

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів»

КВРКІ. 18168.01.37 ПЗ

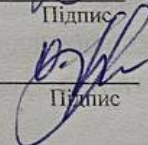
Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-20-1

Керівник д.ф., старший викладач  
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.  
Т.О. Говорущенко  
04 05 2022 р.

  
Підпис

Башта А.Р.  
Ініціали, прізвище

  
Підпис

Павлова О.О.  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко



“ 01 ” 09 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)**

Башті Андрію Руслановичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів

Керівник проекту (роботи) Павлова О.О., д.ф., старший викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз існуючих рішень у галузі доповненої реальності





Моделювання системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

Технологія застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів

Інформаційна система для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

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

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |   |
|---------------|---|--|---|
|               |   | завдання видав   | завдання прийняв  |
| Нормоконтроль | Лисенко С.М., професор кафедри КПС        |  |  |
| Антиплагіат   | Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС        |  |  |


7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021р.

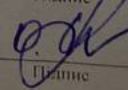
**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| №з/п | Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)   | Термін виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|------|---|--|----------|
| 1    | Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником  | 05.09.2021                               | виконано |
| 2    | Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження | 05.10.2021                               | виконано |
| 3    | Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі                                   | 05.11.2021                               | виконано |
| 4    | Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі   | 05.12.2021                               | виконано |
| 5    | Робота над науковою статтею   | 05.01.2022                               | виконано |
| 6    | Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі   | 15.02.2022                               | виконано |
| 7    | Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина        | 05.04.2022                               | виконано |
| 8    | Оформлення пояснювальної записки згідно вимог   | 15.04.2022                               | виконано |
| 9    | Попередній захист ДРМ   | 18.04.2022                               | виконано |
| 10   | Захист ДРМ на засіданні ЕК  | До 10.05.2022                            |          |

Студент

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

  
Підпис

Башта А.Р.  
Ініціали, прізвище

О.О. Павлова  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів

Автор роботи: Башта Андрій Русланович

Керівник роботи: Павлова Ольга Олександрівна, д.ф., ст. викладач

Пояснювальна записка: 88 сторінок, 27 рис., 5 табл., 3 додатки, 94 джерела.

**ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ:**

Доповнена реальність, змішана реальність, навігація, маршрут, мобільний додаток.

Об'єктом дослідження є застосування технології доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для прокладання та візуалізації маршрутів.

Предметом дослідження є застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності прокладання та візуалізації маршрутів шляхом застосування технології доповненої реальності.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- необхідно розробити метод для побудови та візуалізації маршрутів з використанням доповненої реальності;
- на основі розробленого методу розробити інформаційну технологію для побудови та візуалізації маршрутів з використанням технології доповненої реальності;
- розробити програмну реалізацію інформаційної технології для побудови та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності у вигляді мобільного додатку для операційної системи iOS.

Об'єктом дослідження є застосування технології доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для прокладання та візуалізації маршрутів.

Предметом дослідження є застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмну систему для прокладання та візуалізації маршрутів.

- вперше розроблено метод та алгоритм застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів;
- вперше розроблено інформаційну технологію для прокладання та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності;
- вперше розроблено інформаційну систему для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS 2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук. Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022.

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці мобільного додатку для операційної системи iOS, який дозволяє прокласти маршрут та

відтворити його у режимі реального часу із застосуванням технології доповненої реальності.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Скорочення та умовні позначки.....  | 11 |
| Вступ.....  | 12 |
| 1 Аналіз існуючих рішень у галузі доповненої реальності.....  | 14 |
| 1.1 Доповнена реальність як тренд у розвитку науки.....   | 14 |
| 1.2 Технології та сфери застосування доповненої реальності.....   | 16 |
| 1.3 Застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів  | 20 |
| 1.4 Постановка задачі та вибір технологій для реалізації.....   | 26 |
| 1.5 Висновки.....   | 27 |
| 2 Моделювання системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності.....   | 29 |
| 2.1 Принцип роботи технології доповненої реальності.....  | 29 |
| 2.2 Побудова формалізованої моделі використання технології доповненої реальності для прокладання маршрутів.....   | 33 |
| 2.3 Висновки.....   | 39 |
| 3 Технологія застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.....  | 40 |
| 3.1 Метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.....   | 40 |
| 3.2 Алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням технології доповненої реальності.....   | 42 |
| 3.3 Висновки.....   | 46 |
| 4 Інформаційна система прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності.....  | 47 |
| 4.1 Вибір моделі життєвого циклу та аналіз вимог до інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності..... | 47 |
| 4.2 Проектування архітектури системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності.....                                  | 52 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.2.1 | Діаграма варіантів використання для програмного забезпечення..  | 53 |
| 4.2.2 | Діаграма класів програмного забезпечення .....  | 53 |
| 4.2.3 | Діаграма станів програмного забезпечення .....  | 55 |
| 4.2.4 | Діаграма розгортання програмного забезпечення.....  | 57 |
| 4.3   | Програмна реалізація системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності.....  | 58 |
| 4.4   | Аналіз результатів експериментів, верифікація, тестування та оцінка якості інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності ..... | 60 |
| 4.5   | Висновки.....   | 66 |
|       | Висновки.....   | 68 |
|       | Перелік джерел посилань.....  | 70 |
|       | Додаток А. Лістинг програмного забезпечення виявлення кібер-загроз в на основі еволюційних алгоритмів .....   | 79 |
|       | Додаток Б. Тези доповіді на всеукраїнській науковій конференції «актуальні проблеми комп'ютерних наук апкн-2021».....   | 92 |
|       | Додаток В. Стаття для участі у міжнародному науковому воркшопі intelitsis.....  | 95 |

## **СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ**

AR — (Augmented Reality) Доповнена реальність

XR — (Extended Reality) Розширена реальність

MR — (Mixed Reality) Змішана реальність

VR — (Virtual Reality) Віртуальна реальність

GIS — (Geographic Information Systems) Геоінформаційні системи

GPS — (Global Positioning System) Система глобального позиціонування

MAR — (Mobile Augmented Reality) Мобільна доповнена реальність

UI — (User Interface) Інтерфейс користувача

UX — (User Experience) Досвід користувача

## ВСТУП

Навігація завжди була об'єктом інтересу вчених та представників бізнес-індустрії. Наразі вже існує багато готових програм, які використовують дані GPS та технологію доповненої реальності, призначених для прокладання маршрутів та полегшення навігації користувача.

На даний момент доповнена реальність є однією з найпопулярніших технологій, які найчастіше використовуються в іграх та рекламі. Поєднуючи навігацію з доповненою реальністю, можна отримати нові зручні для користувача програми, які можуть швидко допомогти користувачам у повсякденній навігації.

У даній роботі розглянуто прикладні аспекти розробки інформаційної системи для маршрутизації та візуалізації маршрутів доповненої реальності. Актуальність дослідження доведена результатами опитування студентів першого курсу Хмельницького національного університету (ХНУ) щодо необхідності допомоги в навігації протягом першого року навчання. Також у ході магістерської роботи розроблено інформаційну систему у вигляді мобільного додатка для операційної системи iOS, для прокладання в режимі реального часу та відтворення збережених маршрутів за допомогою технології доповненої реальності.

Актуальність роботи полягає в розробці нової інформаційної системи у вигляді мобільного додатка, яка надає допомогу в маршрутизації в режимі реального часу та відтворенні збережених маршрутів за допомогою технології доповненої реальності.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності прокладання та візуалізації маршрутів шляхом застосування технології доповненої реальності. Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- необхідно розробити метод для побудови та візуалізації маршрутів з використанням доповненої реальності;
- на основі розробленого методу розробити інформаційну технологію для побудови та візуалізації маршрутів з використанням технології доповненої реальності;

– розробити програмну реалізацію інформаційної технології для побудови та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності у вигляді мобільного додатку для операційної системи iOS.

Об'єктом дослідження є застосування технології доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для прокладання та візуалізації маршрутів.

Предметом дослідження є застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмну систему для прокладання та візуалізації маршрутів:

– вперше розроблено метод та алгоритм застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів;

– вперше розроблено інформаційну технологію для прокладання та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності;

– вперше розроблено інформаційну систему для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021) [1], подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS 2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук. Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

## 1.1 Доповнена реальність як тренд у розвитку науки

Доповнена реальність (Augmented reality, AR) - результат введення в зорове поле будь-яких сенсорних даних з метою доповнення відомостей про оточення та зміни сприйняття навколишнього середовища.

Доповнена реальність є однією із складових розширеної реальності. Розширена реальність (XR) – це термін, що відноситься до всіх реальних і віртуальних комбінованих середовищ і взаємодій людини і машини, створених комп'ютерними технологіями та пристроями для носіння.

Наприклад, він включає репрезентативні форми, такі як доповнена реальність (AR), змішана реальність (MR) і віртуальна реальність (VR), а також області, інтерпольовані між ними. Рівні віртуальності варіюються від частково сенсорного входу до віртуальності занурення, яку також називають VR. XR – це наднабір, який включає весь спектр від «повного реального» до «повного віртуального» в концепції континууму реальність–віртуальність, введеному Полом Мілграмом.

Однак його конотація полягає в розширенні людського досвіду, особливо пов'язаного з відчуттями існування (представлено VR) та набуттям пізнання (представлене AR). З безперервним розвитком взаємодії людини та комп'ютера цей відтінок все ще розвивається. XR – це сфера, яка швидко розвивається, яка застосовується в широкому спектрі способів, таких як розваги, маркетинг, нерухомість, навчання та віддалена робота [4] (рисунок 1.1).

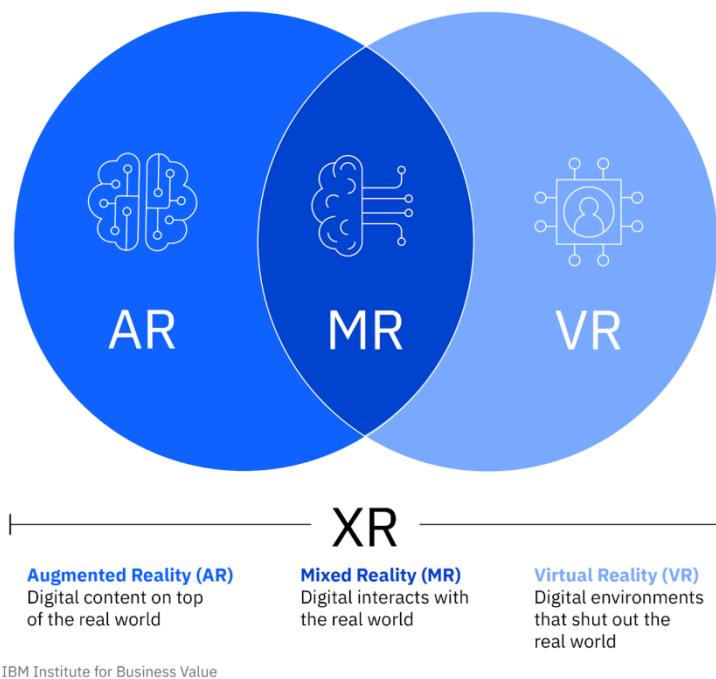


Рисунок 1.1 – Складові частини розширеної реальності [5]

За результатами дослідження компанії IBM [5], розширена реальність вже стала частиною робочих місць людей багатьох професій та набуває стрімкого розвитку та широкого поширення. Вже в недалекому майбутньому багато професій будуть пов'язані з так званим метавсесвітом, тобто світом, керований новими технологіями, який не має аналогії з реальним світом [5].

Доповнена реальність – це змішана реальність, створена за допомогою комп'ютера з використанням «доповнюючих» елементів сприйманої реальності, коли реальні об'єкти монтуються в полі сприйняття. Існує кілька визначень доповненої реальності: дослідник Рональд Азума визначив її як систему, яка:

- поєднує віртуальне та реальне;
- взаємодіє у реальному часі;
- працює в 3D.

Отже, наразі все більшої популярності та широти використання набувають технології із застосуванням доповненої реальності.

## 1.2 Технології та сфери застосування доповненої реальності

За даними дослідження, проведеного журналом Forbes [7], технологія доповненої реальності вже знайшла застосування у більш, ніж 10 сферах діяльності та життя людей, таких як лапароскопічна хірургія, сфера торгівлі нерухомістю (AR-моделі будівель), імерсивна терапія у психології, навчання та підготовка фахівців для роботи з важкою та спеціалізованою технікою, військова підготовка, навчання та освіта, мистецтво.

У найближчому майбутньому, віртуальні події можуть повністю замінювати реальні та стати серйозною альтернативою. В VR просторі з'являється все більше користувачів, гарнітура та периферія, як інструменти комунікацій, стає доступнішою, виникають навіть справжні віртуальні події.

Компанія VirBela, наприклад, за допомогою технології доповненої реальності, У День Незалежності Ізраїлю, дозволила президенту відвідувати громадян країни у власних будівлях. Задля вдосконалення пошуку та якості інформації, використовуються AR технології. Найбільш сучасні та поширені у суспільстві приклади можна побачити на платформах Instagram та Facebook.

Наприклад, на платформі Facebook перед придбанням певних товарів, можна їх приміряти. В момент пошуку у системі Google, деякі речі можна побачити у 3D вимірі, за допомогою смартфона, побачити їх у середовищі, де знаходиться користувач. Звичайно, важко уявити вплив та можливості VR та AR технологій у майбутньому, проте слід аналізувати зміни, що вже виникли через ці технології [9].

Значна частка приросту на ринку тих чи інших технологій буде обумовлена розробками програмного забезпечення в сегменті B2C, апаратного забезпечення. За прогнозом GoldmanSachs, пристрої віртуальної реальності незабаром стануть так само популярні і функціональні, як мобільні телефони. За допомогою таких девайсів користувачі зможуть дивитися кіно і серіали, бути присутнім на масових заходах і здійснювати покупки. А це означає, що віртуальна реальність помітно розширить можливості малого і великого бізнесу. Прогнози інших компаній відрізняються від представлених в дослідженні GoldmanSachs. Так, передбачається, що сукупний обсяг

ринку апаратного та програмного забезпечення для технологій віртуальної реальності в 2023 році зросте до 34,1 млрд доларів США, а для технологій доданої реальності – до 60,5 млрд доларів США. Аналітики вважають, що ринок пристроїв доповненої реальності буде рости швидше, ніж ринок пристроїв віртуальної реальності і через три роки доповнена реальність стане однією з основних технологій [7].

Значна частка приросту на ринку тих чи інших технологій буде обумовлена розробками програмного забезпечення в сегменті B2C, апаратного забезпечення. До 2023 року найбільше поширення отримають саме мобільні пристрої доповненої і віртуальної реальності (приблизно 75 і 16%).

Через епідемію Covid-19 фізична взаємодія людей стала обмежена, світові компанії звернулися до технологій доповненої та віртуальної реальності, це стало новим поштовхом до цифрової трансформації. Існує багато прикладів платформ, де взаємодія користувачів проходить через «аватари та емоції», змінюються лише масштаби. Як приклад, японський виставковий ринок що діє у віртуальному просторі. Його можна вважати найбільшим віртуальним ринком у своєму сегменті, у 2019 році кількість глядачів налічувала понад 710 000, у 2020, - більше мільйона.

Головною задачею сучасного маркетингу у сфері віртуальної реальності – змінити взаємодію людей з зовнішнім середовищем. VR\AR технології можна використовувати як альтернативу фізичному досвіду, коли він неможливий, або недостатній. У різних сферах бізнесу, ці технології доповняють або вирішують існуючі проблеми між користувачем та продуктом [9].

В цілому, прогнози на перспективу 2023 року варіюються, однак тенденція до багаторазового зростання простежується у всіх дослідженнях. Через зміни у звичному ході речей, через Covid-19, зменшився обсяг особистих, фізичних, покупок, а все більше, нових, віртуальних сервісів, набувають популярності. Технології віртуальної реальності активно впроваджуються крупними корпораціями та відомими брендами. Технології віртуальної реальності активно впроваджуються великими корпораціями та відомими брендами. Компанії Lego та Adidas активно використовують технології для покращення сервісу та збільшення безпечної дистанції між покупцем та магазином. У мобільному додатку від компанії Nike можна спробувати функцію з технологією AR,

знайти кросівки потрібного розміру. Такі бренди як Wayfair та Ікеа, у своїх додатках, дозволяють користувачам спробувати та встановити потрібні товари у своїх квартирах та будинках. А сервіси з 3D-скануванням тіла дозволяють приміряти одяг ще до купівлі.

Журнал Time провів огляд застосування доповненої реальності для онлайн шопінгу. Через пандемію у світі кількість покупок онлайн у порівнянні з фізичним шопінгом збільшилась у рази. Тому відомими брендами було впроваджено AR-примірку одягу та взуття [57] (рисунок 1.2).

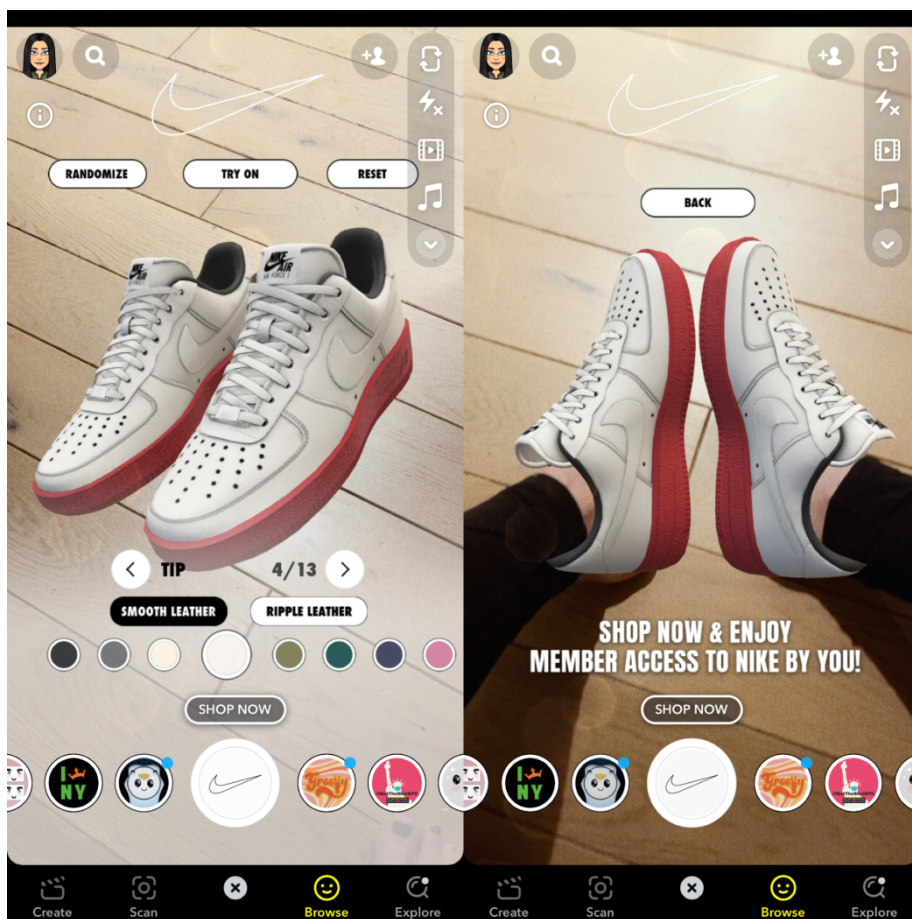


Рисунок 1.2 – Використання доповненої реальності для примірки взуття [57]

На прикладі додатку ARtivate [8] можна побачити успішне застосування технології доповненої реальності у мистецтві. Цей додаток застосовується для “оживлення” картин у музеях та рекламних банерів, що дозволяє розширити коло споживачів.

Також однією із сфер успішного застосування доповненої реальності є навігація. Перший некомерційний додаток для навігації користувачів у найбільшому аеропорту Великобританії - Гатвіку було представлено у 2017 році [30]. Цей додаток дозволяв пасажиром прокласти віртуальний маршрут між терміналами та знайти свій вихід до літака максимально швидко.

Вже вийшла на ринок та набуває застосування технологія ARCity (частина ARKit). Цей продукт iOS спрощує міську навігацію для програм Apple через AR. Він має 3 режими, доповнені карти, навігатор реальності та міське візуальне позиціонування (рисунок 1.3).

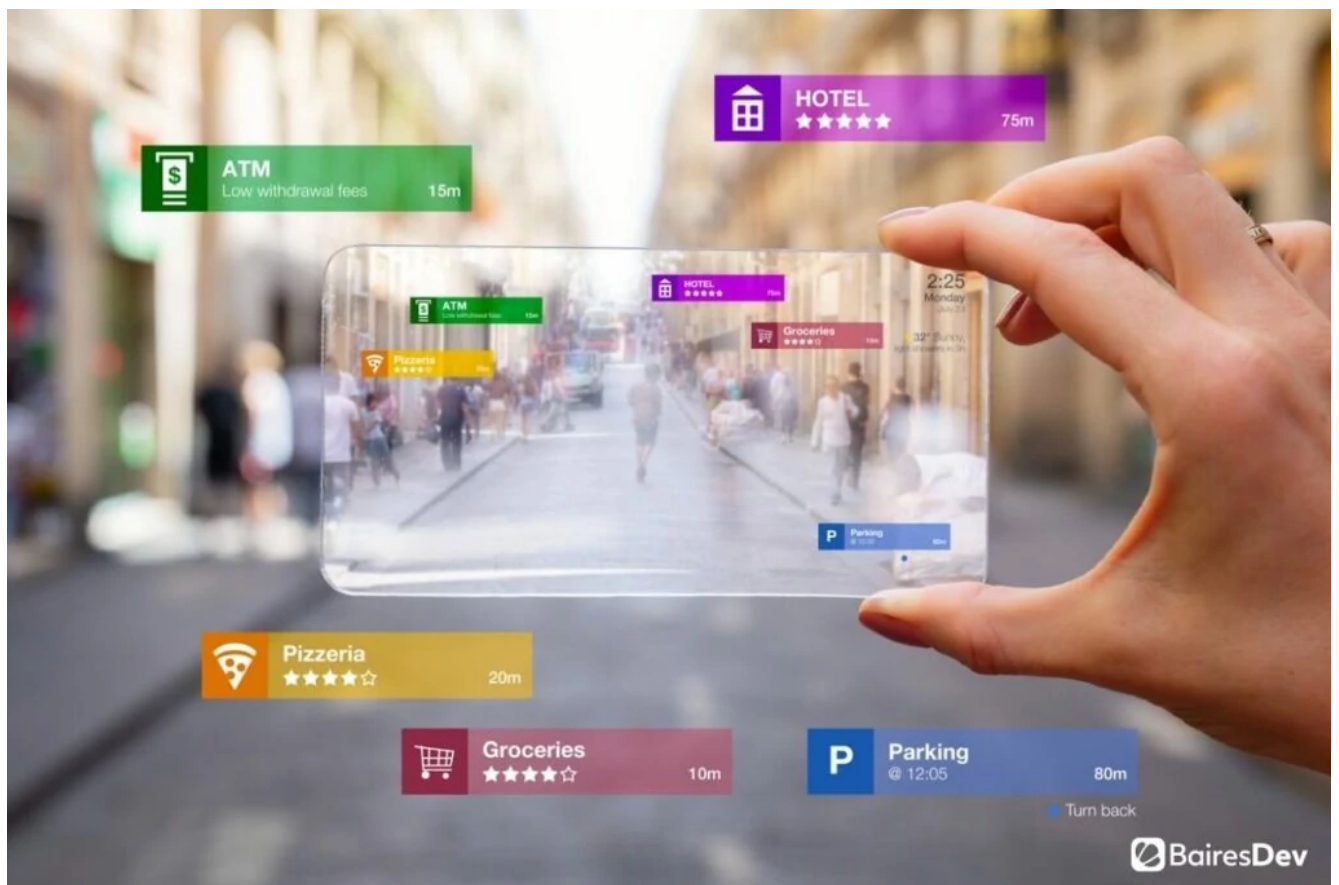


Рисунок 1.3 – Застосування доповненої реальності у технології ARCity [58]

Проте наразі відомо мало прикладів успішного застосування технології доповненої реальності у сфері навігації користувачів.

### 1.3 Застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів

У ході даного дослідження було проведено аналіз літературних джерел (книги, наукові статті, публікації у мережі Інтернет) щодо використання технології доповненої реальності у сфері навігації.

У таблиці 1.1 наведено аналіз публікацій, де розглядається тема застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.

Таблиця 1.1 – Огляд літератури щодо використання доповненої реальності для навігації

| Джерело                | Мета дослідження   | Видає дослідження        | Метод дослідження                    | Результати                     | Висновки  |
|------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|
| Verneilind, S. (2015). | Дослідження щодо можливості використання AR для покращення навігації | Дипломна робота магістра | Статистика за результатами опитувань | Великий набір параметрів даних | Доповнена реальність не обов'язково потрібна під час ходьби порівняно з Google Maps, але під час водіння вона має потенціал |

Продовження таблиці 1.1 – Огляд літератури щодо використання доповненої реальності для навігації

| L   | Дослід  | Д                              | Кі   | Дослід  | AR можна   |
|---|---|--------------------------------|--|---|--|
| <p>arsson, M (2018)</p>                         | <p>ницьке та порівняльне дослідження, чи можна використовувати AR для покращення визначення місцезнаходження міста шляхом візуалізації даних замість 2D засобів</p> | <p>ипломна робота магістра</p> | <p>лькісне та якісне дослідження розробка мобільного додатка на базі AR для ОС Android</p> | <p>ження базується на результатах опитувань</p>   | <p>використовувати для покращення пошуку послуг поблизу міста, але не в його поточному стані</p>               |
| <p>Irshad, S., &amp; Ramblani, D.R.A (2014)</p> | <p>Зусилля узагальнити поточні дослідження щодо інтерфейсу користувача доповненій реальності.</p>   | <p>Наукова стаття</p>          | <p>Дослідження літературних джерел</p>   | <p>У літературі було виявлено центральну прогалину щодо того, як розробити якісний досвід користувачів у MAR.</p> | <p>З багатьох висновків видно, що існує потреба вирішувати питання, пов'язані з UX, як-от оцінка UX в MAR.</p> |



Кінець таблиці 1.1 – Огляд літератури щодо використання доповненої реальності для навігації

|                            |  |                |                                    |   |   |
|----------------------------|--|----------------|------------------------------------|---|---|
| К<br>ipper, G.<br>(2013)   | Короткий опис того, що таке AR, для чого може бути використано та потенціал на майбутнє              | Наукова стаття | Дослідження літературних джерел    | Вичерпне резюме-характеристика технології доповненої реальності.                                      | Доповнена реальність тільки починає виходити з зародження.                                  |
| L<br>ando, E.<br>(2017)    | Розробка та дизайн додатків для музеїв на основі доповненої реальності                               | Наукова стаття | Кількісний/якісний набір опитувань | Нечіткі кількісні результати і позитивні якісні результати  | Якісні дані свідчать про користь технологій доповненої реальності для використання у музеях |
| M<br>arshall, T.<br>(2011) | Як створити програму для Android, яка використовує AR, щоб допомогти орієнтуватися в місті Стокгольм | Наукова стаття | Якісний набір опитувань            | З інтерв'ю стало зрозуміло, що користувачі вважають, що можна перенести досвід музею на вулиці міста. | Зроблено висновки, що досвід музею вдалося перенести на вулиці міста.                       |


Як видно з таблиці 1.1, огляд літератури та академічних досліджень у сфері AR дає лише теоретичну базу. Огляди дослідницької літератури показують, що наразі AR значно підвищує увагу водіїв. Дослідження в області AR і VR швидко розвиваються, і кілька інститутів і компаній, таких як Tesla, BMW, Pioneer і Toyota, працюють над розробкою AR-навігації [12].

Також було проведено аналіз існуючих мобільних додатків для операційних систем Android та iOS, у яких технологія доповненої реальності використовується для прокладання маршрутів (навігація користувача). Результати наведені в Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Огляд відомих мобільних додатків, які використовують доповнену реальність для навігації користувачів

| Назва додатку                | Логотип   | Платний чи вільно розповсюджуваний           | Характеристика   |
|------------------------------|---|--|--|
| Gatwick Airport              |  | вільно розповсюджуваний                      | Мобільний додаток на базі Android та iOS для навігації в приміщенні аеропорту Гатвік   |
| AR GPS drive/walk navigation |  | вільно розповсюджуваний                      | Ця програма на базі Android використовує GPS і камеру смартфона для реалізації автомобільної навігаційної системи з доповненою реальністю.     |
| Real LiveMaps AR             |  | вільно розповсюджуваний, є додаткові платежі | Живі карти на базі Android для навігації. Використовуйте в поїздках або під час подорожей. Пошук дозволяє легко планувати поїздки та маршрути. |

Кінець таблиці 1.2 – Огляд відомих мобільних додатків, які використовують доповнену реальність для навігації користувачів

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <p>Augmented Reality for Locus Map</p> |  | <p>Доповнення знаходиться в БЕТА-версії і працює з програмою Locus Map Pro. У Locus Map Free її використання обмежено 1 хвилиною.</p> | <p>Доповнення до програми Locus Map на базі Android, що дозволяє візуалізувати вибрані точки на екрані пристрою з переглядом камери – у доповненій реальності. Корисно під час оглядових екскурсій по місту, на оглядових вежах, для геокешінгу або для простого наведення в будь-яку точку.</p> |
|--|---|---|--|

Таблиця 1.2 показує, що AR використовується не тільки для вбудованих навігаційних систем у безпілотних автомобілях, але й для використання на замовлення у вигляді мобільних додатків. Аналіз показав, що AR + ОС Android є найбільш часто використовуваною комбінацією для мобільної розробки. Тому було вирішено використовувати комбінацію таких технологій, як: операційна система iOS, мова програмування Swift і бібліотека доповненої реальності ARKit, оскільки на даний момент існує не так багато мобільних додатків на базі iOS, і все ще існує необхідність досліджень і розробок.

## 1.4 Постановка задачі та вибір технологій для реалізації

Поняття розумних міст набуло досить широкого поширення за останнє десятиліття. Він включає в себе такі зручності для мешканців, як розумні автобусні зупинки, розумне паркування, інклюзивний доступ до міських будівель та розумна навігація.

На даний момент актуальним є питання навігації в незнайомих місцях на короткій відстані, наприклад, на території лікарні з великою кількістю будівель або університетського містечка з великою кількістю різноманітних будівель (гуртожитків, навчальних корпусів, бібліотек тощо), де GPS-навігатори не завжди дають точні дані.

Сьогодні студенти піклуються про діджиталізацію своїх університетських містечок, працюють над проектами зелених технологій і хочуть бачити свій університет сучасним і технологічним. Територія Хмельницького національного університету досить велика і займає 81602,95 кв.м. Щорічно заклад приймає понад 500 нових студентів-першокурсників та близько 30 іноземних студентів, проведено анкетування серед студентів. В опитуванні взяли участь 78 українських та 24 іноземних студенти. Результати опитування показані на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Результати опитування студентів 1 курсу Хмельницького національного університету

За результатами опитування, 89,5% українських та 100% іноземних першокурсників вважають студмістечко Хмельницького національного університету великим.

63,2% українських та 71,4% іноземних першокурсників відповіли, що їм потрібна допомога в навігації (знаходження необхідної інфраструктури – навчальні корпуси, гуртожиток, спортивний корпус тощо).

78,9% українських та 85,7% іноземних першокурсників відповіли, що, на їхню думку, першокурсникам потрібна допомога в орієнтації в студмістечку ХНУ.

84,2% українських та 85,7% іноземних першокурсників вважають, що було б актуальним і корисним створити додаток на основі доповненої реальності для прокладання найпопулярніших маршрутів на території кампусу ХНУ для полегшення навігації студентів 1 курсу та їх батьків під час першого перебування на території ХНУ ім.

Враховуючи актуальність даного питання, було вирішено розробити інформаційну систему планування та візуалізації маршрутів у вигляді мобільного додатка. Для розробки були обрані технології доповненої реальності та дані GPS.

Враховуючи проведений аналіз літературних джерел та існуючих додатків які використовують технологію доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів можна зробити висновок що розробка інформаційної технології на основі доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів є наразі актуальною.

Тому метою даної роботи є:

- проведення аналізу сучасних технологій навігації з використанням доповненої реальності та даних GPS;
- розробка клієнтської частини у вигляді мобільного додатка, що забезпечує планування та візуалізацію маршрутів;
- проведення експериментів із планування та візуалізації маршрутів у кампусі Хмельницького національного університету.

## 1.5 Висновки

Отже, у першому розділі було проаналізовано літературні джерела а також стан існуючих рішень в галузі доповненої реальності. Під час аналізу було проведено огляд сфер застосування доповненої реальності та виявлено, що наразі технологію AR використовують у медицині, мистецтві, рекламі, торгівлі та навігації.

Аналіз літератури та наукових досліджень у галузі доповненої реальності дозволив зробити висновок, що ця сфера наразі активно розвивається і набуває нових видів реалізації.

Також були виявлені переваги та недоліки відомих на сьогодні додатків для навігації на основі доповненої реальності. Аналіз показав, що AR + ОС Android є найбільш часто використовуваною комбінацією для мобільної розробки. Тому було вирішено використовувати комбінацію таких технологій, як: операційна система iOS, мова програмування Swift і бібліотека доповненої реальності ARKit, оскільки на даний момент існує не так багато мобільних додатків на базі iOS, і все ще існує необхідність досліджень і розробок.

Крім того, на основі проведених досліджень, було виявлено, що дана робота є актуальною, так як актуальною є проблема застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОКЛАДАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

### 2.1 Принцип роботи технології доповненої реальності

Доповнена реальність починається з пристроєм з камерою, наприклад смартфоном, планшетами чи розумними окулярами, із завантаженим програмним забезпеченням AR. Коли користувач наводить на пристрій і дивиться на об'єкт, програмне забезпечення розпізнає його за допомогою технології комп'ютерного зору, яка аналізує відеопотік.

Потім пристрій завантажує інформацію про об'єкт з хмари, майже так само, як веб-браузер завантажує сторінку через URL-адресу. Принципова відмінність полягає в тому, що інформація AR представлена у вигляді 3D «досвіду», накладеного на об'єкт, а не в 2D сторінці на екрані. Отже, те, що бачить користувач, є частково реальним, а частково цифровим.

AR може надавати уявлення про дані в реальному часі, що надходять від продуктів, і дозволяти користувачам керувати ними за допомогою сенсорного екрана, голосу або жесту. Наприклад, користувач може торкнутися кнопки зупинки на цифровому графічному накладенні в доповненій реальності або просто вимовити слово «стоп», щоб надіслати команду продукту через хмару. Оператор, який використовує гарнітуру AR для взаємодії з промисловим роботом, може побачити накладені дані про продуктивність роботи та отримати доступ до його елементів керування.

Коли користувач рухається, розмір і орієнтація дисплея AR автоматично підлаштовуються під контекст, що змінюється. Нова графічна або текстова інформація потрапляє в поле зору, тоді як інша інформація виходить з поля зору. У промислових умовах користувачі в різних ролях, наприклад, оператор машин і технік з обслуговування, можуть дивитися на один і той же об'єкт, але отримувати різні можливості AR, які відповідають їхнім потребам.

Тривимірний цифровий об'єкт, який знаходиться в хмарі – «цифровий близнюк» об'єкта, – служить мостом між розумним об'єктом і AR. Ця модель створюється або за

допомогою комп'ютерного проектування, як правило, під час розробки продукту, або за допомогою технології, яка оцифровує фізичні об'єкти. Потім близнюк збирає інформацію з продукту, бізнес-систем та зовнішніх джерел, щоб відобразити поточну реальність продукту. Це засіб, за допомогою якого програмне забезпечення AR точно розміщує та масштабує актуальну інформацію про об'єкт [59] (рисунк 2.1).

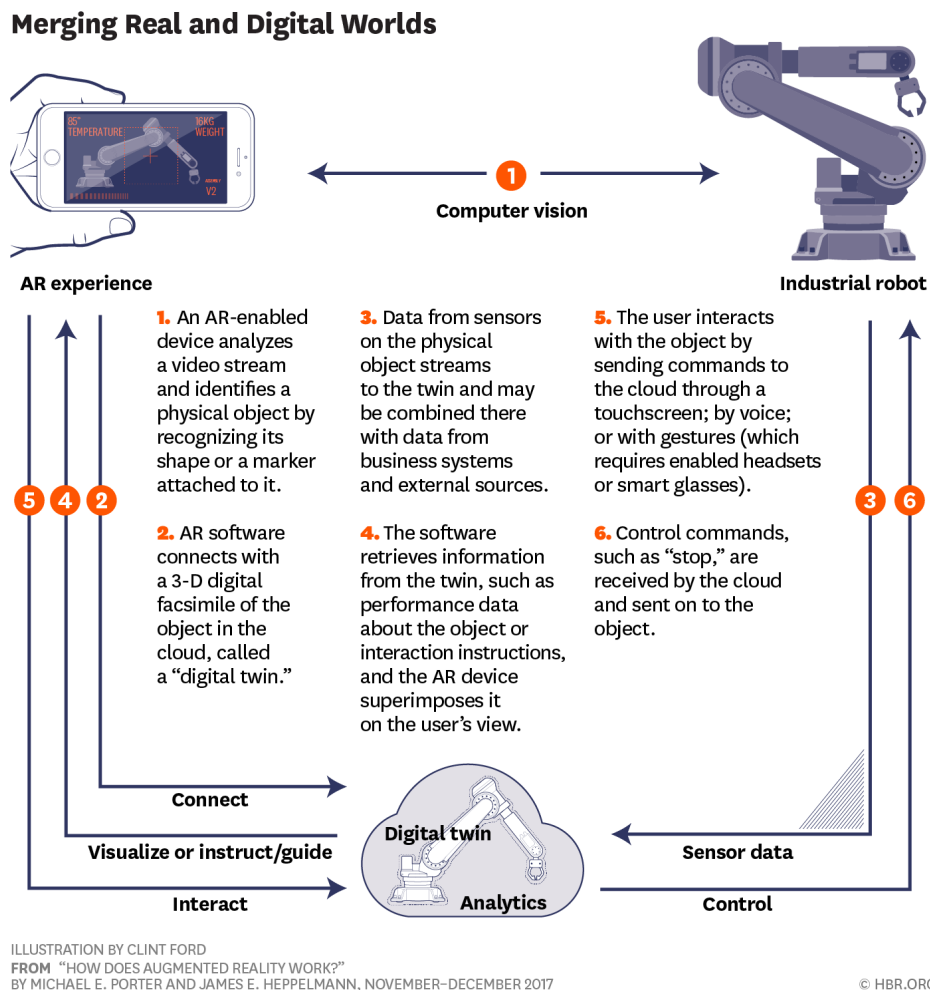


Рисунок 2.1 – Принципи роботи технології доповненої реальності [59]

Загальна схема роботи доповненої реальності в усіх випадках така: камера пристрою AR (смартфона, планшета тощо) знімає зображення реального об'єкта; програмне забезпечення пристрою проводить ідентифікацію отриманого зображення, поєднує реальне зображення з його доповненням і виводить кінцеве зображення на пристрій візуалізації.

Доповнена реальність, заснована на маркерах. Інколи її також називають розпізнаванням зображень. Цей тип технології використовує камеру та спеціальний

пасивний візуальний маркер, наприклад QR-код (quick response code – код швидкого відгуку), який показує запрограмований результат лише тоді, коли сенсор його зчитує. Таким чином вдається вирізнути віртуальні об'єкти з реального світу. Саме такий вид доповненої реальності найчастіше використовують для навчання (наприклад, розміщуючи маркери на сторінках підручників, або ж, друкуючи маркери на папері та пропонуючи дітям дослідити певні процеси та явища в рамках STEM-проектів чи звичайних уроків).

Безмаркерна доповнена реальність. Інколи її ще називають координатно-, або GPS-орієнтованою. Щоб надати дані про ваше місцезнаходження, вона може використовувати систему глобального позиціонування (GPS – Global Positioning System), цифровий компас, датчик швидкості або акселерометр, якими оснащено ваш пристрій. Завдяки масовому розповсюдженню смартфонів та планшетів ця технологія використовується найчастіше на даний момент. Найпоширеніші випадки використання – це позначення напрямків, пошук потрібних місць, таких як кафе чи офіс, або ж у додатках, що орієнтовані на місце розташування.

Доповнена реальність, що базується на проекції. Вона працює шляхом проектування світлових зображень на фізичні поверхні. Спеціальні додатки допомагають здійснювати взаємодію між людиною та проекцією, визначаючи моменти дотику людини до світла, яке проектується. Це досягається за допомогою порівняння очікуваної проекції та зміненої певними перешкодами, наприклад через дотик рукою. Ще один цікавий спосіб – застосування плазмової технології, завдяки якій можна створювати тривимірні проекції в просторі.

Доповнена реальність, що базується на VIO. Візуальна інерціальна одометрія (Visual Inertial Odometry) – це технологія, яка допомагає відслідковувати позицію та орієнтуватися в просторі за допомогою сенсорів та камери. Завдяки цьому можливо створити точну 3D-модель простору навколо пристрою, оновлювати її в реальному часі, визначати в ній положення, передавати ці дані всім додаткам та накладати поверх неї додаткові шари. Можливості цієї технології насправді унікальні: можна вимірювати відстані, вставляти різноманітні об'єкти в інтер'єр та взаємодіяти з ними. VIO обіцяє стати найперспективнішою технологією в AR, на даний момент її

використовують такі гіганти, як компанія Google в своєму Project Tango та компанія Apple в ARKit.

Доповнена реальність має величезний потенціал і безліч сфер її застосування, починаючи від дозвілля і закінчуючи професійною діяльністю. Так, ми можемо не лише грати в гру, дії якої, наприклад, відбуваються не просто на екрані планшета або смартфона, а безпосередньо на нашому письмовому столі або на дивані, але й використовувати цю технологію в сфері освіти, медицини, будівництва, архітектури тощо.

Компанії Google та Apple розробили власні платформи для роботи з доповненою реальністю – ARCore [61]. та ARKit [62, 63]. відповідно.

ARCore – платформа для розробників AR від Google. Вона надає прості, але потужні інструменти для створення доповненої реальності. Функції ARCore включають:

- хмарні якорі – постійний, багатокористувацький, кросплатформний досвід AR як для Android, так і для iOS;
- запис і відтворення – прискорення робочих процесів розробників і пошук нові варіанти використання за допомогою попередньо записаних файлів MP4;
- глибина – додання реалізму за допомогою оклюзії об’єкта, занурення та взаємодії, можливість реконструювати об’єкт і сцену;
- екологічний HDR – розширення освітлення з реального світу на віртуальні об’єкти, щоб цифрові об’єкти виглядали так, ніби вони насправді є частиною реальної сцени [61].

ARKit надає можливість розробникам iOS інтегрувати камеру пристрою і функції руху, щоб створити досвід доповненої реальності у мобільному додатку чи грі. Створення цікавого та зручного досвіду користувача включає:

- дозвіл на використання всього дисплею – приділення якомога більшої частини екрана відображенню фізичного світу та віртуальних об’єктів розроблюваного додатку. Запобігання захаращення екрана елементами керування та інформацією, які зменшують відчуття занурення:

– прагнення до переконливих ілюзій при розміщенні реалістичних об'єктів – можливість створювати детальні 3D-об'єкти з реалістичними текстурами, щоб створювати враження, що об'єкти начебто населяють фізичне середовище, в яке вони розміщені.

– відображення в ARKit – це наближення на основі середовища, знятого камерою. Щоб зберегти ілюзію, що досвід AR є реальним, потрібно надавати перевагу невеликим або грубим поверхням, що відбивають, які зменшують ефект цих наближень.

– використання аудіо та тактики, щоб покращити враження від занурення. Звуковий ефект або відчуття удару – це чудовий спосіб підтвердити, що віртуальний об'єкт контактував із фізичною поверхнею чи іншим віртуальним об'єктом. Фонова музика також може допомогти охопити людей у віртуальному світі.

– мінімізація тексту у середовищі – інформація відображається лише та, яка потрібна користувачу під час використання додатку [62, 63].

## 2.2 Побудова формалізованої моделі використання технології доповненої реальності для прокладання маршрутів

Для роботи з технологією доповненої реальності за допомогою бібліотеки ARKit слід зазначити, що під час експерименту (встановлення 3D-маршруту) телефон буде перебувати в тривимірному просторі (рисунок 2.2), тому необхідно враховувати кілька аспектів. Система координат, що використовується в ARKit, є правосторонньою системою координат. Зменшення першої координати об'єкта доповненої реальності полягає в тому, щоб об'єднати в одній точці три системи координат – світову систему координат, систему координат об'єкта та систему координат камери.

Світова система координат визначається, коли пристрій користувача розпізнає космічний простір для початку сеансу. Об'єкту, який розміщений у просторі доповненої реальності, надається абсолютне положення в цій системі координат.

Система координат об'єкта, в якому виконується візуалізація: об'єкт повинен бути розміщений у світовій системі координат, при цьому мати своє абсолютне положення.

Система координат камери повинна відповідати системі координат об'єкта. Після запуску ARKit користувач переміщує смартфон у просторі. У цей час камера змінює координати зі світової системи координат і об'єкт вже знаходиться в системі координат камери.

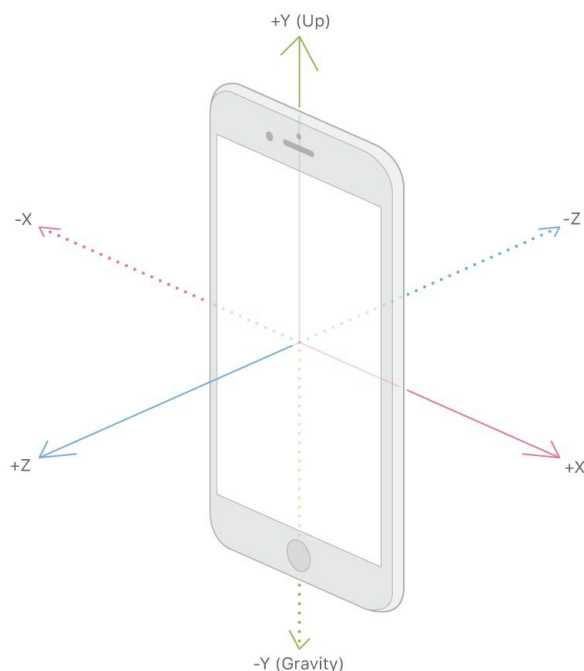


Рисунок 2.2 – Розташування телефону користувача в тривимірній системі координат (у 3D просторі) [20]

Осі  $X$  і  $Z$  збігаються з напрямками довготи та широти, що дозволяє встановити вирівнювання осей доповненої реальності ARKit:

- направити вісь  $Y$  паралельно силі тяжіння;
- вісь  $Z$  розташувати до схід;
- вісь  $X$  встановити за напрямом курсу компасу.

Початок координат розміщується у вихідному місці пристрою в момент ініціалізації сцени в точці ( $X = 0$ ;  $Y = 0$ ;  $Z = 0$ ).

Для визначення позиції об'єкта на сцені необхідно зробити ряд маніпуляцій з декартовою та географічною системами координат (рисунок 2.3). Декартова система координат використовується для розмінення об'єктів на сцені доповненої реальності.

Географічна – для відображення об'єктів на географічній карті. Координати на сцені доповненої реальності вимірюються у метрах. За рахунок цього можна зробити перетворення координат з географічної системи на декартову.

При цьому зсув між початковою точкою та кінцевою – шуканою на сцені доповненої реальності – і буде зміщенням між географічними координатами, перетвореними на метри. Оскільки координати визначаються як довгота і широта, зміщення між цими парами і є зміщення по осях X та Z сцени доповненої реальності відповідно [94].

Після того як буде проведено розрахунок зміщення координат в одній системі і перетворено на іншу, необхідно визначити центр початку системи координат сцени доповненої реальності. Для цього необхідно вибрати таку точку, в якій в момент ініціалізації сцени будуть відомі координати, отримані за допомогою GPS. У момент, коли буде зафіксовано таку точку, з'явиться можливість побудови на сцені доповненої реальності точок маршруту, знаючи лише їхні географічні координати.

Формула для визначення відстані між координатами на карті (2.1):

$$\text{Cos}(d)=\sin(\varnothing a)*\sin(\varnothing b)+\cos(\varnothing a)*\cos(\varnothing b)*\cos(ua - ub), \quad (2.1)$$

де  $\varnothing a$  і  $\varnothing b$  – широти;  $ua, ub$  – довгота даних пунктів;  $d$  – відстань між пунктами, яка вимірюється в радіанах довгої дуги великого круга земної кулі.

Переведення радіан в метри:

$$D=\text{cos}(d)*R, \quad (2.2)$$

де  $d$  – відстань між пунктами, яка вимірюється в радіанах довгої дуги великого кола земної кулі;

$R = 6371$  км – середній радіус земної кулі (рисунок 2.3)

Формула для визначення зсуву в метрах між довготами та широтами та перетворення на координати сцени доповненої реальності (2.3):

$$\text{deltaLat} = \frac{2 * \text{Pi} * R}{360}, \quad (2.3)$$

де  $\text{Pi} \sim 3,141592$  – математична константа, яка виражає співвідношення довжини кола до її діаметра;

$R = 6371$  км – середній радіус земної кулі.

Візуалізація формул 2.1 – 2.3 наведена на рисунку 2.3.

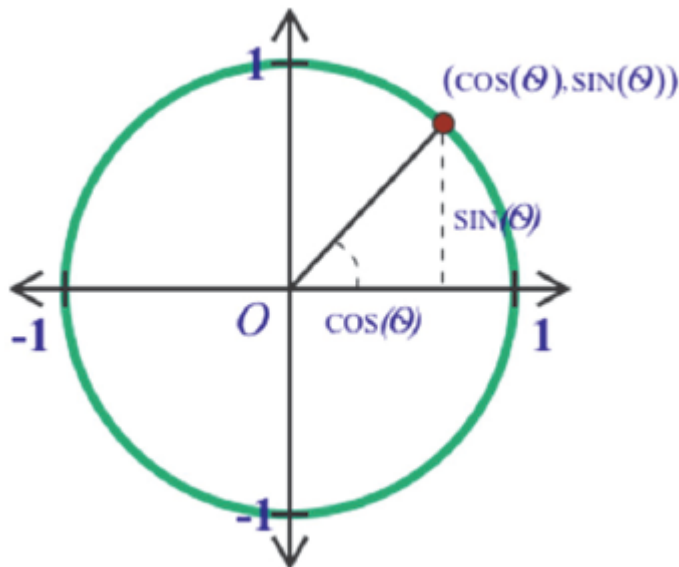


Рисунок 2.3 – Побудова маршруту в доповненій реальності

Формула дельта лон:

$$\text{deltaLon} = \frac{2 * \text{Pi} * R * \text{Cos}(\text{lat1})}{360}, \quad (2.4)$$

де  $\text{Pi} \sim 3,141592$  – математична константа, яка виражає співвідношення довжини кола до її діаметра;

$R = 6371$  км – середній радіус земної кулі;

Lat1 – широта початкової координати на карті.

$$\text{deltaX} = (\text{lon2} - \text{lon1}) * \text{deltaLon}, \quad (2.5)$$

де lon1 і lon2 – довгота початкової та кінцевої координати на карті;  
deltaLon – приріст довготи.

$$\text{deltaZ} = (\text{lat2} - \text{lat1}) * \text{deltaLat}, \quad (2.6)$$

де lat1 і lat2 – широта початкової та кінцевої координати на карті;  
deltaLat – приріст широти;

Обчислені значення deltaX та deltaZ є приростами для осей X и Z відповідно.

$$\text{objX} = X0 + \text{deltaX},$$

$$\text{objZ} = Z0 + (-\text{deltaZ}), \quad (2.7)$$

де objX і objZ – координати точки на сцені доповненої реальності.

Зв'язок між системою координат камери та системою координат екрану можна виразити за допомогою формули (рисунок 2.4).

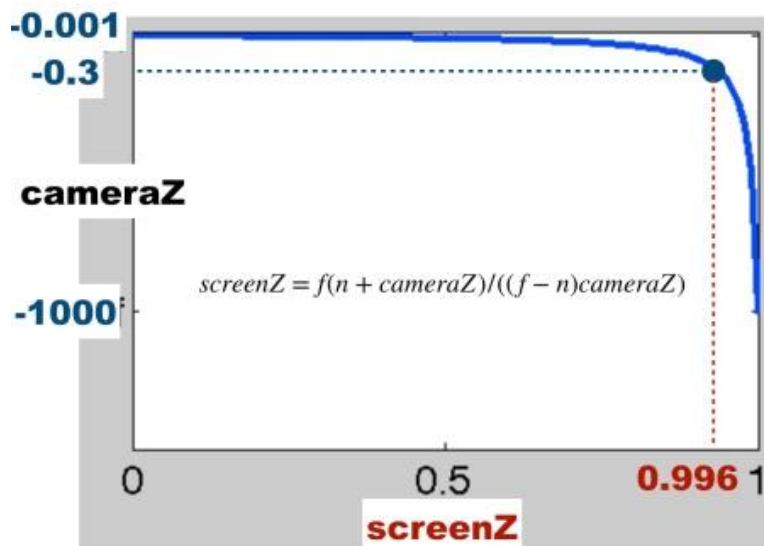


Рисунок 2.4 – Співвідношення між системою координат камери та системою координат екрану

Таким чином матриця проєкції зображення на екран  $P$  виглядає так:

$$P = \begin{pmatrix} x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (f+n)/(n-f) & 2fn/(n-f) \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

де  $x$  і  $y$  регулюють кут огляду та співвідношення сторін, а  $f$  і  $n$  – глибина віддалення та наближення на певну відстань відповідно [20].

Таким чином проєкція точки в системі координат світу  $z=(0 \ 0 \ z \ 1)^T$  задається шляхом обчислення  $p = P * z$ , а потім із застосуванням перспективного розподілу  $q = p / p.w$ . Далі потрібно обчислити глибину вікна за формулою  $\text{win}Z = (q.z+1)/2$ .

Дотримуючись цих формул, можна вивести зв'язок між  $\text{win}Z$  та координатою  $z$  нашої точки на осі  $z$ . А саме,

$$\text{win}Z = (p.z/p.w+1)/2$$

$$\text{або еквівалентно } \text{win}Z = f(n+z)/((f-n)z) \quad (2.9)$$

Зауважимо, що коли  $z = -f$ , то  $\text{win}Z = 1$ , а коли  $z = -n$ , то  $\text{win}Z = 0$ . Між цим ми маємо зворотну залежність (рисунок 2.5):

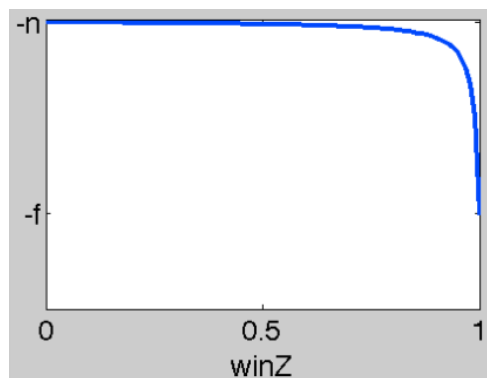


Рисунок 2.5 – Залежність між системою координат камери та системою координат екрану [20]

## 2.3 Висновки

Отже, у ході дослідження було проведено огляд принципів роботи технології доповненої реальності та основних сфер її застосування. Аналіз показав, що наразі існують дві основних платформи для роботи з доповненою реальністю для операційних систем Android та iOS. ARCore – платформа для розробників AR від Google, яка дозволяє застосовувати доповнену реальність для роботи з пристроями під операційною системою Android. ARKit – платформа для роботи з доповненою реальністю для iOS.

Також було побудовано математичну модель, у якій описано залежності між пристроєм користувача та навколишнім середовищем у тривимірному просторі. Адже саме тривимірний простір лежить в основі роботи з доповненою реальністю. Тому основною задачею є розробка інформаційної технології для побудови та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності із застосуванням розробленої математичної моделі.

### **3 ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПРОКЛАДАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ**

#### **3.1 Метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів**

У роботі пропонується метод застосування технології доповненої реальності для розробки інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів у реальному часі. При створенні сцени доповненої реальності камера пристрою використовує реальний світ, у якому відбувається створення віртуальних об'єктів. Це відбувається за рахунок того, що віртуальні об'єкти, такі як 3D-моделі, відео, текстури або звукові ефекти, проєктуються перед нами на камері пристрою, поверх реального світу. Для створення доповненої реальності залучається ряд апаратно – технічних пристроїв, таких як процесор, дисплей, датчики та пристрої введення/виведення. Всіма цими сенсорами та давачами володіють сучасні мобільні пристрої. Для обробки інформації з мобільного пристрою iPhone використовує вбудований в iOS фреймворк ARKit. У свою чергу, ARKit обробляє інформацію з різних сенсорів пристрою [63]. Сцена доповненої реальності використовує систему візуально-інерційної одометрії.

Візуальна одометрія – це метод оцінки положення та орієнтації пристрою за допомогою аналізу послідовності зображень, знятих встановленою у ньому камерою [64].

Візуально-інерційна одометрія – це технологія, що використовує відеокамери на додаток до інерційних датчиків і здатна забезпечити повне шестистороннє відстеження вільного руху у візуально помітних середовищах[65].

Фреймворк ARKit аналізує камеру телефону та дані про рух для відстеження навколишнього світу. Комп'ютерний зір реєструє помітні особливості в середовищі і здатний підтримувати поінформованість про їхнє розташування в реальному світі незалежно від руху пристрою iPhone. Система поєднує дані з візуальною та інерційною підсистемою пристрою для визначення положення та зсуву на сцені [63].

До візуальної підсистеми належать такі пристрої, як камера, а до інерційної підсистеми – акселерометр, магнітометр та гіроскоп [63].

Магнітометри використовують інформацію з встановлених на мобільному пристрої датчиків для вимірювання напруженості поля.

При цьому магнітометр мобільного пристрою заміряє напруженість поля. Магнітометр дозволяє оцінити вплив на пристрій магнітного полюса Землі.

В основі вибірки кращого позиціонування на сцені лежить фільтр Калмана [69] – алгоритм, який у кожний момент часу після ініціалізації сцени вибирає найкраще з показників двох підсистем, що дозволяє коректно визначити на сцені поточну позицію та орієнтацію користувача [70].

При створенні сцени доповненої реальності є можливість визначення горизонтальних і вертикальних поверхонь, що дозволяє розрахувати відстань від точки ініціалізації сцени до поверхні Землі для визначення висоти при побудові маршрутів.

Крім перерахованих пристроїв та датчиків, ARKit використовує показання з приймача глобальної системи позиціонування (GPS), що дозволяє визначити географічні координати поточного становища користувача.

Дані отримуються від супутників GNSS.

На рисунку 3.1 представлена функціональна діаграма для візуалізації описаного вище методу.

Як видно з рисунку 3.1, пропонується у роботі система на основі AR використовує відеопотік у реальному часі як вхідні дані.

Після обробки відео та додавання елементів доповненої реальності для побудови маршруту, який залучає користувача та середовище, маршрут будується та зберігається в програмі.

Цей маршрут можна відтворити знову, коли це потрібно користувачеві, або передати іншому користувачеві та відкрити за допомогою тієї ж програми.

Відтворення готового маршруту, тобто вихідних даних системи, також вимагає участі користувача та середовища.

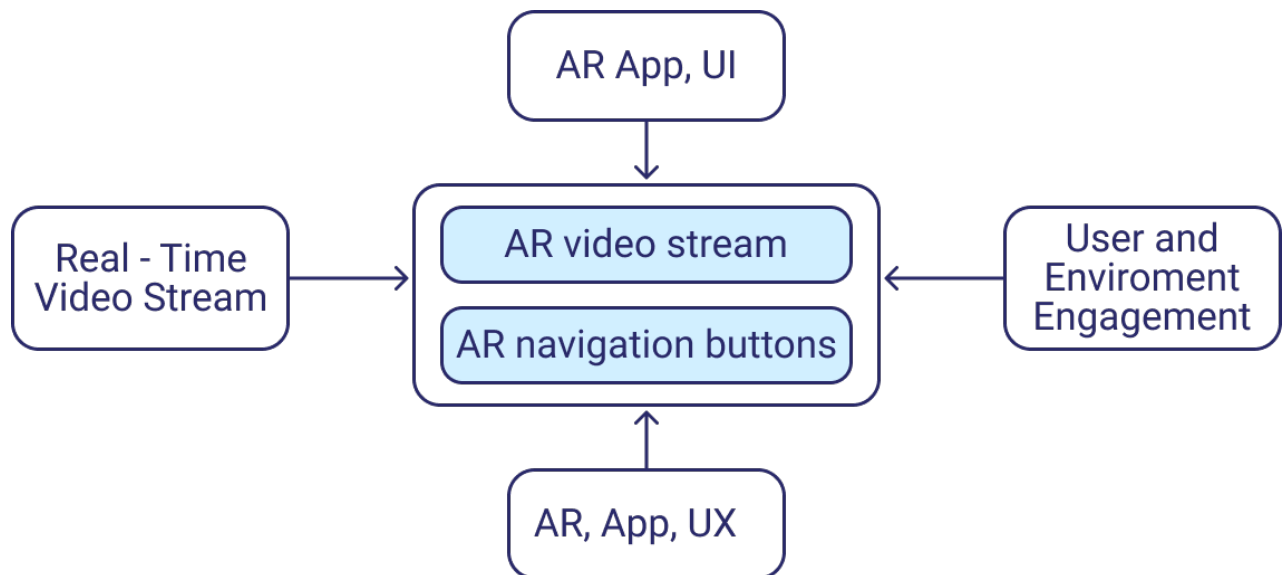


Рисунок 3.1 – Функціональна діаграма застосування технології доповненої реальності для розробки інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів у реальному часі

### 3.2 Алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням технології доповненої реальності

Для визначення позиції об'єкта на сцені необхідно зробити ряд маніпуляцій з декартовою та географічною системами координат. Декартова система координат використовується розміщувати об'єктів на сцені доповненої реальності [63]. Географічна – відображення об'єктів на географічній карті. Координати на сцені доповненої реальності вимірюються у метрах. За рахунок цього можна зробити перетворення координат з географічної системи на декартову [73]. При цьому зсув між початковою точкою та кінцевою – шуканою на сцені доповненої реальності – і буде зміщенням між географічними координатами, перетвореними на метри. Оскільки координати визначаються як довгота і широта, зміщення між цими парами і є зміщення по осях X та Z сцени доповненої реальності відповідно.

Після того як буде проведено розрахунок зміщення координат в одній системі і перетворено на іншу, необхідно визначити центр початку системи координат сцени доповненої реальності. Для цього необхідно вибрати таку точку, в якій на момент ініціалізації сцени будуть відомі координати, отримані за допомогою GPS [64]. У

момент, коли буде зафіксовано таку точку, з'явиться можливість побудови на сцені доповненої реальності точок маршруту, знаючи лише їхні географічні координати. Алгоритм побудови маршруту у доповненій реальності представлений на рисунку 3.2.

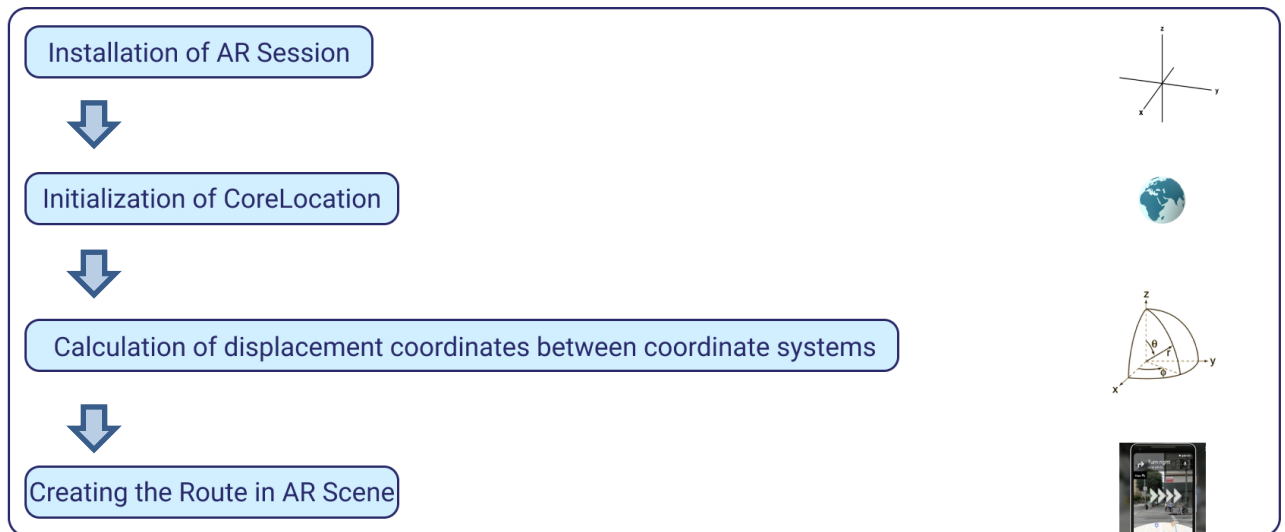


Рисунок 3.2 – Алгоритм побудови маршруту у доповненій реальності

Для автоматизації роботи технології на основі доповненої реальності, на якій базується робота мобільного додатку, необхідно зробити декомпозицію системи, тобто розбиття всієї системи на частини, щоб показати розширений алгоритм її роботи. Щоб створити мобільний додаток, нам потрібно розробити функціональну частину та частину, яка відповідатиме за інтерфейс користувача. Функціональна частина буде включати базу даних для зберігання прокладених маршрутів, створення самих 3D блоків – вказівників у доповненій реальності та алгоритми для роботи з камерою. Розробка інтерфейсу користувача буде включати дизайн елементів та обробку звернень користувача (кліки, свайпи і т.д.). Схема декомпозиції системи для прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням технології доповненої реальності у вигляді мобільного додатку показана на рисунку 3.3.

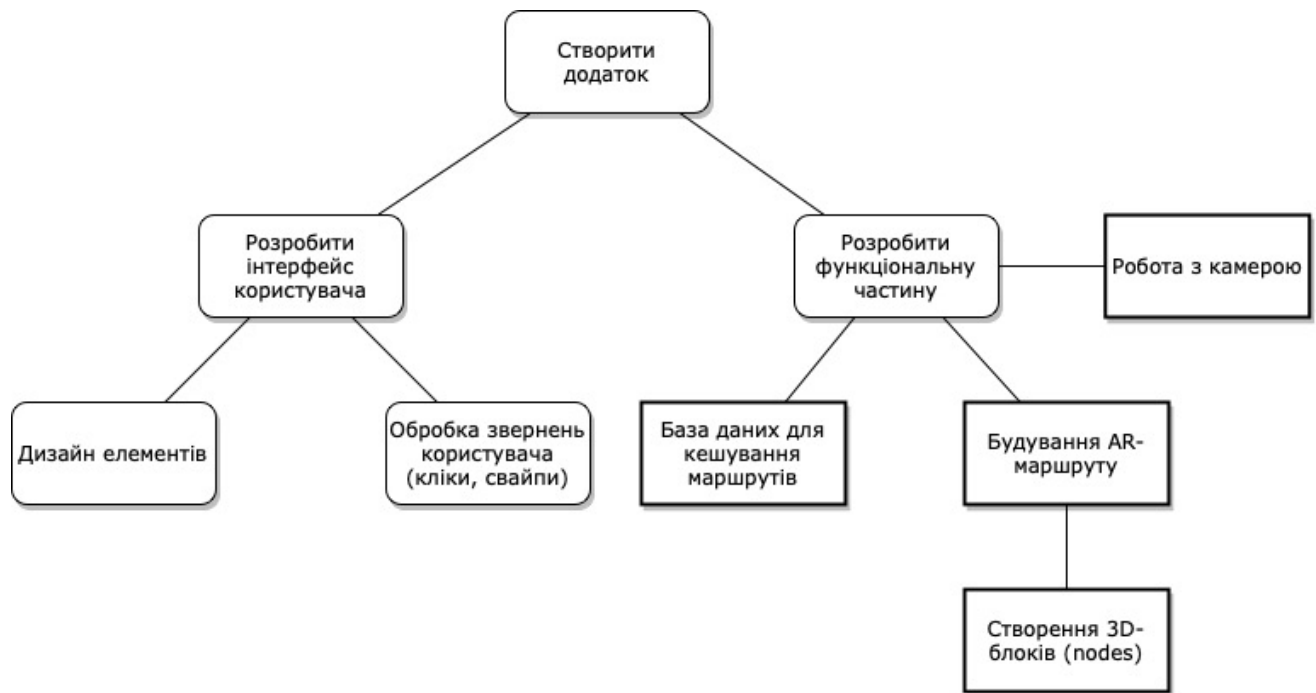


Рисунок 3.3 – Схема декомпозиції системи для прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням технології доповненої реальності у вигляді мобільного додатку

Для роботи технології необхідно увімкнути камеру смартфона. Спочатку iOS вимагає авторизації камери від користувача та показує кнопку «Дозволити». Кожного разу, коли користувач відкриває програму, ця вимога відображається, і користувач повинен виконати її її, тобто без дозволу користувача програма сама не запускається.

Потім для отримання місцезнаходження користувача із системи iOS використовується фреймворк CoreLocation. Після цього можна починати запис – починається сеанс камери, на екрані відображається шар попереднього перегляду камери. У користувача є лише один варіант вибору – натиснути на кнопку «Пуск», потім відобразиться таймер 3, 2, 1, і користувач може почати йти в будь-яку точку і записувати свій шлях. Весь цей маршрут записується за допомогою невеликих тривимірних об'єктів, які називаються SCNodes. SCNodes є частиною фреймворка SceneKit. Для даної роботи у вигляді маркерів доповненої реальності були вибрані об'ємні 3D стрілки яскравих кольорів – жовтого, червного яскраво-зеленого для того, щоб зробити їх контрастними до навколишнього середовища та покращити сприйняття користувачем, зробити інтерфейс програми дружнім.

Потім всі ці вузли підключаються до одного об'єкта UIBezierPath. Вся інформація перетворюється в контейнер NSData, який можна зберегти в пам'яті пристрою. Після запису маршрут автоматично зберігається. Усі маршрути доступні для збереження та можуть бути відтворені у режимі реального часу, а за потреби видалені з пам'яті пристрою (телефону).

Користувачі можуть відтворювати будь-який потрібний записаний маршрут від точки до точки в режимі реального часу, використовуючи дані про місцезнаходження та орієнтацію пристрою на основі AR у режимі перегляду камери. Структура описаної вище технології для прокладання маршрутів у режимі реального часу із застосуванням доповненої реальності та розширений алгоритм її роботи показані на рисунку 3.4.

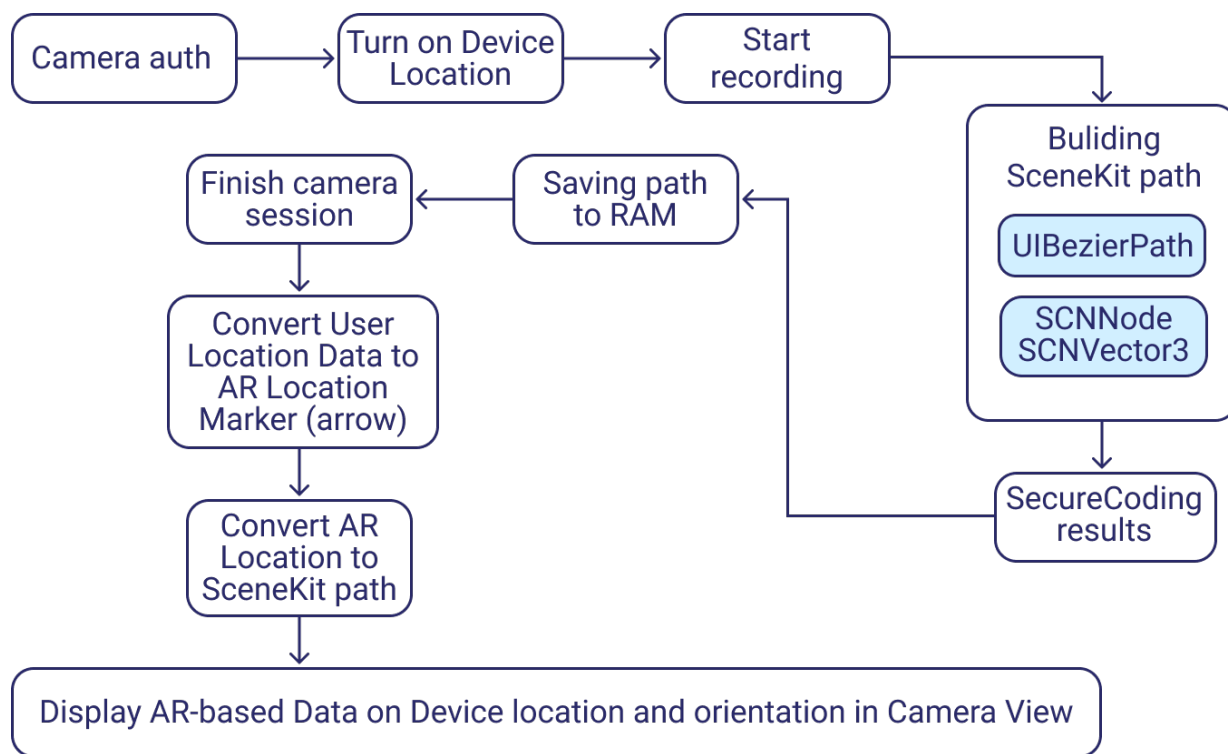


Рисунок 3.4 – Розширений алгоритм застосування технології доповненої реальності для розробки інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів у реальному часі

Далі використовуючи алгоритм застосування технології доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів було розроблено схему, яка описує структуру пропонованого програмного забезпечення, а саме мобільного додатку для

прокладання та візуалізації маршрутів у реальному часі. Структурна схема представлена на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Структурна схема програмного забезпечення для прокладання та візуалізації маршрутів у реальному часі

### 3.3 Висновки

У ході дослідження було розроблено метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів. Даний метод описує процедуру та порядок роботи з декартовою та світовою системою координат, обчислення маршрутів та використання маркерів доповненої реальності для прокладання та запису маршруту у пам'яті телефону.

Також на основі розробленого методу застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів було розроблено алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням технології доповненої реальності. Даний алгоритм буде покладений в основу розробки інформаційної технології для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності.

## **4 ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОКЛАДАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ**

4.1 Вибір моделі життєвого циклу та аналіз вимог до інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

Проаналізувавши завдання даного проекту, врахувавши перелік вимог та проміжок часу, відведений для створення програмного забезпечення, було вирішено обрати еволюційну модель життєвого циклу для реалізації проекту.

Використання еволюційної моделі припускає проведення дослідження предметної області для вивчення потреб її замовника і аналізу можливості застосування цієї моделі для реалізації.

Модель використовується для розробки нескладних і некритичних систем, де головною вимогою є реалізація функцій системи.

При цьому вимоги не можуть бути визначені відразу і повністю. Тому розробка системи здійснюється ітераційним шляхом її еволюційного розвитку з отриманням деякого варіанта системи–прототипу, на якому перевіряється реалізація вимог.

Іншими словами, такий процес за своєю суттю є ітераційним, з етапами розробки, що повторюються, починаючи від змінених вимог і закінчуючи отриманням готового продукту.

Враховуючи вибір еволюційної моделі життєвого циклу, для організації процесу розробки даного проекту було обрано методологію Agile (рисунок 4.1).

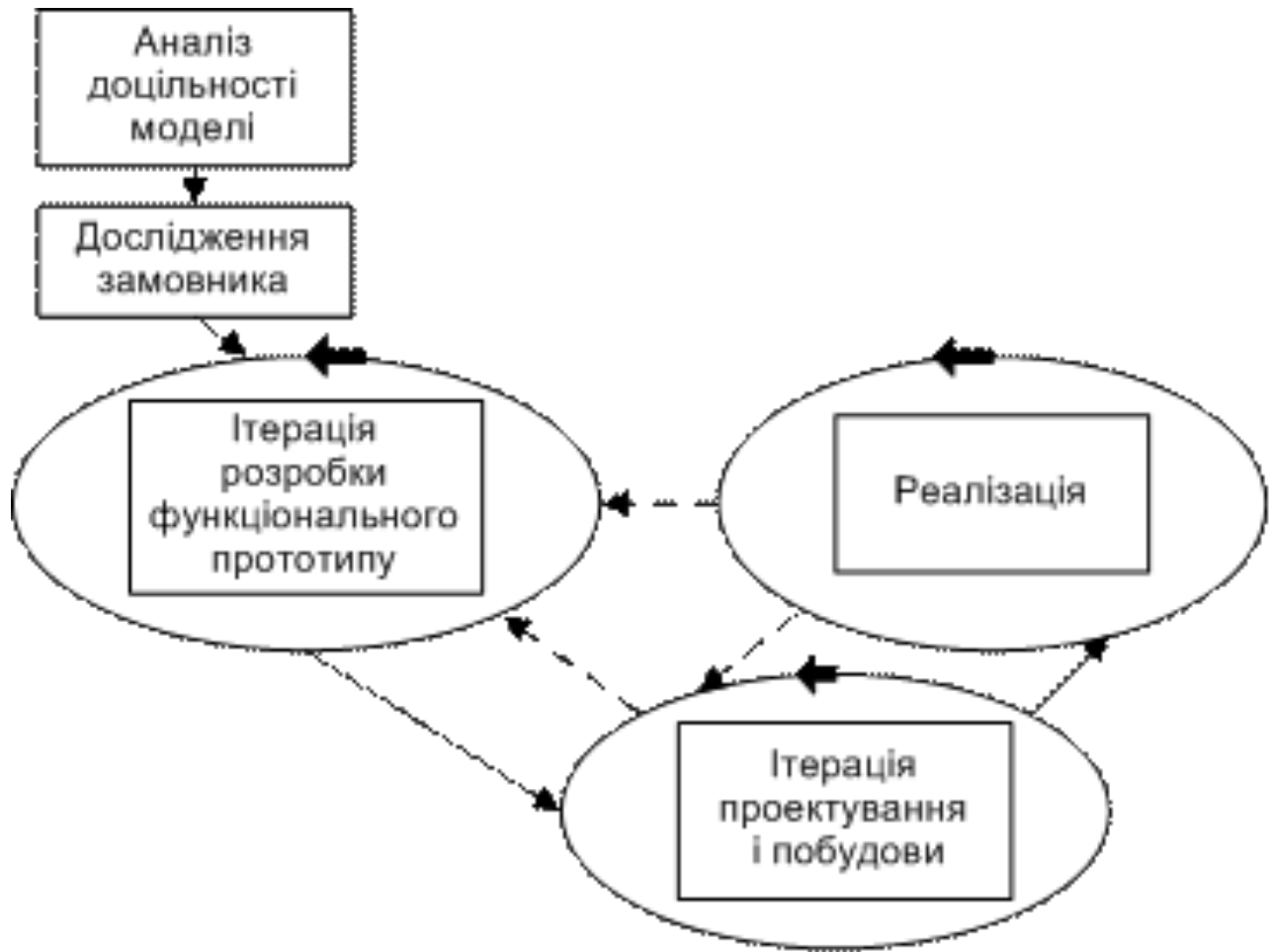


Рисунок 4.1 – Схема еволюційної моделі життєвого циклу ПЗ

Agile (з англ. гнучкий) – це термін, що поєднує ряд сучасних методологій гнучкого управління проектами. Суть гнучкого управління у цьому, що його ґрунтується не так на правилах, але в принципах, якими команда керується прийняття рішень. У Agile є план, але немає суворої внутрішньої структури. Самі розробники та замовник вирішують, у якому напрямку рухатиметься проект далі, тому творчий потік тут заохочується. До гнучких методів управління відносяться популярні фреймворки Scrum та Kanban. У Agile процес створення та змін не припиняється, цикл за циклом виправляються недоліки та впроваджуються нові ідеї. Схема роботи за методологією Agile наведена на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Схема роботи за методологією Agile

Також у ході проектування мобільного додатку ARroute було сформульовано основні нефункційні вимоги для проектованої системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності. Нефункційні вимоги наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Нефункційні вимоги до інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

| Вимога                     | Опис вимоги   | Умови виконання   |
|----------------------------|---|---|
| Повне використання дисплею | Приділити якомога більшу частину екрану відображенню фізичного світу та віртуальних об'єктів додатка. Уникати захаращення екрана елементами керування | Надати можливість користувачам використовувати весь дисплей |

Продовження таблиці 4.1 – Нефункційні вимоги до інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

|                |  |  |
|----------------|--|--|
| Переконливість | Створити деталізовані 3D-об'єкти з реалістичними текстурами, щоб створювати враження, що начебто населяють фізичне середовище, в яке вони розміщені.   | Прагнути до переконливих ілюзій при розміщенні реалістичних об'єктів.                        |
| Реалізм        | Щоб зберегти ілюзію, реалістичності досвіду AR, потрібно віддати перевагу невеликим або грубим поверхням, які відбивають для зменшення ефекту цих наближень.   | Розглянути як віртуальні об'єкти із відбиваючими поверхнями показують навколишнє середовище. |
| Аудіо          | Звуковий ефект або відчуття удару – це чудовий спосіб підтвердити, що віртуальний об'єкт контактував із фізичною поверхнею чи іншим віртуальним об'єктом. Фонова музика допоможе охопити людей у віртуальному світі. | Використовуйте аудіо та тактику, щоб покращити враження від занурення.                       |

Кінець таблиці 4.1 – Нефункційні вимоги до інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

|                                |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| Додаткові можливості керування | Вміст зображення має бути фіксованим на екрані пристрою. Зазвичай користувачам легко переглядати його, оскільки він залишається нерухомим, поки основне середовище AR рухається разом із пристроєм.     | Якщо потрібна додаткова інформація або елементи керування, потрібно відобразити їх на екрані. |
| Допоміжні елементи             | Якщо користувачам потрібен доступ до елементів керування, потрібно розмістити їх компактно для зручності взаємодії.   | Надати постійні елементи керування.   |
| Комфорт                        | Щоб уникнути втоми, потрібно розмістити об'єкти на такій відстані, яка зменшує необхідність переміщувати пристрій ближче до об'єкта.  | Потрібно приділяти достатньо уваги зручності використання.                                    |
| Поступовість                   | Надати можливість користувачу адаптуватися до AR у додатку, а потім поступово заохотити рух.  | Якщо додаток заохочує користувачів рухатися, ввести рух поступово.                            |
| Безпечність                    | Швидкі, різкі або розширені рухи користувача можуть бути небезпечними. Потрібно продумати як зробити програму безпечною для роботи; наприклад, щоб додаток не заохочував користувача до раптових рухів. | Потрібно пам'ятати про безпеку користувачів.  |

Також в ході проектування були сформульовані основні функційні вимоги для програмного забезпечення:

- наявність функціоналу запису маршруту;

- наявність перегляду списку маршрутів
- можливість зберігати маршрути;
- відображення результатів запису маршруту в реальному часі.

#### 4.2 Проектування архітектури системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

Для демонстрації роботи програмного додатку для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності використаємо діаграми, виконані мовою UML (Unified Modeling Language), яка призначена для опису проектних моделей, їхню візуалізацію й документування.

Як будь-яка інша мова, UML має власні правила оформлення моделей і синтаксис. За допомогою графічної нотації UML можна візуалізувати систему, об'єднати всі компоненти в єдину структуру, уточнювати і покращувати модель у процесі роботи. На загальному рівні графічна нотація UML містить 4 основні типи елементів:

- фігури;
- лінії;
- значки;
- написи.

UML-нотація де-факто є галузевим стандартом у сфері розробки програмного забезпечення, IT-інфраструктури і бізнес-систем.

В мові UML є 12 типів діаграм:

- 4 типи діаграм представляють статичну структуру додатку;
- 5 типів представляють поведінкові аспекти системи;
- 3 представляють фізичні аспекти функціонування системи (діаграми реалізації).

Для нашої системи побудуємо діаграми варіантів використання, класів та станів.

### 4.2.1 Діаграма варіантів використання для програмного забезпечення

Інформаційна система для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності включає одного актора – користувач (User), для якого даний програмний додаток є засобом для прокладання маршруту, його збереження, та відтворення в режимі реального часу. Користувач відкриває додаток, планує маршрут з використанням даних геолокації, записує маршрут за допомогою камери телефону, відтворює маршрут у доповненій реальності в режимі реального часу та може переглядати всі збережені у додатку маршрути. Діаграма варіантів використання для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності зображена на рисунку 4.3.

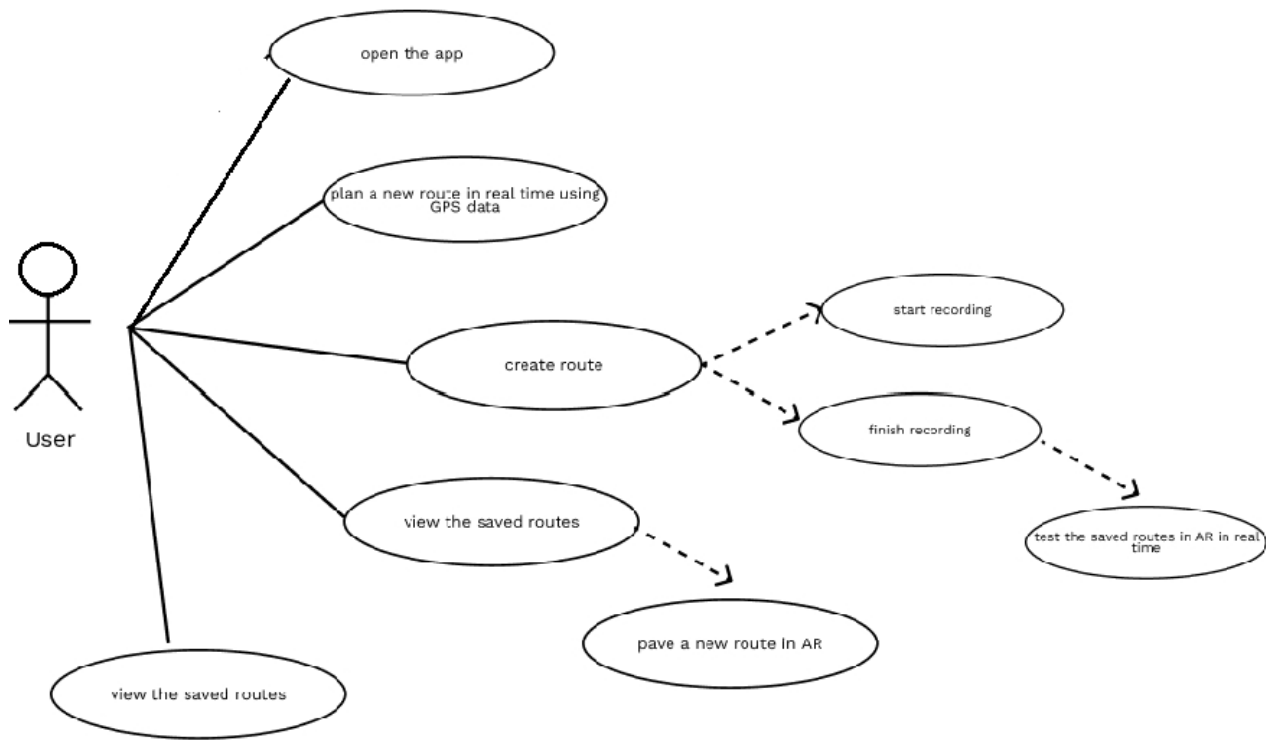


Рисунок 4.3 – Діаграма варіантів використання для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

### 4.2.2 Діаграма класів програмного забезпечення

Діаграма класів для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності включає 5 основних класів: клас RouteCacheService відповідає за додавання та видалення маршрутів. Властивість routes

– це масив шляхів, з назвою і об’єктом Route; getAllRoutes() – метод для отримання всіх шляхів; getRoute() – метод отримання шляху за посиланням на дисковий файл; addRoute() – метод додавання шляху; delRoute() – видалити шлях. Клас Route наслідується від класу RouteCacheService() та має властивості identity – ідентифікатор для унікальної ідентифікації об’єкту; name – ім’я; image – картинка для попереднього перегляду шляху; scene – об’єкт SceneKit, на якому побудований шлях. Він використовується для відтворення шляху на екрані користувача. Клас FileUtil відповідає за створення папок і файлів на жорсткому диску та має методи allFiles() – метод, який дозволяє отримати всі файли з жорсткого диску; метод path() дозволяє отримати лінк до файлу або будь-якого об’єкту; метод createFolder дозволяє створити папку; метод delFile призначений для видалення файлу. Клас FileUtil призначений для побудови шляху по точках і має методи vertexCoordinates() отримує координати точки та маршрут, куди вона веде далі, в яку точку; метод arrowPath() – шлях стрілки, як вона повинна бути намальована; метод addBeginNode – додає точку до шляху; метод addNormalNode прокладає нову точку від будь-якої попередньої. Клас SCNNode, який наслідується від класу FileUtil – це безпосередньо точка, одна із багатьох в шляху. Властивість name – ім’я, властивість light – відповідає за освітлення точки (якравість/контраст і так далі); geometry – відповідає за координати і розміри точки; rotation – відповідає за розмір повернутості точки. Діаграма класів для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності зображена на рисунку 4.4.

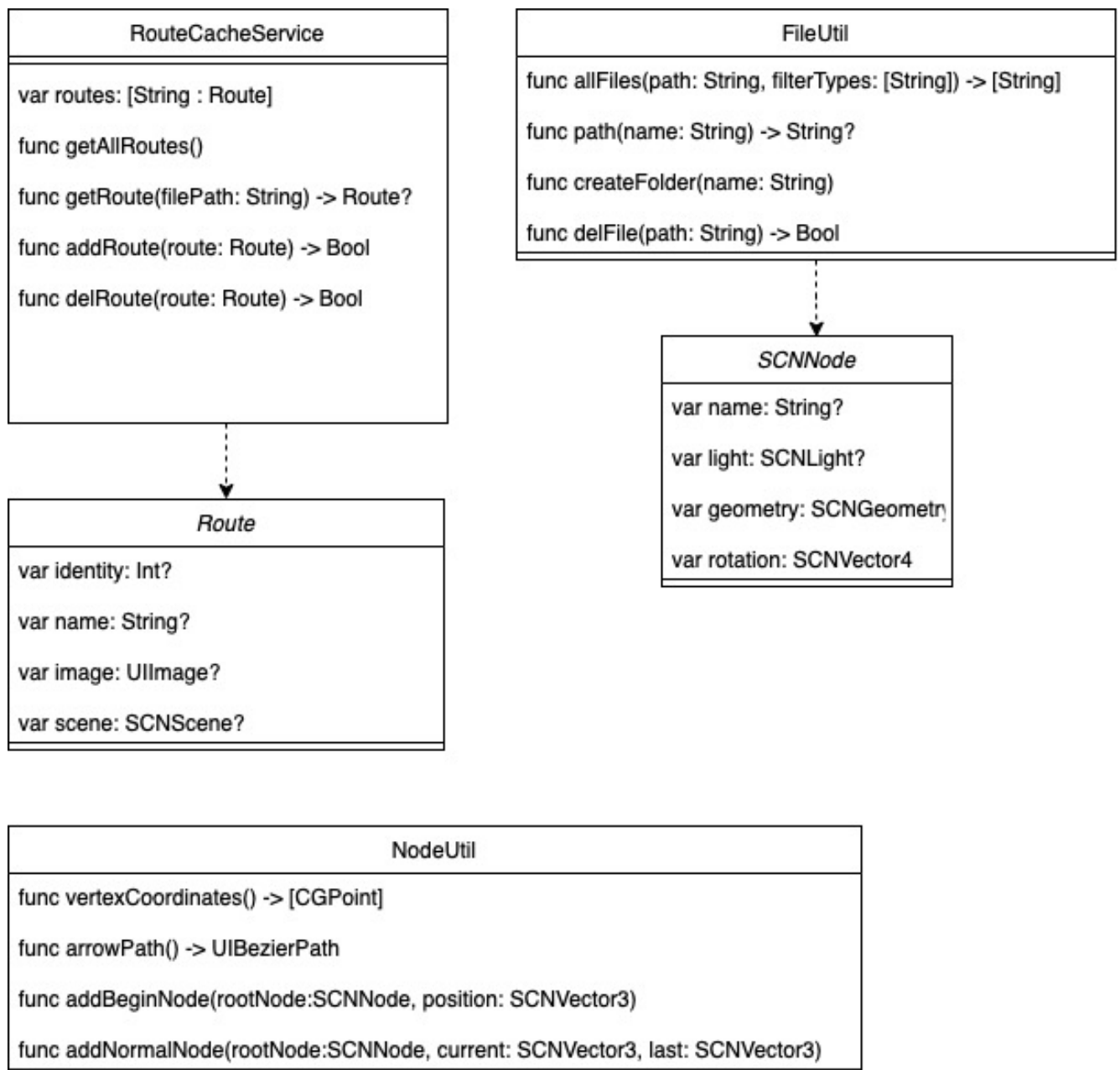


Рисунок 4.4 – Діаграма класів для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

#### 4.2.3 Діаграма станів програмного забезпечення

Мапа руху користувача по додатку включає наступні дії: користувач після авторизації в додатку у користувача є декілька опцій:

- відкрити вже існуючий маршрут для відтворення або видалення;
- прокласти новий маршрут.

Для прокладання нового маршруту потрібно дозволити ввімкнення камери та геопозиціювання. Після запису маршруту він зберігається автоматично. Потім користувач може відтворити збережений маршрут у режимі реального часу або видалити його у разі потреби. Діаграма станів для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності зображена на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Діаграма станів для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

#### 4.2.4 Діаграма розгортання програмного забезпечення

На діаграмі розгортання відбувається процес імплементації додатку на пристрій.

У лівому верхньому кутку на діаграмі ми бачимо що додаток комунікує з кодом обробки даних, оцінок часу візуалізації об'єктів.

Також відбувається комунікація з іншим кодом програми, ін'єкції візуальних об'єктів в пам'ять та з'єднання з функціоналом доповненої реальності.

Коли все завантажено в пам'ять, і пам'ять виділена (memory space), ми переводимо погляд на сірий квадрат, де всередині відбуваються попередня ініціалізація – створюються налаштування камери, конфігурується процес зйомки, калібрується пристрій (мобільний телефон) і на екран виводиться картинка.

Всередині процесу обробки і виводу картинки на екран фіксуються різні стани камери:

- система координат;
- розпізнавання об'єктів;
- зловлена з реального світу інформація компутується в 3D-об'єкти (стрілочка, шлях), які ми потім бачимо на екрані.

Горизонтальна система координат це система небесних координат, в якій основною площиною є площина математичного горизонту, а полюсами – зеніт і надир.

Діаграма розгортання для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності зображена на рисунку 4.6.

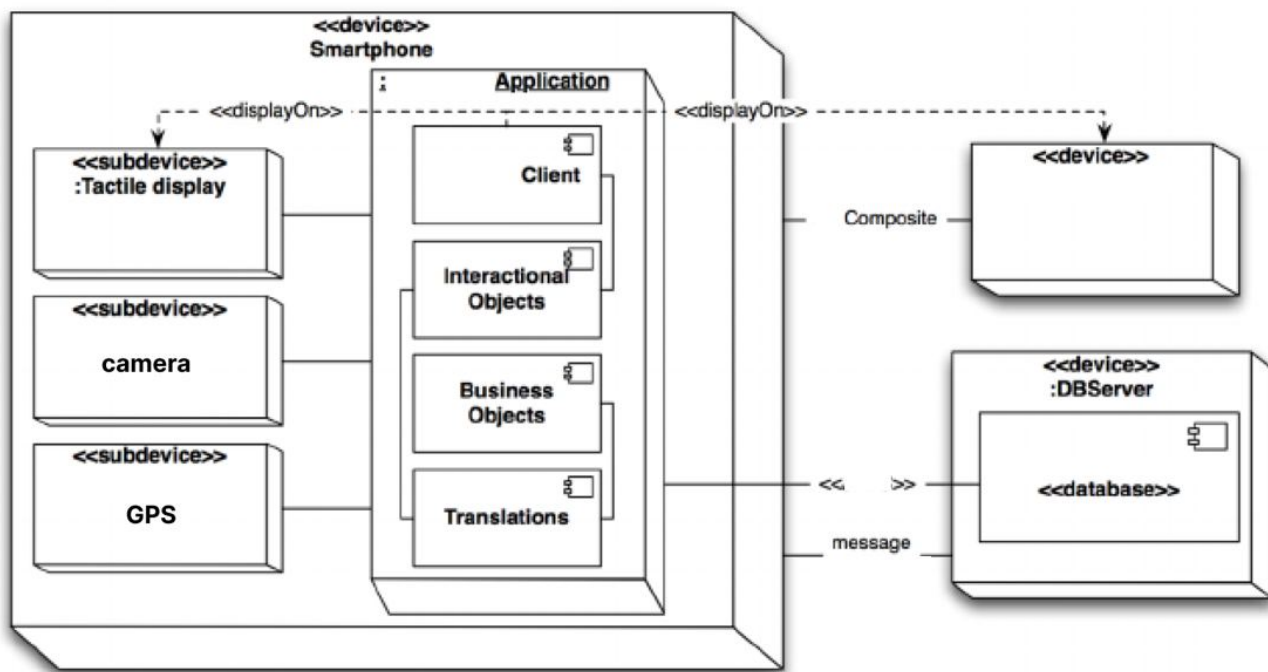


Рисунок 4.6 – Діаграма розгортання для інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

#### 4.3 Програмна реалізація системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

Для розробки програмного додатку Augmented Reality-based Routing Application (ARroute) було використано такі програмні засоби:

- мова програмування Swift 5.1;
- система управління базами даних Core Data;
- для інтерфейсу користувача використано фреймворк UIKit;
- для відображення 3D-шляхів в реальному часі – фреймворк ARKit;
- для побудови 3D-точок і шляхів – фреймворк SceneKit;
- для роботи з камерою використано фреймворк AVFoundation;
- для роботи з файлами на диску використано частину фреймворку Foundation, а саме – FileManager, його базовий системний екземпляр класу для передачі файлів – частину UIKit, а саме клас UIDocumentInteractionController.

Програмний додаток побудовано із урахуванням усіх функційних та нефункційних вимог із максимально зручним та зрозумілим інтерфейсом користувача.

Дана програма – це iOS-додаток, яка складається із створення/запису шляхів в реальному часі, їх відтворення на екрані користувача та можливістю навігуватись по ним, а також ділитись шляхами з іншими користувачами шляхом передачі файлу шляху через системну функцію sharing. Користувач обирає готовий маршрут, встає в початкову точку маршруту, наводить камеру так, як це зроблено на прев'ю шляху і натискає кнопку start, після чого запускається таймер і через 3 секунди система буде шлях, по якому можна рухатись, наводячи камеру на 3D-стрілочки. Далі система буде шлях в доповненій реальності до самого його кінця, після чого можна закінчити переміщення. Для максимальної зручності користувача при розробці програми було враховано можливість використання на смартфоні.

Опис основних функцій програмного забезпечення подано в зведеній таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Опис основних функцій ПЗ

| Назва функції | Опис функції   |
|---------------|--|
| PreviewView   | Клас який відповідає за відображення картинки з камери на дисплеї. Містить в собі AVCaptureVideoPreviewLayer та AVCaptureSession   |
| FileUtil      | Відповідає за роботу з файлами на диску (зчитування, видалення, редагування)   |
| CaptureObject | Відповідає за сесію камери з різними статусами (success, notAuthorized, configurationFailed), може робити фото, фокусувати камеру, виводити зображення на екран. Також містить в собі videoDeviceInput, photoOutput. |

Кінець таблиці 4.2 – Опис основних функцій ПЗ

|          |   |
|----------|---|
| NodeUtil | Може додавати до маршруту нові точки і будувати шлях UIBezierPath |
|----------|---|

|                          |  |
|--------------------------|--|
| RouteCacheService        | Дозволяє отримати всі маршрути збережені на дисковому просторі, зберегти маршрут на диск                             |
| HomeViewController       | Має в собі візуальне відображення списку маршрутів, по кліку на будь який із них відкривається відображення маршруту |
| StoreSceneViewController | Має в собі ARWorldTrackingConfiguration і рендерить шлях/маршрут в реальному часі                                    |

4.4 Аналіз результатів експериментів, верифікація, тестування та оцінка якості інформаційної системи прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

Експерименти проводилися на території кампусу Хмельницького національного університету (ХНУ). Два з найпопулярніших маршрути були накреслені на плані кампусу (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – План студмістечка ХНУ з нанесеними маршрутами для візуалізації за допомогою інформаційної технології на основі доповненої реальності

Маршрут, позначений жовтим кольором, – це маршрут від навчального корпусу №3, де розташована адміністрація ХНУ та проводяться заняття з деяких дисциплін, до

гуртожитків №2 та №3, де проживають студенти факультету інформаційних технологій.

Маршрут, позначений червоним кольором, – це шлях від гуртожитку №4, де проживають іноземні студенти факультету інформаційних технологій, через ботанічний сад повз базу майстерень, де проводяться деякі практичні заняття з технічних дисциплін, до навчального корпусу №3.

На рисунку 4.8 показано вікна інтерфейсу розробленої інформаційної системи на основі доповненої реальності для планування та візуалізації маршрутів:

- головний екран (після авторизації);
- головне меню із збереженими маршрутами;
- процес маршрутизації з використанням доповненої реальності.

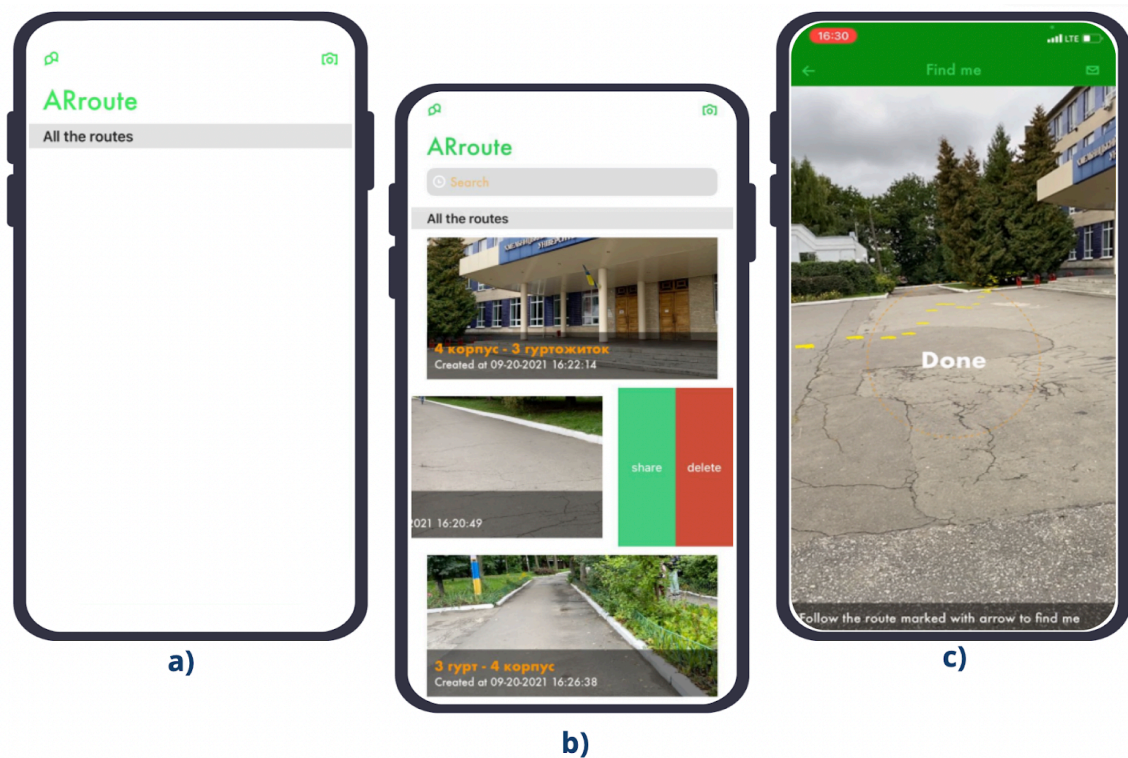


Рисунок 4.8 – Вікна інтерфейсу інформаційної системи на основі доповненої реальності для планування та візуалізації маршрутів

Якість та ефективність програми ARroute було перевірено та оцінено за допомогою основних параметрів продуктивності, таких як використання пам'яті,

продуктивність запуску програми, витрати пам'яті, максимальне використання ЦП, енергоефективність та кількість кадрів за секунду (FPS).

Запропонована в цій роботі модель архітектури програмного забезпечення працює досить добре в порівнянні з іншими подібними програмами.

Проведено порівняльний аналіз між додатком ARroute і Feed Me [38], який використовує Google Maps iOS SDK, тобто буквально може сприйматися як сам Google Maps. Запуск здійснено на iPhone 11 з iOS 14.7.1.

Також запропонований додаток ARroute є більш зручним у порівнянні з подібними системами, у нашому випадку Feed Me, оскільки має інтуїтивно вбудований інтерфейс та зрозумілий принцип використання.

На рисунку 4.9 показано, що панорами та 3D-маршрутизація, надані Google Maps, використовують зняті та збережені раніше іншими користувачами відео та фото.

Для експерименту було протестовано 3D маршрут по Ботанічному саду Хмельницького національного університету.

Відмітка часу показує, що це відео було знято в квітні 2019 року. Тому ми можемо зробити висновок, що Google Maps не забезпечують прокладення 3D-маршрутів у реальному часі.

Натомість ARroute забезпечує прокладення маршруту в реальному часі. Це допомагає користувачеві інтуїтивно будувати маршрут за допомогою маркерів доповненої реальності.

Збережений маршрут можна відтворити за допомогою камери пристрою в режимі реального часу, якщо це необхідно.



Рисунок 4.9 – 3D-маршрут по Ботанічному саду ХНУ за допомогою програми Google Maps

Продуктивність розробленого додатку ARroute було протестовано за допомогою інструменту Xcode. Результати тестування наведено на рисунках 4.10, 4.11, 4.12 та 4.13.

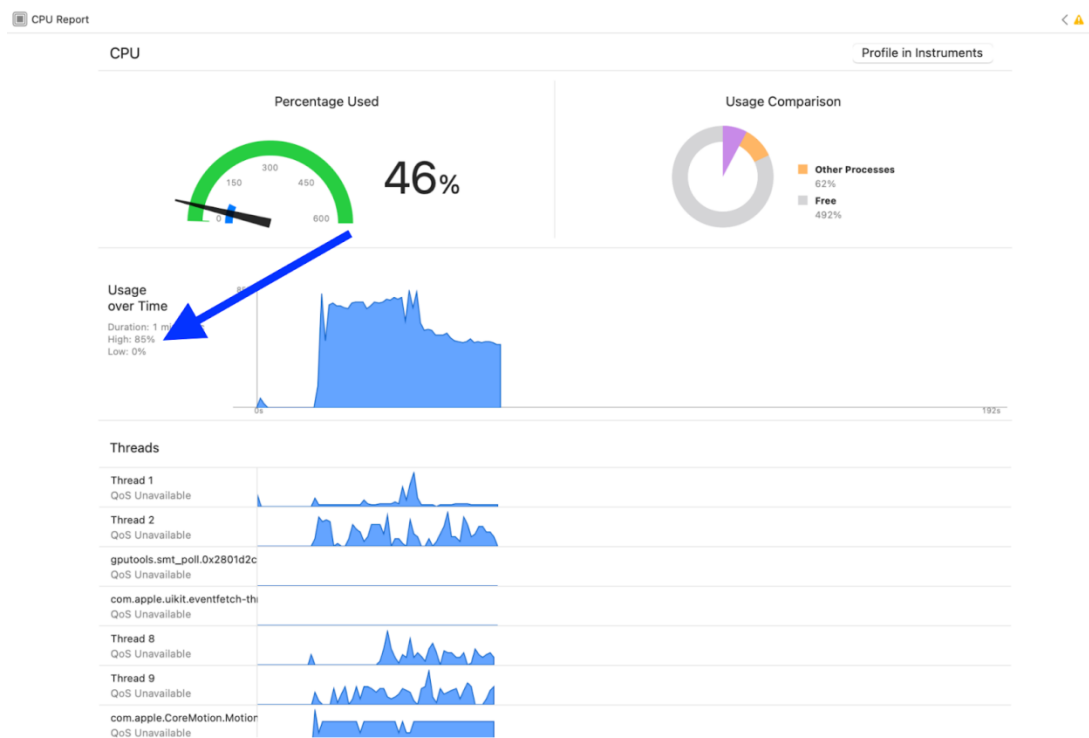


Рисунок 4.10 – Максимальне навантаження процесора у додатку ARRoute

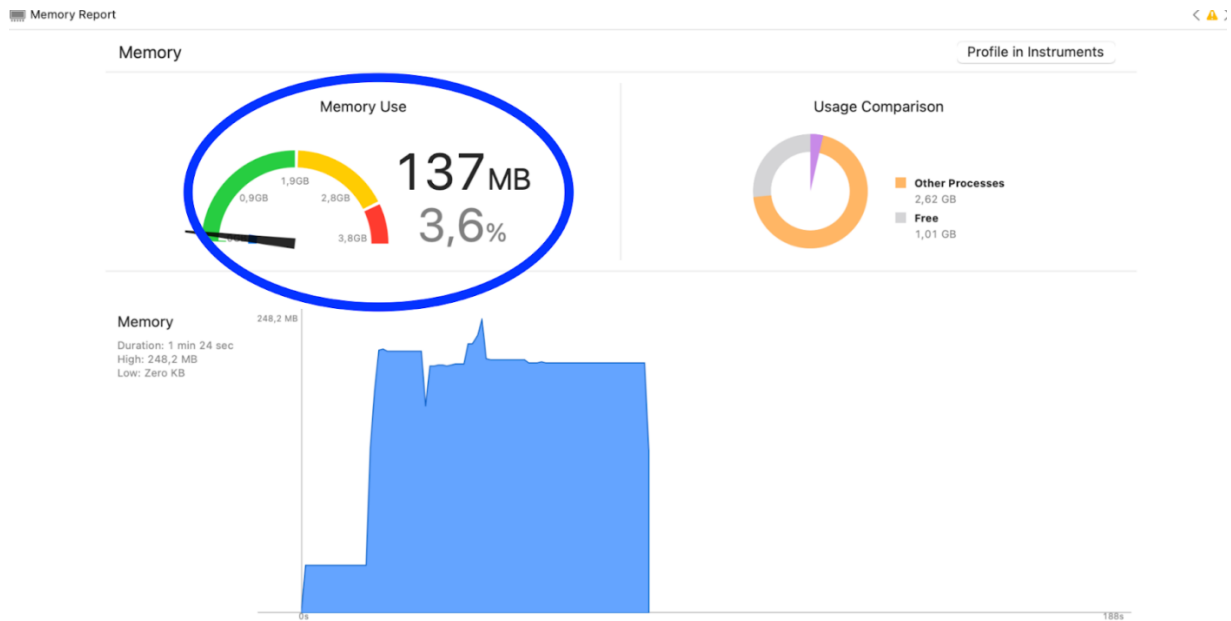


Рисунок 4.11 – Об'єм оперативної пам'яті, який займає додаток ARRoute

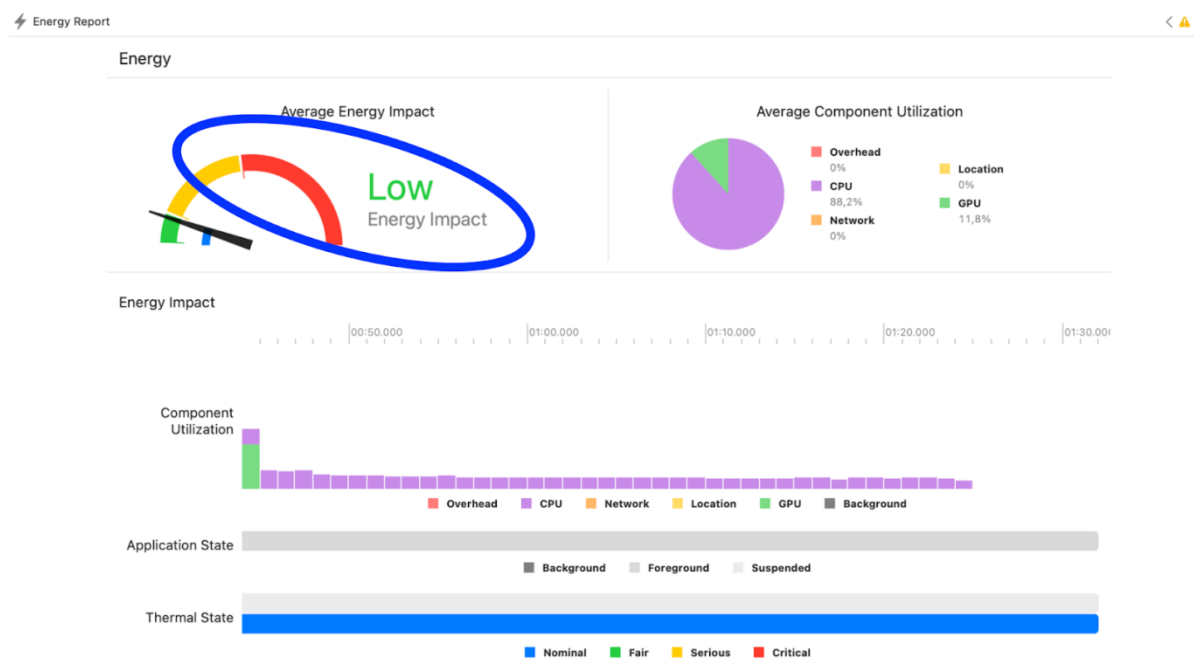


Рисунок 4.12 – Рівень використання енергії пристрою, на якому запускається додаток ARRoute

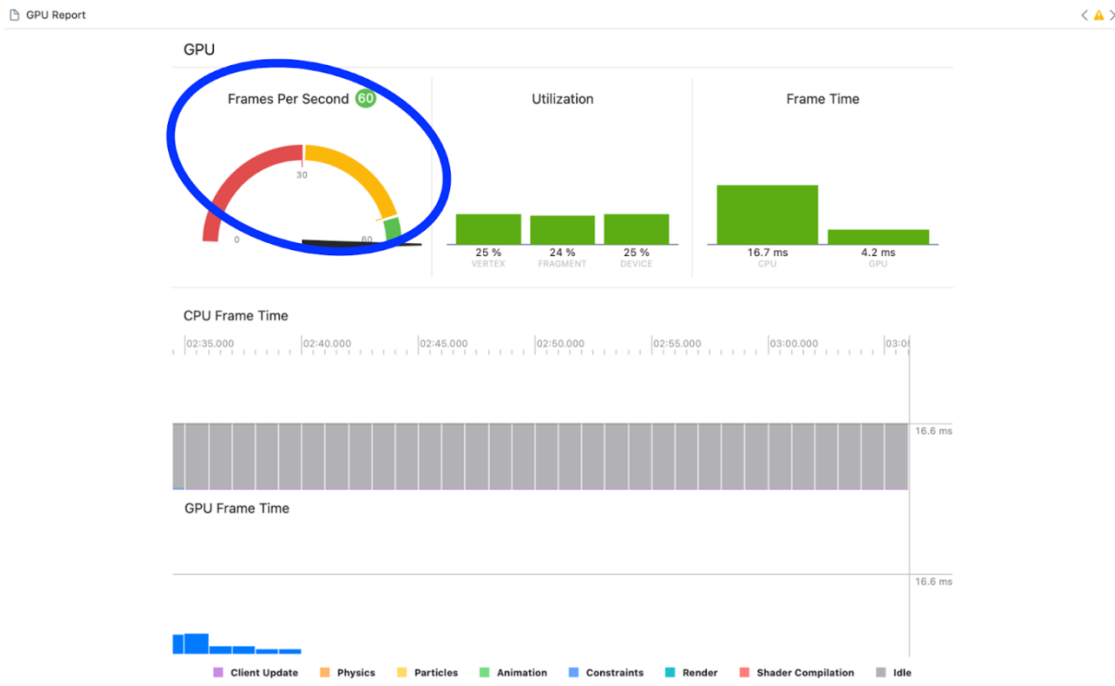


Рисунок 4.13 – Частота оновлення кадрів на екрані за секунду в додатку ARRoute

У таблиці 4.3 наведено порівняльний аналіз додатків ARroute і Feed Me (Google Maps) за основними характеристиками продуктивності.

Таблиця 4.3 – Результати тестування продуктивності програми ARroute і Feed Me (Google Maps) за допомогою інструменту Xcode

| Характеристика                 | Feed Me<br>(Google Maps) | ARroute              |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Використання пам'яті           | 137 MB за 188 секунд     | 185 MB за 189 секунд |
| Швидкість завантаження додатку | 16.44 секунд             | 3.76 секунд          |
| Витоки пам'яті                 | Немає                    | Немає                |
| Максимальне завантаження ЦП    | 67%                      | 85%                  |

| Енергоспоживання        | Висока | Низька |
|-------------------------|--------|--------|
| Фрейми за секунду (FPS) | 49     | 57     |

Використання пам'яті згадується як один із показників ефективності та коректності. Тому було використано цей параметр як показник ефективності в порівнянні з іншими проектами. Для розрахунку використання пам'яті порівнювані програми були запущені з тривалістю приблизно 3 хвилини і активно використовувалися. Наведені дані експерименту беруть середнє значення для кожної категорії.

Час запуску програми показує, скільки часу потрібно для запуску програми. Результати експерименту показали, що ARroute потребує менше часу для запуску.

Витоки пам'яті відбуваються, коли більше не потрібні об'єкти в пам'яті, які не можуть бути звільнені з різних причин і можуть призвести до втрати пам'яті, низької продуктивності та через закриття, відхід або автоматичний збій програми. Згідно з експериментом, в обох програмах немає проблем з витоком пам'яті.

Натомість ARroute має вищий рівень використання ЦП у часи пік.

Енергоспоживання показує, скільки заряду акумулятора споживає пристрій для виконання завдань. Цей показник дуже високий у Feed Me і низький у ARRoute.

Частота кадрів (FPS) – це частота (швидкість), з якою пристрій обробки зображень відображає послідовні зображення, які називаються кадрами. Цей індикатор показує, наскільки швидко, плавно і чітко відображається графіка програми на екрані смартфона. Незважаючи на використання технології доповненої реальності, ARroute має вищий показник FPS, ніж Feed Me (Google Maps), який використовує лише місцезнаходження користувача.

#### 4.5 Висновки

У даному розділі було спроектовано структурну схему інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів (ARroute). Також було складено список функційних та нефункційних вимог до даного програмного додатку і побудовано

основні UML – діаграми. Для розробки даного програмного забезпечення було обрано еволюційну модель життєвого циклу через її простоту та ефективність в проектах такого типу.

Розроблена програмна система дозволяє користувачу побудувати маршрут за допомогою камери смартфона та маркерів доповненої реальності, зберігати його в пам'яті смартфона та відтворювати в режимі реального часу за потреби.

Аналізу результатів якості програмного забезпечення за допомогою середовища XCode не виявив суттєвих недоліків в роботі системи, а навіть показав значні переваги перед подібними додатками-конкурентами. Якість та ефективність програми ARroute було перевірено та оцінено за допомогою основних параметрів продуктивності, таких як використання пам'яті, продуктивність запуску програми, витрати пам'яті, максимальне використання ЦП, енергоефективність та кількість кадрів за секунду (FPS).

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів, алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу, а також інформаційну технологію для прокладання та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності у вигляді мобільного додатку для операційної системи iOS.

У першому розділі проаналізовано галузь доповненої реальності, проведено огляд літературних джерел та виконано порівняльний аналіз існуючих рішень із застосуванням доповненої реальності для прокладання маршрутів. На основі порівняльного аналізу побудовано таблицю, у якій зазначено переваги та недоліки, що дає можливість зробити висновок про те, що задача застосування доповненої реальності для навігації наразі є актуальною.

У другому розділі досліджено принцип роботи технології доповненої реальності та основні платформи для роботи з технологією доповненої реальністю для операційних систем Android та iOS – ARCore та ARKit. А також побудовано математичну модель застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів у режимі реального часу.

У третьому розділі розроблено метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів та побудовано алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням доповненої реальності.

У четвертому розділі побудовано структурну схему інформаційної технології для прокладання та візуалізації маршрутів та розроблено діаграми для опису архітектури запропонованої інформаційної системи. Також описано експеримент із застосуванням запропонованої в роботі інформаційної технології на території студмістечка Хмельницького національного університету та результати тестування продуктивності розробленої системи на предмет використання пам'яті, продуктивність запуску програми, витрати пам'яті, максимальне використання ЦП, енергоефективність та кількість кадрів за секунду за допомогою інструменту XCode.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS 2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science. Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук. Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Башта А., Павлова О. Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів. *Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021)*, Хмельницький, Україна, 15-16 жовтня 2021. Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 25-29.
2. Мартинюк О., Корольов І., Тенденції розвитку VR, AR та MR-технологій у сучасному бізнесі. *Економіка і суспільство*. Випуск 22.2020. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-85>.
3. Технологія доповненої реальності. *Вікіпедія*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/AugmentedReality>(дата звернення: 20.02.2022).
4. Розширена реальність. *Вікіпедія*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Extended\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_reality) (дата звернення: 20.02.2022).
5. Fillmore H., Storr T., AR and VR in the workplace. *IBM Institute Report*. Last updated September, 2020. URL: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/ar-vr-workplace> (дата звернення: 20.02.2022).
6. XR, AR, VR, MR: What's the Difference in Reality? *ARM*. URL: <https://www.arm.com/blogs/blueprint/xr-ar-vr-mr-difference>(дата звернення: 10.02.2022).
7. Intriguing Uses Of AR Technology In Industry. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/07/14/10-intriguing-uses-of-ar-technology-in-industry/?sh=55fc1daf5825>(дата звернення: 12.02.2022).
8. Artivive. URL:<https://artivive.com/>(дата звернення: 12.02.2022)
9. IBC. URL: <https://www.ibr.org/trends/the-post-pandemic-outlook-for-virtual-reality/6248.article>(дата звернення: 12.02.2022).
10. WhatNextGlobal. URL: <https://www.whatnextglobal.com/post/artificial-intelligence-in-retail-industry> (дата звернення: 20.02.2022).
11. GlobeNewswire. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/09/17/2095458/0/en/Augmented-Reality-and-Virtual-Reality-Market-to-See-Overwhelming-Growth-of-2-094-08-Billion-by-2027-Business-Insights-Trends-Future->

Assessment-COVID-19-Analysis-and-Technology-Adva.html (дата звернення: 20.02.2022).

12. FinanceOnline. URL: <https://financesonline.com/virtual-reality-trends/> (дата звернення: 20.02.2022).

13. CTM. URL: <https://us.travelctm.com/blog/travel-technology-trends-2020-and-beyond/> (дата звернення: 20.02.2022).

14. MarketWatch. URL: <https://www.marketwatch.com/press-release/virtual-reality-vr-market-2020-byglobal-growth-prospects-future-trends-development-status-opportunities-leading-players-with-regions-forecast-to-2024-2020-09-25> (дата звернення: 21.02.2022).

15. Markets&Markets. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/realty-applications-market-458.html> (дата звернення: 21.02.2022).

16. ODOSCOPE. URL: <https://www.odoscope.com/en/5-trends-for-e-commerce-in-2020/> (дата звернення: 21.02.2022).

17. CRYSBERRY. URL: <https://crysberry.com/vr-and-ar-predictions-for-2020/> (дата звернення: 20.02.2022).

18. Agile vs Waterfall: суть та відмінності методологій розробки. URL: [https://web-academy.ua/blog/upravlenie/agile-vs-waterfall?utm\\_source=smartsender&utm\\_medium=post&utm\\_campaign=agile-vs-waterfall&utm\\_content=special-content&utm\\_term=11-02-22](https://web-academy.ua/blog/upravlenie/agile-vs-waterfall?utm_source=smartsender&utm_medium=post&utm_campaign=agile-vs-waterfall&utm_content=special-content&utm_term=11-02-22)(дата звернення: 11.02.2022).

19. Rich S.,Davis K. GIS in Education: Across Campuses, Inside Facilities. PenBay Solutions, 2019, URL: <https://www.esri.com/library/ebooks/gis-in-education-facilities.pdf>(дата звернення: 20.02.2022).

20. Larsson M. Geographical Visualization Within Augmented Reality. DA613A, KTH. 2018, Sweden.

21. Kostov G. Y. Fostering Player Collaboration Within a Multimodal Co-Located Game”, 2015, p. 66.

22. Kipper G. What Is Augmented Reality? 2013

23. Furht B Handbook of Augmented Reality. Springer Science & Business Media, 2014

24. Bernelind S. Navigation in Augmented Reality, 2015. 47 p.
25. Irshad S., Rambli D. R. A. User experience of mobile augmented reality: a review of studies, in 3rd International Conference on User Science and Engineering (i-USEr), 2015. pp. 125–130.
26. Irshad S., Rambli D. R. A. Preliminary user experience framework for designing mobile augmented reality technologies: 4th International Conference on Interactive Digital Media, no. Icidm, 2015. pp. 1–4.
27. Lando E. How Augmented Reality Affects the Learning Experience in a Museum, 2017
28. Marshall T. Moving the Museum Outside Its Walls: An Augmented Reality Mobile Experience, 2016
29. Bhorkar G. A Survey of Augmented Reality Navigation. Aalto University, 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/319164069> (дата звернення: 20.02.2022).
30. Gatwick installs 2000 indoor navigation beacons enabling augmented reality wayfinding – a world first for an airport, Last updated May 25, 2017. URL: <http://airport-suppliers.com/gatwick-installs-2000-indoor-navigation-beacons-enabling-augmented-reality-wayfinding-world-first-airport> (дата звернення: 20.02.2022).
31. AR GPS Walk/Drive navigation mobile App. URL: <https://apkfab.com/ar-gps-drive-walk-navigation/com.w.argps> (дата звернення: 25.12.2021).
32. Locus Maps – an application for navigation. URL: <https://www.locusmap.app/> (дата звернення: 25.12.2021).
33. Youssef M.M., Mousa S.A., Baloola M.O., Fouda B.M. The Impact of Mobile Augmented Reality Design Implementation on User Engagement, 2018
34. Singh M., Gupta P., Tyagi V., Flusser J., Ören T., Valentino G. Advances in Computing and Data Sciences. ICACDS 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1244. Springer, Singapore. 2020. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6634-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6634-9_10)
35. iOS Developer Documentation. URL: <https://developer.apple.com/documentation/scenekit/> (дата звернення: 11.12.2021).

36. Brata K.C., Liang D., Pramono S.H. Location-Based Augmented Reality Information for Bus Route Planning System. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2015. pp. 142-149.
37. 3D Math for ARKit. URL: <https://titanwolf.org/Network/Articles/Article?AID=3d944b62-a371-4461-9eaa-c19589a5c1c0#gsc.tab=0> (дата звернення: 11.12.2021).
38. Understanding OpenGL screen z (depth) values. URL: <http://www.alecjacobson.com/weblog/?p=3835> (дата звернення: 11.12.2021).
39. Google Maps iOS SDK Tutorial. URL: <https://www.raywenderlich.com/7363101-google-maps-ios-sdk-tutorial-getting-started> (дата звернення: 25.12.2021).
40. O'Regan G. Introduction to the History of Computing A Computing History Primer. Undergraduate Topics in Computer Science, 2016.
41. Mainzer K. From Augmented Reality to the Internet of Things: Paradigm Shifts in Digital, 2018.
42. Kostov G. Y. *Fostering Player Collaboration Within a Multimodal Co-Located Game*, 2015, p. 66 ст.
43. Furht B. Handbook of Augmented Reality. Springer Science & Business Media, 2018.
44. Boas Y. Overview of Virtual Reality Technologies. [Mms.Ecs.Soton.Ac.Uk](http://Mms.Ecs.Soton.Ac.Uk), 2013.
45. Pyae A., Luimula M., and Smed J. Investigating Players' Engagement, Immersion, and Experiences in Playing Pokémon Go. *Proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition: C&C'17*, 2017. pp. 247–251.
46. Marneanu I., Ebner M., and Roessler T. Evaluation of Augmented Reality Frameworks for Android Development. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, vol. 8, no. 4, 2014. p. 37.
47. Gartner G., Meng L. and Peterson M. P. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2015.

48. Mota J. M., Ruiz-Rube I., Dodero J. M and I. Arnedillo-Sánchez. Augmented reality mobile app development for all. *Computers and Electrical Engineering*, vol. 65, 2018. pp. 250–260.

49. Rautenbach V., Coetzee S. and Jooste D. Results of an evaluation of augmented reality mobile development frameworks for addresses in augmented reality. *Spatial Information Research*, vol. 24, no. 3, 2016. pp. 211–223.

50. Amin D., Govilkar S. Comparative Study of Augmented Reality SDK's. *International Journal on Computational Science & Applications*, vol. 5, no. 1, 2015. pp. 11–26.

51. Google ARCore Overview. URL: <https://developers.google.com/ar/discover/> (дата звернення: 2.01.2022).

52. Keating G., Guest D., Konertz A., Padovani N., Villa A. Designing the AR Experience: Tools and Tips for Mobile Augmented Reality UX Design in Design, User Experience, and Usability. Theory, Methods, Tools and Practice (A. Marcus, ed.), *Springer Berlin Heidelberg*, 2011. pp. 135–141.

53. Rowley J. Conducting research interviews. *Management Research Review*, vol. 35, 3 2017. pp. 260–271

54. Augmented Reality is the Future of Online Shopping. URL: <https://time.com/6138147/augmented-reality-shopping/> (дата звернення: 27.02.2022).

55. AR for Navigation – What You Should Know. URL: <https://www.bairesdev.com/blog/ar-for-navigation-what-you-should-know/> (дата звернення: 27.02.2022).

56. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Does Augmented Reality Work? *November–December 2017 issue of Harvard Business Review*. URL: <https://hbr.org/2017/11/how-does-augmented-reality-work> (дата звернення: 27.02.2022).

57. Augmented Reality in the Real World. November–December 2017 issue of Harvard Business Review. URL: <https://hbr.org/2017/11/augmented-reality-in-the-real-world?ab=seriesnav-spotlight> (дата звернення: 27.02.2022).

58. What is ARCore? URL: <https://arvr.google.com/arcore/> (дата звернення: 27.02.2022).

59. Human Interface Guidelines. Augmented Reality. URL: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/system-capabilities/augmented-reality/> (дата звернення: 27.02.2022).
60. Apple Developer's Documentation: ARKit Framework. URL: <https://developer.apple.com/documentation/arkit> (дата звернення: 27.02.2022).
61. Mur-Artal R, Tardós JD. ORB-SLAM2: an open-source SLAM system for monocular, stereo and RGB-D cameras. *IEEE Transactions on Robotics*, 2017. pp. 1255–1262.
62. Kulikov AS., Mavlutov AR., Mavlutov. Application of augmented reality in GIS. *Herald of Science and Education*, 2019. pp. 25–28.
63. Mourikis A.I., Roumeliotis S.I. A multi-state constraint Kalman filter for vision- aided inertial navigation. *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Rome, Italy, 2007. pp. 3565–3572.*
64. Kim L.M., Mourikis B.H. Real-time motion tracking on a cellphone using inertial sensing and a rolling shutter camera. *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2016. pp. 4712–4719.
65. Luntovskyy A. Advanced software-technological approaches for mobile apps development. *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TC-SET)*, 2018. pp. 113–118
66. Kim W. T. Mobile Application Development Experiences on Apple's iOS and Android OS. *IEEE Potentials*, 2014. pp. 30–34.
67. Kamel Boulos M.N., Lu Z., Guerrero P., Jennett C., Steed A. From urban planning and emergency training to Pokémon Go: Applications of Virtual Reality GIS (VRGIS) and Augmented Reality GIS (ARGIS) in personal, public and environmental health. *Int. J. Health Geogr.* 2017.
68. Hruby F., Ressler R., Valle. G.D.L.B.D. *Geovisualization with immersive virtual environments in theory and practice. Int. J. Digit.Earth*, 2019. pp. 123–136.
69. Schrom-Feiertag H., Settgest V., Seer S. *Evaluation of indoor guidance systems using eye tracking in an immersive virtual environment*, 2017. pp. 163–183.

70. Behzadan A.H., Dong S., Kamat V. Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. *Adv.Eng. Inform*, 2015. pp. 252–267.
71. Lu W., Zhao L., Xu R. Remote sensing image processing technology based on mobile augmented reality technology in surveying and mapping engineering. *Remote Sens*, 2022. pp. 22-23.
72. Lütjens M., Kersten T.P., Dorschel B., Tschirschwitz F. Virtual reality in cartography: Immersive 3D visualization of the ArcticClyde Inlet (Canada) using digital elevation models and bathymetric data. *Multimodal Technol. Interact*, 2019.
73. Saidin N.F., Halim N.D.A.,Yahaya N. A review of research on augmented reality in education: Advantages and applications. *Int. Educ. Stud.*, 2015. pp. 1–8.
74. Pereira G.H.D.A., Stock K., Delazari L., Centeno J.A.S. Augmented reality and maps: New possibilities for engaging with geographic data. *Cartogr. J.*, 2018. pp. 313–321.
75. Kaji S., Kolivand H., Madani R., Salehinia M., Shafaie M. Augmented Reality in Smart Cities: A Multimedia Approach. Available online: <https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/8035/1/Augmented%20Reality%20in%20Smart%20Cities%20A%20Multimedia%20Approach.pdf> (дата звернення: 13.03.2022).
76. Serravalle F., Ferraris A., Vrontis D., Thrassou A., Christofi M. Augmented reality in the tourism industry: A multi-stakeholder analysis of museums. *Tour. Manag. Perspect.*, 2019.
77. Loureiro S.M.C., Guerreiro J., Ali F. 20 years of research on virtual reality and augmented reality in tourism context: A text-mining approach. *Tour. Manag.*, 2020.
78. Barrile V., Fotia A., Bilotta G., De Carlo D. Integration of geomatics methodologies and creation of a cultural heritage app using augmented reality. *Virtual Archaeol. Rev.*, 2019. pp. 40–51.
79. Templin T., Popielarczyk D. The use of low-cost unmanned aerial vehicles in the process of building models for cultural tourism. 3D web and augmented/mixed reality applications *Sensors*, 2020.
80. Schmidt M.A.R., de Mendonca A.L.A. Challenges in Personal Mobile Navigation, 2018. Available online: <https://use.icaci.org/wp-content/uploads/2018/11/SchmidtMendonca.pdf> (дата звернення: 03.03.2022).

81. Popielarczyk D., Templin T. Application of integrated GNSS/hydroacoustic measurements and GIS geodatabase models for bottom analysis of Lake Hancza: *The deepest inland reservoir in Poland. Pure Appl. Geophys.*, 2014. pp. 997–1011.
82. Yu J., Fang L., Lu C. Key technology and application research on mobile augmented reality. In *Proceedings of the 2016 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences (ICSESS)*, Beijing, China, 26–28 August 2016. pp. 547–550.
83. Bartolini S., Mecocci A., Pozzebon A. et al. Augmented virtuality for coastal management: *A holistic use of in situ and remote sensing for large scale definition of coastal dynamics. ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 2018. p. 92.
84. Mirauda D., Erra U., Agatiello R., Cerverizzo M. *Applications of mobile augmented reality to water resources management. Water*, 2017. p. 699.
85. Oh J., Park S., Kwon O.S. *Advanced navigation aids system based on augmented reality. Int. J. e-Navig. Marit. Econ.*, 2016. pp. 21–31.
86. Bandara D., Woodward M., Chin C., Jiang D. *Augmented reality lights for compromised visibility navigation. J. Mar. Sci. Eng.*, 2020. p. 1014.
87. Laera F., Foglia M.M., Evangelista A., Boccaccio A. Towards sailing supported by augmented reality: Motivation, methodology and perspectives. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Recife, Brazil, 9–13 November 2020. pp. 269–274.
88. Laera F., Fiorentino M., Evangelista A., Boccaccio A. Augmented reality for maritime navigation data visualisation: *A systematic review, issues and perspectives. J. Navig.*, 2021. pp. 1073–1090.
89. Von Lukas U., Vahl M., Mesing B. Maritime applications of augmented reality—Experiences and challenges. In *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications of Virtual and Augmented Reality; Lecture Notes in Computer Science; Springer: Cham. Volume 8526*. Switzerland, 2014.
90. Daponte P., De Vito L., Picariello F., Riccio M. State of the art and future developments of the Augmented Reality for measurement applications. *Measurement*, 2014. pp. 53–70.

91. Paziewski J., Kealy A., Gikas V., Geng J. Recent advances in ubiquitous positioning systems for mobility applications. Meas. Sci.Technol., 2021.
92. Yudin A.V. et al. Construction of routes in augmented reality using GIS technologies. RUDN Journal of Engineering Researches, 2020. pp. 189–196.

## ДОДАТОК А

(обов'язковий)

### ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕР-ЗАГРОЗ В НА ОСНОВІ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ

#### PreviewView.swift

```
class PreviewView: UIView {  
    var videoPreviewLayer: AVCaptureVideoPreviewLayer {  
        guard let layer = layer as? AVCaptureVideoPreviewLayer else {  
            fatalError("Expected `AVCaptureVideoPreviewLayer` type for layer. Check  
PreviewView.layerClass implementation.")  
        }  
  
        return layer  
    }  
  
    weak var session: AVCaptureSession? {  
        get {  
            return videoPreviewLayer.session  
        }  
        set {  
            videoPreviewLayer.session = newValue  
        }  
    }  
  
    // MARK: UIView  
  
    override class var layerClass: AnyClass {  
        return AVCaptureVideoPreviewLayer.self  
    }  
}
```

```
}
```

## FileUtil.swift

```
class FileUtil {
```

```
    static func allFiles(path: String, filterTypes: [String]) -> [String] {
```

```
        do {
```

```
            let files = try FileManager.default.contentsOfDirectory(atPath: path)
```

```
            if filterTypes.count == 0 {
```

```
                return files
```

```
            } else {
```

```
                let filteredfiles = NSArray(array:  
files).pathsMatchingExtensions(filterTypes)
```

```
                return filteredfiles
```

```
            }
```

```
        } catch {
```

```
            return []
```

```
        }
```

```
    }
```

```
    static func path(name: String) -> String? {
```

```
        return NSSearchPathForDirectoriesInDomains(.documentDirectory,  
.userDomainMask, true).last?.appending(name)
```

```
    }
```

```
    static func createFolder(name: String) {
```

```
        if let path = path(name: name) {
```

```
            if false == FileManager.default.fileExists(atPath: path) {
```

```
                try! FileManager.default.createDirectory(atPath: path,  
withIntermediateDirectories: true, attributes: nil)
```

```
            }
```

```
}  
}
```

```
static func delFile(path: String) -> Bool {  
  do {  
    try FileManager.default.removeItem(atPath: path)  
  } catch {  
    return false  
  }  
  return true  
}
```

```
static func identityForFile(file: String) -> String {  
  var identity = file  
  let names = file.components(separatedBy: "-")  
  if names.count > 1 {  
    identity = names[0]  
  } else {  
    let names = file.components(separatedBy: ".")  
    if names.count > 1 {  
      identity = names[0]  
    }  
  }  
  return identity  
}
```

```
static func copyFile(at: URL) -> String? {  
  do {  
    let identity = FileUtil.identityForFile(file: at.lastPathComponent)
```

```

        if let path = FileUtil.path(name:
"/com.routes".appending("/").appending(identity).appending(".fmr")) {
            try FileManager.default.copyItem(at: at, to: URL(fileURLWithPath: path))
            return path
        } else {
            return nil
        }
    } catch {
        return nil
    }
}
}
}

```

### ShareUtil.swift

```

class ShareUtil: NSObject {
    static let shared = ShareUtil()

    private var document = UIDocumentInteractionController()

    func shareRoute(view: UIView, identity: Int64) {
        if let file = FileUtil.path(name:
"/com.routes".appending("/").appending(String(identity).appending(".fmr"))) {
            document = UIDocumentInteractionController(url: URL(fileURLWithPath:
file))

            document.uti = "com.fmr"
            document.delegate = self
            document.presentOpenInMenu(from: .zero, in: view, animated: true)
            // document.presentOpenInMenu(from: shareItem, animated: true)
        }
    }
}

```

```

func openRoute(file: URL) {
    let identity = FileUtil.identityForFile(file: file.lastPathComponent)

    if let route = RouteCacheService.shared.routes[identity] {
        SVProgressHUD.showInfo(withStatus: "Already got the route with name:
.appending(route.name))
        return
    }

    if let path = FileUtil.copyFile(at: file), let route =
RouteCacheService.shared.getRoute(filePath: path) {
        SVProgressHUD.showInfo(withStatus: "Route with name:
.appending(route.name).appending(" added.")
        NotificationCenter.default.post(name: NSNotification.Name(rawValue:
"ReloadRoutes"), object: nil)
    } else {
        SVProgressHUD.showError(withStatus: "Open shared route failed!")
    }
}
}

```

### NodeUtil.swift

```

class NodeUtil {
    private static func vertexCoordinates() -> [CGPoint] {
        return [CGPoint(x: 0, y: 0),
            CGPoint(x: 20, y: 0),
            CGPoint(x: 20, y: 10),
            CGPoint(x: 10, y: 10),
            CGPoint(x: 10, y: 20),

```

```

        CGPoint(x: 0, y: 20)
    ]
}

```

```

private static func arrowPath() -> UIBezierPath {

```

```

    let path = UIBezierPath()

```

```

    let points = NodeUtil.vertexCoordinates()

```

```

    var count = 0

```

```

    for point in points {

```

```

        if 0 == count {

```

```

            path.move(to: point)

```

```

        } else {

```

```

            path.addLine(to: point)

```

```

        }

```

```

        count += 1

```

```

    }

```

```

    path.close()

```

```

    return path

```

```

}

```

```

static func addBeginNode(rootNode:SCNNode, position: SCNVector3) {

```

```

    let box = SCNBox(width:
CGFloat(Constant.BOX_SIZE*Constant.SCALE_INTERVAL), height:
CGFloat(Constant.BOX_SIZE*Constant.SCALE_INTERVAL), length:
CGFloat(Constant.BOX_SIZE*Constant.SCALE_INTERVAL), chamferRadius: 0)

```

```

    let node = SCNNode(geometry: box)

```

```

    node.position = position

```

```

node.geometry?.firstMaterial?.diffuse.contents = UIColor(hexColor: "CD4F39")
rootNode.addChildNode(node)
}

```

```

static func addEndNode(rootNode:SCNNode, position: SCNVector3) {
    let box = SCNBox(width:
CGFloat(Constant.BOX_SIZE*Constant.SCALE_INTERVAL), height:
CGFloat(Constant.BOX_SIZE*Constant.SCALE_INTERVAL), length:
CGFloat(Constant.BOX_SIZE*Constant.SCALE_INTERVAL), chamferRadius: 0)
    let node = SCNNode(geometry: box)
    node.position = position
    node.geometry?.firstMaterial?.diffuse.contents = UIColor(hexColor: "CD4F39")
    rootNode.addChildNode(node)
}

```

```

static func addNormalNode(rootNode:SCNNode, current: SCNVector3, last:
SCNVector3) {
    let path = NodeUtil.arrowPath()
    let shape = SCNShape(path: path, extrusionDepth: 2)

    let node = SCNNode(geometry: shape)
    node.transform = SCNMatrix4MakeScale(Constant.SCALE_INTERVAL,
Constant.SCALE_INTERVAL, Constant.SCALE_INTERVAL)
    // node.rotation = SCNVector4Make(Float.pi/2.0*3.0,
Float.pi/4.0+atan2(current.x-last.x, current.z-last.z), 0.0, 0.0)
    node.runAction(SCNAction.rotateBy(x: CGFloat(Float.pi/2.0*3.0),
y:CGFloat(Float.pi/4.0+atan2(current.x-last.x, current.z-last.z)), z: 0.0, duration: 0.0))

    node.position = current
    node.geometry?.firstMaterial?.diffuse.contents = UIColor(hexColor: "43CD80")
}

```

```
        rootNode.addChildNode(node)
    }
}
```

## RouteCacheService.swift

```
class RouteCacheService {
```

```
    static let shared = RouteCacheService()
```

```
    init() {
```

```
        FileUtil.createFolder(name: "/com.routes")
```

```
        getAllRoutes()
    }
```

```
    func getAllRoutes() {
```

```
        if let path = FileUtil.path(name: "/com.routes") {
```

```
            let files = FileUtil.allFiles(path: path, filterTypes: ["fmr"])
```

```
            for file in files {
```

```
                let filePath = path.appending("/").appending(file)
```

```
                getRoute(filePath: filePath)
```

```
            }
```

```
        }
```

```
    }
```

```
@discardableResult
```

```
func getRoute(filePath: String) -> Route? {
```

```
    if let route = NSKeyedUnarchiver.unarchiveObject(withFile: filePath) as? Route
```

```
{
```

```
        routes[String(route.identity)] = route
```

```
        return route
```

```
    } else {
```

```
        return nil
    }
}
```

```
var routes: [String : Route] = [ : ]
```

```
func route(identity: Int64) -> Route? {
    return routes[String(identity)];
}
```

```
func routes(prefix: String) -> [Route] {
    return Array(self.routes.values).filter { (route) -> Bool in
        return route.name.lowercased().contains(prefix.lowercased())
    }
}
```

```
func allRoutes() -> [Route] {
    return Array(self.routes.values)
}
```

```
@discardableResult
```

```
func addRoute(route: Route) -> Bool {
    routes[String(route.identity)] = route
}
```

```
NotificationCenter.default.post(name: NSNotification.Name(rawValue:
"ReloadRoutes"), object: nil)
```

```
if let file = FileUtil.path(name:
"/com.routes".appending("/").appending(String(route.identity).appending(".fmr"))) {
    return NSKeyedArchiver.archiveRootObject(route, toFile: file)
}
```

```

    } else {
        return false
    }
}

```

### @discardableResult

```

func delRoute(route: Route) -> Bool {

```

```

    routes.removeValue(forKey: String(route.identity))

```

```

    NotificationCenter.default.post(name: NSNotification.Name(rawValue:
"ReloadRoutes"), object: nil)

```

```

    if let file = FileUtil.path(name:
"/com.routes".appending("/").appending(String(route.identity).appending(".fmr"))) {
        return FileUtil.delFile(path: file)
    } else {
        return false
    }
}
}

```

### HomeController.swift

```

class HomeController: UITableViewController {

```

```

    lazy var searchController = ({ () -> UISearchController in

```

```

        if let font = UIFont(name: "Futura", size: 16) {

```

```

            UITextField.appearance(whenContainedInInstancesOf:

```

```

[UISearchBar.classForCoder() as! UIAppearanceContainer.Type]).defaultTextAttributes =

```

```

[NSAttributedStringKey.font.rawValue:font,
NSAttributedStringKey.foregroundColor.rawValue:UIColor.systemOrange]
    UITextField.appearance(whenContainedInInstancesOf:
[UISearchBar.classForCoder() as! UIAppearanceContainer.Type]).attributedStringPlaceholder =
NSAttributedString(string: "Search", attributes: [NSAttributedStringKey.font:font,
NSAttributedStringKey.foregroundColor:UIColor.systemOrange.withAlphaComponent(0.5)
])

```

```

    UITextField.appearance(whenContainedInInstancesOf:
[UISearchBar.classForCoder() as! UIAppearanceContainer.Type]).tintColor =
UIColor.systemOrange
}

```

```

let controller = UISearchController(searchResultsController: nil)
controller.searchResultsUpdater = self
controller.searchBar.tintColor = UIColor.systemOrange
controller.searchBar.setImage(UIImage(named: "clock_icon"), for: .search, state:
.normal)
controller.searchBar.setImage(UIImage(named: "close"), for: .clear, state:
.normal)
controller.hidesNavigationBarDuringPresentation = false
controller.dimsBackgroundDuringPresentation = false

return controller
}))

```

```

lazy var routes: [Route] = RouteCacheService.shared.allRoutes()

```

```

var searchedRoutes: [Route] = [Route]() {
    didSet {

```

```
        self.tableView.reloadData()
    }
}
```

```
override func viewDidLoad() {
    super.viewDidLoad()
    self.navigationItem.searchController = self.searchController
    self.navigationItem.hidesSearchBarWhenScrolling = true
    // Do any additional setup after loading the view.

    reloadRoutes()
}
```

```
NotificationCenter.default.addObserver(self, selector: #selector(reloadRoutes),
name: NSNotification.Name(rawValue: "ReloadRoutes"), object: nil)
}
```

```
deinit {
    NotificationCenter.default.removeObserver(self, name:
NSNotification.Name(rawValue: "ReloadRoutes"), object: nil)
}
```

```
@objc func reloadRoutes() {
    routes = RouteCacheService.shared.allRoutes()
    self.tableView.reloadData()
}
```

```
override func viewWillAppear(_ animated: Bool) {
    super.viewWillAppear(animated)
}
```

```
override func didReceiveMemoryWarning() {  
    super.didReceiveMemoryWarning()  
    // Dispose of any resources that can be recreated.  
}
```

```
/*
```

```
// MARK: - Navigation
```

```
// In a storyboard-based application, you will often want to do a little preparation  
before navigation
```

```
override func prepare(for segue: UIStoryboardSegue, sender: Any?) {  
    // Get the new view controller using segue.destinationViewController.  
    // Pass the selected object to the new view controller.  
}  
*/
```

```
}
```

## ДОДАТОК Б

# ТЕЗИ ДОПОВІДІ НА ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК АПКН-2021»

Актуальні проблеми комп'ютерних наук

УДК 004.4

Башта А. Р., Павлова О. О.

Хмельницький національний університет

### ТЕХНОЛОГІЯ ТА СЦЕНАРІЙ ЗАСТОСУВАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПРОКЛАДАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ

Розглянуто прикладні аспекти розробки інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності. Розроблено інформаційну систему у вигляді мобільного додатку, що дозволяє прокладати маршрути в режимі реального часу та відтворювати їх за допомогою технології доповненої реальності.

Applied aspects of information system development for routing and visualization of augmented reality routes were considered. An information system in the form of a mobile application has been developed, which allows routing in real time and reproducing them using augmented reality technology.

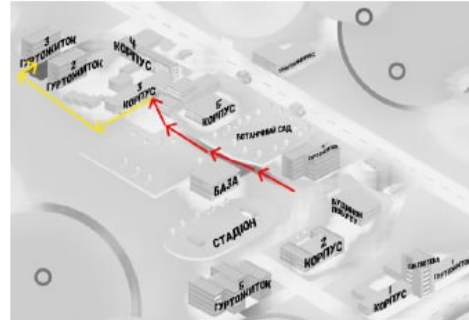
Доповнена реальність сьогодні є однією з найпопулярніших сучасних технологій, відома своїм використанням в іграх та рекламних відеороликах. Ця технологія також використовується в інших мети відомих галузях, таких як системи підтримки прийняття рішень, навігація та огляд визначених пам'яток (туризм), але додаткові можливості її використання ще досліджуються [1].

Наразі актуальним питанням є проблема навігації у незнайомих місцях на малих відстанях, таких як територія лікарні чи студмістечка, де GPS-навігатори не завжди дають точні дані. Під час проведення супроводження студентів-першокурсників та абітурієнтів Хмельницького національного університету було з'ясовано, що 89,5% опитаних вважають територію ХНУ важкою, 63,2% звертались за допомогою у навігації до перехожих, 78,9% відповіли, що потребують допомоги у навігації по студмістечку, 82,4% респондентів вважають корисним створення додатку на основі доповненої реальності для прокладання найпопулярніших маршрутів по студмістечку ХНУ. На основі цього можна стверджувати про актуальність розробки інформаційної системи для прокладання маршрутів за допомогою технології доповненої реальності.

Метою роботи є розробка інформаційної технології у вигляді мобільного додатку на основі доповненої реальності, яка б дозволила полегшити навігацію студентів та абітурієнтів у студмістечку.

Для виконання поставленого завдання було використано наступні технології: операційну систему iOS, мову програмування Swift та бібліотеку для роботи з доповненою реальністю ARKit. На план студмістечка було нанесено 2 найпопулярніших маршрути для візуалізації (рисунк 1).

Актуальні проблеми комп'ютерних наук



Рисунк 1 – План студмістечка ХНУ з нанесеними маршрутами для візуалізації за допомогою інформаційної технології на основі доповненої реальності

Для роботи з технологією доповненої реальності за допомогою бібліотеки ARKit потрібно зауважити, що під час проведення експерименту (прокладання 3D-маршруту) телефон знаходиться у тривимірному просторі (рисунк 2), тому потрібно врахувати декілька аспектів. Система координат, що використовується в ARKit – це правостороння система координат. Зведення першої координати об'єкту доповненої реальності полягає в тому, щоб звести три системи координат – систему світових координат, систему координат об'єкта та систему координат камери в одну точку [2].

Світова система координат виникається, коли користувач розпізнає зовнішній простір для запуску сеансу. Об'єкту, який розміщений у просторі доповненої реальності, надається абсолютне положення в цій системі координат.

Система координат об'єкта, у вигляді якого проводиться візуалізація, об'єкт повинен бути розміщений у світовій системі координат, при цьому маючи своє абсолютне положення.

Система координат камери повинна співпадати з системою координат об'єкта. Після запуску ARKit користувач переміщує смартфон у просторі. У цей час камера змінює координати зі світової системи координат і об'єкт вже знаходиться в системі координат камери [2].

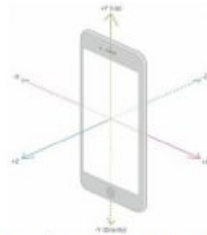


Рисунок 2 – Розташування телефону користувача у тривимірній системі координат (у 3D-просторі) [2]

Співвідношення між системою координат камери та системою координат екрану можна виразити за допомогою формули (рисунк 3).

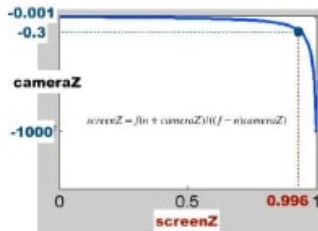


Рисунок 3 – Співвідношення між системою координат камери та системою координат екрану [3]

Таким чином матриця проєкції зображення на екран P виглядає так:

$$P = \begin{pmatrix} x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (f+n)/(n-f) & 2fn/(n-f) \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

, де  $x$  і  $y$  регулюють кут огляду та співвідношення сторін, а  $f$  і  $n$  - глибина віддалення та наближення на певну відстань відповідно [3].

Таким чином проєкція точки в системі координат світу  $z=(0 \ 0 \ z \ 1)^T$  задається шляхом обчислення  $p = P * z$ , а потім із застосуванням перспективного розподілу  $q = p / p.w$ . Далі потрібно обчислити глибину вікна за формулою  $winZ = (q.z+1)/2$ .

Дотримуючись цих формул, можна вивести зв'язок між  $winZ$  та координатою  $z$  нашої точки на осі  $z$ . А саме,

$$winZ = (p.z/p.w+1)/2$$

$$p.z/p.w = 2*winZ-1$$

$$p.w = -z$$

$$p.z = z*(f+n)/(n-f) + 2fn/(n-f)$$

$$(z*(f+n)/(n-f) + 2fn/(n-f))/(-z) = 2*winZ-1$$

$$z = fn/(f*winZ-n*winZ-f)$$

або еквівалентно:

$$winZ = f(n+z)/((f-n)z) \quad (2)$$

Зауважимо, що коли  $z = -f$ , то  $winZ = 1$ , а коли  $z = -n$ , то  $winZ = 0$ . Між цим ми маємо зворотну залежність (рисунк 4):

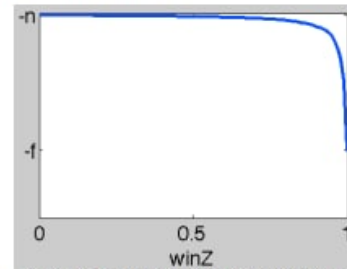


Рисунок 4 – Залежність між системою координат камери та системою координат екрану [3]

У ході проведення дослідження було розроблено інформаційну систему на основі доповненої реальності у вигляді мобільного додатку під iOS із застосуванням бібліотеки ARKit (рисунк 5). Дана система дозволяє записати маршрут від точки А до точки Б у режимі реального часу, зберегти його та відтворити у доповненій реальності (напрямок руху від точки А до точки Б показано стрілками) за запитом користувача. Усі записані користувачем маршрути зберігаються у базі даних мобільного додатку.

АКТ  
Дере  
ЗНАТИ

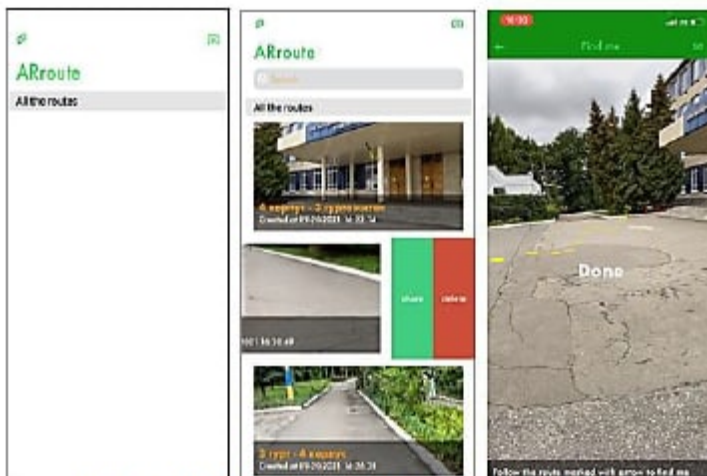


Рисунок 5 – Інтерфейсні вікна розробленої інформаційної системи

Отже, запропонована інформаційна система для побудови та візуалізації маршрутів за допомогою доповненої реальності забезпечує точне і швидке прокладання та збереження маршруту з його подальшим відтворенням на вимогу користувача. Перевага розробленої системи полягає у швидкості, зручності та візуалізації маршруту на основі доповненої реальності, що забезпечує легку та приємну навігацію користувача.

**Перелік посилань**

1. M.Larsson., Geographical Visualization Within Augmented Reality, DA613A, KTH, Sweden, 2018.
2. 3D Math for ARKit: <https://titanwolf.org/Network/Articles/Article?AID=3d944b62-a371-4461-9eaa-c19589a5c1c0#sc tab=0> (доступ 02.10.2021).
3. Understanding OpenGL screen z (depth) values: <http://www.alecjacobson.com/weblog/?p=3835> (доступ 02.10.2021).



# ДОДАТОК В

## СТАТТЯ ДЛЯ УЧАСТІ У МІЖНАРОДНОМУ НАУКОВОМУ ВОРКШОПІ INTELITSIS 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



Башта Андрій Русланович

### ТЕХНОЛОГІЯ ТА СЦЕНАРІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПРОКЛАДАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ

Кваліфікаційна робота магістра  
за спеціальністю 123 – комп'ютерна інженерія

Науковий керівник – д.ф, старший викладач кафедри КПС Павлова О.О.

Хмельницький - 2022

#### Мета і задачі дослідження

*Метою магістерської роботи* є підвищення ефективності прокладання та візуалізації маршрутів шляхом застосування технології доповненої реальності.

*Об'єкт дослідження* – застосування доповненої реальності для створення програмно-технічних засобів для навігації.

*Предмет дослідження* – прокладання та візуалізація маршрутів із застосуванням доповненої реальності.

## Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі було розв'язано наступні задачі:

1. розроблено метод для побудови та візуалізації маршрутів з використанням доповненої реальності;
2. на основі розробленого методу розроблено інформаційну технологію для побудови та візуалізації маршрутів з використанням технології доповненої реальності;
3. розроблено програмну реалізацію інформаційної технології для побудови та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності у вигляді мобільного додатку для операційної системи iOS.

3

## Актуальність теми

Актуальність роботи полягає в розробці нової інформаційної системи у вигляді мобільного додатка, який надає допомогу в маршрутизації в режимі реального часу та відтворенні збережених маршрутів за допомогою технології доповненої реальності.

Актуальність дослідження доведена результатами опитування студентів першого курсу Хмельницького національного університету (ХНУ) щодо необхідності допомоги в навігації протягом першого року навчання.



4

## Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні нових методів та алгоритмів роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмну систему для прокладання та візуалізації маршрутів:

1. вперше розроблено метод та алгоритм застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів.
2. вперше розроблено інформаційну технологію для прокладання та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності.
3. вперше розроблено інформаційну систему для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

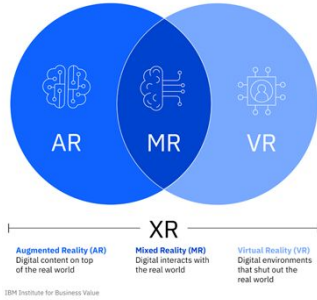
## Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці інформаційної системи для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

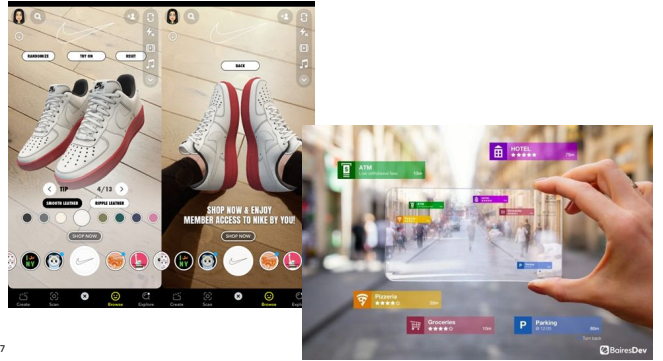
6

## Доповнена реальність як тренд у розвитку науки

Доповнена реальність (Augmented reality, AR) - результат введення в зорове поле будь-яких сенсорних даних з метою доповнення відомостей про оточення та зміни сприйняття навколишнього середовища.



## Технології та сфери застосування доповненої реальності



## Аналіз існуючих рішень у галузі доповненої реальності

| Name   | Logo | Free or paid   | Description   |
|--|------|--|---|
| Gatwick Airport [13]                           |      | free   | Android and iOS-based mobile application for indoor navigation through Gatwick Airport  |
| AR GPS drive/walk navigation [14]              |      | free   | This Android-based application uses smartphone's GPS and camera to implement an augmented reality-powered car navigation system   |
| Real LiveMaps AR                               |      | Free, In-App purchases   | Android-based live maps for navigation. Use in trips or while traveling. Search makes it easy to plan trips and itineraries.  |
| Augmented Reality extension for Locus Map [15] |      | The addition is in BETA version and works with Locus Map Pro application. In Locus Map Free, its usage is limited to 1 minute. | Addon for Android-based Locus Map application that enables visualization of selected points on the device screen with camera view - in augmented reality. Useful during town sightseeing tours, on viewtowers, for geocaching or for simple guidance to any point. The add-on is in BETA version and works with Locus Map Pro application |

## Математична модель

$$\cos(d) = \sin(Oa) * \sin(Ob) + \cos(Oa) * \cos(Ob) * \cos(ua - ub)$$

де  $Oa$  і  $Ob$  – широти;  $ua, ub$  – довгота даних пунктів;  $d$  – відстань між пунктами, яка вимірюється в радіанах довгої дуги великого круга земної кулі.

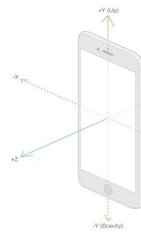
Переведення радіан в метри:

$D = \cos(d) * R$ , де  $d$  – відстань між пунктами, яка вимірюється в радіанах довгої дуги великого круга земної кулі;  $R = 6371$  км – середній радіус земної кулі

Формула для визначення зсуву в метрах між довготами та широтами та перетворення на координати сцени доповненої реальності (2.3):

де  $\Gamma = \frac{2 * \pi * R}{360}$  – математична константа, яка виражає співвідношення довжини кола до її діаметра;

$R = 6371$  км – середній радіус земної кулі.



## Математична модель

$$\Delta Lat = \frac{2 * \pi * R}{360}$$

де  $\pi \sim 3,141592$  – математична константа, яка виражає співвідношення довжини кола до її діаметра;

$R = 6371$  км – середній радіус земної кулі;

$Lat1$  – широта початкової координати на карті.

$$\Delta Lon X = (lon2 - lon1) * \Delta Lon$$

де  $lon1$  і  $lon2$  – довгота початкової та кінцевої координати на карті;  $\Delta Lon$  – приріст довготи.

$$\Delta Lon Z = (lat2 - lat1) * \Delta Lat,$$

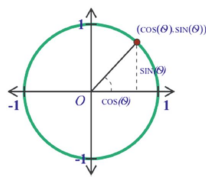
де  $lat1$  і  $lat2$  – широта початкової та кінцевої координати на карті;  $\Delta Lat$  – приріст широти;

Обчислені значення  $\Delta Lon X$  та  $\Delta Lon Z$  є приростами для осей  $X$  і  $Z$  відповідно.

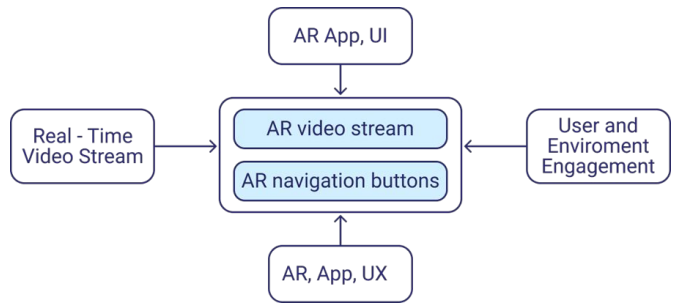
$$objX = X0 + \Delta Lon X,$$

$$objZ = Z0 + (-\Delta Lon Z),$$

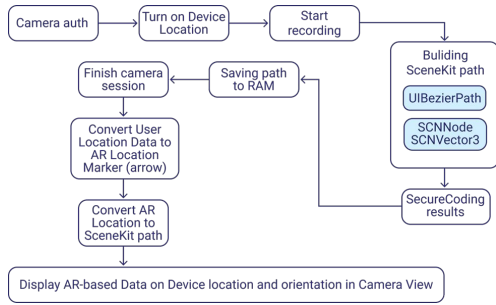
де  $objX$  і  $objZ$  – координати точки на сцені доповненої реальності.



## Метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів



## Алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням технології доповненої реальності



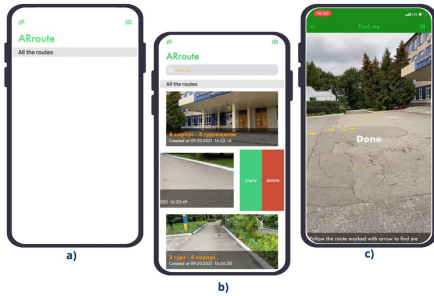
## Структура інформаційної системи для прокладання маршрутів на основі доповненої реальності



13

14

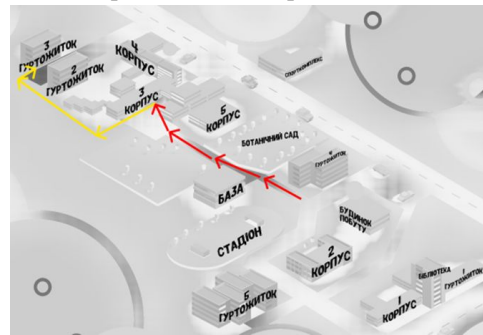
## Інформаційна система для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності



- а) головний екран (після авторизації);
- б) головне меню із збереженими маршрутами;
- в) процес маршрутизації з використанням доповненої реальності.

15

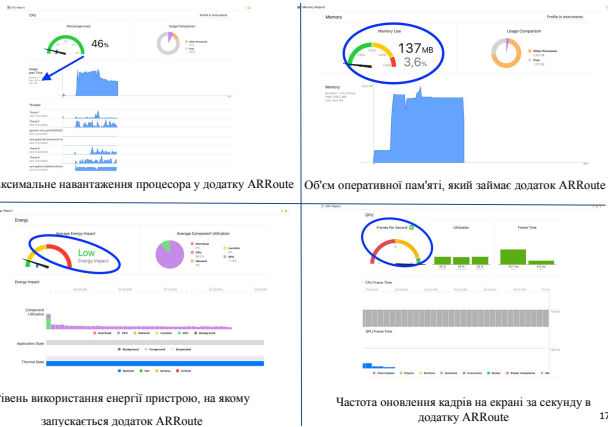
## Проведення експериментів



План студмістечка ХНУ з нанесеними маршрутами для візуалізації за допомогою інформаційної технології на основі доповненої реальності

16

## Тестування продуктивності розробленого додатку



Максимальне навантаження процесора у додатку ARRoute

Об'єм оперативної пам'яті, який займає додаток ARRoute

Рівень використання енергії пристрою, на якому запускається додаток ARRoute

Частота оновлення кадрів на екрані за секунду в додатку ARRoute

17

## Порівняльний аналіз додатків ARroute і Feed Me (Google Maps) за основними характеристиками продуктивності.

| Характеристика                 | Feed Me (Google Maps) | ARroute              |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Використання пам'яті           | 137 МВ за 188 секунд  | 185 МВ за 189 секунд |
| Швидкість завантаження додатку | 16.44 секунд          | 3.76 секунд          |
| Витоки пам'яті                 | Немає                 | Немає                |
| Максимальне завантаження ЦП    | 67%                   | 85%                  |
| Енергоспоживання               | Висока                | Низька               |
| Фрейми за секунду (FPS)        | 49                    | 57                   |

18

## Порівняльний аналіз додатків ARroute і Feed Me (Google Maps) за основними характеристиками продуктивності.



19

## Апробація результатів дослідження

За темою дипломної роботи опубліковані тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS 2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук.

Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022 в місті Одеса.

20

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів, алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу, а також інформаційну технологію для прокладання та візуалізації маршрутів на основі доповненої реальності у вигляді мобільного додатку для операційної системи iOS.

У першому розділі проаналізовано галузь доповненої реальності, проведено огляд літературних джерел та виконано порівняльний аналіз існуючих рішень із застосуванням доповненої реальності для прокладання маршрутів. На основі порівняльного аналізу побудовано таблицю, у якій зазначено переваги та недоліки, що дає можливість зробити висновок про те, що задача застосування доповненої реальності для навігації наразі є актуальною.

У другому розділі досліджено принципи роботи технології доповненої реальності та основні платформи для роботи з технологією доповненої реальності для операційних систем Android та iOS – ARCore та ARKit. А також побудовано математичну модель застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів у режимі реального часу.

У третьому розділі розроблено метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів та побудовано алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням доповненої реальності.

У четвертому розділі побудовано структурну схему інформаційної технології для прокладання та візуалізації маршрутів та розроблено діаграми для опису архітектури запропонованої інформаційної системи. Також описано експеримент із застосуванням запропонованої в роботі інформаційної технології на території студентського Хмельницького національного університету та результати тестування продуктивності розробленої системи на предмет використання пам'яті, продуктивність запуску програми, витрати пам'яті, максимальне використання ЦП, енергоефективність та кількість кадрів за секунду за допомогою інструменту XCode.

21

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
26.04.2022 17:23:33 EEST

Дата звіту:  
26.04.2022 17:24:06 EEST

ID перевірки:  
1010957523

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізац...

Кількість сторінок: 63 Кількість слів: 10002 Кількість символів: 81322 Розмір файлу: 7.57 MB ID файлу: 1010865386

## 11.5% Схожість

Найбільша схожість: 4.19% з Інтернет-джерелом (<https://teach-hub.com/scho-take-dopovnena-realnist>)

10.4% Джерела з Інтернету 42 ..... Сторінка 65

1.19% Джерела з Бібліотеки 101 ..... Сторінка 65

## 0.17% Цитат

Цитати 1 ..... Сторінка 65

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 6

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальное совпадение с одним документом 2.0%**

**Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 7%**

|   |          |         |                                     |         |
|---|----------|---------|-------------------------------------|---------|
| ID: 103082<br>Название: Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів<br>Добавлено в БД: 2022-04-26<br>Авторы: Башта А.Р.<br>Руководители: Павлова О.О.<br>Консультанты:<br>Опоненты: | Документ |         | Суммарное совпадение по Базе Данных |         |
|   | Символы  | Лексемы | Символы                             | Лексемы |
|   | 71169    | 513     | 4278 (6%)                           | 38 (7%) |

### Источник плагиата

| ID | Описание | Наличие плагиата в документе |         |
|----|----------|------------------------------|---------|
|    |          | Символы                      | Лексемы |

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Башта Андрій Русланович

Тема: Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 88 с.

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності прокладання та візуалізації маршрутів шляхом застосування технології доповненої реальності.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовано галузь доповненої реальності, проведено огляд літературних джерел та виконано порівняльний аналіз існуючих рішень із застосуванням доповненої реальності для прокладання маршрутів. У другому розділі досліджено принцип роботи технології доповненої реальності та основні платформи для роботи з технологією доповненої реальності для операційних систем Android та iOS – ARCore та ARKit. А також побудовано математичну модель застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів у режимі реального часу. У третьому розділі розроблено метод застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів та побудовано алгоритм прокладання маршруту в режимі реального часу з використанням доповненої реальності. У четвертому розділі побудовано структурну схему інформаційної технології для прокладання та візуалізації маршрутів та розроблено діаграми для опису архітектури пропонованої інформаційної системи. Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів

роботи з технологією доповненої реальності та впровадженні даних методів і алгоритмів у програмну систему для прокладання та візуалізації маршрутів. Вперше розроблено метод та алгоритм застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів. Вперше розроблено інформаційну технологію для прокладання та візуалізації маршрутів із застосуванням доповненої реальності у вигляді мобільного додатку на базі операційної системи iOS.

4. Позитивні сторони роботи: отримання трьох пунктів наукової новизни.

5. Негативні сторони роботи: \_\_\_\_\_

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи:

В загальному робота виконана на оцінку «відмінно» А

(4.75).

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Бедраш Леонід Петрович, зав. кафедр ІІІ  
ХНУ

“05” травня 2022р.



Завідувачу кафедри КІСП  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Бачка Андрій Русланович

ПІВ-здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи КІ2м-20-1

#### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

4.05.2022

дата

[Підпис]

підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Технологія та сценарії застосування доповненої реальності для прокладання та візуалізації маршрутів

Автор: Башта Андрій Русланович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія та програмування

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: д.ф, старший викладач Павлова О.О.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

| № | Висновок  | Позначка про відповідність |
|---|---|----------------------------|
| 1 | Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.  | відповідає                 |
| 2 | Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи |                            |
| 3 | Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.        |                            |
| 4 | Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.  |                            |

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
  - 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
  - 3) окремі виявлені збіги є загальноживими фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
  - 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
  - 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 2.0% і адресується до 92 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСП

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

О. О. Павлова

О. С. Савенко

Т. О. Говорушенко