseUrl(FirebaseDatabaseUrl);
```

```
    _routes = CreateTrackableCollection<Route>("routes");
    _markers = CreateTrackableCollection<WorldEvent>("markers");
}


public Iobservable<List<Route>> GetRoutes()
{
    return _routes;
}

public Iobservable<List<WorldEvent>> LoadMarkers()
{
    return _markers;
}

public Iobservable<Unit> CreateRoute(Route route)
{
    return CreateResource("routes", route)
        .Select(r => new WorldEvent
        {
            RouteId = r.Id,
            IconUrl = r.IconUrl,
            LatLong = r.InteractionPoints.First().LatLong,
            Type = WorldEventType.Route
        }).SelectMany(m => CreateResource("markers", m))
        .Select(_ => Unit.Default).ObserveOnMainThread();
}

public Iobservable<bool> ProfileExists(string userId)
{
```

```
        return ResourceExists("profiles", userId);
    }

    public Iobservable<PlayerProfile> EnsureProfileCreated(string userId)
    {
        return EnsureCreatedResource("profiles", new PlayerProfile { Id = userId
});
    }

    public Iobservable<PlayerProfile> LoadProfile(string userId)
    {
        return DownloadResource<PlayerProfile>("profiles", userId);
    }

    public Iobservable<Route> LoadRoute(string id)
    {
        return DownloadResource<Route>("routes", id);
    }

    public Iobservable<GameInteraction> LoadGame(string id)
    {
        return DownloadResource<GameInteraction>("games", id);
    }

    public Iobservable<TextInteraction> LoadText(string id)
    {
        return DownloadResource<TextInteraction>("texts", id);
    }

    public Iobservable<ImageInteraction> LoadImageInteraction(string id)
```

```
{
    return DownloadResource<ImageInteraction>("images", id);
}

public Iobservable<VideoInteraction> LoadVideoInteraction(string id)
{
    return DownloadResource<VideoInteraction>("videos", id);
}

private static Iobservable<bool> ResourceExists(string basePath, string id)
{
    var path = $"{basePath}/{id}";
    return FirebaseDatabase.DefaultInstance
        .GetReference(path)
        .GetValueAsync()
        .ToObservable()
        .Select(snapshot => snapshot.Exists)
        .ObserveOnMainThread();
}

private static Iobservable<T> EnsureCreatedResource<T>(string basePath, T
resource) where T : FirebaseObject
{
    var path = $"{basePath}/{resource.Id}";
    return FirebaseDatabase.DefaultInstance
        .GetReference(path)
        .GetValueAsync()
        .ToObservable()
        .SelectMany(snapshot => CreateOrLoadSnapshot(snapshot, path,
resource))
```

```
            .ObserveOnMainThread();
        }

        private static Iobservable<T> CreateResource<T>(string path, T resource)
where T : FirebaseObject
        {
            var json = JsonConvert.SerializeObject(resource, DateConverter);
            var reference = FirebaseDatabase.DefaultInstance.GetReference(path);
            var key = reference.Push().Key;
            resource.Id = key;

            return reference.Child(key)
                .SetRawJsonValueAsync(json)
                .ToObservable()
                .Select(_ => resource);
        }

        private static Iobservable<T> CreateOrLoadSnapshot<T>(DataSnapshot
snapshot, string path, T resource)
            where T : FirebaseObject
        {
            if(snapshot.Exists)
            {
                var existedResource =
JsonConvert.DeserializeObject<T>(snapshot.GetRawJsonValue(), DateConverter);
                existedResource.Id = resource.Id;
                return Observable.Return(existedResource);
            }

            var json = JsonConvert.SerializeObject(resource, DateConverter);
```

```
        return FirebaseDatabase.DefaultInstance
            .GetReference(path)
            .SetRawJsonValueAsync(json)
            .ToObservable()
            .Select(_ => resource);
    }

    private static Iobservable<T> DownloadResource<T>(string basePath, string
id) where T : FirebaseObject
    {
        var path = $"{basePath}/{id}";
        return FirebaseDatabase.DefaultInstance
            .GetReference(path)
            .GetValueAsync()
            .ToObservable()
            .Select(snapshot =>
            {
                var                                resource                                =
JsonConvert.DeserializeObject<T>(snapshot.GetRawJsonValue(), DateConverter);
                resource.Id = id;
                return resource;
            })
            .ObserveOnMainThread();
    }

    private static Iobservable<List<T>> CreateTrackableCollection<T>(string
path) where T : FirebaseObject
    {
        var reference = FirebaseDatabase.DefaultInstance.GetReference(path);
```

```
var collection =
Observable.FromEvent<EventHandler<ValueChangedEventArgs>, List<T>>(
    h => (sender, args) => h(FirebaseListConversion<T>(args.Snapshot)),
    h => reference.ValueChanged += h,
    h => reference.ValueChanged -= h).Replay().RefCount();

return collection;
}

private static List<T> FirebaseListConversion<T>(DataSnapshot snapshot)
where T : FirebaseObject
{
    if(!snapshot.Exists || !snapshot.HasChildren)
    {
        return new List<T>();
    }

    var json = snapshot.GetRawJsonValue();
    return JsonConvert.DeserializeObject<Dictionary<string, T>>(json,
DateConverter)
        .Select(kv =>
        {
            kv.Value.Id = kv.Key;
            return kv.Value;
        }).ToList();
}
  }
}
```

Опис сервісу ProfileService

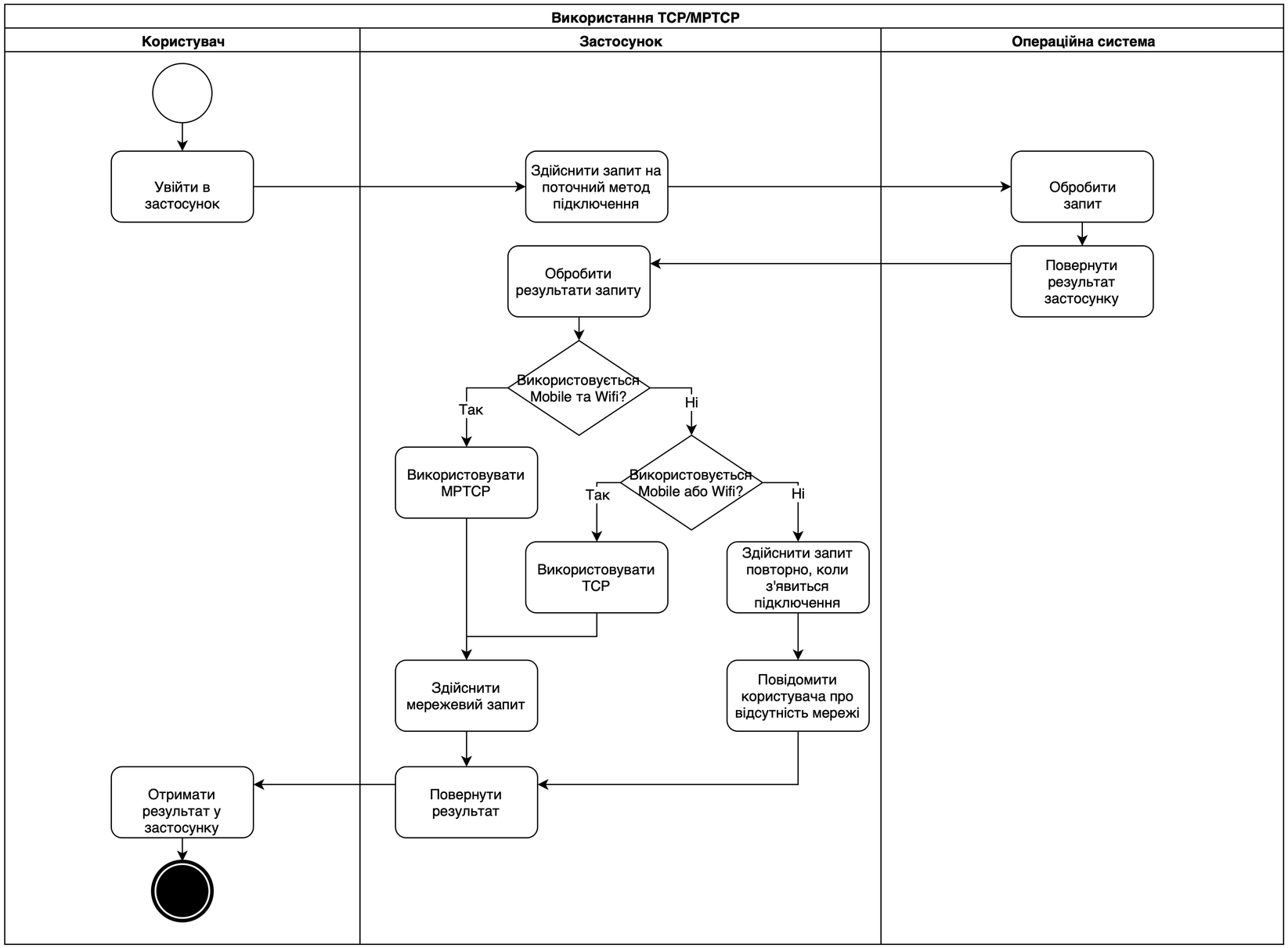
```
using System;
```

```
using Core.Models;

using Firebase.Auth;

using UniRx;

using UnityEngine;

namespace Core.Firebase
{
    [DefaultExecutionOrder(-100)]
    public class ProfileService : MonoBehaviour
    {
        public BehaviorSubject<PlayerProfile> Profile { get; } = new
BehaviorSubject<PlayerProfile>(null);

        public static ProfileService Instance { get; private set; }

        private void Awake()
        {
            if(Instance == null)
            {
                Instance = this;
                DontDestroyOnLoad(gameObject);
                Setup();
            }
            else if(Instance != this)
            {
                Destroy(gameObject);
```

```
        }
    }

    private void Setup()
    {
        AuthService.Instance.User
            .SelectMany(LoadOrCreateProfile)
            .Subscribe(Profile);
    }

    private static Iobservable<PlayerProfile> LoadOrCreateProfile(FirebaseUser
user)
    {
        return user == null
                ? Observable.Return<PlayerProfile>(null)
                : DataFetchService.Instance.EnsureProfileCreated(user.UserId);
    }

    private void OnDestroy()
    {
        Profile.Dispose();
    }
  }
}
```

ДОДАТОК Б ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Схема методу оптимізації передачі даних з використанням багатошляхової передачі



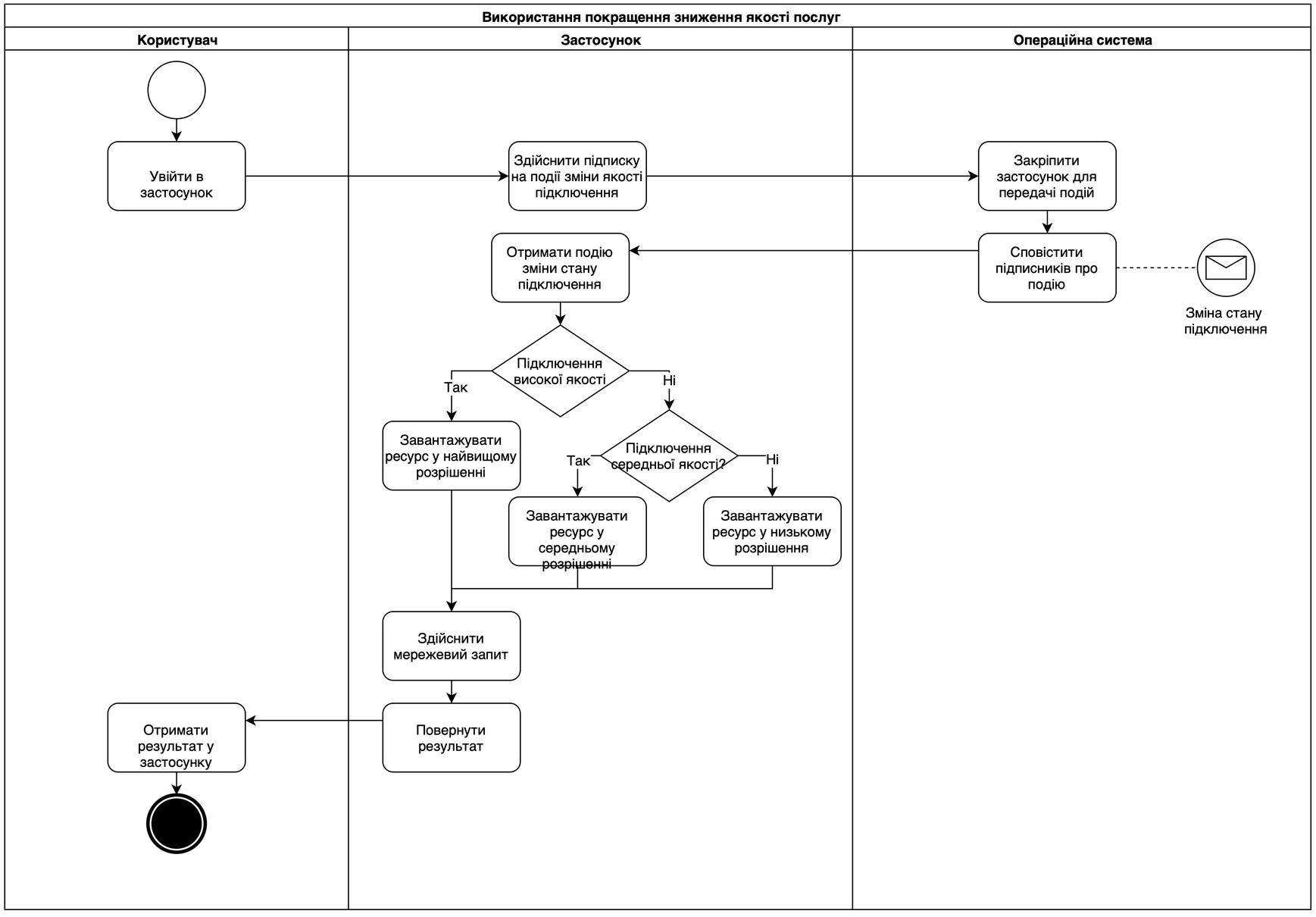
Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

Схема методу оптимізації передачі даних з використанням багатошляхової передачі

Виконала студентка гр. ІП-82мп Іванова Л.А..

Керівник Олійник Ю.О.

Схема методу оптимізації передачі даних з покращеним пониженням якості



Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

Схема методу оптимізації передачі даних з покращеним пониженням якості

Виконала студентка гр. ІП-82мп Іванова Л.А..

Керівник Олійник Ю.О.