

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

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»
УДК 004.021

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ І.Р. Пархомей
(підпис)

“ ___ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: Система орієнтування на місцевості з використанням технології доповненої реальності

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-71мп
(шифр групи)

_____ Яременко Євгеній Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Олійник В.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
І.Р. Пархомей
(підпис)

«31» жовтня 2017 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Яременку Євгенію Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система орієнтування на місцевості з використанням технології доповненої реальності»,

науковий керівник дисертації Олійник В.В., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. № 4112-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – мобільні навігаційні системи та методи позиціонування.

4. Предмет дослідження – методи позиціонування на основі доповненої реальності.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити – аналіз предметної області навігаційних систем; визначення особливостей застосування доповненої реальності в навігації; аналіз існуючих методів позиціонування та орієнтації на місцевості; розробка методу уточненого позиціонування на основі технології доповненої реальності; реалізація навігаційної системи на основі розроблених методів та алгоритмів; дослідження кількісних та якісних характеристик реалізованої навігаційної системи.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу – шість плакатів

7. Орієнтовний перелік публікацій – дві публікації

8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1 | Аналіз предметної області | 13.09.2018 р. | |
| 2 | Постановка задачі | 15.09.2018 р. | |
| 3 | Аналіз інформаційного забезпечення | 20.09.2018 р. | |
| 5 | Аналіз алгоритмічного забезпечення | 25.09.2018 р. | |
| 6 | Розробка алгоритмічного забезпечення | 15.10.2018 р. | |
| 7 | Розробка програмного забезпечення | 01.11.2018 р. | |
| 8 | Маркетинговий аналіз стартап-проекту | 10.11.2018 р. | |
| 9 | Висновки | 15.11.2018 р. | |

Студент

(підпис)

Яременко Є.А.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Олійник В.В.

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто проблему в області навігації, розглянуто особливості існуючих навігаторів та зроблено огляд основних підходів до підвищення точності їх позиціонування.

Об'єктом дослідження є система навігації користувача на місцевості з використанням технології доповненої реальності.

Було розроблено мобільну навігаційну систему що надає можливість здійснювати високоточне позиціонування та орієнтацію користувача в просторі. Така система може бути використана як для пішохідних переміщень, так і у якості автомобільного навігатора. Вона дозволяє отримувати більш якісну та зрозумілу інформацію про поточне місцезнаходження та об'єкта та згенерований маршрут за рахунок використання технології доповненої реальності.

Ключові слова: навігаційна система, методи позиціонування та орієнтації, доповнена реальність.

Розмір пояснювальної записки – 85 аркушів, містить 11 ілюстрацій, 22 таблиць, 7 додатків.

ABSTRACT

Examines the problem of navigation area. Considered the main features of an existed navigators and basic approaches for producing high-precision positioning.

The object of the study is personal mobile navigation system using augmented reality technology.

Developed mobile navigation system to provide high-precision positioning and user orientation in the space. The system can be used for both pedestrian displacements and as a car navigator. It allows you to get better and clearer information about current location and generated route.

Keywords: navigation system, positioning and orientation methods, augmented reality.

Explanatory note size – 85 pages, contains 11 illustrations, 22 tables, 7 applications.

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: *Система орієнтування на місцевості з використанням
технології доповненої реальності*

Київ – 2018 року

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ..... | 4 |
| ВСТУП..... | 6 |
| РОЗДІЛ 1. ЗАДАЧА НАВІГАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ | 7 |
| 1.1 Аналіз сучасного стану навігаційних систем..... | 7 |
| 1.2 Дослідження можливостей технологій доповненої реальності | 8 |
| 1.3 Застосування технологій доповненої реальності в навігації | 9 |
| 1.4 Огляд існуючих навігаційних систем | 10 |
| 1.5 Постановка мети та задач дослідження | 12 |
| 1.6 Визначення вимог та обмежень до розроблюваної системи | 13 |
| Висновки по розділу | 15 |
| РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ | 16 |
| 2.1 Апаратне забезпечення для визначення позиції та орієнтації в просторі . | 16 |
| 2.1.1 GPS - модуль..... | 16 |
| 2.1.2 Навігаційна система ГлоНаСС | 17 |
| 2.1.3 Магнітометр..... | 18 |
| 2.1.4 Гіроскоп..... | 18 |
| 2.1.5 Акселерометр..... | 19 |
| 2.2 Інформаційна модель AR навігації..... | 20 |
| 2.3 Дослідження методів вирішення задач позиціонування..... | 22 |
| 2.3.1 Способи формування даних для позиціонування та орієнтації | 22 |
| 2.3.2 Алгоритми уточненого позиціонування | 23 |
| 2.3.3 Алгоритм позиціонування за локальними зміщеннями..... | 25 |
| 2.3.4 Алгоритми застосування даних позиціонування та орієнтації | 28 |
| 2.3.5 Методи для побудови маршруту до визначеної точки..... | 29 |
| 2.4 Алгоритм розпізнавання поверхонь в задачах навігації | 30 |
| 2.5 Алгоритм SIFT як засіб для графічного розпізнавання поверхонь | 33 |
| Висновки до розділу | 36 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ | 37 |

| | | |
|--|---|----|
| 3.1 | Архітектурні рішення для реалізації навігаційної системи..... | 37 |
| 3.2 | Програмні рішення та технології | 38 |
| 3.3 | Програмна реалізація навігаційної системи..... | 41 |
| 3.3.1 | Функціонал навігації по додатку | 41 |
| 3.3.2 | Функціонал отримання і обробки геоданих | 42 |
| 3.3.3 | Функціонал створення AR карти..... | 45 |
| 3.3.4 | Функціонал генерації маршруту..... | 46 |
| 3.3.5 | Функціонал AR навігатора..... | 47 |
| 3.4 | Впровадження та налагодження проекту навігаційної системи | 48 |
| | Висновки до розділу | 51 |
| РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВИГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ | | 53 |
| 4.1 | Дослідження точності позиціонування..... | 53 |
| 4.1.1 | Алгоритм з корегуванням кута локальної системи (Lerp)..... | 56 |
| 4.1.2 | Алгоритм без корегування кута локальної системи (Simple)..... | 57 |
| 4.2 | Дослідження якісних характеристик додатку | 58 |
| 4.2.1 | Аналіз інформативності навігаційної системи..... | 58 |
| 4.2.2 | Дослідження зручності користування додатком | 61 |
| | Висновки до розділу | 63 |
| РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ | | 64 |
| 5.1 | Опис ідеї проекту | 65 |
| 5.2 | Технологічний аудит ідеї проекту..... | 67 |
| 5.3 | Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту..... | 68 |
| 5.4 | Розроблення ринкової стратегії проекту | 73 |
| 5.5 | Розроблення маркетингової програми стартап-проекту..... | 76 |
| | Висновки до розділу | 78 |
| ВИСНОВКИ..... | | 79 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | | 82 |
| ДОДАТКИ..... | | 85 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AR (Augmented Reality) – доповнена реальність;

GPS (Global Positioning System) – глобальна система позиціонування;

QR (Quick Response) – матричний код для швидкого розпізнавання інформації обладнанням;

API (Application Programming Interface) – програмний інтерфейс;

SDK (Software Development Kit) – набір утиліт та документації для створення програмних продуктів;

JSON (JavaScript Object Notation) – текстовий формат обміну даними між комп'ютерами;

GUI (Graphical User Interface) – графічний інтерфейс користувача;

HTTP (HyperText Transfer Protocol) – протокол передачі даних, що використовується в комп'ютерних мережах;

OS (Operation System) – операційна система;

ГлоНаСС - Глобальна Навігаційна Супутникова система;

2D/3D – 2/3 вимірний;

WiFi (Wireless Fidelity) - загальноживана назва для передачі цифрових потоків даних по радіоканалах;

BLE – Bluetooth Low Energy;

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) – метод для побудови карти в невідомому просторі;

SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) – алгоритм для виявлення та опису локальних ознак зображення;

SSAO (Screen Space Ambient Occlusion) – техніка наближеного розрахунку ambient occlusion на основі згенерованої у екранних координатах інформації;

REST (Representational State Transfer) – підхід до архітектури мережеских протоколів, які забезпечують доступ до інформаційних ресурсів;

ВСТУП

В наш час відбувається тенденція до популяризації туризму. Майже кожна людина час від часу відвідує нові міста та країни з метою отримати нові знання та враження. При цьому одним з навиків, необхідних у туризмі, є вміння орієнтуватися на невідомій місцевості. Одним з засобів для покращення життя при подорожах є мобільний навігатор.

Існує багато професій, зв'язаних з переміщенням по місту чи між містами. Часто такі переміщення відбуваються і у раніше невідоміточки на карті. Наприклад, таксист повинен відвезти пасажера на раніше невідому вулицю, або кур'єр має доставити товар у будинок, біля якого ніколи не був.

Всі описані життєві випадки об'єднані спільним твердженням – необхідністю використання мобільних навігаційних систем у повсякденному житті.

Навігаційна система являє собою функціональний набір для обчислення оптимального маршруту переміщення користувача по місцевості і подальшого ведення за маршрутом за допомогою візуальних та голосових підказок про потрібні маневри.

За призначенням виділяють декілька видів навігаторів. Їх основною відмінністю є цільова аудиторія системи: пішоходи, автомобілісти, велосипедисти або користувачі громадського транспорту.

На ряду з стрімким ростом інформаційних технологій та потужностей мобільних пристроїв, виникає багато ідей та концепцій інтегрування доповненої реальності в різні аспекти життя людини. Однією з концепцій є використання даної технології для навігаційних систем.

Головною метою дисертації є підвищення ефективності мобільної навігаційної системи за рахунок збільшення точності позиціонування та орієнтації користувача в просторі, а також за рахунок покращення таких якісних показників системи як інформативність подання даних та зручність користування додатком.

РОЗДІЛ 1. ЗАДАЧА НАВІГАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Аналіз сучасного стану навігаційних систем

Сучасний стан суспільства, що зокрема характеризується ростом агломерації та глобалізації, часто призводить до збільшення відстані між домом та роботою або улюбленим місцем для відпочинку. Це змушує людину використовувати новітні та все точніші засоби для орієнтації в просторі.

Найбільш поширеним засобом для навігації на місцевості на даний момент є GPS навігатор, що інтегрований практично в кожен кишеньковий гаджет. Однак виникають ситуації, при яких якість позиціонування цих систем недостатня. В залежності від виробника та моделі смартфона, його вбудований GPS модуль може визначати позицію з похибкою від 5м до 50м. Трапляються випадки, коли такої точності недостатньо. Наприклад, користувач прямує по вузьких вуличках європейського містечка, в якому відстань між будинками може сягати 4-5 м. Використовуючи стандартний додаток для генерування маршруту, можна довго блукати, шукаючи потрібний провулок.

Окрім неправильного положення, часто через високу похибку вбудованого магнітометра (компаса), навігатор вказує на неправильний напрямок руху, що в свою чергу також часто призводить до незручностей.

Крім недостатньої точності існуючі мобільні системи навігації змушують відволікатись від пересування по місцевості, що особливо негативно виражається для водіїв.

З сучасним розвитком технологій отримання та обробки інформації з'являються можливості для розробки більш точних та функціональних навігаційних систем.

Тому задача створення нових більш точних та функціональних методів навігації залишається актуальною.

1.2 Дослідження можливостей технологій доповненої реальності

До недавніх часів технологія доповненої реальності в мобільних додатках була не сильно розвиненою та включала в себе функціональні можливості переважно для розваг. Найяскравішими представниками розвитку доповненої реальності до 2016 року були face-трекери (додатки для розпізнавання рис обличчя) та маркерне розпізнавання [1].

До першого типу відносяться додатки для накладання масок на обличчя користувача. Найкращим прикладом є програма MSQRD.

До другого типу відносяться додатки з накладанням на зображення з камери плоскі або об'ємні об'єкти. позиція та орієнтація цих об'єктів визначається за допомогою пошуку в зображенні наперед визначених графічних елементів. Це може бути QR код, набір геометричних фігур різного розміру та кольору, чи проста фотографія. За допомогою такої концепції можна отримати об'ємну камеру зі звичайної або “оживити” мурал на вулиці.

Однак, такі технології доповненої реальності для навігаційних систем підходять слабо.

З виходом популярної гри Pokemon GO починає розвиватись нова інноваційна технологія розпізнавання реальної поверхні, не використовуючи спеціальних зображень або об'єктів. Таким чином користувач отримує змогу створювати будь-які об'єкти в смартфоні та “ставити” їх на реальну поверхню в себе в кімнаті чи надворі. Одним з перших таку ідею реалізувала компанія ІКЕА, яка в своєму мобільному додатку дозволяє заставити весь будинок меблями з каталогу магазину і обрати необхідні речі не виходячи з дому.

Однак найбільш стрімкого росту доповнена реальність зазнала в другій половині 2017 року, коли одразу на двох найпопулярніших мобільних платформах - Android та iOS - виходять у вільний доступ інструменти ARCore та ARKit [2] відповідно. Саме ці два фреймворки дозволили широкому колу розробників створювати програмні продукти, що доволі точно визначають

горизонтальні та вертикальні площини реального світу, а також відстежують детальне переміщення смартфона у просторі.

Дані технології разом з значним підвищенням обчислювальної сили смартфонів дали змогу реалізувати ряд амбіційних ідей щодо використання кишенькових гаджетів у полегшенні повсякденних задач.

1.3 Застосування технологій доповненої реальності в навігації

Проаналізувавши сучасний стан доповненої реальності, можна визначити ряд можливостей технології, що допоможуть в задачах навігації та орієнтації на місцевості.

Першою і найбільш важливою можливістю доповненої реальності є визначення горизонтальних та вертикальних поверхонь за рахунок обробки зображення з камери пристрою. Такий функціональний набір може бути використаний у задачах локального позиціонування, тобто для визначення девайсу у замкненому просторі. Таким чином можна реалізувати автономні системи для генерування карти простору за рахунок лише відеокамери.

Також не менш важливою здатність розпізнавання поверхонь є в задачах визначення геометричних властивостей об'єктів. Прикладом даної задачі є створення лінійок і інших вимірювальних пристроїв, в основі яких лежить доповнена реальність.

На даний момент стрімкого розвитку зазнають алгоритми позиціонування в просторі, які визначають позицію об'єкта не лише на основі GPS координат та магнітометра у якості компаса, а і за рахунок обчислення таких пристроїв як акселерометр та гіроскоп. Зчитування та обробка даних із цих сенсорних систем вбудована у всі програмні засоби для реалізації доповненої реальності. Головним вкладом у покращення вимірювання локальних зміщень за рахунок цих сенсорів є використання здатності доповненої реальності розпізнавати горизонтальні поверхні і тим самим компенсувати похибки акселерометра обробкою зображення з камери.

На даний момент зрачного розвитку набуває така технологія доповненої реальності як розпізнавання та ідентифікація об'єктів, що в свою чергу вже дозволяє з певними обмеженнями використовувати AR для розпізнавання знаків та розмітки на дорозі, а також уточнювати позицію користувача, аналізуючи дорожні показники та вуличні таблички.

1.4 Огляд існуючих навігаційних систем

Обмежуючись можливостями мобільних пристроїв, на даний момент існує небагато принципово відмінних підходів до створення навігаційних систем.

Найбільш поширеними і простими є звичайні мобільні карти та автомобільні GPS навігатори. Такий вид систем базується на відображенні місцезнаходження користувача за його GPS координатами.

Дані про відображений маршрут отримуються за запитом на сервер з передачею координат користувача та координат потрібного місця. Оскільки GPS модуль, що вбудовується в мобільний пристрій, видає дані точкового характеру, позиція користувача на картах мала стрибкоподібний характер.

З розвитком смартфонів, точність позиціонування та відображення користувача на карті стала збільшуватись шляхом застосування різних методів для загладжування траєкторії користувача. Для автомобільних навігаційних систем стали застосовуватись прив'язки до дороги. Таким чином, автомобіль на карті буде завжди рухатись лише по дорозі, що дозволяє в значній мірі візуально компенсувати похибку GPS даних.

Також, для більшої інформативності та зрозумілості було створено turn-by-turn навігацію, коли паралельно з відображенням пласкої карти з маршрутом на екран виводиться інформація про відстань до найближчої зміни напрямку та сам напрямок (наприклад, поворот вліво через 200 м). Це значно покращило сприйняття інформації, необхідної для слідування по маршруту.

Найпоширенішими представниками мобільних GPS навігаторів являються такі додатки як Google Maps, Apple Maps, Yandex карти, тощо.

Вони є безкоштовними та доступними на усіх популярних платформах - iOS, Android, Windows.

Недоліком даного способу навігації є слабка пристосованість до навігації в людному місті та в автомобілі. В обох випадках користувач має відволікатись від руху по переповненій людьми чи машинами вулиці, тим самим створюючи небезпечні ситуації. Частково описані недоліки вирішується звуковим асистентом, що дублює turn-by-turn інформацію голосом. Однак, така модифікація не завжди зручна у сприйнятті для деяких користувачів.

Останні 2 роки стрімкого росту зазнав розвиток доповненої реальності на мобільних девайсах. Розвиток технології вплинув і на створення нових видів навігаційних систем.

Одним з них є AR карти - об'ємні карти місцевості, що розміщуються на реальній поверхні. Такі карти накладаються на зображення з камери, тим самим створюючи ефект їх розміщення в реальному світі. Вони здатні відобразити аналогічну з стандартними GPS навігаторами інформацію.

Основною перевагою об'ємної AR карти є можливість розглянути певний регіон з будь-якого ракурса, зокрема більш реально оцінити складність прокладеного маршруту враховуючи ландшафтні характеристики місцевості.

Значними обмеженнями такої навігаційної системи є використання лише в освітленому просторі і неможливість переміщення користувача на значні відстані. Таким чином, ці карти підходять тільки для детального ознайомлення з місцевістю, однак не для слідування маршруту.

Найбільш інформативним і точним методом навігації на місцевості на даний момент є AR навігатор. Його концепція заключається в накладанні маршруту до потрібної точки на зображення з камери, при цьому з'являється враження, ніби лінія лежить прямо на поверхні землі та вказує на напрямок руху.

Використовуючи спеціальні гібридні алгоритми для позиціонування користувача в просторі, такі навігаційні системи дають змогу отримати дуже

точне відображення маршруту по вузьких вуличках або дані про необхідність зміщення автомобіля в іншу полосу.

В зв'язку з новизною такого способу навігації, на даний момент існує небагато його реалізацій. Одним з поширених представників є додаток ARCity [3]. Ця мобільна система відображає маршрут, накладений на зображення з камери, включаючи turn-by-turn навігацію. Система включає в себе функціонал для мануального уточнення позиції користувача в просторі, що в деяких випадках надає можливість більш якісного і чіткого відображення маршруту на екрані. Однак інколи таке мануальне налаштування не зручне у використанні. Крім того, додаток ARCity у якості цільової аудиторії використовує тільки пішоходів, що уніможлиблює його використання водіями.

1.5 Постановка мети та задач дослідження

На основі аналізу сучасних навігаційних систем було зроблено висновок, що їх точність часто є недостатньою для задоволення вимог користувача.

Крім того, такі якісні характеристики навігаторів як зручність у використанні та отриманні інформації, є особливо важливими для певних цільових груп. Зокрема, характер отримання даних для водіїв має бути не тільки інформативним, а і таким, який не буде відволікати від управління автомобілем.

Враховуючи недоліки та переваги існуючих навігаційних систем, а також можливостей технології доповненої реальності на мобільних платформах, було сформовано мету роботи.

Метою роботи є підвищення ефективності використання навігаційних систем, використовуючи технологію доповненої реальності. Критеріями оптимізації є точність позиціонування та орієнтації користувача в просторі, а також якісні характеристики системи: інформативність подачі даних та зручність використання.

Об'єктом дослідження є мобільні навігаційні системи та методи позиціонування. Предметом дослідження у даній роботі є методи позиціонування на основі доповненої реальності.

Для досягнення поставленої мети в процесі роботи необхідно виконати такі задачі:

- Провести аналіз можливостей технології доповненої реальності, які можуть бути використані в навігації;
- Визначити обмеження та вимоги, необхідні для реалізації навігаційної системи на основі технології доповненої реальності;
- Дослідити існуючі методи позиціонування та орієнтації на місцевості. Проаналізувати їх недоліки та переваги;
- Розробити алгоритм для обчислення уточненої позиції користувача на основі доповненої реальності;
- На основі визначеного алгоритмічного та апаратного забезпечення реалізувати навігаційну систему та провести її експериментальне дослідження;
- Дослідити результати роботи реалізованого алгоритму позиціонування та орієнтації. Проаналізувати перспективи розвитку технології доповненої реальності в сфері навігації.

1.6 Визначення вимог та обмежень до розроблюваної системи

На основі задач, поставлених в роботі, виникає ряд вимог та обмежень які необхідно вирішити.

Першою і головною вимогою є використання технології доповненої реальності. Її застосування дозволить розширити функціональні можливості системи. Крім того, технологія надає змогу підвищити точність позиціонування та орієнтації на місцевості за рахунок покращення точності визначення зміщень пристрою у просторі.

Наступною обов'язковою вимогою до розробки навігаційної системи є її інтеграція на мобільних платформах. Така вимога аргументується тим, що на даний момент смартфони та інші мобільні пристрої наявні практично у кожній людини. Вони компактні та грають все більшу роль у повсякденних задачах.

Виходячи з необхідності застосування технології доповненої реальності, постає питання про обчислювальні можливості мобільних пристроїв, здатних обробляти всю необхідну інформацію з високою швидкістю. Дане обмеження ґрунтується на великих обчислювальних потребах доповненої реальності, оскільки в основі технології лежать алгоритми розпізнавання та кластеризації зображень.

Одним з обмежень у використанні розроблюваної навігаційної системи є неможливість її застосування у замкненому приміщенні або на певній висоті на рівнем землі. Таке твердження впливає з того, що представлення інформації, сформоване за допомогою доповненої реальності, стає некоректним та незрозумілим у випадках відображення об'єктів на великих відстанях від користувача. Тому розроблювана навігаційна система коректно може бути використана виключно на відкритій місцевості.

Оскільки основним периферійним пристроєм для реалізації доповненої реальності є камера смартфона, то розроблювану навігаційну систему недоцільно використовувати в умовах поганої освітленості.

Для повноцінного тестування та налагодження алгоритмів уточнення позиціонування та орієнтації, а також навігаційної системи в цілому, необхідне здійснення великої кількості експериментів навігації. Для цього доцільним є розробка зручного та гнучкого до модифікацій запрограмованого середовища, що дозволить запускати алгоритми навігації на місцевості у симуляційному режимі. Це дозволить в повній мірі дослідити якість створених методів позиціонування та порівняти їх результати з іншими.

Система генерації карт та маршрутів має надавати не тільки статичні характеристики місцевості (дороги, будівлі, переходи), а і динамічні

характеристики, що описують дорожню обстановку, наявність пробок, ДТП та інших обмежувальних факторів.

Висновки по розділу

В даному розділі було проаналізовано предметну область обраної теми. Досліджено стан сучасних навігаційних систем, їх переваги та недоліки.

Також було розглянуто особливості технології доповненої реальності та можливості її застосування в сфері навігації.

Виконані дослідження дозволили сформулювати мету роботи та виділити основні задачі для її досягнення. Було описано об'єкт та предмет дослідження. Крім того, для реалізації потрібної навігаційної системи було встановлено ряд вимог та обмежень, що випливають з особливостей технології доповненої реальності.

Всі сформовані задачі, вимоги та обмеження дають змогу здійснити аналіз інформаційного забезпечення майбутньої системи, зокрема дослідження необхідного апаратного забезпечення системи та алгоритмів позиціонування та орієнтації на основі доповненої реальності.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

В даному розділі описані основні моделі та алгоритми для реалізації технології доповненої реальності, позиціонування користувача та генерації маршрутів до заданої точки.

2.1 Апаратне забезпечення для визначення позиції та орієнтації в просторі

На даний момент основними пристроями для виміру переміщень та повороту в просторі є GPS-модуль, компас, гіроскоп та акселерометр.

2.1.1 GPS - модуль

GPS-модуль, або GPS-приймач – це пристрій, що підключається до супутника і на основі отриманих сигналів розраховує поточне місцезнаходження пристрою в просторі. Інформація про позицію модуль надає у форматі широта-довгота.

Сам підхід – Global Positioning System – забезпечується функціонуванням глобальної системи навігаційних супутників, кількість яких на даний момент варіюється у межах 30 [4].

Кожен супутник знаходиться на орбіті Землі на висоті 20 км і постійно відсилає радіочастотні сигнали, що в подальшому відловлюються і аналізуються приймачами.

Для кожного супутника, чий сигнал обробляє приймач, різниця між часом отримання і часом запуску (час польоту), множиться на швидкість світла, отримана величина називається псевдодистанцією. Якщо годинник супутника і одержувача синхронізовані, і сигнал переміщається по лінії прямої видимості, тоді ця величина буде дорівнювати реальній дистанції до супутника. Однак, годинники не синхронізовані, так що приймачу необхідно вирішити рівняння з чотирьох невідомих, його власних 3D координат на сфері, і відхилення по часу. Таким чином, для повноцінної роботи GPS-модуля необхідна його взаємодія

мінімум з 4 супутниками. На практиці, обчислення координат відбувається при залученні до 20 супутників одночасно.

Основним джерелом похибок визначення GPS координат є спотворення сигналу від супутника високими будівлями. У випадку великих міст, GPS - модуль не здатний приймати по прямій з супутника. Сигнал не може пробитись повз великі будівлі. Тому він дістається до приймача вже відбитим від поверхні споруд. Таким чином довжина шляху сигналу збільшується і, як наслідок, збільшується похибка вимірювань. У великих містах похибка GPS позиціонування може буде більшою за 50 м [5].

2.1.2 Навігаційна система ГлоНаСС

Аналогом системи навігації GPS є російська супутникова навігаційна система ГлоНаСС - Глобальна Навігаційна Супутникова система. Дана технологія має аналогічний принцип визначення позиції з GPS. Обчислення координат проводиться на основі 24 супутників на орбітальній висоті 19400км. Основне застосування ГлоНаСС припадає на воєнні, космічні та авіа сфери діяльності РФ.

Згідно досліджень Системи Диференціальної Корекції та Моніторингу (СДКМ) [6], на 2014 р точність позиціонування за системою ГлоНаСС дещо програє системі GPS. Так, при однакових умовах використання, перша навігаційна система в середньому визначає місцевість з похибкою в 3-6 м, в той час як GPS система здійснює визначення координат з похибкою 2-4м.

Існують випадки здійснення позиціонування об'єктів за допомогою поєднання GPS та ГлоНаСС систем. При цьому спостерігається значне збільшення точності обчислень з середнім показником похибки в 1.5 – 3 м. Прикладом такого поєднання технологій застосований в європейському проекті EGNOS.

2.1.3 Магнітометр

Магнітометр – це сенсорна система для вимірювання магнітного поля. В основі роботи пристрою лежить принцип Холла [7] – метод визначення вектора магнітного поля Землі за рахунок визначення різниці потенціалів на кінцях напівпровідника під напругою.

Датчик дозволяє виміряти зміну сили магнітного поля по осях X, Y і Z. У цьому випадку він використовується для навігаційних і картографічних додатках та цифрових компасів, для підвищення точності визначення місцеположення.

Магнітометр іноді розміщують в одному модулі з акселерометром, і вони працюють в парі, доповнюючи один одного.

На даль, принцип визначення магнітного полюса землі за таким методом призводить до значних похибок, особливо в людній та забудованій місцевості. Це зумовлено тим, що пристрій є дуже чутливим навіть до слабких магнітних полів. Через це магніти, велика кількість металу чи електронних пристроїв поблизу магнітометра заставляє його реагувати саме на ці фактори, відхиляючись від визначення магнітного поля Землі.

2.1.4 Гіроскоп

Гіроскоп – це пристрій, здатний реагувати на зміну кутів орієнтації тіла, на якому воно встановлено, щодо системи відліку.

За принципами побудови датчиків, їх можна використовувати для вимірювання орієнтації в двох або трьох осях.

За принципом побудови механічний гіроскоп є більш складною версією дитячої здиги. Горизонтальна пластина, що обертається навколо своєї осі, закріплена на круглій рамці, що в свою чергу закріплена на рамці більшого радіуса.

В електроніці дані датчики являють собою мікроелектромаханічну систему, що діє по принципу вібраційних гіроскопів. Це означає, що в них є робоче тіло, яке, в найпростішому випадку, здійснює зворотно-поступальний рух

в одній площині. Якщо поставити це тіло на обертову платформу, площина якої збігається з площиною коливань, то на що коливається масу почне діяти сила Коріоліса [8].

Отже, сила Коріоліса направлена перпендикулярно напрямку коливань і осі обертання. При протилежних напрямках руху сила Коріоліса також діє в протилежних напрямках. На цьому і заснований принцип вібраційного гіроскопа.

Визначивши силу Коріоліса і знаючи лінійну швидкість тіла, нескладно вирахувати кутову швидкість і її зміна (кутове прискорення). Завдання спрощується, якщо лінійна швидкість коливань змінюється за синусоїдальним законом.

Точність вимірювання поворотів смартфона по всіх трьох осях за допомогою гіроскопа є дуже високою. Тому цей датчик є надійним джерелом інформації про орієнтацію мобільного пристрою.

2.1.5 Акселерометр

Акселерометр – це пристрій для визначення проекції відносного прискорення, як різниці між реальним прискоренням об'єкта та гравітаційним прискоренням Землі.

В загальному, вимірювальна частина датчика являє собою чутливу масу, закріплену напівжорстким способом до корпусу. Напівжорсткість відбувається за рахунок використання пружини. Таким чином зміщення чутливої маси від положення її стану спокою показує величину прискорення.

Описана концепція вимірювання прискорення надає змогу виміряти це значення лише по одній осі. Для здійснення вимірів у тривимірному просторі необхідно одночасне використання взаємно перпендикулярних акселерометрів.

Для інтеграції датчиків вимірювання прискорення в сучасний мобільний пристрій, їх розміри мають бути надзвичайно малими. Вирішенням даної задачі є реалізації акселерометра у вигляді конденсатора.

Найбільш впливовими факторами на точність акселерометра є:

- наявність сильних внутрішніх або електричних полів;
- частотні характеристики датчика;
- гістерезис показань (одна із складових гістерезису);
- вібраційні та кутові коливання пристрою;

2.2 Інформаційна модель AR навігації

Загальна інформаційна модель AR навігатора представлена на рис.2.1.

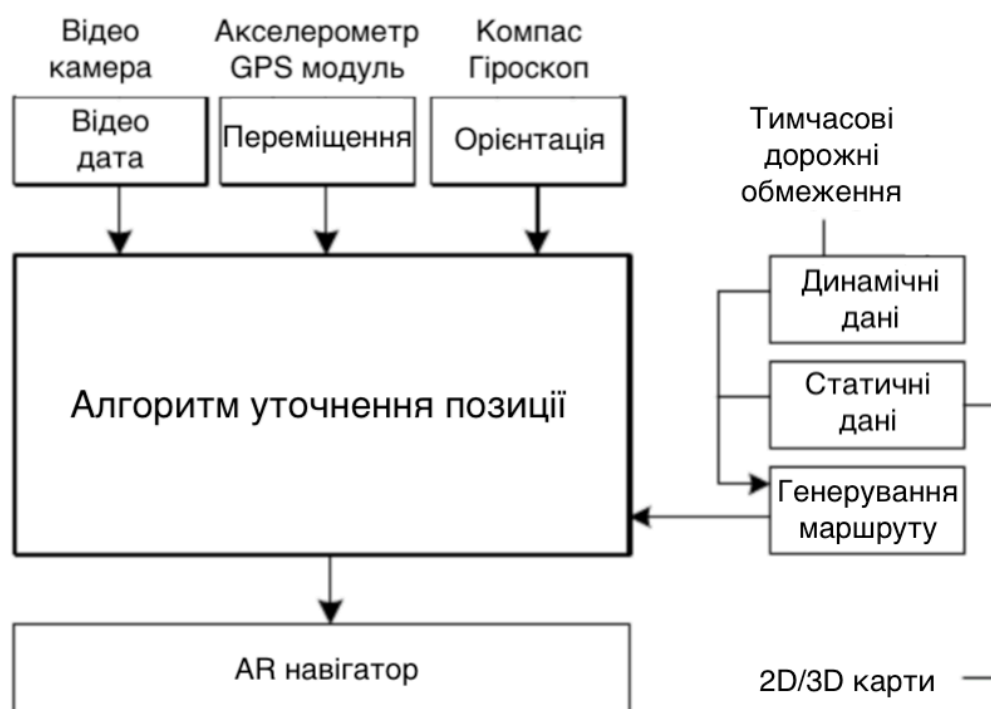


Рисунок 2.1. Інформаційна модель AR навігатора

Кожен AR навігатор потребує інтегрування 2 інформаційних потоків: дані про позиціонування та орієнтацію користувача, та дані про маршрут.

В свою чергу перший інформаційний потік має включати 3 види інформації:

- Зображення з камери необхідне для відображення навколишнього світу користувача, на яке буде накладатись інформація про маршрут;

- GPS координати та дані з магнітометра у якості компаса. Ця інформація необхідна для грубого визначення позиції у глобальних координатах. Під поняттям «грубе визначення» розуміється визначення позиції користувача з точністю, що надається GPS модулем. Однак на практиці даної точності недостатньо;
- Покази пристроїв про локальні переміщення пристрою в просторі з гіроскопа та акселероматра;

Після визначення уточненої позиції та орієнтації в просторі необхідно розробити та відобразити маршрут до потрібного місця. Маршрут генерується у вигляді сукупності точок, де кожен вузол має координати і являє собою місце зміни напрямку. На маршрут впливають статичні (дороги, будівлі, ландшафт) і динамічні (ДТП, дорожні роботи, затоплення зони) особливості місцевості.

Для обробки даного потоку даних використовуються спеціальні хмарні сервіси. Зокрема, зручним і багатофункціональним є фреймворк Mapbox.

Описані потоки даних являються вихідними даними для AR фреймворків (ARCore, ARKit, Wikitude, тощо), які і є основою для формування AR навігаторів.

Підсумовуючи аналіз моделі, варто зазначити основне призначення кожного з інформаційних потоків:

- 1) Інформаційний потік сенсорних пристроїв смартфону використовується для визначення точної позиції та орієнтації користувача в просторі;
- 2) Інформаційний потік карти та маршруту застосовується для відображення необхідної навігаційної інформації на екран.

Модифікацією описаної моделі з метою оптимізації часу роботи системи є збереження всіх даних про статичні особливості місцевості в кеш додатку. Тобто вся інформація про ландшафт, розташування доріг, тротуарів та будівель в конкретній області зберігається в кеш після першого звернення. Це робиться для мінімізації інтернет трафіку, якщо користувач часто подорожує по одній і тій же місцевості. Такий спосіб оптимізації роботи навігаційної системи лежить в основі

так званих офлайн карт. Найяскравішим представником цього виду додатків є MapsMe.

2.3 Дослідження методів вирішення задач позиціонування

Для повноцінної роботи представленої навігаційної системи необхідно вирішити ряд завдань на різних етапах обробки і виведення інформації. зокрема, весь функціонал роботи системи можна розбити на такі етапи:

- формування вхідних даних позиціонування та орієнтації користувача;
- Визначення уточненого позиціонування - покращення вхідних даних за- для отримання більш реального результату;
- Застосування розрахунків у представленні;
- Генерація маршруту і додаткової гео інформації згідно розрахованої позиції користувача.

2.3.1 Способи формування даних для позиціонування та орієнтації

Всі описані пристрої для вимірювання переміщення та орієнтації інтегровані в кожен сучасний смартфон. Однак якість вимірювань, що надають вбудовані сенсорні системи в мобільних девайсах, зазвичай дуже низька. Особливо дане твердження стосується GPS-модуля та компаса, оскільки природа їх вимірювань більше залежить від впливу зовнішніх факторів: електричних та магнітних полів, велика кількість металу, наявність радіочастотних коливань.

Тому альтернативним методом формування вхідних даних для системи навігації є підключення до мобільного пристрою зовнішніх сенсорних систем. Такий спосіб надає змогу значного підвищення точності вимірювання і, як наслідок, покращення результатів позиціонування та орієнтації. Однак, великим недоліком даного методу є потреба переносити з собою велику кількість окремих пристроїв, що в епоху мінімізації розмірів техніки являється неприйнятним.

2.3.2 Алгоритми уточненого позиціонування

Найпоширенішим і найпростішим способом позиціонування є навігація виключно на основі GPS координат. Однак такий метод має найбільші похибки і не підходить для AR навігаторів. Для подолання похибок у відображенні AR маршруту на зображення реального світу можливі наступні підходи:

- 1) Уточнювати координати користувача за рахунок алгоритмів статистичного або імовірнісного аналізу серії неточних вимірювань з відомими імовірнісними характеристиками. Використовуючи у якості вхідних параметрів лише дані GPS-модуля, можна покращити результат на основі застосування так званих рекурсивних фільтрів або ймовірнісних методів обчислення.

Рекурсивні алгоритми уточнюють значення координат на основі послідовностей зашумлених вимірів у часі, тобто є фільтрами, які на основі зашумлених даних видають статистично оптимальне значення стану системи. Найбільш популярним фільтром в навігаційних системах є фільтр Калмана [9].

Ймовірнісні алгоритми мають схожий з рекурсивними фільтрами принцип роботи, що полягає в визначенні найбільш імовірного поточного стану системи (в випадку навігації – найбільш імовірна позиція користувача), виходячи з досліджень попередніх даних [10].

- 2) Використання альтернативних способів визначення положення, наприклад безпроводних технологій WiFi або BLE (Bluetooth Low Energy) точок. Суть методу полягає у визначенні суперпозиції користувача за рахунок визначення [11] його взаєморозташування відносно точок WiFi або BLE. Виходячи з практичних досліджень [12], метод позиціонування на основі WiFi/BLE точок показує значно нижчий результат, ніж використання рекурсивних фільтрів або ймовірнісних алгоритмів. Це зумовлено тим, що в містах, а тим більше поза їх межами відсутня однорідна мережа безкоштовних WiFi/BLE точок, а їх частотні характеристики сильно

спотворюються. Тому дані методи застосовуються в місцях, де неможливе або ускладнення застосування систем глобальної навігації, наприклад, у будівлях.

- 3) З розвитком сенсорних систем, що вбудовуються в смартфони, виникають нові алгоритми позиціонування, які отримують на вході не тільки GPS координати, а і дані з інших інформаційних потоків (див. рис.1), зокрема, значення локальних зміщень пристрою – з акселерометра та гіроскопа. Використання декількох джерел даних замість одного дозволяє підвищити точність позиціонування, знижуючи потребу у великій кількості вимірювань та ймовірного або статистичного аналізу системи. Звичайно, значення на виході акселерометра, магнітометра (компаса) та інших сенсорних приладів мобільного пристрою все одно обчислюються з похибкою [13].

Найпростіший спосіб зменшити похибку позиціонування – дозволити мануальне підлаштовування карти користувачу, тобто перетягнути і повернути утворену візуалізацію маршруту так, щоб вона стала на своє місце. Такий підхід застосовується, наприклад, в популярному додатку ARCity [3]. Більш перспективний спосіб корегування неточності приладів для визначення локальних переміщень полягає у застосуванні мобільних систем доповненої реальності, зокрема, ARKit або ARCore, які корегують вимірювання акселерометра та ін. за рахунок визначення горизонтальних та вертикальних поверхонь реального світу. Іншими словами, система здатна визначати зміщення пристрою за рахунок співставлення зображень у різні моменти часу [14]. При зростанні швидкості навігації розпізнавання зображень з камери має бути доповнено трекером об'єктів [15].

На практиці при застосуванні технологій доповненої реальності точність локального позиціонування значно зростає, що дозволяє нехтувати похибкою зміщень смартфона у локальній системі координат на невеликі відстані.

Очевидно, що саме останній підхід є найперспективнішим для реалізації в навігаційних системах доповненої реальності, оскільки без потреби ручного налаштування та великої кількості вимірювань потенційно може забезпечити не гірші результати за популярні методи нечіткої ідентифікації у просторі без додаткової інформації про характер нечіткості, імовірнісних характеристик неточних вимірювань тощо.

2.3.3 Алгоритм позиціонування за локальними зміщеннями

Як було зазначено раніше, для реалізації алгоритму уточненого позиціонування за дона мобільних платформах, обов'язкове застосування технологій ARKit або ARCore, оскільки вони автоматично визначаються кінцеве значення локальних зміщень девайсу (далі - сенсорні координати) і заточені саме в використанні в системах доповненої реальності.

Алгоритм роботи має циклічний характер. Кожен цикл розрахунків проводиться після оновлення даних GPS модуля.

Всі обчислення проводяться у локальній системі координат. Локальна система координат формується з дотриманням декількох правил:

- масштаб системи координат по відношенню до світу - 1:1;
- напрямки осей локальної системи координат співпадають з сторонами світу. (наприклад, північний напрямок - (0, 0, 1), східний - (1, 0, 0)).

З цього випливає, що якщо девайс користувача з початку сесії перемістився на 10 м на захід, його сенсорні координати мають бути (-10, 0, 0).

Оскільки значення зміщень з гіроскопа та акселерометра визначаються без урахування правильної орієнтації на сторони світу, перед використанням їх повертають навколо центру координат на кут, рівний значенню кута компаса при старті алгоритма:

$$LOC_{i+1} = LOC_i + T_k * \Delta LOC \quad (2.1)$$

Де ΔLOC - локальні зміщення девайсу,

T_k - матриця трансформації, яка повертає значення зміщення на необхідний кут компаса:

$$T_k = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Таким чином локальна система координат відображає систему координат реального світу, однак її центр знаходиться на початковому місці девайса.

Оскільки GPS координати надходять у форматі широта-довгота, їх необхідно трансформувати у координати локальної системи. Одиниця виміру для обчислень - метр.

Для досягнення правильних значень локальних GPS даних, необхідно враховувати геометричні параметри Земної кулі в цілому та локальні висоти ландшафту [16]. Існує декілька фреймворків, що правильно обчислюють описану величину. Одним з найпоширеніших є кросплатформений фреймворк Marbox [17].

Головною складністю алгоритму є те, що недостовірними для розрахунків є не тільки GPS дані, а і дані про локальні зміщення з гіроскопа та акселерометра. Ці локальні зміщення мають дуже високий ступінь точності лише на коротких відстанях. Саме тому алгоритм не проводить розрахунки один раз, а має циклічний характер і повторюється кожен раз при отриманні нових GPS даних.

Виходячи з попереднього твердження необхідно задати радіуси довіри для GPS координат та для локальних координат девайса. Експериментальним шляхом визначено радіус довіри для локальних координат девайса - $R_{LOC} = 10$ м. Для GPS координат доцільно використати аналогічний радіус - $R_{GPS} = 10$ м.

Також для гнучкого налагодження алгоритму перед початком його роботи обирається значення параметра $BIAS$ - значення що характеризує розподіл довіри між даними від GPS модуля та даними від локальних зміщень. Так, якщо $BIAS = 0$, то значення локальних змін вважається істинним, і навпаки, якщо $BIAS = 1$, істинним вважається значення GPS даних. Крім ручного задання

параметру $BIAS$, воно може бути розраховано залежно від параметрів R_{LOC} та R_{GPS} :

$$BIAS = R_{LOC}/(R_{LOC} + R_{GPS}) \quad (2.3)$$

Опишемо один цикл розрахунку позиції за алгоритмом:

- 1) На вхід циклу подається оновлене значення GPS координат користувача. Це значення трансформується в локальну систему координат GPS_{i+1} та записується в пам'ять.
- 2) На основі сенсорних координат з попереднього циклу та зміщень девайса між поточним та попереднім циклами розраховується поточні сенсорні координати за формулою (2.1).
- 3) Маючи поточні значення локальних GPS та сенсорних координат, а також радіуси довіри по кожному з типів координат, за допомогою діаграми Венна визначається зона, в якій знаходиться істинна позиція користувача.
- 4) Для знаходження уточненої позиції користувача між LOC_{i+1} та GPS_{i+1} відбувається лінійна інтерполяція з переметром $BIAS$:

$$POS_{i+1} = LOC_{i+1} + (GPS_{i+1} - LOC_{i+1}) * BIAS \quad (2.4)$$

- 5) Ця позиція стає новою точкою відліку для майбутніх циклічних розрахунків.
- 6) Коли дані з GPS модуля оновлюються, алгоритм повторюється.

Оскільки для орієнтації локальних зміщень гаджета на сторони світу використовується компас, когеруючий кут повороту може бути неточним, так як компас сильно піддається впливу зовнішніх факторів (наявність поруч металу, електроприборів, тощо) [18]. Для зменшення похибки орієнтації описаний метод модифікується таким чином, що після кожного циклу розрахунків локальна система координат повертається на кут β , рівний куту між векторами $\overrightarrow{(POS_i, LOC_{i+1})}$ та $\overrightarrow{(POS_i, POS_{i+1})}$:

$$T_{loc} = T_{rot} * T_{loc} \quad (2.5)$$

Де T_{loc} – матриця трансформації локальної системи координат,

T_{rot} - матриця трансформації для повороту локальної системи координат на кут β :

$$T_{rot} = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & \sin(\beta) & 0 \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Візуально алгоритм позиціонування з корегуванням кута системи представлено на рис.2.2.

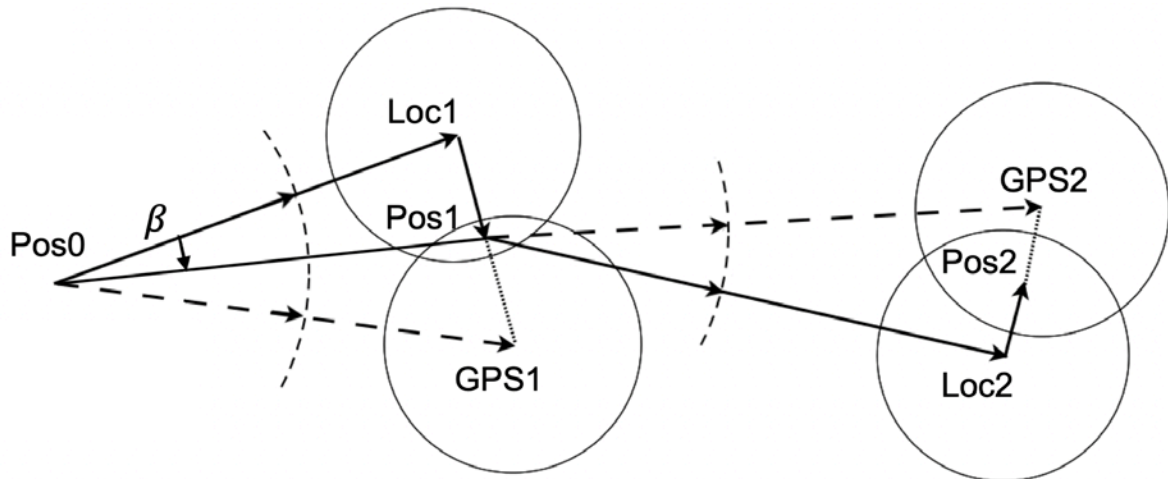


Рисунок 2.2. Представлення алгоритму позиціонування з корегуванням кута

2.3.4 Алгоритми застосування даних позиціонування та орієнтації

На виході роботи алгоритму уточненого позиціонування навігаційна система отримує два основних значення - Нова позиція користувача у локальній системі координат у вигляді вектора, а також числове значення корегувального повороту користувача в просторі.

Для застосування сформованих даних створено безліч алгоритмів для застосування в системі. Розглянемо найпопулярніші з них.

Варто зазначити, що застосування даних з алгоритму відрізняються не тільки за характером зміни значень до бажаних, а і об'єктом до їх використання. Так, наприклад, при використанні фреймворку ARKit в навігаційній системі, позиція та поворот камери в локальній системі координат неможливо змінити вручну. даний об'єкт повністю контролюється фреймворком. Для застосування даних з алгоритму позиціонування в цьому випадку, із нової та старої позиції

користувача визначається вектор зміщення, і застосовується для корегування позиції локальної системи координат.

Найпростішим способом застосування даних з алгоритму є їх моментальне встановлення. Цей спосіб зручний при налагодженні системи, оскільки дає змогу точно оцінювати результат виконання алгоритму. Однак при практичному застосуванні, моментальна зміна значень призводить до перестрибування камери з одного місця на інше.

З описаної проблеми виникає метод, що її виправляє. Тобто значення позиції та повороту змінюється з попереднього до початкового лінійно протягом певного проміжку часу. Однак в даному методі також існує недолік, що явно демонструється при сильних змінах повороту. В такому випадку з'являється ефект, ніби камера рухається боком.

Модифікацією попереднього методу є метод, що можливий у випадках застосування даних не на користувачу, а на локальній системі координат. В основі даного методу лежить поворот локальної системи координат в точці, рівновіддаленій від початкового і кінцевого положення користувача, таким чином, щоб користувач плавно перемістився по дузі. В результаті цього переміщення у екрані смартфона буде більш правдоподібним.

Існує метод, що дає змогу застосовувати значення повороту, беручи кожне наступне значення повороту як середнє арифметичне попередніх n значень.

2.3.5 Методи для побудови маршруту до визначеної точки

Для створення маршруту до заданої точки існує два способи: через локальну базу даних з усіма геоданими про місцевість, або використовуючи хмарні сервіси, що спеціалізуються на геокодингу.

Перший варіант неприйнятний через потребу у завантаженні великих об'ємів даних на пристрій. Крім того такий спосіб не підтримує можливість отримання динамічної дорожньої інформації- дорожні роботи, затори, тощо.

Тому для розроблюваної навігаційної системи доцільно використовувати саме хмарні сервіси. Найпоширенішими представниками для мобільних платформ є Mapbox, Google, OpenCage, тощо.

В зазначених сервісах є відкритий API, що надає змогу отримувати безліч даних по розрахунках маршруту між точками, адреси та іншої інформації про місце за його координатами.

Для отримання маршруту необхідно знати координати його початку і кінця. При цьому, сервер присилає результат у вигляді JSON файлу, який містить масив координат - ланок, що визначають місце зміни напрямку руху на карті.

2.4 Алгоритм розпізнавання поверхонь в задачах навігації

Як було описано раніше, однією з головних можливостей технолоії доповненої реальності на мобільних платформах на даний момент є розпізнавання горизонтальних та вертикальних поверхонь реального світу.

В задачах навігації ця технологічна можливість лежить в основі AR карт та використовується в алгоритмах уточненого позиціонування з метою покращення якості визначення локальних переміщень пристрою.

Розпізнавання поверхонь поділяється на 2 типи [19].

Першим і більш простим способом є Markerless підхід. Це технологія, яка розміщує цифровий 3D-вміст у реальному світі шляхом виявлення поверхні, представленої наперед збереженим у пам'ять графічним кодом. Іншими словами, система визначає площину на основі розрахунків ізометричного розміщення відомого зображення відносно камери. Дана технологія подібна до технології розпізнавання qr.

Другий і більш функціональний підхід у визначенні поверхонь називається SLAM - Simultaneous Localization and Mapping. Це технологія відстеження поверхонь без використання яких-небудь маркерів. Технологія лежить в основі мобільних фреймворків ARKit та ARCore.

Для розуміння даної технології проаналізуємо більш детально її модель.

Метою розширеної реальності є можливість вставляти віртуальний контент у реальний світ у певних точках і зберігати позицію та орієнтацію даного контенту при переміщенні девайсу в просторі. З ARKit основним процесом для цього є зчитування відеокадрів з камери пристрою iOS, для кожного кадру обробляється зображення та вилучаються точкові ознаки. Ознаками можуть бути лише точки на зображенні, що мають певні відмінності від сусідніх точок. Це може бути кут об'єкта, край текстурованого фрагмента тканини, тощо. Існує багато способів визначення таких ознак. Одним з підходів для цього є SIFT, описаний в розділі 2.5. Приклад визначення ознак зображення наведено на рис.2.3.



Рисунок 2.3. Визначені ознаки на зображенні

Після визначення всіх ознак кадру відбувається аналіз зміни їх позиції на зображенні під час руху пристрою. Знаючи вектор і величину зміщення смартфона, можна визначити тривимірну позицію всіх ознак. При збільшенні кількості кадрів зі смартфона за умови руху пристрою значення тривимірних позицій ознак наближається до реальних.

Знаючи всі тривимірні позиції ознак, відбувається створення 3D сітки, що формується з'єднанням сусідніх ознак. Це дає змогу отримати вектори нормалей кожної ознаки.

Для визначення поверхонь реального світу необхідно провести кластеризацію ознак. Це робить шляхом об'єднання сусідніх ознак схожими нормалями. Таким чином вибираються ті точки в просторі, що лежать в одній площині. Процес визначення поверхонь за обчисленими ознаками продемонстровано на рис.2.4.

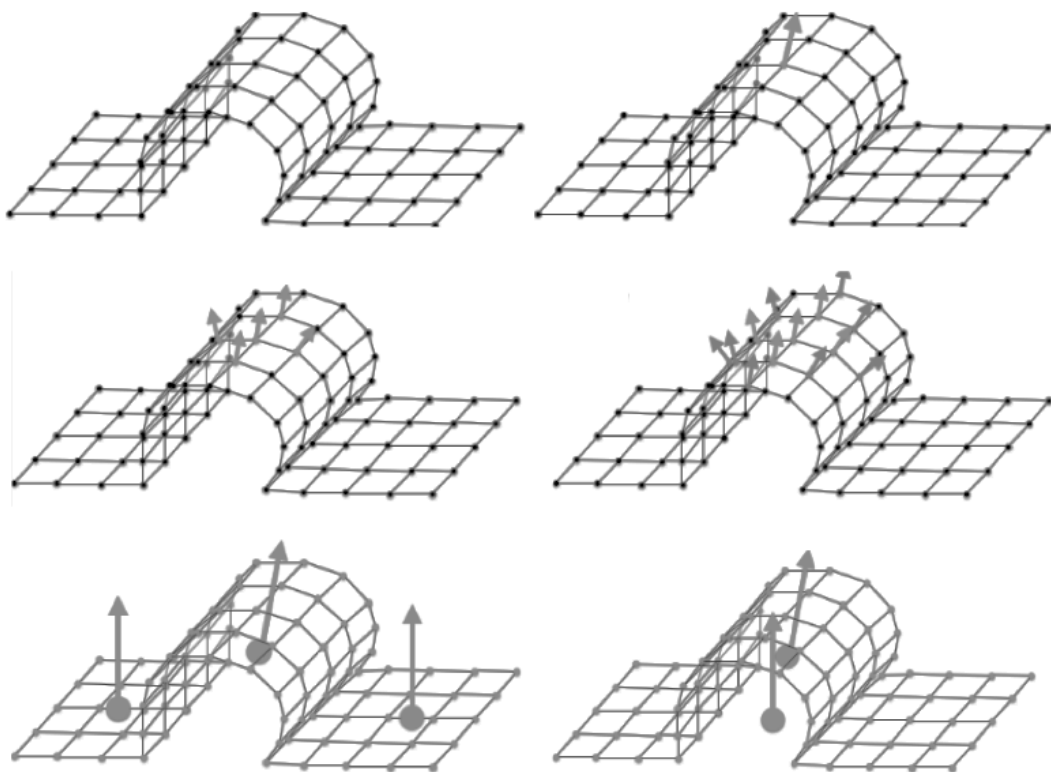


Рисунок 2.4. Визначення реальних поверхонь за ознаками

Описаний алгоритм дозволяє визначати однорідні поверхні в просторі та представляє їх у вигляді площини з центром та координатами країв.

Незважаючи на стрімкий розвиток даної технології на мобільних платформах, вона має певні обмеження та недоліки.

Серед технічних обмежень виділяються необхідність в гарному освітленні досліджуваної поверхні та якість її текстури. Тобто поверхня має гарно

піддаватись до розпізнавання. Такі поверхні як скло, хромовані двері або монотонний однокольоровий стіл, погано піддаються розпізнаванню.

Головними вимогами до мобільного пристрою для реалізації технології є висока якість камери, оскільки при поганій якості зображення технологія незадовільно визначає ознаки досліджуваного простору.

2.5 Алгоритм SIFT як засіб для графічного розпізнавання поверхонь

Як було зазначено в попередньому пункті, визначення ознак зображення є необхідною умовою до роботи технології розпізнавання поверхонь. Для цього необхідна реалізація SIFT алгоритму.

SIFT являє собою алгоритм комп'ютерного зору для виявлення та опису локальних ознак зображення.

Необхідною умовою для якісного розпізнавання ознак є можливість їх однозначного виявлення навіть при зміні масштабу, освітлення та зашумлення вихідного зображення. Це досягається вибором лише тих точок, що знаходяться на висококонтрастних ділянках об'єкта, що можуть відображати його межі, або зміну текстури на ньому.

Іншою необхідною характеристикою цих ознак є незмінні відносні позиції між виявленими. Таким чином для розпізнавання піддаються об'єкти, що не змінюють свою форму з часом. Найпростішим прикладом є двері. Коли в якості ознак береться лише 4 кути дверей, розпізнавання проводиться вдало незалежно від позиції спостереження. Однак, якщо в масив даних включити ознаки на дверній рамі, розпізнавання буде проводитись з похибками, якщо в процесі роботи алгоритму двері будуть відкриватись та закриватись, так як взаєморозташування ознак буде змінюватись у реальному світі.

Однак, на практиці алгоритм SIFT використовує при розрахунках набагато більшу кількість ознак, що призводить до мінімізації впливу похибок на результат.

Оскільки дескриптор ознак алгоритму SIFT є стійким до лінійного масштабування, змін просторової орієнтації та освітлення, описаний алгоритм вдало застосовується і для випадків з зашумленим зображенням, або частковим перекриттям досліджуваного об'єкта.

Алгоритм SIFT виконується послідовністю наступних операцій:

- 1) Масштабно-інваріаційне визначення ознак. Дана операція виконується за допомогою методу Лоу, коли місцезнаходження ключових точок визначається як мінімум і максимум функції гаусінів [20]. Таким чином вибір ознак вхідне зображення перетворюється на сукупність векторів ознак. При цьому кожен з отриманих векторів є інваріантним до переміщень, обертання, масштабування, часткового геометричного спотворення або перекриття досліджуваних об'єктів.
- 2) Співставлення ознак та їх індексація. Даний етап алгоритму необхідний для співставлення ознак, отриманих під час даного циклу розрахунків з проіндексованими ознаками, що були визначені в попередньому циклі. Таким чином відбувається отримання даних щодо переміщення кожної ознаки об'єкту з плином часу. Співставлення проходить шляхом визначення найближчих сусідніх ознак за методом Best-bin-first, що надає змогу виконувати обчислення з високою імовірністю використовуючи обмежену кількість розрахунків. Тобто найкращий кандидат на співставлення з деякою ознакою визначається визначенням його найближчого сусіда в базі даних ключових точок із попередніх зображень. Близкість сусідів один до одного означається Евклідовою відстанню. Імовірність вірності співставлення ознак визначається обчисленням співвідношень відстані до найближчого сусіда до відстані другого найближчого.

Для найбільш правильного рішення описані співвідношення з значенням більше 0.8 відкидаються. На практиці така умова усуває до 90% невірних порівнянь, однак разом з цим вилучає 5% правильних рішень. Найбільш

оптимальними параметрами для виконання описаного алгоритму є визначення 10000 ключих точок зображення, при цьому для кожної ознаки співвідношення завершується після перевірки 200 найближчих сусідів.

- 1) Кластерна ідентифікація за допомогою перетворень Хофа. Даний етап алгоритму використовується для об'єднання всіх визначених раніше ознак у кластери з подальшим їх співставленням з конкретною мозицією досліджуваного об'єкта. Для цього використовуються перетворення Хофа [21], що виявляють кластери ознак з використанням процедури голосування. Коли кластери ознак знайдені з голосами за ту ж саму позицію об'єкта, ймовірність вірної інтерпретації кластера підвищується. Після цього запис про ймовірне положення, орієнтацію та масштаб зберігається в хеш-таблицю. Таким чином кожна ключова точка SIFT визначає 2D положення, масштаб та орієнтацію і кожна ключова точка в базі даних має запис з її параметрами, що відносяться до зображення, в якому була знайдена. Виконавши набір описаних операцій можна отримати апроксимацію до повного простору положень з 6 ступенями свободи (3 ступені для положення, 3 ступені для ейлерової орієнтації).
- 2) Перевірка обчисленої моделі за методом найменших квадратів. Даний етап необхідний для верифікації кожного кластеру на правильність його формування. Для визначення ймовірності правильності структури кластеру використовується лінійний метод найменших квадратів.
- 3) Виявлення викидів. Це останній етап роботи алгоритму SIFT, що використовується для виявлення та вилучення з моделі надлишкових або невірно сформованих кластерів. Операція вилучення може бути здійснена шляхом перевірки співставлення ознак кожного зображення і моделі. Якщо надано рішення методу найменших квадратів, кожне співпадання має узгоджуватись не більш ніж на половину інтервалу позибки, який був використаний при розрахунках у перетвореннях Хофа. Після цього викиди вилучаються, рішенням методу найменших квадратів знову

перераховуються всі інші ключові точки і процес виявлення повторюється. Якщо після вилучення викидів в кластері залишається менше 3 точок, він вилучається.

Кінцеве рішення по прийняттю чи неприйняттю моделі гіпотези базується на детальній ймовірнісній моделі. Даний метод визначення обчислює очікуване число хибних співпадань моделі положень. Після цього Байєсів аналіз визначає ймовірність про присутність об'єкта на основі дійсному числу знайдених співставлень ознак. Модель приймається, якщо кінцева її ймовірність правильної інтерпретації більше 98%.

Описаний алгоритм розпізнавання об'єктів за методом Лоу дає високоточні результати. Значними перешкодами в правильному обчисленні результату є різка зміна величини освітленості по поверхні досліджуваного об'єкта, а можливість даного об'єкта здійснювати значні геометричні зміни в часі.

Висновки до розділу

В даному розділі було досліджено основні апаратні засоби для визначення позиції та орієнтації користувача в просторі. Дані з описаних вимірвальних пристроїв є входними навігаційної системи. Також було описано основні причини та величину похибок, що можуть виникнути у процесі експлуатації пристроїв.

Після цього було проаналізовано інформаційну модель AR навігації. Зокрема, було визначено інформаційні потоки, необхідні для функціонування системи.

Аналіз інформаційної моделі AR навігації та методів позиціонування та орієнтації користувача в просторі надав змогу запропоновувати власний алгоритм, що надає приріст у точності визначення позиції на основі використання технології доповненої реальності.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

В даному розділі описані основні причини вибору технологій для реалізації мобільного додатку, середовища для зберігання даних та методів зв'язку між усіма компонентами системи. Після цього відображається опис реалізації всіх алгоритмів та рішень, необхідних для повноцінного функціонування навігаційної системи.

3.1 Архітектурні рішення для реалізації навігаційної системи

Так як дана навігаційна системи розробляється на мобільні платформи, то заданими операційними системами будуть Android та iOS.

Оскільки основними вимогами до системи є точність позиціонування та зручність користування, необхідним є використання при налагодженні та розробці мобільного девайсу з якісними сенсорними пристроями: GPS-модулем, акселерометром, гіроскопом, компасом та фронтальною камерою. Виходячи з даного твердження, для тестування та налагодження було обрано смартфон iPhone 8 Plus. Він працює на операційній системі iOS 12 та підтримує всі новітні технології доповненої реальності та позиціонування.

Мобільний додаток, що реалізує всі необхідні алгоритми, повинен будуватись за принципом Скінченного автомату, оскільки система може перебувати одночасно лише в одному стані і виконувати лише одну функцію. Діаграма станів додатку відображена в Додатку А.

Для формування геоданих про місцевість, а також для генерування маршруту до потрібної точки необхідно реалізувати систему взаємодії додатку з сервісом, що і буде надавати всю необхідну інформацію. Запити до сервісу та відповіді мають бути здійснені через REST API. Вся інформація, вміщена в запитах, повинна реалізувати JSON формат. Для встановлення зв'язку з сервером необхідна аутентифікація користувача через додаток, що реалізується за допомогою використання Marbox токена. Такий токен генерується в панелі адміністратора на сайті компанії.

3.2 Програмні рішення та технології

Враховуючи усі вимоги та обмеження розроблюваної системи, як основа, в розробці мобільного додатку обрано програмоване середовище Unity3D - ігровий двигун, що надає широкі можливості в розробці мобільних систем на такі платформи як Android та iOS. Головна перевага даного програмного продукту - однократна розробка системи, яка потім легко портується на всі необхідні мобільні платформи.

Редактор Unity3D має простий та зрозумілий інтерфейс, що легко налаштовується та доповнюється самописними розширеннями або засобами від сторонніх розробників. Дуже важливим у розробці є вбудований в це програмне середовище симуляційний режим, який дозволяє запускати та налагоджувати розроблюваний додаток, націлений на всі доступні платформи.

Unity підтримується двома основними мовами програмування: C# та JavaScript. Наявна можливість здійснювати скриптування на C++, Objective-C, Java та Boo. Всі описані мови програмування застосовуються у ігровому движку з певними модифікаціями, які дозволяють будувати програмну структуру у вигляді скриптів. Це означає, що всі написані класи формуються у вигляді окремих сутностей – скриптів, які в подальшому взаємодіють між собою.

Проект в Unity ділиться на сцени (Scene) — окремі файли, що містять свої ігрові світи з власним набором об'єктів, сценаріїв, і налаштувань. Сцени складаються з об'єктів, на які кріпляться набори написаних скриптів.

Також у всіх об'єктах на сцені є назва (name), може бути тег (tag) і шар (layout), на якому він повинен відображатися. Ці дані необхідні системі для ідентифікації об'єкта на ігровій чи програмованій сцені.

Для здійснення позиціонування об'єктів у локальній системі координат додатку для будь-якого предмета на сцені обов'язково присутній компонент Transform — він зберігає в собі координати місця розташування, повороту і розмірів по всіх трьох осях.

Такий підхід до розробки програмних продуктів яскраво відображає парадигму компонентно-орієнтованого програмування – багаторазове використання класів у реалізації різних підсистем додатку.

Обране середовище дає змогу зкомпонувати всі необхідні підсистеми для повноцінної роботи додатку.

Графічна складова Unity використовує такі технології як DirectX (Windows), OpenGL (Mac, Windows, Linux), OpenGL ES (Android, iOS) та спеціальне графічне API для платформи Wii. Підтримуються різноманітні технології роботи графічної карти – bump mapping, reflection mapping, parallax mapping, screen space ambient occlusion (SSAO), динамічні тіні з використанням shadow maps, render-to-texture та повноекранні ефекти post-processing. Такий функціональний набір дозволяє здійснювати оптимізацію використання ресурсів пристрою і в той же час реалізувати максимальну якість графіки.

Мова програмування, що використовується на всіх етапах розробки додатку - C# 6 (.NetFramework 4.5).

Для роботи з такими сенсорними системами як компас та GPS- модуль передбачений вбудований в Unity інтерфейс.

Однією з найголовніших підсистем розроблюваного додатку являється система, що реалізує технологію доповненої реальності та надає інтерфейс для точної роботи з такими сенсорними системами пристрою як камера, гіроскоп та акселерометр. Для цього в проект додатку необхідно інтегрувати ARCore (для Android платформ) та ARKit (для iOS платформ) фреймворків. В середовищі Unity3D створено зручний функціонал для інтегрування сторонніх сервісів та підсистем.

Дані фреймворки представляють нове покоління програмних реалізацій доповненої реальності на мобільних платформах, що дозволяють здійснювати ряд операцій:

- Розпізнавати площини навколишнього середовища. Така функціональна можливість дає змогу виконувати позиціонування та орієнтацію пристрою

у просторі, визначати габарити ближніх об'єктів та здійснювати більш точне визначення локальних зміщень ніж використовуючи значення акселерометра та гіроскопа.

- Визначати вектор та велечину джерел освітлення в навколишньому середовищі. Така функція дозволяє інтегрувати об'єкти доповненої реальності в навколишній світ з максимальною реалістичністю.
- Розмізнавання зображень. Така особливість технології доповненої реальності вже була реалізована набагато раніше іншими системами.
- Синхронізація системи координат доповненої реальності між декількома незалежними пристроями – можливість декількох пристроїв, що знаходяться в близькості один від одного, взаємодіяти за рахунок доповненої реальності.

Описані фреймворки дадуть змогу збирати точні дані з усіх сенсорних пристроїв смартфона і тим самим реалізувати алгоритми уточненого позиціонування та орієнтації.

Не менш важливою системою розроблюваного додатку є система для отримання та обробки геоданих. Найкращим представником в даному напрямку є фреймворк Mapbox, що надає наступні можливості:

- отримання списку наперед заданих датасетів. Датасет містить назву та сукупність геоточок (ознак) з такими параметрами як назва, координати в форматі широта-довгота, та інші важливі для користувача дані;
- побудова маршруту до заданої точки;
- генерація 3D та 2D карт. 3D карта може мати аналогічний до реальної місцевості ландшафт і здатна відображати всі будинки та інші споруди у вигляді низькополігональних об'єктів.

Для обробки запитів та відповідей від сервера Mapbox використовуються бібліотека NewtonSoft, що надає програмні засоби для роботи з JSON файлами. Дана бібліотека являє собою функціональний набір для серіалізації та десеріалізації об'єктів мови програмування C# в текстовий формат JSON.

Вибір саме цієї бібліотеки для перетворення JSON файлів у дані для програмної системи аргументується простотою та швидкодією.

Всі алгоритмічні та геометричні розрахунки проводяться з використанням вбудованої в Unity бібліотеки Mathf. Дана бібліотека складається з функціональних рішень для арифметичних, тригонометричних, геометричних, апроксимуючих та інших необхідних у роботі обчислень.

3.3 Програмна реалізація навігаційної системи

Для повноцінної роботи навігаційної системи необхідна реалізація великої кількості алгоритмів, які можна поділити на такі категорії:

- Функціонал навігації по додатку;
- функціонал отримання та обробки геоданих даних;
- функціонал формування AR карти;
- функціонал генерації маршруту;
- функціонал AR навігації

3.3.1 Функціонал навігації по додатку

В розробленому додатку реалізовано 5 основних екранів інтерфейсу:

Екран вибору датасету відображає список всіх датасетів (рис.Б.1).

Після вибору певного датасету з'являється позначка про завантаження даних і після цього додаток відображає екран вибору ознаки датасету.

Ознакою датасету називається геоточка, що має координати у форматі широта-довгота та інші налаштовані розробником дані.

Екран для вибору ознак відображає безпосередньо список ознак обраного датасету, а також назву датасету і кнопку для генерації 3D карти з відображенням усіх ознак.

Описаний екран представлено на рис.Б.2.

Елемент, що представляє ознаку, вміщує її назву, відстань до користувача, кнопку генерації 3D карти з маршрутом до неї, а також дві кнопки з переходом в

режим AR навігатора за двома різними лгоритмами уточненого позиціонування: з корегуванням кута локальної системи координат та без.

Всі ознаки представлені у відсортованому вигляді за збільшенням відстані до користувача.

Виходячи з вибору користувача, система може переключитися у два різні режими: режим генерування 3D карти або режим AR навігатора.

При виборі режиму генерації 3D карти екран відображає назву обраної ознаки та кнопку “Назад”, що направляє користувача назад на вибір датасетів.

Екран режиму AR навігатора є аналогічним, однак перед початком відображення маршруту система потребує калібрування. Для цього стану відображається спеціальний екран, що відображає інструкції для користувача, що допоможуть відкалібрувати систему для реалізації максимальної точності. Після закінчення всіх обрахунків користувач має натиснути на кнопку “Confirm” та перейти в стан генерації маршруту в AR режимі.

3.3.2 Функціонал отримання і обробки геоданих

Вся необхідна інформація щодо датасетів, ознак, а також обрахунки геоданих та генерування маршрутів реалізовано на сервері Марбох. Для створення ознак та датасетів використовується засіб Marbox Studio, що дає змогу зформувати всю необхідну інформацію зсилаючись на карту. Даний засіб представлено на рис.3.1.



Рисунок 3.1. Засіб для генерації датасетів Marbox Studio

Запити на Mapbox сервер з додатку проводяться через REST API.

Приклад отримання списку датасетів:

```
GET: /datasets/v1/{username}
RESULT:
[
  {
    "owner": "{username}",
    "id": "{dataset_id}",
    "created": "{timestamp}",
    "modified": "{timestamp}",
    "bounds": [-10, -10, 10, 10],
    "features": 100,
    "size": 409600,
    "name": "{name}",
    "description": "{description}"
  },
  ...
]
```

Як бачимо, за допомогою даного запиту розробник отримує таку інформацію як кількість ознак (features), назва датасету (name), його опис (description), а також значення розповсюдження ознак датасету по світу у форматі [west , south , east , north] (bounds).

Для відображення списку ознак з детальною інформацією необхідно виконати ряд запитів:

1) Отримати список всіх ознак датасету. Даний список містить ід ознак:

```
GET: /datasets/v1/{username}/{dataset_id}/features
RESULT:
[
  {
    "id": "{feature_id}",
    "type": "Feature",
    "properties": {
      "prop0": "value0"
    },
    "geometry": {
      "coordinates": [ 102,0.5 ],
      "type": "Point"
    }
  },
  ...
]
```

Важливою є можливість отримувати ознаки, що визначають не тільки точку в просторі (point), а і полілінію (line) і окрему територію (segment).

В такому випадку в відповіді запиту описаний масив координат, з яких формується фігура ознаки.

- 2) На основі координат ознаки та користувача за допомогою інтегрованого в Unity фреймворку Mapbox згенерувати всі можливі маршрути між точками та визначити найкоротший шлях.
- 3) Виходячи з опрацьованих даних між користувачем і ознаками, сформуванати їх список за зростанням відстані;

Для отримання детального маршруту між двома точками виконується запит:

```
GET: /directions/v5/{profile}/{coordinates}
RESULT:
"waypoints": [
  {
    "name": "Köpenicker Straße",
    "location": [ 13.426579, 52.508068 ]
  },
  {
    "name": "Engeldamm",
    "location": [ 13.427292, 52.506902 ]
  }
]
```

Також, для здійснення turn-by-turn навігації, і відповіді до даного запиту також надається інформація про всі кроки для досягнення до кінцевої точки. При цьому для кожної ланки шляху надається інформація про:

- відстань до ланки;
- приблизний час на проходження відстані;
- тип дії, яку необхідно здійснити в описаній ланці (поворот, підйом, спуск);
- уточнення дії. Для повороту це буде right або left;
- голосові інструкції по проходженню описаного відрізка у текстовому форматі.

Приклад опису однієї ланки:

```
"maneuver": {
  "bearing_after": 202,
  "bearing_before": 125,
  "location": [ 13.427752, 52.50755 ],
  "modifier": "right",
  "type": "turn",
```

```

"instruction": "Turn right onto Engeldamm"
},
"weight": 8.5,
"duration": 8.5,
"name": "Engeldamm",
"distance": 78.6,
"voiceInstructions": [{
"distanceAlongGeometry": 27.7,
"announcement": "You have arrived at your destination",
"ssmlAnnouncement":
"<speak><amazon:effect
name=\"drc\"><prosody rate=\"1.08\">You have arrived at your
destination</prosody></amazon:effect></speak>"
}]

```

3.3.3 Функціонал створення AR карти

Для більш детального огляду місцевості передбачено функціонал для створення AR карти. Її головною перевагою перед іншими 2d картами є можливість розглянути місцевість у зменшеному масштабі, враховуючи ландшафт, будівлі і інші об'ємні споруди. Приклад AR карти зображено на рис.Б.3.

Відображення AR карти в додатку відбувається в 2 випадках:

- користувач хоче побачити всі ознаки, що входять до обраного датасету. При цьому на карті необхідно відобразити його маркер, а також всі маркери ознак, які потрапляють у видиму зону карти;
- користувач хоче побачити найближчий маршрут до обраної ознаки. При цьому на карті має бути його маркер, маркер обраної ознаки та маршрут у вигляді об'ємної полілінії.

Основою для даної карти є технологія розпізнавання горизонтальних поверхонь та визначення її граней. Для реалізації технології використано фреймворки ARKit та ARCore взаємності від платформи, на якій запущено додаток. На основі алгоритму визначення поверхонь відбувається побудова AR карти таким чином, щоб вона займала всю визначену горизонтальну поверхню.

В описаному режимі додатку також реалізовано додатковий функціонал для зручності користування картою. Зокрема, при натисненні на екран двома пальцями одночасно, з умовою їх потрапляння на карту, можна змінювати

масштаб відображеної місцевості. Дана можливість продемонстрована на рис.Б.4. Крім зміни масштабу, також реалізовано можливість зміни центру карти, тобто її видимої області.

Такі реалізовані функції надають повний контроль над AR картою і дозволяють більш детально розглянути місцевість під будь-яким кутом.

3.3.4 Функціонал генерації маршруту

Даний функціонал реалізований в 2 місцях: в режимі AR при обраній ознаці, та в режимі AR навігатора. Вихідними даними для генерування маршруту є один і той же спосіб обробки координат, що описаний в попередньому розділі. Однак існують певні принципові відмінності в їх відображенні в різних режимах.

Спершу розглянемо побудову маршруту на AR карті.

Алгоритм генерації полілінії в даному випадку повторюється після кожного оновлення карти, що відбувається при зміні форми визначеної поверхні або користувацьких дій зміни масштабу або центральної точки карти.

Візуально полілінія реалізована стандартним засобом Unity3D - LineRenderer, на вхід якого подається масив координат з сервера Mapbox, кожне значення якого переведене в локальну систему карти за допомогою фреймворка Mapbox.

При реалізації маршруту в режимі AR навігації передбачено декілька обмежень:

- 1) Алгоритм генерації виконується лише один раз при ініціалізації навігатора. При будь-яких змінах позиції та орієнтації користувача, маршрут переміщується в локальній системі координат. Тому перегенерування маршруту не потрібне;
- 2) Оскільки в режимі AR навігації при генерації карти відсутня складова висоти (тобто, карта є пласкою і не повсторяє реальний ландшафт місцевості), всі ланки полілінії розташовані в площині, що співпадає з поверхнею землі реального світу. Таким чином досягається ефект

накладання представлення маршруту на реальну поверхню землі. Демонстрація маршрута в режимі AR навігації представлена на рис.Б.5.

3.3.5 Функціонал AR навігатора

Даний функціональний набір є найбільшим і включає в себе функціонал уточненого позиціонування та функціонал генерації маршруту.

В загальному, алгоритм даного режиму має таку послідовність станів:

- Ініціалізація карти
- Ініціалізація сенсорних систем
- Калібрування навігатора
- Робота алгоритма уточнення позиції та орієнтації
- Застосування результатів алгоритма уточнення
- Очікування на зміну gprs даних

Під час початкового стану AR навігації - ініціалізація карти - відбувається створення локальної системи координат для здійснення всіх наступних розрахунків. Масштаб системи координат співпадає з реальним світом, тобто 1 одиничний відрізок рівний одному метру.

Після цього ініціалізується контролер, що відповідає за всі розрахунки і відображення карти. Також в нього інтегрована система генерування маршрута.

На наступному етапі - ініціалізація сенсорних систем - відбувається підписка на всі події, що генеруються вбудованими пристроями смартфона: камерою, gprs-модулем, акселерометром, гіроскопом та компасом. Таким чином система починає отримувати всі необхідні події для здійснення трекінгу користувача в просторі.

Також на даному етапі положення смартфона згідно локальних координат виставляється в нульову позицію.

Після ініціалізації всіх необхідних контролерів система переходить у стан калібрування навігатора. В цей момент за показаннями компаса визначаються

орієнтація смартфона в просторі. Це робиться з метою визначення початкового повороту реальної системи координат відносно сторін світу.

Далі на отриманий кут відбувається поворот локальної системи координат для того, щоб її осі координат Z та X співпали з північчю та сходом відповідно.

Оскільки компас може мати значну похибку, в поточному стані користувач може в ручному режимі підкоригувати кут повороту системи.

Після цього користувач підтверджує співпадання систем координат нажиманням на кнопку «підтвердити».

На даному етапі закінчуються всі необхідні розрахунки перед безпосередньою навігацією.

Наступні два стани циклічно змінюються між собою. Подією, яка викликає виконання алгоритму уточненого позиціонування, є сповіщення системи про оновлені дані від GPS модуля. Після завершення роботи алгоритму локальна система координат зміщується на обчислений вектор та кут. Особливості зміщення та повороту характеризуються обраними методами застосування даних на системі, описаними в Розділі 2.

Виконавши всі необхідні розрахунки та корекції локальної системи, навігатор переходить у стан спокою до тих пір, доки не отримає нове сповіщення про зміну GPS -координат користувача.

Для уникнення надмірної кількості обчислень а також для зменшення похибки в обчисленнях на малих величинах зміщення, в системі встановлено мінімальну величину зміщення, яку повинно досягти локальне зміщення смартфона та зміщення по GPS-координатах, щоб запустити новий цикл розрахунків.

3.4 Впровадження та налагодження проекту навігаційної системи

Для правильної і повноцінної подальшої розробки навігаційної системи, а також для налагодження параметрів роботи додатку, існують певні вимоги.

Перш за все, для коректної роботи проекту, версія Unity має бути рівна 2018.2.12f1 або новіша. Дана вимога обов'язкова до виконання, оскільки програмне середовище Unity не має зворотної сумісності, що може призвести до незворотних змін у архітектурі проекту.

Оскільки система включає в себе безліч взаємозв'язаних фреймворків, необхідно правильно і чітко займатись їх оновленням. Версії фреймворків, що були інтегровані в проект:

- Mapbox v1.4.5
- ARKit v1.0
- ARCore v1.5.0

Заборонено змінювати структуру або код, що надається встановленими фреймворками. Всі файли, що сприяють реалізації задач, розміщувати виключно за межами директорій описаних програмних рішень.

Однією з найважливіших речей перед початком розробки є валідація ліцензії, що надається компанією Mapbox. Ліцензія дозволяє виконувати всі вище описані запити на обробку геоданих, а також формувати карту місцевості в додатку. Вона являє собою Hash ключ, що генерується в панелі адміністратора користувачів Mapbox. Для проходження валідації проекту компанією Mapbox необхідно в Unity через пункт меню Mapbox/Setup ввести ліцензію в необхідне поле і натиснути кнопку "Validate". Процес валідації зображено на рис.3.2.

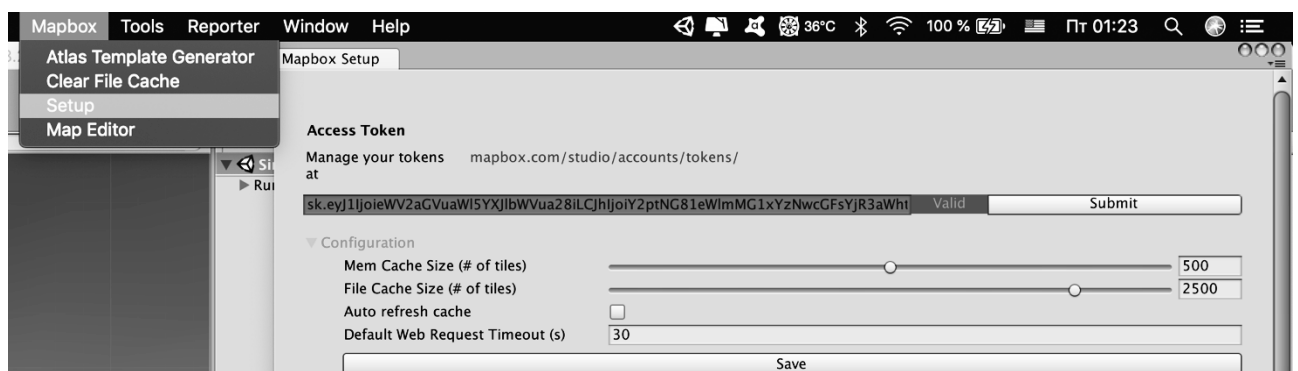


Рисунок 3.2. Процес валідації ліцензії Mapbox в Unity3D

Крім того, для інсталяції даного проекту на мобільні платформи, існує ряд вимог до програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері.

Зокрема, для Android платформ необхідний інтегрований AndroidSDK з установленими пакетами на Android 7.0 або вище.

Для iOS платформ необхідна наявність xCode версії 10.0.

Одним з важливих етапів розробки даного описаного проекту є налагодження та тестування алгоритмів уточненого позиціонування. Для даної задачі розроблено спеціальний симуляційний режим, що при заданих параметрах точності сенсорних систем смартфона автоматично проходить тестування та виводить результати обчислень. Для використання цього режиму необхідно запуснути сцену Unity під назвою ARSimulation. Всі вхідні симуляційні дані розміщені в конфігураційному класі ARSimulationConfig. Приклад параметрів для тестування алгоритму у приближених до реальності умовах продемонстровано на рис.3.3.

```

namespace App.Simulation.Configs
{
    public static class ARSimulationConfig
    {
        public const SynchronizationType SynchronizationType = Synchronization.SynchronizationType.Lerp;
        public const SmoothStrategyType SmoothType = SmoothStrategyType.Snap;

        public const float GPS_ACCURACY = 10;
        public const float AR_ACCURACY = .8f;
        public const float COMPASS_ACCURACY = .95f;

        public const float MINIMUM_DESIRE_DISTANCE = 20;
        public const float SYNCHRONIZATION_BIAS = .3f;

        public const float SIMULATION_SPEED = 50;
    }
}

```

Рисунок 3.3. Конфігураційний файл для симуляційного режиму

Також, важливим та зручним функціоналом для налагодження та тестування розроблених алгоритмів позиціонування було створено автономну систему для проведення та логування великої кількості експериментів з різними наборами вхідних параметрів. Даний функціонал називається AutomaticSimulationRunner.

Для запуску даного функціоналу необхідно задати сукупність можливих значень по кожному з вхідних параметрів. А саме: типи методів позиціонування, точність компаса, точність GPS, BIAS, мінімальна відстань для початку розрахунків. Сукупність можливих значень задається в класі `SimulationRunnerInput.cs` у вигляді масивів. Оскільки `AutomaticSimulationRunner` здійснює повний перебір введених параметрів, необхідно задавати незначну кількість значень.

Приклад, при заданні 2 методів позиціонування, 3 значень точності GPS, 4 значень точності компаса, 4 значень BIAS та 3 значень мінімальної порогової відстані, буде здійснено $2*3*4*4*3=288$ експериментів, що в середньому займе 1 годину для їх виконання.

По кожному виконаному експерименту робиться скріншот згенерованого маршруту, а також всі числові вхідні та вихідні значення записуються до таблиці. Після повного завершення симуляції всі результати можна вилучити з директорії проекту `StreamingAssets`.

Висновки до розділу

На основі запропонованого методу позиціонування та орієнтації, в даному розділі було описано основні архітектурні та технологічні рішення, використані для реалізації алгоритму та навігаційної системи в цілому.

Вибір `Unity3D` як програмного середовища для розробки системи надало можливість простої інтеграції необхідних фреймворків та зручності використання апаратних та обчислювальних можливостей мобільного пристрою.

Після цього було описано основні функціональні можливості реалізованої системи, в тому числі перехід між станами системи та використані методи для отримання картографічних даних щодо потрібної місцевості.

Також, після опису функціональних можливостей системи для було описано загальну характеристику її проекту та необхідні дії для здійснення

удосконалення та налагодження системи в майбутньому. Даний пункт дозволить майбутнім розробникам швидко увійти в проект та здійснювати свої модифікації в ньому. Крім того, подано інструкцію для здійснення експериментальних досліджень реалізованих алгоритмів позиціонування із заданням всіх можливих похибок обчислення.

Вся інформація з даного розділу може бути використана для ознайомлення з можливостями створеної навігаційної системи на практиці та з метою дослідження ефективності реалізованих алгоритмів позиціонування.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

В даному розділі описано процес тестування створеної навігаційної системи, зокрема визначення точності позиціонування та орієнтації та порівняння отриманих результатів з точністю в 2D навігаторах.

Також доцільно дослідити якісні показники системи, такі як інформативність та зручність у використанні.

4.1 Дослідження точності позиціонування

Як було вже неоднократно визначено раніше, для позиціонування та орієнтації користувача на місцевості необхідне визначення та обчислення багатьох інформаційних потоків, що надходять з різних сенсорних пристроїв смартфона. Тому для більш точного дослідження роботи алгоритмів уточненого позиціонування, тестування буде проведене в спеціально розробленому симуляційному режимі.

Джерела похибок та обмеження, що враховуються при симуляції:

- Точність GPS координат (в метрах);
- Точність сенсорних даних з мобільного пристрою (у відсотках);
- Точність компаса (у відсотках);
- Параметр BIAS;
- Значення мінімальної відстані для початку роботи алгоритму уточнення;
- Швидкість симуляції - множник швидкості переміщення тестового суб'єкта.

На основі експериментальних досліджень вбудованих вимірювальних пристроїв смартфона iPhone 8 Plus при тестуванні алгоритмів було визначено такі параметри:

- Точність GPS – 20 м;
- Точність гіроскопа для вимірювання повороту телефона – близька до 100%, оскільки він визначає правильну орієнтацію пристрою тривалий час.

- Точність акселерометра для вимірювання локальних зміщень приймемо за 80%. Причому вектор похибки завжди співпадає з вектором напрямку девайса;
- Точність компаса – 95%–99%, оскільки в деяких випадках спостерігалось відхилення від правильного значення на 15 градусів;

Для детального аналізу всіх реалізованих алгоритмів уточнення проведено набір експериментів, що відрізняються зміною того чи іншого параметру симуляції. Найбільш впливовими параметрами на результат є точність GPS модуля, точність компаса та параметр синхронізації BIAS.

Розглядаючи такі пристрої як гіроскоп та акселерометр на практиці можна зазначити, що похибка даних пристроїв мало впливає на кінцевий результат розрахунків. А оскільки після кожного циклу відлік всіх показників показників, крім GPS координат, обнуляється, похибками гіроскопа та акселерометра можна нехтувати або не змінювати їх точність при всіх експериментах.

Таким чином для проведення повноцінного аналізу ефективності створених методів позиціонування було проведено ряд експериментів, що покриває повний набір наступних вхідних параметрів:

- Метод позиціонування (далі SYNC): без корегування кута локальної системи координат (далі SIMPLE), та з корегуванням (далі LERP);
- Точність акселерометра: 80%;
- Точність гіроскопа: 100%;
- Точність GPS даних (далі GPS): 20м, 12м, 7м;
- Точність компаса (далі MAG): 90%, 93%, 96%, 99%;
- BIAS: 0.2, 0.4, 0.5, 0.7;
- Мінімальна відстань для здійснення розрахунків (далі DES): 5м, 10м, 20м;

Всі експерименти були проведені на одній місцевості, зображеній на рис.4.1.



Рисунок 4.1. Маршрут для експериментальних досліджень алгоритмів

Кількість поворотів, які здійснює об'єкт впродовж траєкторії – 5. Повна довжина шляху – 1,15км.

Для аналізу ефективності використання алгоритму за певними умовами точності пристроїв обчислено наступні числові характеристики:

- Середнє значення відхилення GPS даних від реального положення (далі AVG_GPS);
- Середнє значення відхилення розрахованої позиції від реального положення (далі AVG_SYNC);
- Максимальне відхилення розрахованої позиції від реального положення (далі MAX_SYNC);
- Коефіцієнт покращення середньоарифметичного відхилення (далі AVG_FACTOR): значення, що показує, наскільки точнішим є результат за алгоритмом ніж за GPS даними. Значення менше 1 означає доцільність застосування алгоритму. $AVG_FACTOR = AVG_SYNC / AVG_GPS$;
- Коефіцієнт покращення максимального відхилення (далі MAX_FACTOR): $MAX_FACTOR = MAX_SYNC / GPS$;

Статистичні та графічні результати досліджень в повній мірі приведені в Додатку В, Додатку Г, Додатку Д, Додатку Е та Додатку Ж.

Проведемо аналіз отриманих результатів.

4.1.1 Алгоритм з корегуванням кута локальної системи (Lerp)

За результатами 144 експериментальних симуляцій при різних вхідних параметрах більше половини випадків показали точність більшу або таку ж як і у методі позиціонування за GPS координатами. Про це свідчить збір даних, показаних на рис.Г.1.

Найкращий з отриманих результатів указав на можливість алгоритму здійснювати позиціонування при середній похибці всього в 3,7м, що на 60% менше за GPS позиціонування за аналогічними вхідними параметрами. При цьому точність GPS (20м) та компаса (15°) були задані дуже низькими. Результат експерименту зображено на рис.Ж.1.

Легко зазначити, що алгоритм гарно справляється з відносно великими похибками компаса, оскільки має властивість корегування орієнтації локальної системи координат відносно сторін світу в процесі навігації. Тому похибка компаса зменшує свій вплив на обчислений результат в процесі переміщення. Описане явище наглядно продемонстровано на рис.Ж.2.

Також, дане твердження підкріплюється тим, що лінія тренду, зображена на рисунку, показує, що при виконанні експериментальних досліджень найвище точність позиціонування була досягнена у випадках з точністю компаса в середньому 97% ($12 - 13^\circ$).

Однак, на ряду з стійкістю до похибки компаса, аналіз результатів виконання показали на сильний вплив на результат точності GPS координат та значення мінімальної відстані для обчислень (Desire Distance). Це обумовлюється базовими властивостями алгоритму, оскільки він є чутливим до зміни напрямку GPS координат і при цьому корегує локальну систему відносно

них. Така властивість методу позиціонування може призводити до посилення похибок позиціонування, що є дуже великим недоліком.

Тому для мінімізації впливу похибок GPS позиціонування, значення Desire Distance необхідно збільшувати. На рис.Г.5. видно, що оптимальним значенням для виконаних експериментів є 15м.

Говорячи про параметр BIAS, з рис.Г.4. видно, що оптимальним є значення, близьке до 0,4.

4.1.2 Алгоритм без корегування кута локальної системи (Simple)

Як і у випадку з Lerp алгоритмом, алгоритм Simple має позитивний результат точності позиціонування майже у половині проведених експериментів.

Про це свідчить збір даних, показаних на рис.Е.1.

Алгоритм є більш стійкий до похибок GPS даних, ніж Lerp, оскільки він має властивість стійкої збіжності результату до бажаного.

Така властивість є сильною перевагою над методом з корегуванням кута локальної системи координат. Таким чином можна зробити висновок, що результат позиціонування об'єкта прямує до бажаного швидше у випадках збільшення кількості ітерацій обчислень. З цього випливає необхідність зменшення порогової величини обчислень (Desire Distance), лінія тенденції якої зростає на рис.Е.5. при збільшенні похибки позиціонування. Описане твердження підтверджується рис.Ж.3.

Однак алгоритм Simple має суттєвий недолік – висока чутливість до похибок компаса, що виникає через неспроможність алгоритму компенсувати неправильну орієнтацію системи координат в процесі навігації. Через це при дослідженні методу в експериментах з високою похибкою компаса, розрахована траєкторія руху об'єкта стає дуже «зубатою» і не претендує на правдивість. Приклад такої траєкторії зображено на рис.Ж.4.

Висока чутливість до похибок компаса також продемонстрована на рис.Е.3., де найкращі результати позиціонування потребують максимально високої точності компаса – 100%. На це свідчить лінія тренду, що виходить з 1.

4.2 Дослідження якісних характеристик додатку

Оскільки розроблена навігаційна система має певні принципові відмінності у застосуванні порівняно з стандартними 2D навігаторами, постає питання про аналіз якісних характеристик системи. Зокрема, розглянемо відмінності у інформативності представлення інформації та зручності використання.

4.2.1 Аналіз інформативності навігаційної системи

Інформативність - якісна характеристика системи, що визначає повноцінність та правильність подачі інформації користувачу. В навігаційних системах задача інформативності - представити всю необхідну інформацію про навколишнє середовище та маршрути як умога доступніше та повніше. Однак дане представлення не повинно бути надмірним чи таким, що заплутує.

Досліджуючи характеристику інформативності в стандартних 2D навігаторах, виявлено, що інформація в них може бути представлена наступними способами:

- Відображення маршруту у вигляді полілінії на пласкій або псевдооб'ємній карті;
- представлення маршруту у вигляді turn-by-turn навігації - типу маршруту, при якому на екрані відображається відстань до наступної точки зміни напрямку та безпосередньо, напрямок. приклад turn-by-turn навігації зображено на рис.4.2.

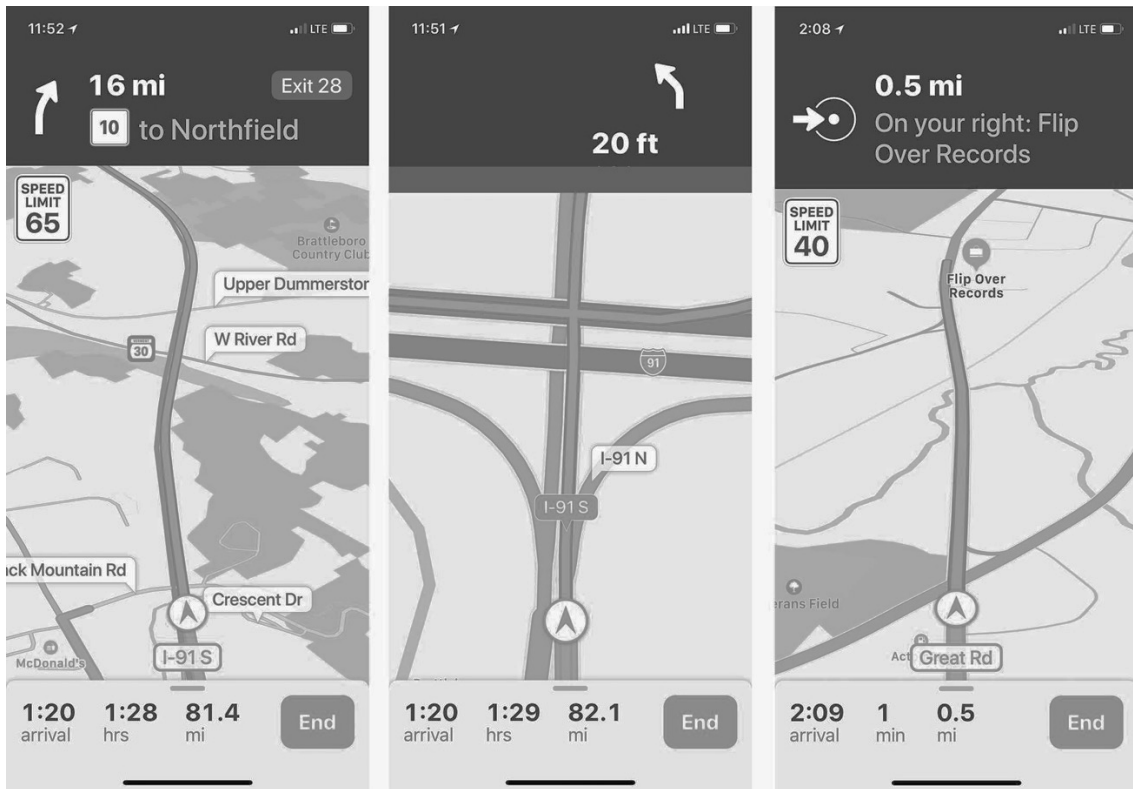


Рисунок 4.2. Turn-by-turn навігація

– модифікація turn-by-turn навігатора, при якому інформація представляється не виведенням на екран, а озвучується додатком. Такий спосіб надання інформації реалізований майже у всіх автомобільних навігаторах, оскільки менше відволікає від зорового нагляду за дорогою; Визначимо характеристики інформативності для AR карт та AR навігаторів та порівняємо їх з описаними характеристиками 2D навігаторів.

Головним недоліком AR навігаторів у інформуванні користувача є неможливість використання їх при переміщенні. Тому такі види представлення як turn-by-turn втрачають свою суть для даного випадку.

Однак, говорячи про дослідження місцевості, AR навігатори беззаперечно кращі у силу можливості розглянути ландшафт та висотність карти під будь-яким кутом. Приклад AR карти продемонстровано на рис.4.3.

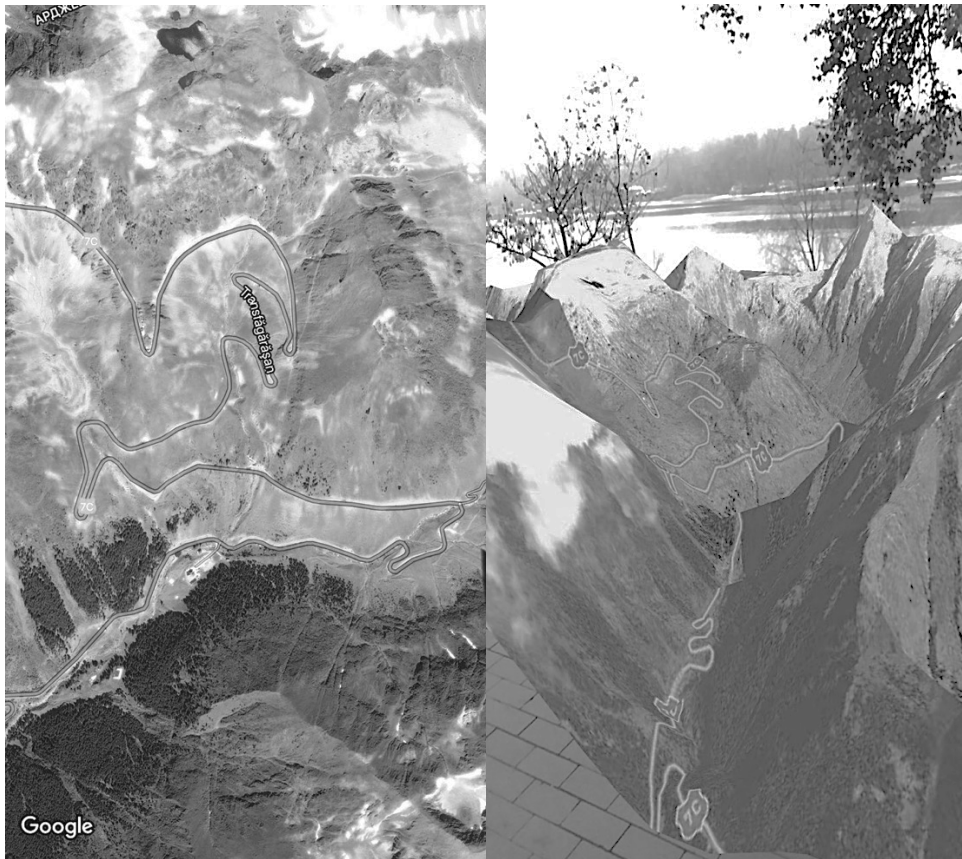


Рисунок 4.3. Відображення місцевості з складним ландшафтом за допомогою 2D та AR карти

З досліджень застосування AR навігаторів випливає, що даний тим навігаційних систем надає широкі можливості у представленні повноцінної та зрозумілої інформації користувачу за рахунок інтерактивності доповненої реальності.

Таким чином використовуючи даний спосіб навігації, інформацію не потрібно власноруч інтерпретувати на реальний світ. Напрямок та маршрут в цілому, по якому має рухатись користувач, відображається “прямо по землі”. У випадку складної забудованої місцевості та поганої точності компаса 2D навігатор може заплутати користувача у вірності обраного напрямку. В свою чергу, AR навігатор відображає цей напрямок накладаючи на реальний навколишній світ, що значно зменшує шанси людини помилитись у сприйнятті правильного шляху.

Також, turn-by-turn навігація легко інтегрується в AR системи, створюючи комбінований тип представлення інформації користувачу. Такий синтез декількох типів навігації представлено на рис.4.4.



Рисунок 4.4. Комбінована навігаційна система

4.2.2 Дослідження зручності користування додатком

Як було зазначено раніше, AR карти не пристосовані в навігації на місцевості під час зміни користувачем руху. Тому, зважаючи на це твердження, карти в доповненій реальності однозначно програють стандартним навігаторам.

Говорячи про 2D та AR навігатори, беззаперечною перевагою другої навігаційної системи є об'єднання зображення реального світу та інформації про маршрут. З цього випливає, що навігаційні системи з доповненою реальністю значно зручніше використовувати у випадках, коли важливий постійний догляд за навколишнім середовищем. яскравим прикладом є навігація в автомобілях, коли для водія набагато зручніше одночасно бачити дорогу через екран з зпроектованим маршрутом на ньому, ніж відволікатись від дороги для перегляду наступних інструкцій у переміщенні на 2D карті.

Для порівняння 2D та AR навігаторів розглянемо декілька ситуацій:

- 1) рух по вулиці при незначному трафіку;

- 2) рух по вулиці зі значним потоком людей;
- 3) рух по вулиці вночі;
- 4) рух на автомобілі в пробці;
- 5) рух на автомобілі з вільною дорогою;

Щодо 2D навігаторів, їх точність позиціонування та орієнтації майже не відрізняється у всіх випадках. При цьому ці системи здатні працювати незалежно від ситуації в навколишньому середовищі.

Говорячи про AR навігатори, важливо зазначити їх переваги у випадках 1 та 5, коли рух пристрою відносно стабільний і швидкий. Оскільки алгоритми позиціонування в AR системах мають властивість покращувати результат при збільшенні ітерацій обчислень, у зазначених випадках точність навігації буде значно вищою. Крім того, як уже було підтверджено раніше, для переміщення з постійним рухом набагато зручніше спостерігати одразу і за реальним світом і за побудованим маршрутом.

Розглядаючи протилежні до попередніх випадки, коли користувач рухається повільно (випадки 2 та 4), AR навігатори програють конкуренцію у зручності використання, оскільки в даних ситуаціях алгоритми уточненого позиціонування не проявляють себе краще за GPS навігатори, а представлення за допомогою доповненої реальності обмежене лише екраном смартфона, що при повільному русі користувача не надає ніяких переваг.

Розглянемо AR навігаційну систему у випадках з поганою освітленістю та на вулиці з значним потоком людей.

В першому випадку точність системи падає, оскільки локальні зміщення, що визначаються фреймворками для реалізації доповненої реальності, не корегуються визначенням поверхонь навколишнього світу через нездатність дослідити темне зображення з камери. Другим негативним фактором AR навігатора в цій ситуації є некоректне і незрозуміле відображення маршрутів і іншої інформації на темне зображення.

При аналізі руху в дуже людному місці стає зрозумілим те, що тримати пристрій з увімкненою камерою на витягнутій руці у обмеженому просторі дуже незручно.

Проаналізувавши всі випадки стає зрозумілим, що розроблена навігаційна система має значні переваги тільки у певних ситуаціях, які не обмежуються властивостями доповненої реальності або особливостями алгоритму уточненого позиціонування.

Висновки до розділу

В даному розділі подана детальна інформація щодо роботи запропонованих алгоритмів позиціонування: алгоритмом з корегуванням кута локальної системи та алгоритмом без корегування кута.

Дослідження було проведено в два етапи: етап дослідження числових результатів роботи алгоритму та етап аналізу якісних характеристик навігаційної системи на основі доповненої реальності.

В першому випадку здійснено по 144 експерименти з різними наборами похибок вимірювання різних вимірювальних приладів. Такий підхід до аналізу алгоритмів дозволив визначити вплив кожного типу похибки на кінцевий результат.

В другому етапі дослідження системи було проведено аналіз інформативності поданих даних та зручності користування додатком.

В обох випадках порівняння як кількісних, так і якісних результатів роботи розробленої навігаційної системи проводилось з навігаційною системою на основі GPS навігації.

Отримані дослідження дали змогу зробити висновок щодо ефективності застосування запропонованих методів позиціонування та орієнтації при різних випадках похибок апаратного забезпечення системи.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Узагальнено етапи розроблення стартап-проекту можна подати таким чином:

1) Маркетинговий аналіз стартап-проекту

В межах цього етапу:

- розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
- аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2) Організація стартап-проекту В межах цього етапу:

- складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;
- розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
- визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
- розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3) Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

В межах цього етапу:

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);

- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4) Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Проте фахівці зі створення та розвитку стартап-проектів окремо відзначають, що відсутність маркетингових знань та умінь, що уможлиблюють розробку ринково затребуваного проекту із вихідної ідеї, є основною причиною високого рівня банкрутств стартап-компаній, і ця проблема може бути вирішена за рахунок навчання винахідників.

Відповідно, основним призначенням даних методичних рекомендацій є надання студентам знань щодо суті, основних принципів розроблення стратегії ринкового впровадження та маркетингового управління інноваційними стартап-проектами у промислових галузях економіки, використання ефективних маркетингових інструментів просування високотехнологічних продуктів виробництва та послуг.

5.1 Опис ідеї проекту

В межах підпункту було проаналізовано і подано у вигляді таблиць:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;

- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників;

Перші три пункти подані у вигляді таблиці (табл.5.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|---|--|---|
| Алгоритм для навігаційних систем на базі доповненої реальності, який дозволить визначати більш точну позицію та орієнтацію користувача. | 1) Навігаційні системи для широкого кола користувачів 2) Навігаційні системи для логістичних служб 3) Автомобільні навігаційні системи | 1) Збільшена точність позиціонування та орієнтації 2) Підвищена інформативність виведеної інформації за рахунок застосування доповненої реальності |

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведення збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів- 60 конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проведення порівняльного аналізу показників: для власної ідеї визначені показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл.5.2).

Таблиця 5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

| № п/п | Технікоеконімічні характеристики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів | | W (слабка сторона) | N (нейтральна) | S (сильна сторона) |
|-------|---------------------------------------|---|--|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| | | Мій проєкт | Конкурент | | | |
| 1. | Кросплатформеність | Може працювати лише на платформах і пристроях, що підтримують доповнену реальність. | Може працювати на різних платформах та пристроях | + | | |
| 2. | Собівартість | Низька | Низька | | + | |
| 3. | Зручність використання | Легко | Легко | | + | |
| 4. | Інформативність | Висока | Середня | | | + |
| 5. | Точність позиціонування | Висока | Середня | | | + |

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз таких складових (табл.5.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проєкту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити?
- чи доступні такі технології авторам проєкту?

Таблиця 5.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технології | Доступність технології |
|-------|--------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|
| 1. | Доповнена реальність | Android ARCore, iOS ARKit | Є у наявності | Достапна для ОС Android та iOS |
| 2. | Графіка | Unity3D | Є у наявності | Доступна на всіх мобільних платформах |
| 3. | Картографічні дані | Mapbox | Є у наявності | Доступна як надбудова до Unity |
| 4. | Визначення вхідних даних | GPS модуль, камера, акселерометр, гіроскоп, магнітометр | Є у наявності | Наявна у всіх сучасних смартфонах |

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Спочатку було проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл.5.4).

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|-------|---|----------------|
| 1 | Кількість головних гравців | 2 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 2 000 000 |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу | Немає |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Немає |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі, % | R=41% |

За результатами аналізу табл.5.4 було зроблено висновок, що ринок є привабливим для входження. Надалі були визначені потенційні групи клієнтів,

їх характеристики, та зформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл.5.5)

Таблиця 5.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № п/п | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп | Вимоги користувачів |
|-------|---|---|--|--|
| 1. | Потреба в застосування більш високоточних навігаційних систем | Працівники логістичної служби, водії, туристи | Модель смартфона, операційна система смартфона | Рішення має надавати високу точність позиціонування та бути зручним у застосуванні |

Після визначення потенційних груп клієнтів було проведено аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл.5.6, табл.5.7).

Таблиця 5.6 Фактори загроз

| № п/п | Фактор | Зміст загрози | Можлива реакція компанії |
|-------|-------------|--|--|
| 1. | Конкуренція | Поява більш точної та швидкої навігаційної системи. | 1. Передбачити додаткові переваги власного проекту для того, щоб повідомити про них саме після виходу міжнародної компанії на ринок. 2. Обрати нову цільову аудиторію і зосередитися на ній |
| 2. | Економічний | Подорожчання мобільних пристроїв, здатних обробляти алгоритм | Оптимізація програмного продукту, для можливості його запуску на більш бюджетних пристроях. |

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

| № п/п | Фактор | Зміст можливості | Можлива реакція компанії |
|-------|-------------------|--|---|
| 1. | Науково-технічний | Оптимізація роботи алгоритму позиціонування та підвищення точності розрахунків | Адаптація існуючого рішення під нову технологію |
| 2. | Попит | Популяризація технології доповненої реальності | Постійна підтримка продукту |

Надалі було проведено аналіз пропозиції: визначили загальні риси конкуренції на ринку (табл.5.8).

Таблиця 5.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною) |
|---|---|--|
| 1. Вказати тип конкуренції: монополістична конкуренція. | Існує декілька фірм конкурентів | Підтримка якості продукту та постійні нововведення. |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби: Міжнародний. | Фірми-конкуренти знаходяться в інших країнах | Адаптація продукту як для вітчизняних так і для зарубіжних клієнтів |
| 3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева. | Використовується в багатьох галузях діяльності. | Постійне вдосконалення продукту. |
| 4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова. | Види товарів однакові. | Створити продукт, враховуючи сильні і слабкі сторони конкурентів |
| 5. За характером конкурентних переваг: нецінова. | Вдосконалення технології розпізнавання. | Зниження ціни на продукт та підтримка його якості. |
| 6. За інтенсивністю: марочна | Бренди існують і конкурують. | PR, реклама, просування бренду. |

Було проведено аналіз конкуренції у галузі за моделлю М. Портера (табл.5.9).

За результатами аналізу табл.5.9 було зроблено висновок про можливість роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також було зроблено висновок щодо характеристик, які повинен мати проект, щоб бути конкурентноспроможним на ринку.

Цей висновок був врахований при формулюванні переліку факторів конкурентноспроможності у наступному пункті. На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл.5.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл.5.2), вимог споживачів до товару (табл.5.5) та факторів маркетингового середовища (табл.5.6, табл.5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентноспроможності. Аналіз оформлюється за табл.5.10.

Таблиця 5.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі | Потенційні конкуренти | Початкові | Клієнти | Товари |
|------------------|--|--|-----------|--|--|
| | ARCity.com | Наявність вже існуючих рішень | - | Контроль точності системи | Поява уніфікованої моделі AR позиціонування |
| Висновки | Доволі інтенсивна конкурентна боротьба з вже закріпившимися на ринку гравцями. | Є можливості виходу на ринок, але є і конкуренти. Строки – 4 місяці. | - | Клієнти диктують усі умови роботи на ринку | Перехід усіх навігаційних систем на використання доповненої реальності |

Таблиця 5.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим) |
|-------|--|---|
| 1. | Виконання програмного забезпечення у кросплатформеному вигляді | Можливість використання програмного забезпечення на будь-якій платформі. |
| 2. | Ціна | Дане рішення не потребує використання додаткового обладнання та матеріалів, а достатньо лише програмного рішення. |

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл.5.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл.5.11).

Таблиця 5.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Бал и 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні | | | | | | |
|-------|--|------------|--|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1 | Виконання програмного забезпечення у кросплатформеному вигляді | 17 | | | | + | | | |
| 2 | Ціна | 20 | | | + | | | | |

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл.5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл.5.11).

Таблиця 5.12 SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|--|--|
| Сильні сторони: ціна, кросплатформеність, точність позиціонування | Слабкі сторони: у деяких випадках використання системи може бути незручним |
| Можливості: більш широке застосування технологій та підходів у всіх галузях. | Загрози: видавлення з ринку конкурентами, зміна потреб користувачів |

На основі SWOT-аналізу було розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл.5.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи були проаналізовані з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл.5.13).

Таблиця 5.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| № п/п | Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки | Ймовірність отримання ресурсів | Строки реалізації |
|-------|--|--------------------------------|-------------------|
| 1 | Розробка програмного продукту, PR, просування бренду | 80% | 7 місяців |
| 2 | Розробка програмного продукту, безкоштовне розповсюдження | 40% | 5 місяців |

Після аналізу було обрано альтернативу №1.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: було проведено опис цільових груп потенційних споживачів (табл.5.14).

Таблиця 5.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
|-------|--|---|---|--------------------------------------|--------------------------|
| 1. | Користувачі смартфонів віком 10 – 40 років | Висока | Високий | Високий | Невисока |
| 2. | Користувачі смартфонів віком 41 – 99 років | Невисокий | Невисокий | Невисокий | Невисока |

Після аналізу було обрано цільову групу №1.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів було обрано цільову групу, для якої буде запропоновано даний товар, та визначено стратегію охоплення ринку - стратегію концентрованого маркетингу (компанія зосереджується на одному сегменті). Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл.5.15).

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії розвитку

| | | | |
|--|----------------------------|--|---------------------------|
| Обрана альтернатива розвитку проекту | Стратегія оформлення ринку | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи | Базова стратегія розвитку |
| Розробка програмного продукту, PR, просування бренду | Масовий маркетинг | Уточнений метод позиціонування та орієнтації | Стратегія диференціації |

Наступним кроком обрано стратегію конкурентної поведінки (табл.5.16).

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| | | | |
|--|--|---|----------------------------------|
| Чи є проект «першопрохідцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які? | Стратегія конкурентної поведінки |
| Ні | Забираючи в інших | Ні | Стратегія наслідування лідеру |

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл.5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл.5.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл.5.16) розроблено стратегію позиціонування (табл.5.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17 Визначення стратегії позиціонування

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії | Базова стратегія розвитку | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартаппроекту | Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових) |
|-------|-------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| 1. | Невисока ціна | Позиціонування за показниками ціни | Відсутність подібних моделей | Економічність, легкість користування, ергономічність |

Результатом виконання підрозділу стала узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрями роботи стартапкомпанії на ринку.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформовано маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у табл.5.18 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| | | |
|--------------------|--|--|
| Потреба | Вигода, яку пропонує товар | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) |
| Кросплатформеність | Можливість використання на будь-якій платформі з підтримкою віртуальної реальності | Рішення є кросплатформним |
| Ціна | Низька ціна | Користувачу не потрібно платити зайві гроші |

Розроблено трирівневу маркетингову модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл.5.19).

Таблиця 5.19 Опис трьох рівнів моделі товару

| | | | |
|---|--|------|----------------|
| Рівні товару | Сутність та складові | | |
| Товар за задумом | Товар дозволяє здійснювати високоточне позиціонування в просторі | | |
| Товар у реальному виконанні | Властивості/характеристики | М/Нм | Вр/Тх /Тл/Е/Ор |
| | 1. Якість 2.Простота у використанні 3. Низька ціна | - | - |
| | Якість: згідно до стандарту буде проведено тестування | | |
| | Пакування нема | | |
| | Марка (власна): ARNavigation | | |
| Товар із підкріпленням | До продажу: 1-місячна пробна безкоштовна версія | | |
| | Після продажу: Постійне удосконалення алгоритмів позиціонування | | |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: ноу-хау | | | |

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл.5.20). Аналіз проведено експертним методом.

Таблиця 5.20 Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на продуктозамінники | Рівень цін продукти аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|---------------------------------|-----------------------------|--|---|
| | 5-10\$ | 5-20\$ | 1500\$ | 1-5\$ |

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого було прийняте рішення (табл.5.21):

- проводити збут власним силами і залучати сторонніх посередників.
- користуватися однорівневим каналом збуту;

Таблиця 5.21 Формування системи збуту

| Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
|---|---|----------------------|-----------------------------------|
| Одна одиниця на особу | Роздрібна торгівля | Однорівневий | Власні сили та через посередників |

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.5.22).

Таблиця 5.22 Концепція маркетингових комунікацій

| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|-------|---|--|---|--|---|
| | Клієнти обиратимуть зручніший продукт з потрібними функціями. | Соціальні мережі, електронна пошта, мобільні телефони | Ціна, простота використання, кросплатформеність, більш висока точність позиціонування | Показати переваги продукту, низьку ціну, високу точність аналізу | Статистичні дані з результатами аналізу, реклама. |

Результатом підрозділу стала ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до розділу

В даному розділі було проведено аналіз програмного продукту у якості стартап проекту. Можна зазначити що у проекту є можливість комерціалізації, оскільки технологія доповненої реальності динамічно розвивається, надаючи можливості в реалізації. На ринку навігаційних систем з'являється монополістична конкуренція, існує декілька фірмконкурентів, тому вихід на нього не буде легким. Через те, що він є повністю програмним, його розробка не потребує витрат на різноманітні матеріали та обладнання. Для впровадження ринкової реалізації проекту слід обрати альтернативу, яка передбачає розробку програмного продукту.

ВИСНОВКИ

Дипломний проект присвячений проектуванню та розробці програмної мобільної навігаційної системи, яка дозволить користувачам здійснювати високоточне позиціонування та орієнтацію на місцевості, а також підвищить якісний показник usability (зручність використання) у роботі з додатком.

В рамках даного проекту проведено детальний аналіз предметної області, описано можливості застосування доповненої реальності в навігації, перераховано ряд вимог та обмежень, які з'являються при застосуванні даної технології.

Для повноцінного аналізу предметної області було досліджено сучасні можливості технології доповненої реальності та її застосування у навігації. Було встановлено про здатність технології збільшувати точність вимірювання локальних зміщень, що отримуються роботою акселерометра та гіроскопа, за рахунок корегування результатів методом визначення позиції користувача на основі розпізнавання реальних поверхонь.

Окрім переваг технології, також було проаналізовано її недоліки, зокрема високу обчислювальну здатність пристрою, потребу у гарній освітленості місцевості та відкритій місцевості.

Наступною поставленою задачею було дослідження існуючих алгоритмів позиціонування та орієнтації користувача в просторі. Було розглянуто декілька принципово відмінних способи отримання позиції користувача:

- статистичний або імовірнісний аналіз серії неточних вимірювань;
- алгоритм позиціонування на основі альтернативних джерел отримання інформації про навколишнє середовище: WIFI, BLE, тощо;
- використання значень локальних зміщень мобільного пристрою у якості додаткового джерела інформації про навколишнє середовище.

Кожен з способів має як переваги так і недоліки. Основою для формування навігаційної системи було обрано метод позиціонування за локальними зміщеннями смартфона. Вибір даного підходу аргументується тим, що

технологія доповненої реальності здатна здійснювати корегування позиції в просторі за рахунок розпізнавання реальних поверхонь.

Запропонований метод позиціонування та орієнтації оснований на одночасному опрацюванні GPS координат та інерціальних зміщень пристрою, що дозволило підвищити точність результату.

Дослідження реалізованого уточненого алгоритму позиціонування, а також його модифікації, було здійснено за рахунок проведення 288 експериментів з різними наборами похибок вимірювання з різних сенсорних систем девайсу. Аналіз результатів показав, що запропонований алгоритм дозволяє отримати набагато вищу точність позиціонування, ніж звичайний GPS навігатор. Крім того, алгоритм здатний корегувати значні відхилення GPS даних.

До недоліків запропонованого алгоритму можна віднести погану стійкість до похибки компаса.

Унаслідок досліджень модифікованого алгоритму встановлено, що він здатен протидіяти високій похибці компаса і згладжує неточність всіх вимірювань у процесі роботи. Таким чином, модифікований алгоритм частково покриває недоліки класичного.

Після експериментальних досліджень точності запропонованого алгоритму було проведено аналіз якісних характеристик створеної системи.

Встановлено, що застосування доповненої реальності у відображенні інформації має позитивних характер, оскільки дозволяє створити більш зрозуміле представлення даних та відкидає необхідність відволікатись від навколишнього світу. Таке твердження говорить про доцільність використання створеної навігаційної системи у якості автомобільних навігаторів.

До недоліків використання AR навігатора є його некоректне відображення інформації у замкненому просторі, або на місцевості з низьким освітленням.

Існує кілька безперечних аргументів на користь використання AR навігаторів у галузі навігації. По-перше, експериментально доведено підвищення точності таких систем у порівнянні з GPS навігацією при наявності руху девайса.

Це дозволить відображати водію достовірні вказівки про напрямок руху включно до зміщення по полосам дороги. По-друге, використовуючи стандартні 2d карти, користувач має відволікатись від дороги і переводити очі на екран смартфона. При застосуванні концепції доповненої реальності, водій ніколи не втрачає дорогу з виду, тим самим зберігає максимальний контроль за автомобілем.

При навігації на великій швидкості для підвищення якості розпізнавання об'єктів на відео в алгоритмах доповненої реальності перспективним виглядає також інтеграція трекерів об'єктів.

З стрімким ростом технологій доповненої реальності, зокрема технологій розпізнавання, можна говорити про те, що вже в найближчі роки AR навігатори будуть "читати" знаки на дорозі та повідомляти водія про перешкоди. Що стосується навігаційних систем для туристів, доповнена реальність дозволить реалізовувати додатки для розпізнавання історичних пам'яток та інших унікальних архітектурних рішень без необхідності пошуку місця на карті.

Поставлені цілі дипломного проекту вдалося досягти за рахунок детального аналізу предметної області та використання правильних технологій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Koukeng Y. Touching Augmented Reality: Direct Object Manipulation for Marker-less AR on Handheld Mobile Devices // 2017.
2. Ufuk D., Mustafa E. Detecting position using ARKit // *IOP Publishing Ltd*, 2018.
3. Welcome to AR City [Електронний ресурс] // ARCity. 2018. URL: <https://www.blippar.com/blog/2017/11/06/welcome-ar-city-future-maps-and-navigation>.
4. List of GPS satellites [Електронний ресурс] // 2018. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_GPS_satellites
5. Переосмысление GPS: Разработка системы позиционирования нового поколения в Uber [Електронний ресурс] // 2018. URL: <https://habr.com/post/353978>.
6. Система дифференциальной коррекции и мониторинга [Електронний ресурс] // 2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/СДКМ>.
7. Физико-технические основы и принцип работы измерительного преобразователя магнитного поля - датчика Холла [Електронний ресурс] // URL: <https://sensorese.com/page16.html>.
8. Coriolis force [Електронний ресурс] // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis_force.
9. Robert M. Leishman, Multiplicative Extended Kalman Filter for Relative Rotorcraft Navigation // *Journal of Aerospace Information Systems*, 2004. pp. 728-744.
10. Bayes' theorem [Електронний ресурс] // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Bayes%27_theorem.
11. Cong Chao, An Innovative Indoor Location Algorithm Based on Supervised Learning and WIFI Fingerprint Classification // *International Conference On Signal And Information Processing, Networking And Computers*. 2017. С. 238-246.

12. Экспериментальная оценка точности существующих методов WiFi позиционирования объектов [Электронный ресурс] // URL: <http://euroasia-science.ru/tehnicheskie-nauki/eksperimentalnaya-ocenka-tochnosti-sushhestvuyushhix-metodov-wi-fi-pozicionirovaniya-obektov>.
13. Neumeier R., Ostermayer G. Analysis of compass sensor accuracy on several mobile devices in an industrial environment // International Conference on Computer Aided Systems Theory. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. С. 381-389.
14. Rettenmund D. Accurate visual localization in outdoor and indoor environment exploiting 3D image spaces as spatial reference // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing; Spatial Information Sciences. 2018. Т. 42. №. 1.
15. Пантелеев А.С., Олейник В.В. Метод визуального мультитрекинга в реальном времени на основе корреляционных фильтров // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Адаптивні системи Автоматичного Управління", К: Політехніка. 2018. Т.1, №32. С. 97-106.
16. Работа с геолокациями в режиме highload [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/post/228023>.
17. How Mapbox work [Электронный ресурс] // Mapbox. 2018. URL: <https://www.mapbox.com/help/how-mapbox-works/>.
18. Hines L. Digital Compass Accuracy // University of St. Thomas. 2007
19. Augmented Reality with Surface Recognition [Электронный ресурс] // URL: <http://www.appmechanic.in/augmented-reality-with-surface-recognition>.
20. Різниця гаусіанів [Электронный ресурс] // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Різниця_гаусіанів
21. Преобразование Хафа [Электронный ресурс] // URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Хафа.
22. Motley A.J. Personal communication radio coverage in buildings at 900 MHz and 1700 MHz // 1988.

23. Метод k-найближчих сусідів [Електронний ресурс] // URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_k-найближчих_сусідів
24. Наївний баєсів класифікатор [Електронний ресурс] // URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Наївний_баєсів_класифікатор.
25. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
ДІАГРАМА СТАНІВ ДОДАТКУ

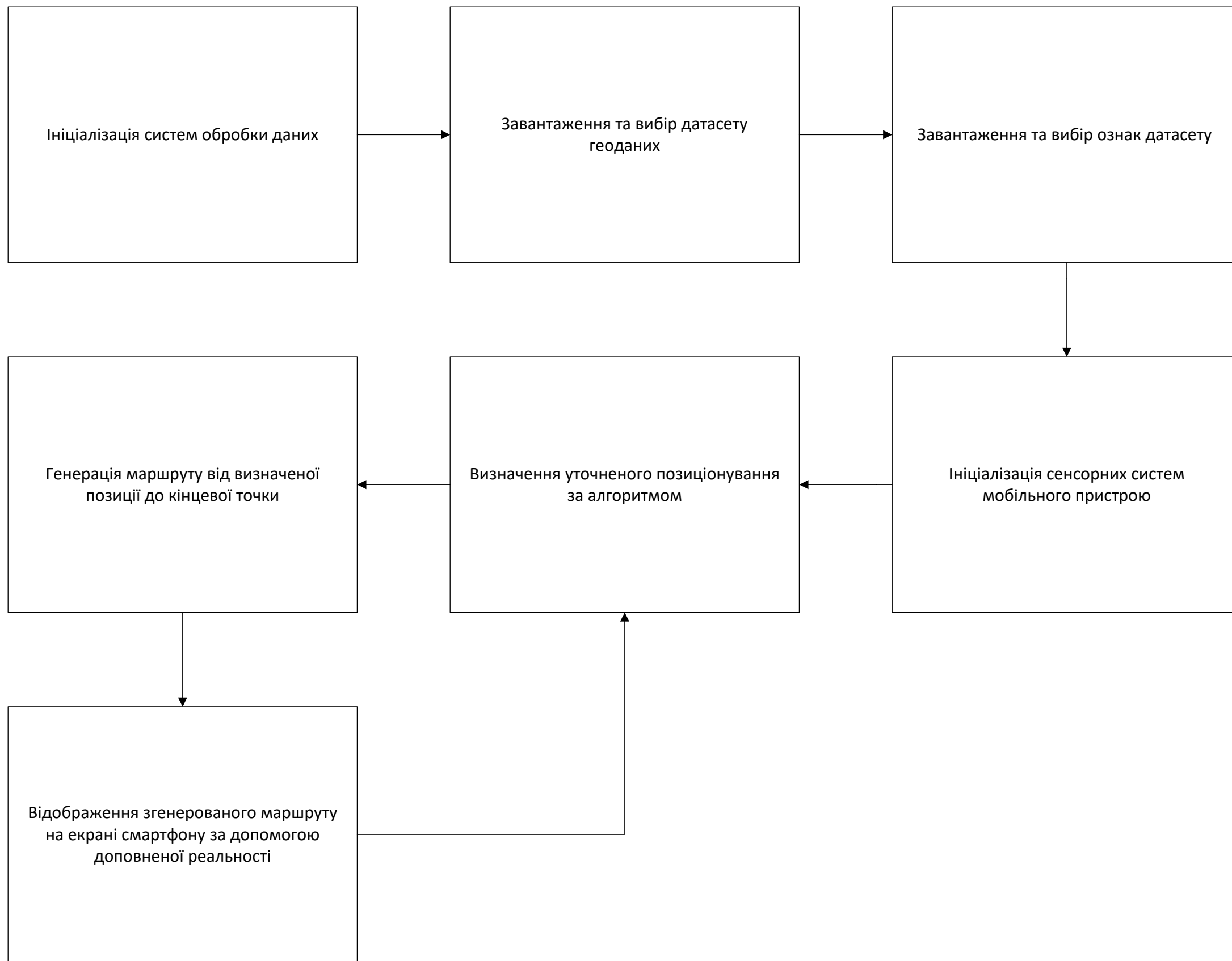


Рисунок А.1 Діаграма станів додатку

Демонстраційний плакат №1
до дипломної роботи на тему
„Система орієнтування на місцевості з використанням технології
доповненої реальності”

Розробив: Яременко Є.А.

Прийняв: Олійник В.В

ДОДАТОК Б
ЕКРАННІ ФОРМИ ДОДАТКУ

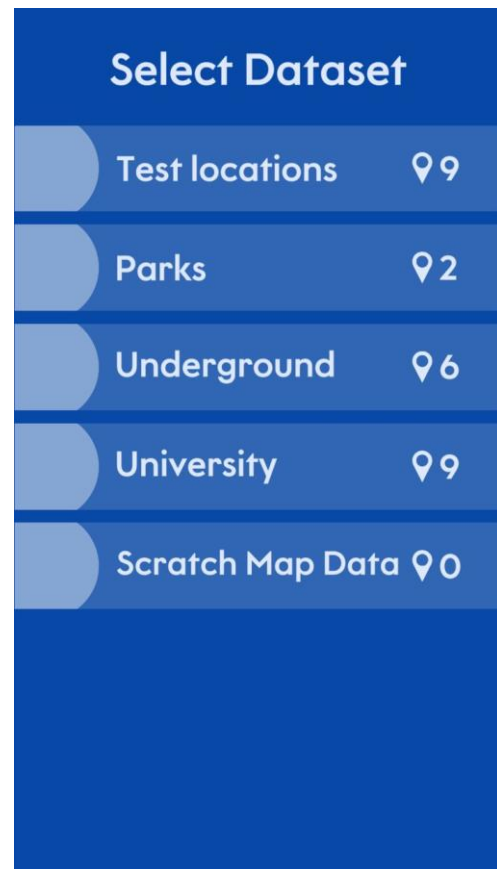


Рисунок Б.1 Екран вибору датасету

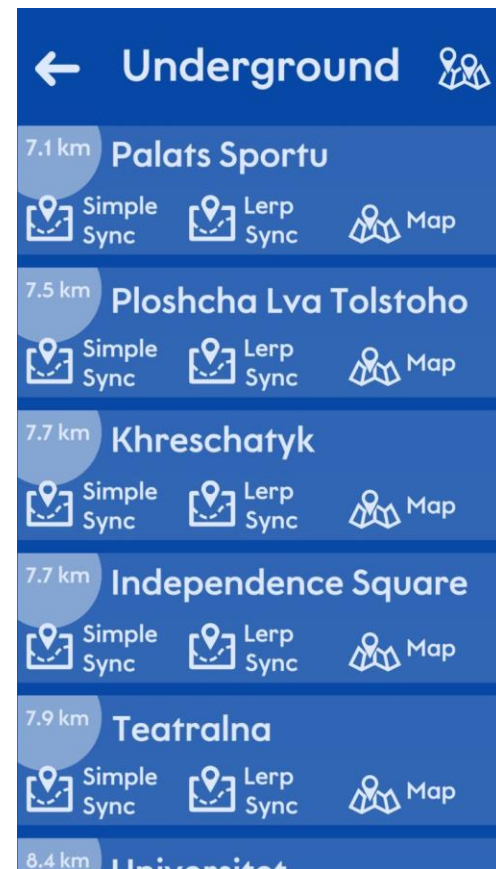


Рисунок Б.2 Екран вибору ознаки



Рисунок Б.3 Екран AR карти



Рисунок Б.5 Екран AR навігатора

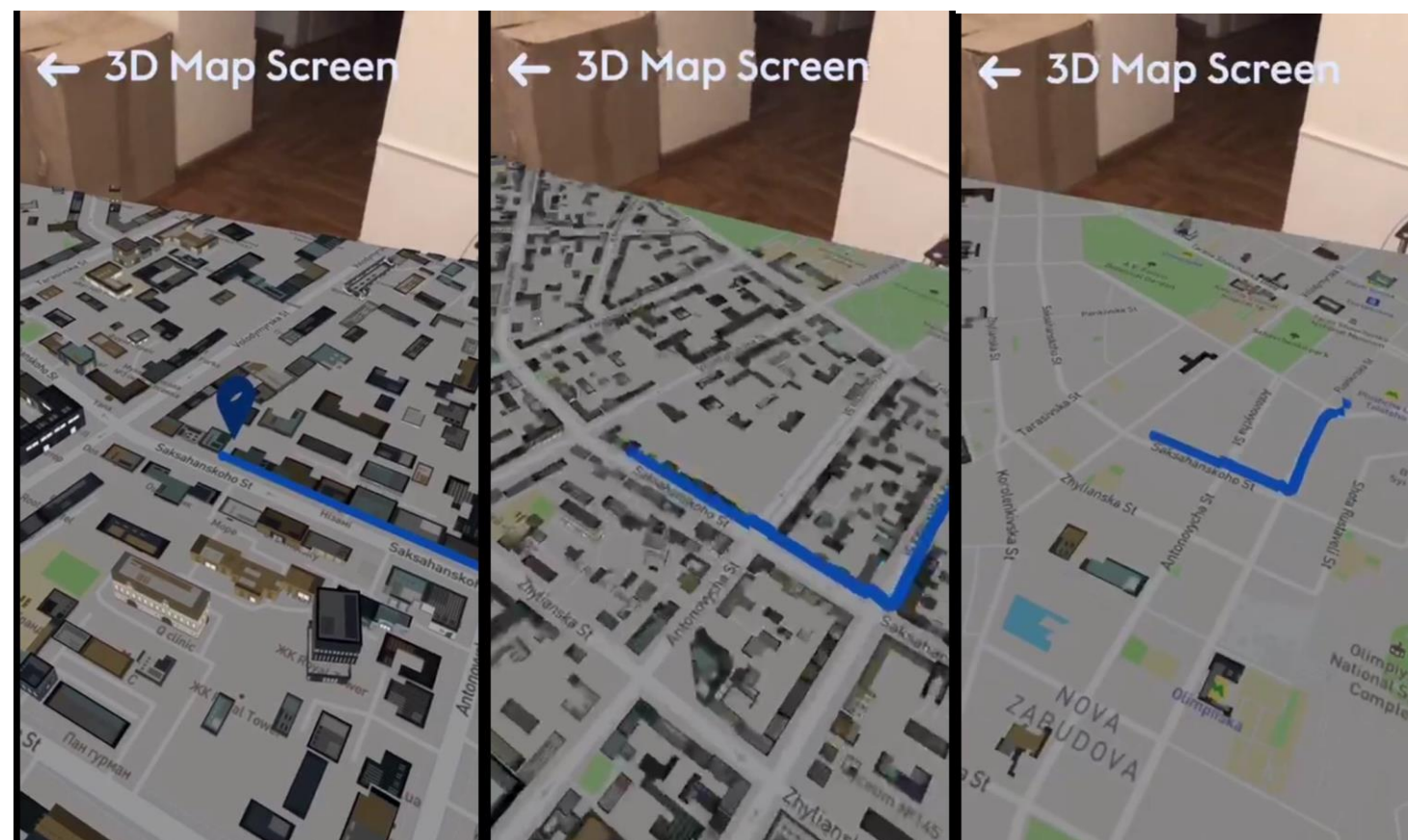


Рисунок Б.4 Демонстрація функції масштабування карти

Демонстраційний плакат №2
до дипломної роботи на тему
„Система орієнтування на місцевості з використанням технології
доповненої реальності”
Розробив: Яременко Є.А.
Прийняв: Олійник В.В

ДОДАТОК В

ЧИСЛОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АЛГОРИТМІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ З КОРЕГУВАННЯМ КУТА СИСТЕМИ

ДОДАТОК Г

ГРАФІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АЛГОРИТМІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ З КОРЕГУВАННЯМ КУТА СИСТЕМИ

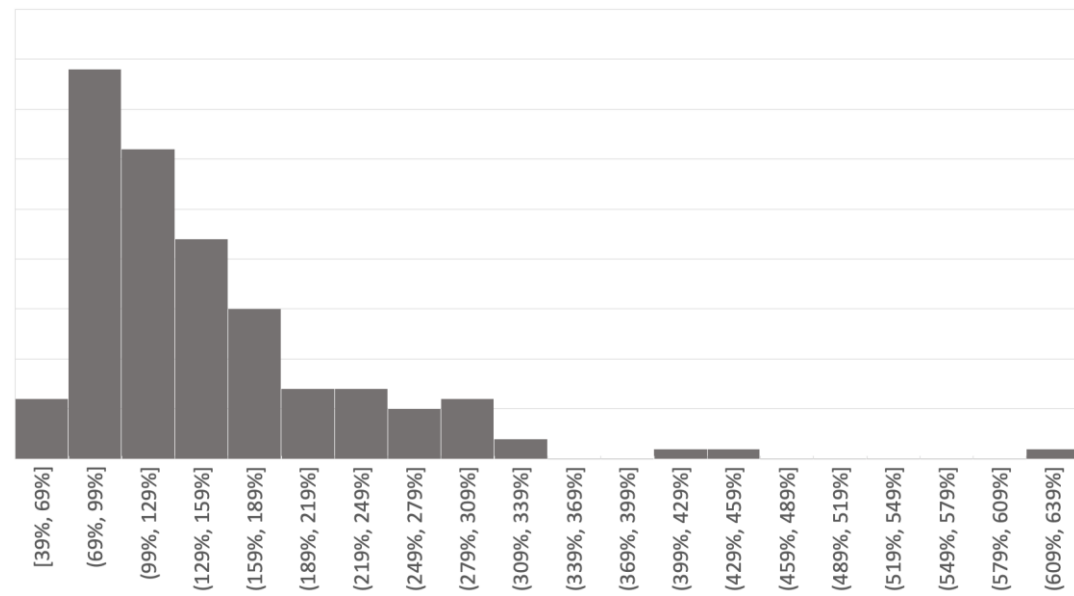


Рисунок Г.1 Розподіл точності отриманих результатів по відношенню до GPS позиціонування

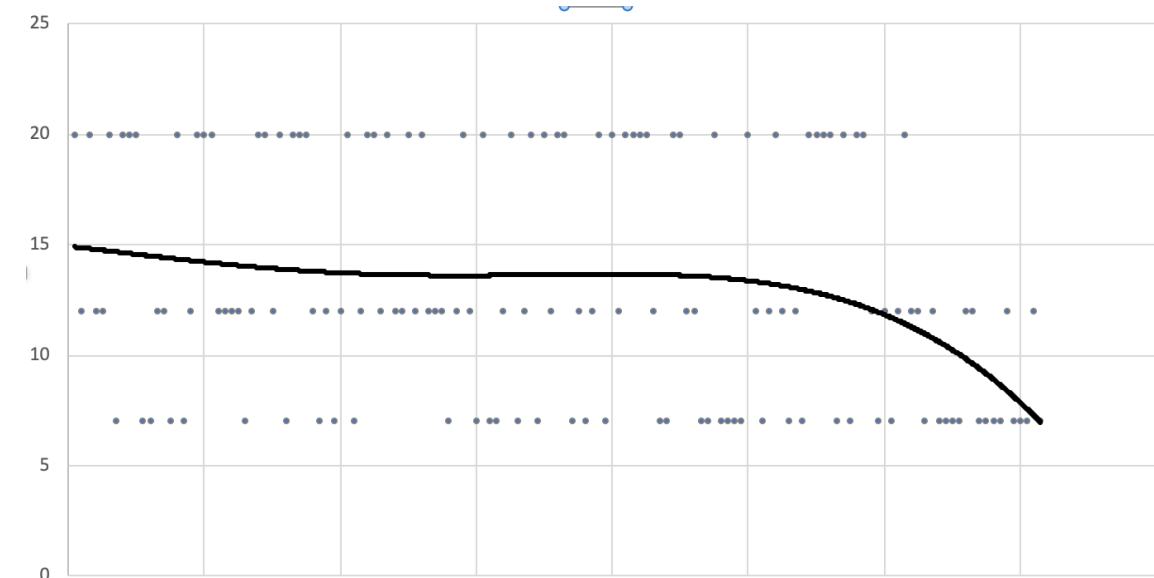


Рисунок Г.2 Зв'язок похибки GPS даних з точністю результату роботи алгоритму

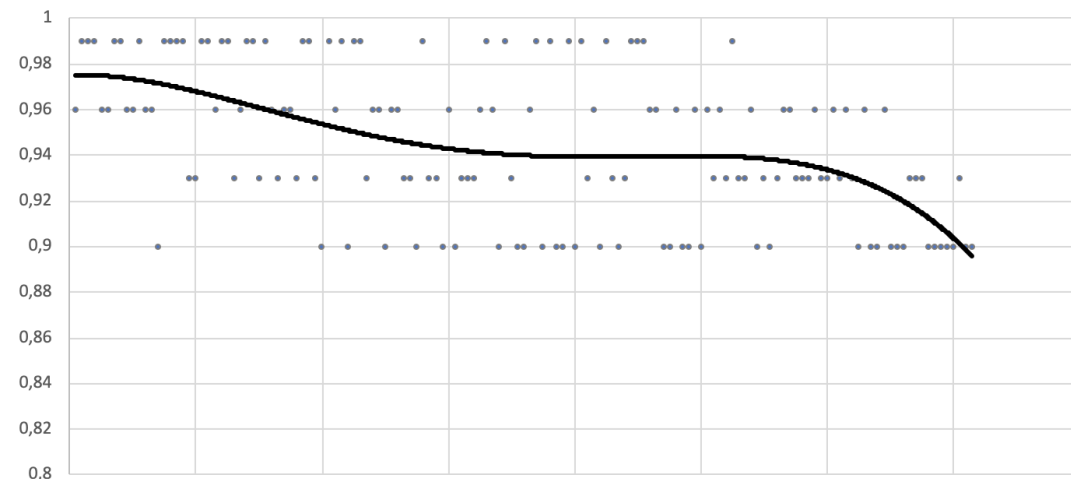


Рисунок Г.3 Зв'язок похибки компаса з точністю результату роботи алгоритму

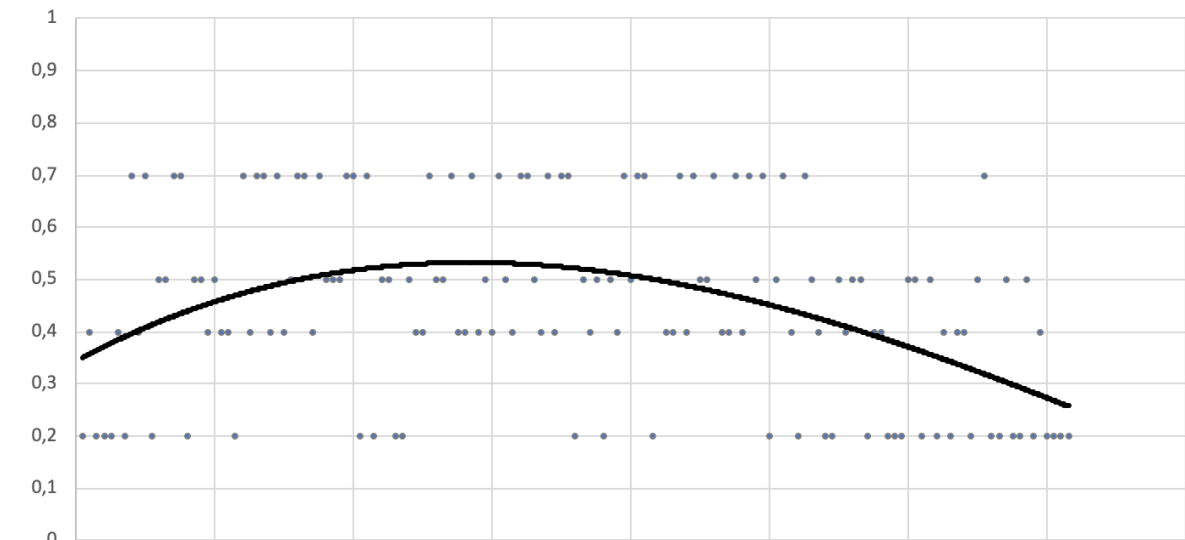


Рисунок Г.4 Зв'язок обраного значення BIAS з точністю результату роботи алгоритму

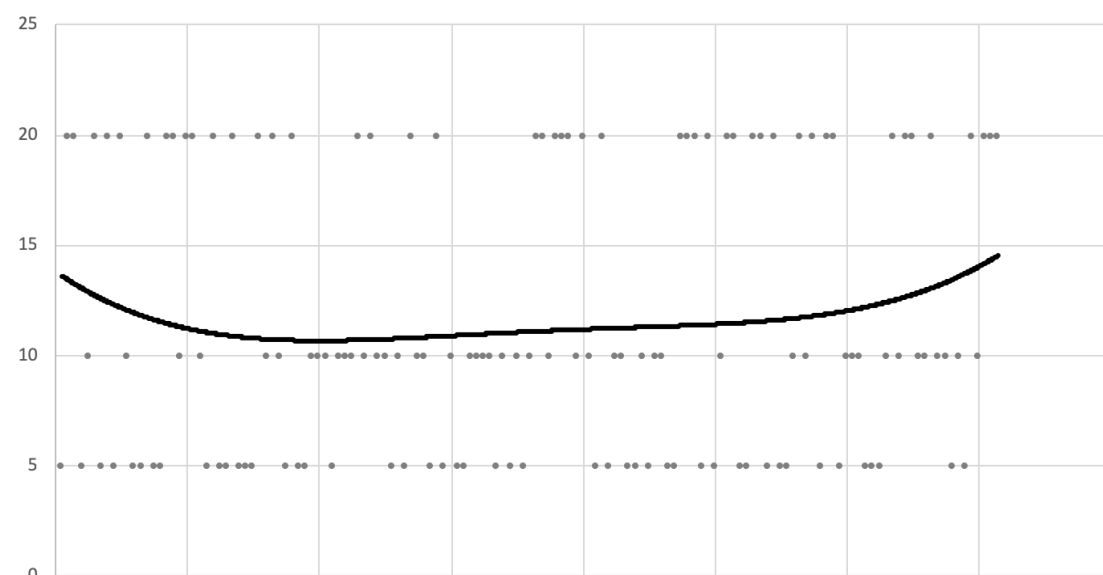


Рисунок Г.5 Зв'язок обраного значення Desire Distance з точністю результату роботи алгоритму

Демонстраційний плакат №4
до дипломної роботи на тему
„Система орієнтування на місцевості з використанням технології
доповненої реальності”
Розробив: Яременко Є.А.
Прийняв: Олійник В.В

ДОДАТОК Д

ЧИСЛОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АЛГОРИТМІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ БЕЗ КОРЕГУВАННЯ КУТА СИСТЕМИ

ДОДАТОК Е

ГРАФІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АЛГОРИТМІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ БЕЗ КОРЕГУВАННЯ КУТА СИСТЕМИ

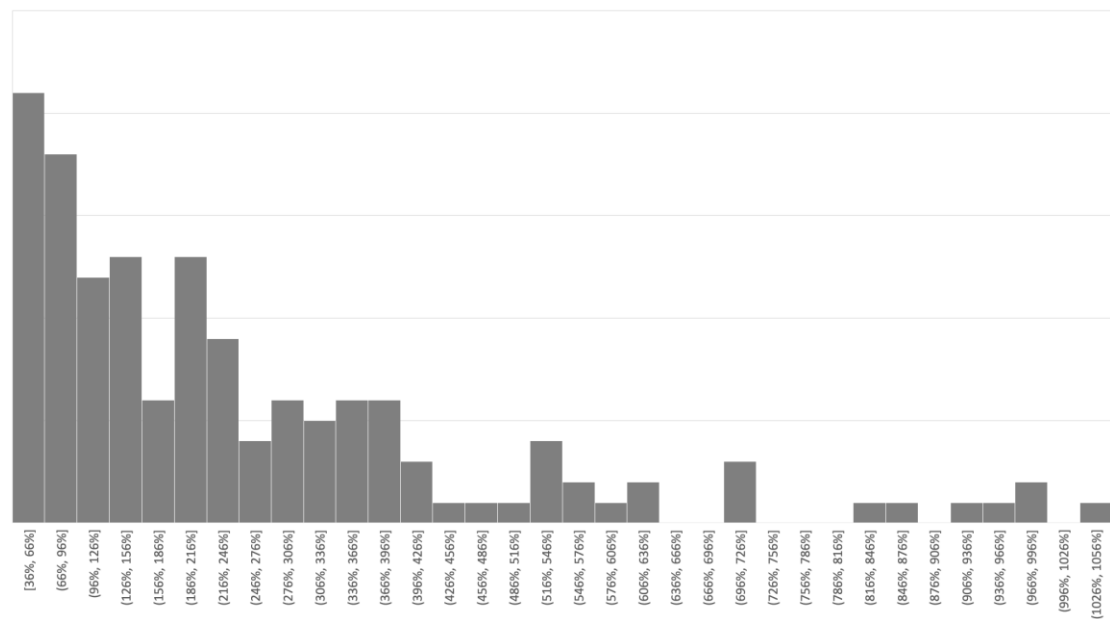


Рисунок Е.1 Розподіл точності отриманих результатів по відношенню до GPS позиціонування

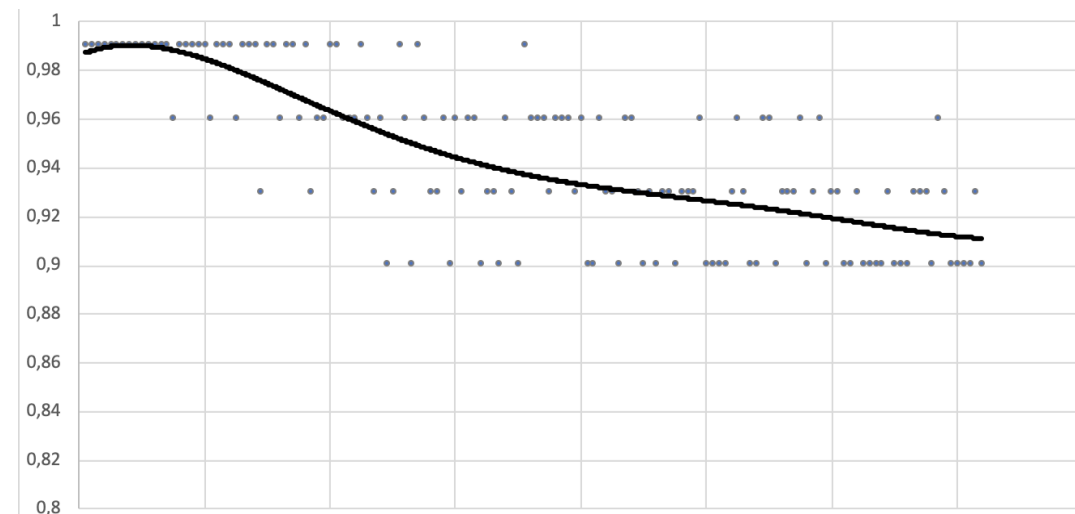


Рисунок Е.3 Зв'язок похибки компаса з точністю результату роботи алгоритму

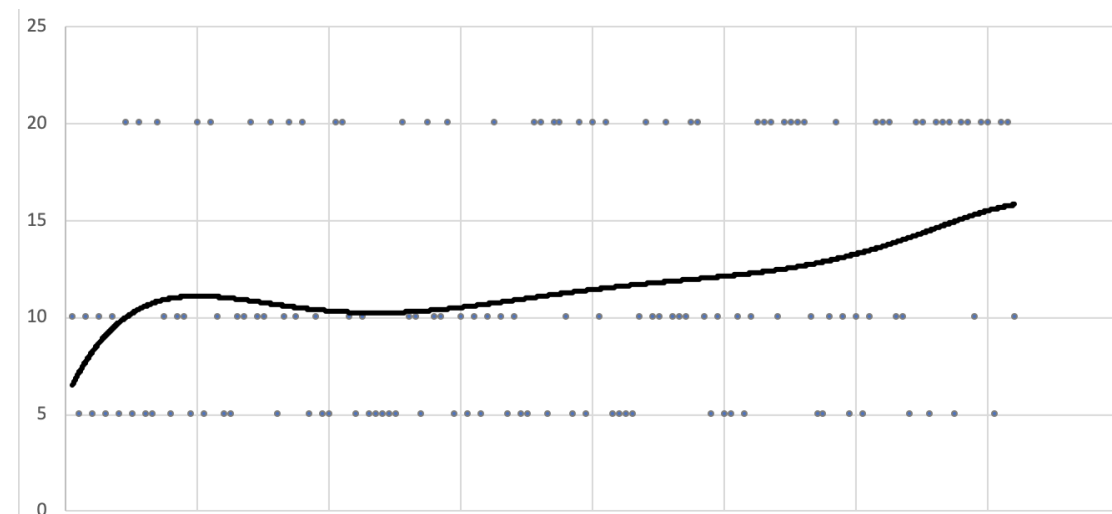


Рисунок Е.5 Зв'язок обраного значення Desire Distance з точністю результату роботи алгоритму

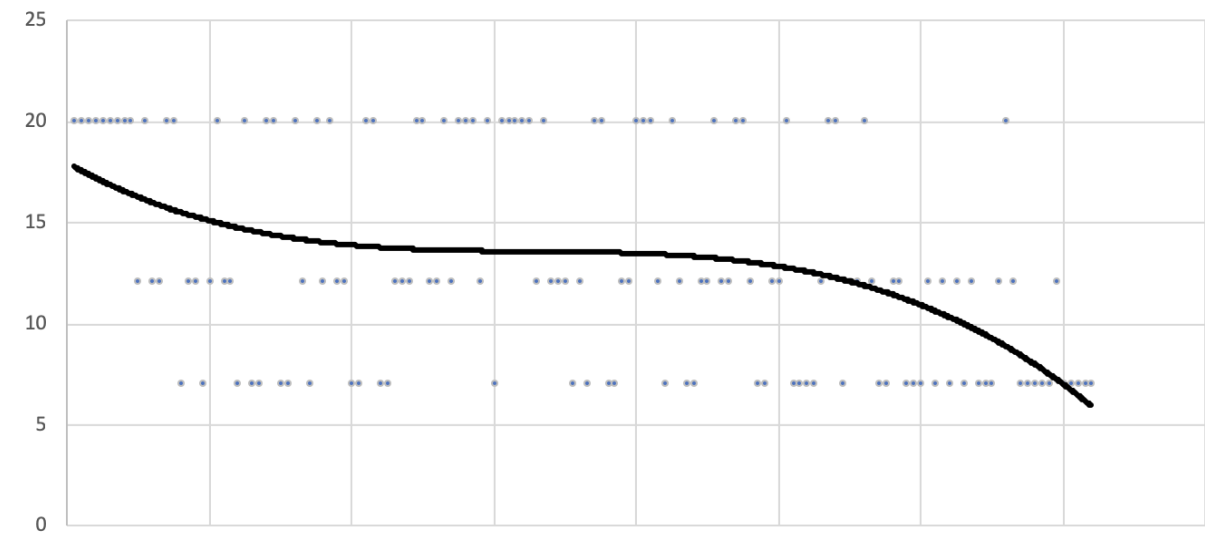


Рисунок Е.2 Зв'язок похибки GPS даних з точністю результату роботи алгоритму

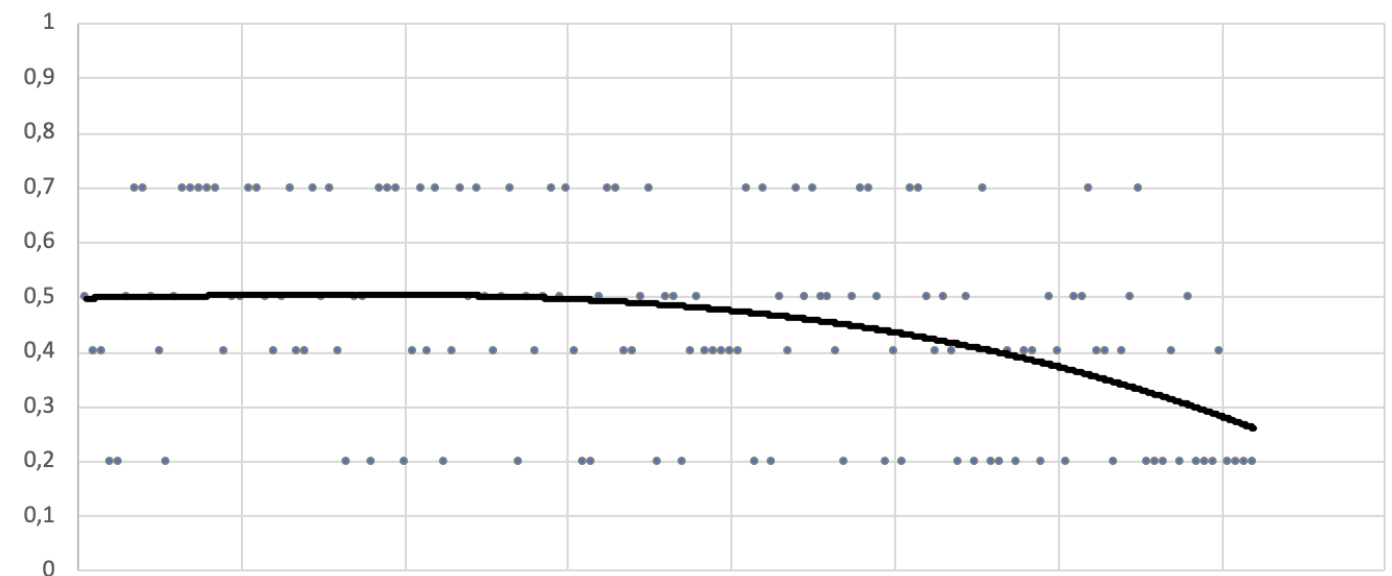


Рисунок Е.4 Зв'язок обраного значення BIAS з точністю результату роботи алгоритму

Демонстраційний плакат №6
до дипломної роботи на тему
„Система орієнтування на місцевості з використанням технології
доповненої реальності”

Розробив: Яременко Є.А.

Прийняв: Олійник В.В

ДОДАТОК Ж
ОБЧИСЛЕНІ ТРАЄКТОРІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АЛГОРИТМІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

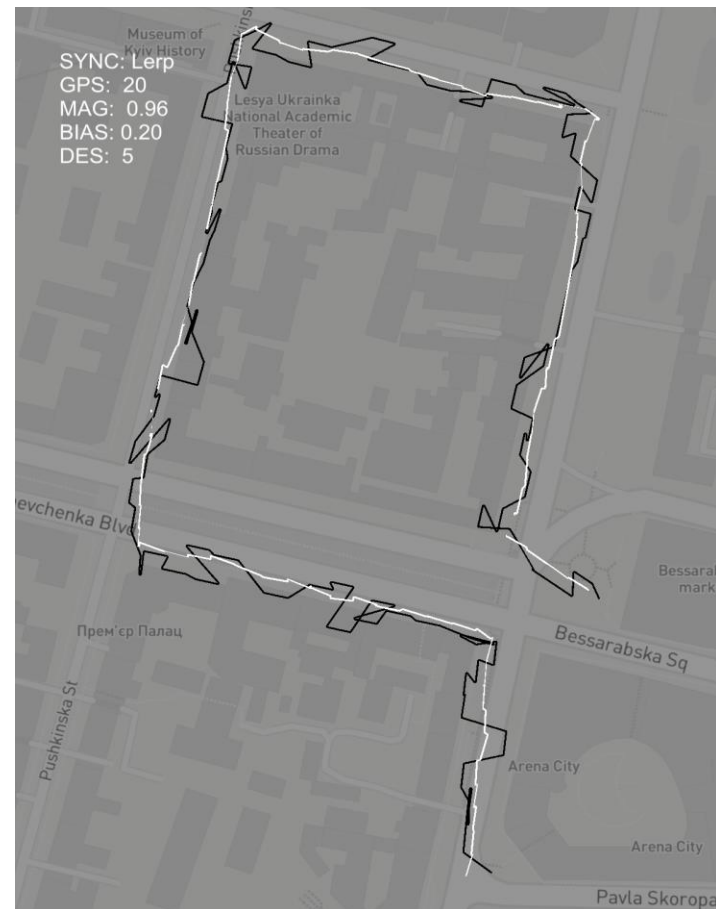


Рисунок Ж.1 Найкращий результат роботи алгоритму з корегуванням кута системи

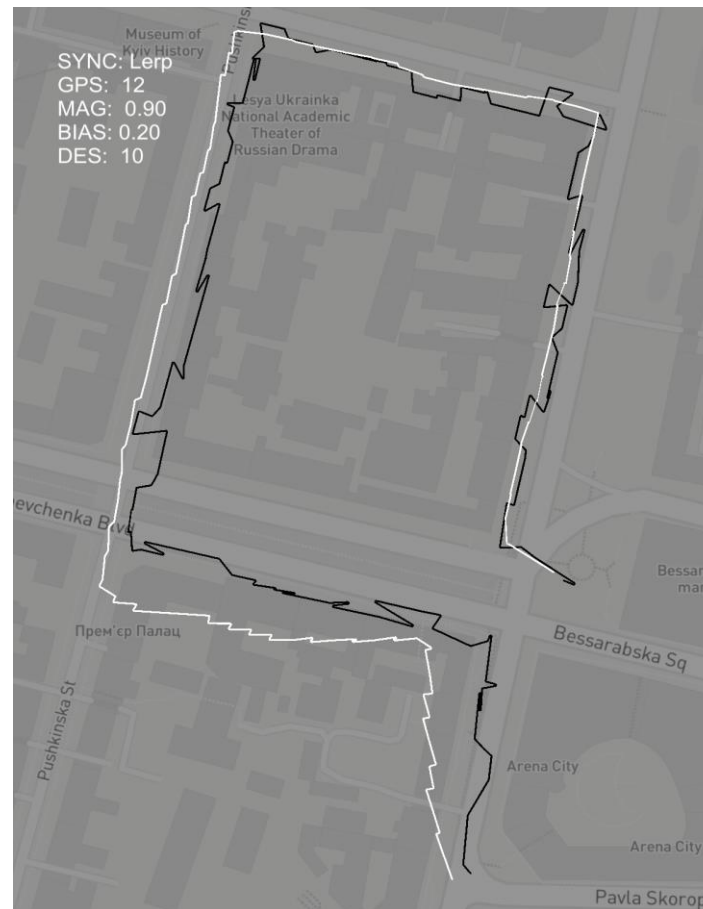


Рисунок Ж.2 Демонстрація властивості корегування кута системи в алгоритмі Lerp

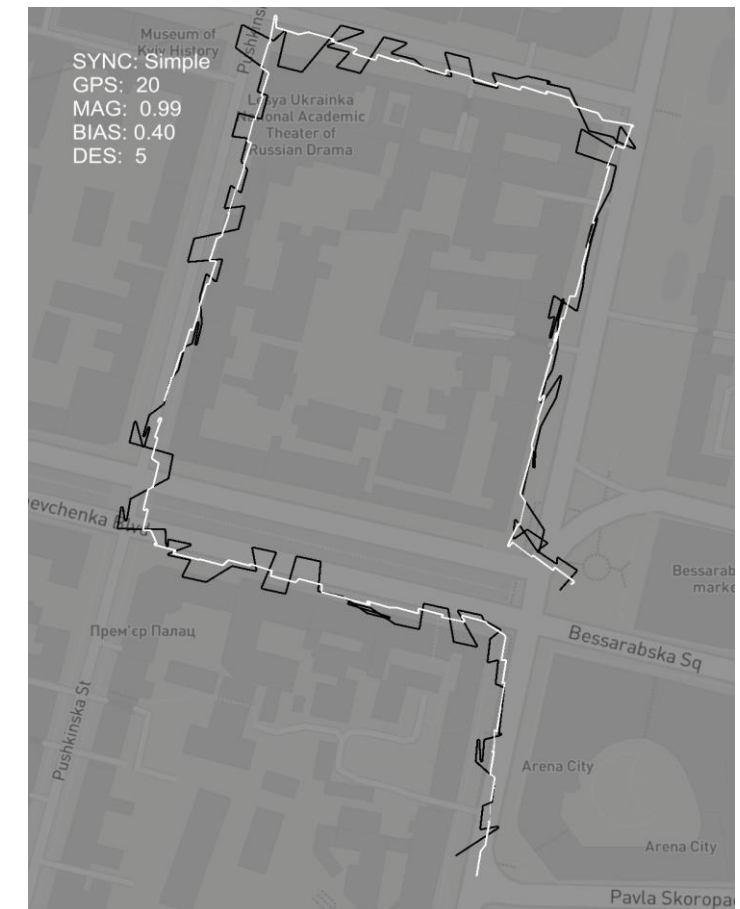


Рисунок Ж.3 Найкращий результат роботи алгоритму без корегування кута системи

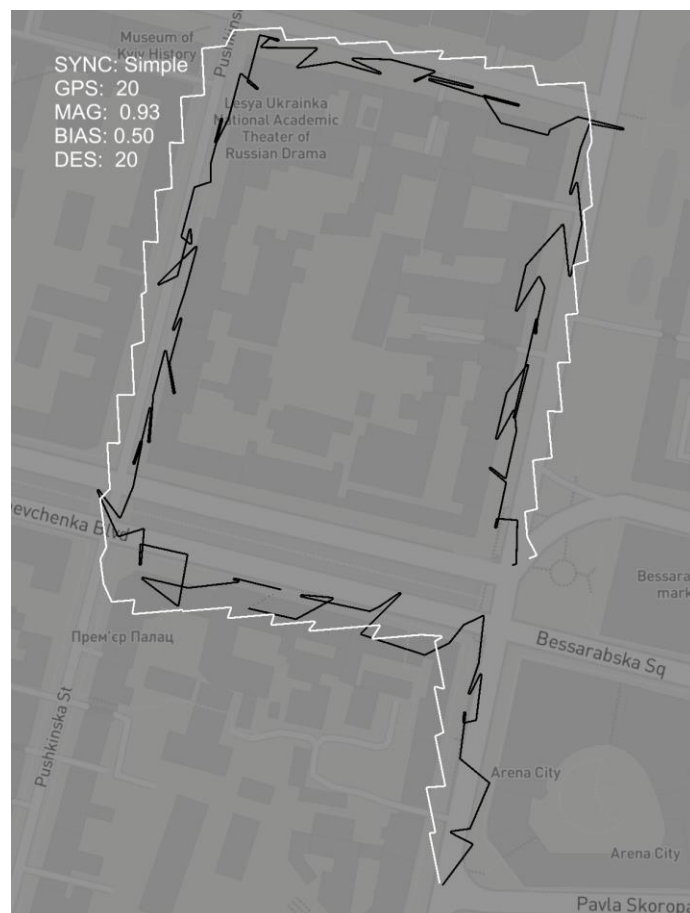


Рисунок Ж.4 Демонстрація недоліку алгоритму без корегування: погана стійкість до високої похибки компаса

Демонстраційний плакат №7
до дипломної роботи на тему
„Система орієнтування на місцевості з використанням технології
доповненої реальності”

Розробив: Яременко Є.А.

Прийняв: Олійник В.В