Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри кібербезпеки
та програмного забезпечення
д.т.н., професор
_____ Олексій СМІРНОВ
“____” _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему
“Дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції”

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи КІ-25М
ОПП «Комп’ютерна інженерія»
спеціальності F7 «Комп’ютерна інженерія»
_____ Ткаченко П.В.
«____» _____ 2026 р.

Керівник проекту
кандидат технічних наук, доцент
_____ Смірнов С.А.
«____» _____ 2026 р.

Нормоконтроль проекту
_____ Коваленко А.С.
«____» _____ 2026 р.

Рецензент _____
_____

Підписано КЕП
Центральноукраїнський національний технічний університет
Ткаченко Павло Вадимович
Сертифікат: 18DF2C9B93CEA2040400000069485700913463 06
Дійсний з 09.11.2026 11:43:13 по 09.11.2027 11:43:12

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *Механіко-технологічний*

Кафедра *Кібербезпеки та програмного забезпечення*

Рівень вищої освіти *магістр*

Галузь знань _F_____*"*Інформаційні технології*"*_____

Спеціальність F7 *"*Комп'ютерна інженерія*"*

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма _*"*Комп'ютерна інженерія*"*_

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф.
_____ Олексій СМІРНОВ
« 1 » вересня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ткаченку Павлу Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої тріангуляції*

2. Керівник роботи *Смірнов Сергій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № 41-13 від 17.08.2026 року

3. Строк подання студентом роботи до захисту *2.12.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи*: Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої тріангуляції*

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Призначення та область використання.	*5. Впровадження системи в промислову експлуатацію*
2. Перегляд аналогічних існуючих систем.	*6. Наукова новизна.*
3. Опис і обґрунтування проектних рішень.	*7. Заходи з охорони праці та техніки безпеки.*
4. Етапи програмування системи.	*8. Висновки.*

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Наукова новизна	*1 аркуш*
Структурна схема системи	*1 аркуш*
Функціональна схема системи	*1 аркуш*
Діаграма процесів	*1 аркуш*
Блок-схема алгоритму роботи додатку	*2 аркуша*

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Марченко К.М., к.т.н., доцент	06.10.2026	16.11.2026

8. Дата видачі завдання « 1 » вересня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти	Примітка
1.	Аналіз існуючих систем	10.10.2026 р.	
2.	Постановка задачі, оформлення ТЗ	15.10.2026 р.	
3.	Розробка моделі компонента	20.10.2026 р.	
4.	Розробка структур даних	25.10.2026 р.	
5.	Розробка алгоритмів системи	30.10.2026 р.	
6.	Програмування алгоритмів	10.11.2026 р.	
7.	Розрахунки з охорони праці та техніки безпеки	15.11.2026 р.	
8.	Оформлення ПЗ	17.11.2026 р.	
9.	Попередній захист роботи	2.12.2026 р.	

Дата видачі завдання
« 1 » вересня 2026 р.

Підпис керівника

_____ _____
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« 1 » вересня 2026 р.

Підпис здобувача

_____ _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ткаченко П.В. Дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції. F7 Комп'ютерна інженерія. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2026.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Об'єктом дослідження є процес високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Предметом дослідження є методи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Результат роботи – програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Розроблено зручний інтерфейс користувача. Наведені інструкції по роботі з програмними засобами.

Програма може використовуватися на мобільному пристрої з iOS.

Програму розроблено в середовищі Python.

Ключові слова: комп’ютерна інженерія, Apple Location Services

ABSTRACT

Tkachenko P.V. Research and Software Implementation of a High-Precision Positioning System Based on the Apple Location Services Protocol Using Network Triangulation Algorithms. F7 Computer Engineering. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026.

In this final qualification thesis for the second (master's) level of higher education, software has been developed for a high-precision positioning system based on the Apple Location Services protocol, utilizing network triangulation algorithms.

The objective of this development is the research and software implementation of a high-precision positioning system based on the Apple Location Services protocol, using network triangulation algorithms.

The object of the research is the process of high-precision positioning based on the Apple Location Services protocol using network triangulation algorithms.

The subject of the research consists of methods for high-precision positioning based on the Apple Location Services protocol using network triangulation algorithms.

The research methodology is based on principles from computer network theory, mathematical statistics, and software development.

The outcome of the work is a software implementation of a high-precision positioning system based on the Apple Location Services protocol, utilizing network triangulation algorithms.

During the development of the software model, an analysis of existing hardware and software tools was conducted. All components of the developed software are described in detail.

A user-friendly interface has been developed, and instructions for operating the software are provided. The application can be used on a mobile device running iOS.

The application was developed in a Python environment.

Keywords: computer engineering, Apple Location Services

ВІДОМІСТЬ ПРОЕКТУ

		Текстові документи			
1	А4	Пояснювальна записка	128	–	
2	А4	Робоча програма	54	–	Додаток А
		Графічні документи			
3	А4	Наукова новизна	1	–	
4	А4	Структурна схема	1	–	
5	А4	Функціональна схема роботи системи	1	–	
6	А4	Діаграма взаємодії процесів	1	–	
7	А4	Блок-схема основної програми	1	–	
8	А4	Блок-схема роботи підпрограми	1	–	

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ 10
ВСТУП..... 11
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ 14
1.1 Призначення системи..... 14
1.2 Область застосування 19
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ 21
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти..... 21
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування 26
2.3 Розгорнута постановка завдання 28
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ 30
3.1 Опис функціонування системи 30
3.2 Розробка структурної схеми..... 32
3.3 Розробка функціональної схеми 35
3.4 Розробка діаграми процесів 37
4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВІРНІСТЬ ПРОЕКТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ 39
4.1 Розробка блок-схем та опис алгоритмів функціонування системи 39
5 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ..... 55
6 НАУКОВА НОВИЗНА 60

7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ 61
7.1 Вступ 61
7.2 Аналіз умов праці на робочому місці ІТ-фахівця 62
7.3 Пропозиції щодо підвищення працездатності ІТ-фахівців 64
7.4 Розрахунок системи загального штучного освітлення виробничого приміщення де працюють ІТ-фахівці 66
7.5 Висновки до розділу 69
8 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ 70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

КПК – кишеньковий персональний комп'ютер

РМД – робоче місце диспетчера

CEP – Circular Error of Probability – окружність можливої помилки

GPS – глобальна система місцевизначення.

GSM – система цифрового стільникового телефонного зв'язку

IOD – issue of data – временной идентификатор

LAAS – навігаційний комплекс

LAT – широта

LON – довгота

MFC – Microsoft Foundation Class library – бібліотека класів

OLE – технологія зв'язування й вбудовування об'єктів

POI – point of interest – вбудована база «цікавих» точок

SA – режим обмеженого доступу

WAAS – система супутників і наземних станцій, що робить коректування сигналів GPS

ВСТУП

Актуальність теми. Зараз бізнес покладається на географічні дані для прийняття рішень, які впливають на все: від місця відкриття нового магазину до того, як вантажівки доставки повинні рухатися містом. Програмне забезпечення, яке обробляє ці дані, стало основною частиною операцій для компаній у роздрібній торгівлі, логістиці, нерухомості та десятках інших галузей. Платформи географічної аналітики беруть необроблені адреси, координати та регіональні набори даних, а потім перетворюють їх на візуальні карти та аналітичні звіти, що допомагають планувати та розробляти стратегію.

Глобальний ринок цих інструментів досяг приблизно 21 мільярда доларів у 2024 році, а прогнози зростання показують сукупний річний темп зростання від 14% до 17% до 2030 року. Хмарні рішення зараз становлять 55% усіх розгортань, і понад 65% логістичних компаній використовують геолокаційну аналітику спеціально для управління автопарком та оптимізації маршрутів. Північна Америка займає приблизно від 32% до 36% світового ринку, хоча впровадження продовжує прискорюватися в Європі та Азії.

Вибір правильної платформи залежить від технічних можливостей вашої команди, розміру ваших наборів даних та того, чого вам потрібно досягти за допомогою карт. Деякі інструменти надають перевагу простоті та швидкості. Інші пропонують глибоке налаштування для користувачів, які можуть писати код або керувати складними просторовими базами даних.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

– Огляд існуючих систем високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

– Дослідження системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

– Програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Об'єктом дослідження є процес високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Предметом дослідження є методи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів. У процесі рішення завдань, обумовлених цілями дослідження, отримані наступні результати:

– Удосконалено метод високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

– Розроблено вітчизняний продукт високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції, який має більш широкі можливості, на відміну від існуючих аналогів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати задачі високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Достовірність наукових результатів підтверджена теоретичними викладеннями, даними комп'ютерного моделювання, коректними дослідженнями параметрів на функціонуючій обчислювальній мережі, а також відповідністю отриманих результатів окремим результатам, наведеним у науковій літературі.

Робота апробована на LVIII науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти «Наука-виробництву», основні положення випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти надруковані у статті збірника праць молодих науковців ЦНТУ, випуск №17.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Призначення системи

Технології глобального позиціонування та геолокаційного аналізу зазнали значних змін за останні роки. Те, що починалося як простий навігаційний інструмент для транспортних засобів та смартфонів, перетворилося на складну екосистему, відому як геолокаційний інтелект – систему, яка поєднує супутникову навігацію, штучний інтелект та підключені пристрої для надання аналітики та автоматизації в режимі реального часу. Станом на 2026 рік GPS-відстеження більше не обмежується визначенням *місцезнаходження чогось*. Натомість воно тепер відповідає на глибші операційні питання, такі як де буде знаходитися актив, що може статися далі та як системи можуть реагувати автоматично. Цей зсув стимулює значні інновації в логістиці, сільському господарстві, розумних містах, особистій безпеці та діяльності підприємств. У цій статті досліджуються останні тенденції, що формують технологію GPS-відстеження, пояснюється, як вони працюють і чому вони важливі.

1. Позиціонування за допомогою кількох ГНСС для вищої точності

Одним із найважливіших досягнень у сучасному GPS-стеженні є перехід від використання єдиної супутникової системи до інтеграції кількох ГНСС (глобальної навігаційної супутникової системи). Замість того, щоб покладатися виключно на Глобальну систему позиціонування США, сучасні приймачі тепер поєднують сигнали з кількох сузір'їв, включаючи:

– Галілей (Європа).
– BeiDou (Китай).
– ГЛОНАСС (росія).

Обробляючи сигнали від кількох систем одночасно, трекери можуть:

– Покращення точності позиціонування.
– Зменшення втрат сигналу в густонаселених містах.

– Підвищення надійності в складних умовах. Таке поєднання кількох ГНСС-систем дозволяє сучасним пристроям досягати субметрової точності, а в деяких випадках навіть кращої продуктивності в поєднанні з технологіями корекції, такими як кінематичне позиціонування в реальному часі (RTK).

2. Прогнозоване відстеження на основі штучного інтелекту

Традиційне GPS-відстеження зосереджувалося на описових даних, які показували, де наразі знаходиться актив. Сьогодні штучний інтелект перетворює системи відстеження на платформи прогнозного інтелекту. Алгоритми штучного інтелекту аналізують:

– Історичні дані про переміщення.

– Дорожні умови в режимі реального часу.

– Змінні навколишнього середовища.

– Показники продуктивності обладнання.

Використовуючи ці вхідні дані, GPS-платформи тепер можуть:

– Точніше прогнозуйте час прибуття доставки.

– Виявлення незвичайних відхилень від маршруту.

– Прогноз потреб у технічному обслуговуванні обладнання.

– Динамічно оптимізуйте логістичні маршрути. У таких галузях, як логістика та управління автопарком, прогнозна аналітика допомагає компаніям перейти від реактивного прийняття рішень до проактивних операцій.

3. Гібридне відстеження місцезнаходження в приміщенні та на вулиці

Одним із головних обмежень супутникової навігації завжди була її низька продуктивність у приміщенні. Сигнали GPS слабшають або зникають усередині будівель, складів та підземних споруд.

Щоб вирішити цю проблему, сучасні системи поєднують супутникове відстеження з технологіями позиціонування в приміщенні, такими як:

– Надширокосмуговий (UWB).

– Маяки Bluetooth Low Energy (BLE).

– Система позиціонування Wi-Fi (WPS).

Такий гібридний підхід забезпечує безперебійне відстеження

місцезнаходження в різних середовищах, дозволяючи організаціям відстежувати активи від зовнішніх транспортних маршрутів безпосередньо до складів, фабрик або лікарень. У передових умовах ці технології забезпечують точність у приміщенні на рівні сантиметра, що має вирішальне значення для автоматизації та робототехніки.

4. Підключення 5G та низькоенергетичного Інтернету речей

З'єднання відіграє вирішальну роль у передачі даних про місцезнаходження. Швидке розширення мереж 5G значно покращило можливості GPS-відстеження, пропонуючи:

– Надзвичайно низька затримка.

– Висока пропускна здатність даних.

– Надійний зв'язок у режимі реального часу. Водночас мережі Інтернету речей, такі як NB-IoT, дозволяють створювати надефективні трекери, які можуть працювати місяцями або навіть роками від однієї батареї.

Ці трекери з низьким енергоспоживанням ідеально підходять для:

– Моніторинг вантажів.

– Відстеження активів на великі відстані.

– Розумне сільськогосподарське обладнання.

– Моніторинг дикої природи.

Результатом є нове покоління невеликих, доступних та довговічних пристроїв відстеження, які можна розгортати у великих масштабах.

5. Зростання локальної аналітики в ланцюгах поставок

GPS-відстеження стало центральним компонентом сучасного управління ланцюгами поставок. Компанії тепер покладаються на географічну інформацію, щоб отримати повну видимість у глобальних логістичних мережах.

Сучасні системи відстеження виходять за рамки простих даних про місцезнаходження, інтегруючи датчики Інтернету речей, які відстежують:

– Температура.

– Вологість.

– Удари або вібрація.

– Умови обробки вантажів.

Ця можливість особливо важлива в таких секторах, як фармацевтика та логістика харчових продуктів, де необхідно підтримувати цілісність продукції під час транспортування. Платформи передової аналітики також можуть надавати автоматизовані прогнози очікуваного часу прибуття (ETA) та виявляти збої до їх виникнення.

6. Автономні системи та точні операції

Високоточна технологія ГНСС (Глобальної навігаційної системи) забезпечує автоматизацію в галузях, які потребують надзвичайно точного позиціонування. Приклади включають:

Автономні трактори та комбайни точного землеробства використовують GPS-керування з точністю до сантиметра для посадки сільськогосподарських культур, внесення добрив та збору врожаю з мінімальним втручанням людини.

Системи керування будівельною автоматизацією в екскаваторах, бульдозерах та грейдерах покладаються на високоточне позиціонування, щоб дотримуватися цифрових планів будівельного майданчика та зменшувати ручну геодезичну зйомку.

Ці системи значно покращують ефективність, точність та управління ресурсами.

7. Розумні міста та міська інфраструктура

Міста дедалі частіше використовують GPS та геолокаційну аналітику як частину стратегій розвитку розумних міст. Дані про місцезнаходження підтримують:

– Інтелектуальне управління дорожнім рухом.

– Оптимізація громадського транспорту.

– Координація реагування на надзвичайні ситуації.

– Планування інфраструктури.

Поєднуючи GPS-стеження з системами цифрового моделювання, які часто називають цифровими двійниками, містобудівники можуть моделювати міські сценарії та приймати кращі рішення щодо інфраструктури.

8. Розширення персональних пристроїв відстеження

На споживчому ринку також спостерігається швидке зростання популярності пристроїв GPS-трекінгу, призначених для особистої безпеки та управління способом життя. Загальні застосування включають:

– Трекери безпеки дітей.

– Пристрої моніторингу літніх людей.

– Нашийники для відстеження домашніх тварин.

– Носимі системи екстреного оповіщення.

Ці пристрої зазвичай пропонують такі функції, як:

– Сповіщення про геозонування.

– Кнопки екстреної допомоги SOS.

– Обмін місцезнаходженням у режимі реального часу.

– Збільшений термін служби батареї.

Однак їх широке використання викликало постійні дискусії щодо конфіденційності даних та відповідальних практик відстеження.

9. Зростаюча увага до безпеки та конфіденційності

Оскільки дані про місцезнаходження стають дедалі ціннішими, вони також стають об’єктом високого ризику кібербезпеки. Конфіденційна інформація відстеження може розкрити:

– Особисті розпорядки.

– Маршрути бізнес-логістики.

– Місця критичної інфраструктури.

Щоб вирішити ці ризики, компанії впроваджують посилені заходи безпеки, такі як:

– Наскрізне шифрування даних.

– Багатофакторна автентифікація.

– Безпечне хмарне сховище.

– Архітектури систем із забезпеченням конфіденційності на етапі проектування. Крім того, уряди та регуляторні органи запроваджують суворішу політику для забезпечення прозорої обробки даних та згоди користувачів.

10. Перехід до послуг, керованих даними

Ще однією важливою тенденцією є перехід від апаратно-орієнтованого GPS-відстеження до сервісних платформ, що базуються на даних. У минулому цінність GPS-системи полягала головним чином у самому пристрої відстеження. Сьогодні справжня цінність полягає в:

– Аналітичні інформаційні панелі.

– Аналітика на основі штучного інтелекту.

– Інструменти автоматизації.

– Інтеграція з корпоративними системами. Цей зсув перетворює постачальників GPS на компанії, що надають програмне забезпечення та послуги з обробки даних, надаючи практичну інформацію, а не лише координати місцезнаходження.

1.2 Область застосування

Забігаючи вперед, GPS-відстеження продовжуватиме розвиватися, інтегруючись з новими технологіями, такими як штучний інтелект, екосистеми Інтернету речей та автономні системи.

Майбутні події, ймовірно, включатимуть:

– Контекстно-залежні помічники зі штучним інтелектом, які використовують дані про місцезнаходження для автоматизації щоденних завдань

– Надточні системи позиціонування, здатні виконувати завдання з точністю до міліметра

– Оптимізація маршруту, орієнтована на сталий розвиток, для зменшення витрати палива та викидів

– Повністю автономні логістичні мережі

Ці інновації ще більше впровадять геолокаційний інтелект у повсякденну інфраструктуру.

Підсумовуючи, останні тенденції у GPS-відстеженні відображають перехід від простих навігаційних інструментів до інтелектуальних, прогнозних систем, які забезпечують роботу сучасних галузей промисловості. Хоча ця технологія обіцяє величезні покращення ефективності, безпеки та автоматизації, підтримка високих стандартів конфіденційності та безпеки даних залишатиметься важливою, оскільки відстеження місцезнаходження все більше впроваджується в повсякденне життя.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

1. Maptive

Maptive пропонує повнофункціональну платформу для бізнес-картографування, яка обробляє всі функції: від базового розміщення позначок до розширеного управління територією та демографічного аналізу. Користувачі завантажують електронні таблиці з адресами, а програмне забезпечення геокодує кожне місцезнаходження та відображає його на інтерактивній карті протягом кількох хвилин. Інтерфейс залишається доступним для користувачів без технічних знань, водночас забезпечуючи глибину інформації для тих, кому вона потрібна.

Основні характеристики

Конструктор територій дозволяє відділам продажів створювати власні межі та призначати їх представникам, з автоматичними розрахунками для розподілу робочого навантаження. Теплові карти виявляють закономірності концентрації в даних клієнтів, показуючи, де скупчуються можливості, а де існують прогалини. Оптимізація маршрутів допомагає польовим командам планувати ефективні маршрути пересування між кількома зупинками.

Демографічні дані вбудовані в платформу, що дозволяє користувачам накладати інформацію перепису, рівень доходів, щільність населення та інші показники на власні дані. Таке поєднання корисне для вибору місця розташування, аналізу ринку та розуміння розподілу клієнтів.

Чому Maptive посідає перше місце

Платформа поєднує потужність та зручність використання таким чином, що це підходить більшості бізнес-користувачів. Налаштування займає лічені

хвилини, а не дні. Оновлення даних відбувається швидко, а обмін картами з членами команди або вбудовування їх на веб-сайти вимагає мінімальних зусиль. Допоміжні ресурси та навчальні матеріали допомагають користувачам отримувати результати без найму консультантів чи спеціалістів.

Для організацій, яким потрібно перетворити дані про місцезнаходження на практичну інформацію без створення відділу ГІС, Maptive пропонує найповніший доступний пакет.

2. Mapline

Mapline зосереджена на візуалізації даних та співпраці. Команди можуть завантажувати набори даних, створювати карти та ділитися ними між відділами. Платформа обробляє великі набори даних та пропонує інструменти для побудови діаграм поряд з функціями картографування.

Основні характеристики

Користувачі можуть створювати інформаційні панелі, які поєднують карти з графіками та таблицями. Інструменти управління територією дозволяють менеджерам призначати регіони та відстежувати ефективність. Програмне забезпечення підтримує інтеграцію із поширеними бізнес-додатками для імпорту даних.

Mapline добре працює для організацій з кількома членами команди, яким потрібен одночасний доступ до тих самих карт і звітів.

3. Esri ArcGIS

Компанія Esri вже десятиліттями розробляє програмне забезпечення для геоінформаційних систем. ArcGIS є їхнім флагманським продуктом, що пропонує можливості, що виходять далеко за рамки базового бізнес-картографування, а також охоплюють наукові дослідження, міське планування та державні додатки.

Основні характеристики

Платформа включає інструменти для просторової статистики, 3D-візуалізації, аналізу зображень та роботи із супутниковими даними. Користувачі можуть створювати власні програми, автоматизувати робочі процеси та

підключатися до великих географічних баз даних, що підтримуються Esri.

ArcGIS підходить організаціям зі спеціалізованим ГІС-персоналом та складними аналітичними вимогами. Крива навчання досить крута, а вартість ліцензування вища, ніж у більшості альтернатив у цьому списку.

4. BatchGeo

BatchGeo пропонує простий спосіб перетворення даних електронних таблиць на карти. Користувачі вставляють свої дані у веб-форму, а програмне забезпечення створює інтерактивну карту, яку можна вбудовувати або поширювати за посиланням.

Основні характеристики

Безкоштовний рівень задовольняє основні потреби картографування без необхідності реєстрації облікового запису. Платні версії позбавляються брендингу та додають такі функції, як групування маркерів та налаштування значків. Платформа швидко обробляє дані та не вимагає технічних знань.

BatchGeo добре працює для разових проектів або користувачів, яким потрібна карта, але не вистачає бюджету на програмне забезпечення за передплатою.

5. Mapbox

Mapbox надає інструменти для розробників, які хочуть створювати власні картографічні додатки. Платформа пропонує API та SDK, що забезпечують функції визначення місцезнаходження в мобільних додатках, веб-сайтах та інших програмних продуктах.

Основні характеристики

Розробники можуть налаштовувати стилі карт, впроваджувати покрокову навігацію, додавати функції пошуку та обробляти географічні дані у великих масштабах. Mapbox займається інфраструктурою, а команди розробників створюють користувацькі додатки.

Організації, що використовують Mapbox, зазвичай мають доступні ресурси для програмування. Платформа слугує основою для створення, а не готовим продуктом.

6. ZeeMaps

ZeeMaps пропонує просте спільне картографування. Користувачі можуть створювати карти, додавати маркери та запрошувати інших до співпраці. Платформа підтримує базовий імпорт даних і дозволяє групам працювати разом над спільними картами.

Основні характеристики

Карти можуть містити текст, зображення та відео вкладення для кожного маркера. Користувачі можуть публікувати карти публічно або обмежувати доступ. Інтерфейс вимагає мінімального навчання для розуміння.

ZeeMaps підходить для громадських груп, клубів та невеликих організацій, яким потрібна спільна карта без складних функцій.

7. EasyMapMaker

EasyMapMaker обробляє базове картографування з даних електронних таблиць. Користувачі завантажують файл або вставляють дані, і програма відображає кожне місце на карті.

Основні характеристики

Платформа пропонує налаштування маркерів, затінення території та можливість вбудовувати карти на вебсайти. Швидкість обробки ефективно обробляє скромні набори даних.

EasyMapMaker обслуговує користувачів, яким потрібна проста візуалізація без розширених інструментів аналізу.

8. Scribble Maps

Scribble Maps робить акцент на малюванні та анотаціях. Користувачі можуть робити ескізи фігур, додавати текст, вимірювати відстані та розмічати наявні карти.

Основні характеристики

Платформа містить інструменти для створення власної картографічної графіки, малювання маршрутів та виділення областей. Карти можна експортувати як зображення або ділитися ними онлайн.

Scribble Maps підходить для презентацій, планування та проектів, де

індивідуальне малювання важливіше за аналіз даних.

9. eSpatial

eSpatial зосереджується на картографуванні територій продажів та пов'язаних з ними додатках. Платформа допомагає відділам продажів розподіляти географічні регіони, балансувати робоче навантаження та аналізувати ефективність за територіями.

Основні характеристики

Інструменти оптимізації території пропонують коригування меж на основі показників робочого навантаження. Користувачі можуть імпортувати дані про продажі та візуалізувати ефективність у різних регіонах. Програмне забезпечення інтегрується з Salesforce та іншими CRM-платформами.

eSpatial підходить для торгових організацій, яким потрібні спеціальні функції управління територією.

10. Geoblink

Geoblink спеціалізується на додатках для роздрібної торгівлі та нерухомості. Платформа поєднує дані про місцезнаходження з бізнес-аналітикою для підтримки вибору місця розташування та аналізу ринку.

Основні характеристики

Користувачі можуть аналізувати моделі пішохідного трафіку, розташування конкурентів та демографічні характеристики потенційних об'єктів. Платформа включає прогнозні моделі для оцінки ефективності в нових місцях.

Geoblink обслуговує роздрібні мережі, ресторанні групи та компанії комерційної нерухомості, оцінюючи можливості розширення.

Вибір правильної платформи

Найкраще програмне забезпечення для вашої організації залежить від того, які проблеми вам потрібно вирішити та хто використовуватиме ці інструменти. Команда продажів, якій потрібні карти території, має інші вимоги, ніж розробник, який створює навігаційний додаток, або дослідник, який аналізує демографічні моделі.

Почніть зі складання списку основних варіантів використання. Подумайте, скільком людям потрібен доступ, з якими джерелами даних ви працюєте та чи є у вас технічний персонал для складних впроваджень. Безкоштовні пробні версії дозволяють вам протестувати робочий процес, перш ніж оформлювати підписку.

Для більшості бізнес-користувачів, які шукають баланс між можливостями та доступністю, Maptive надає необхідні функції без необхідності спеціалізованого навчання чи технічної підтримки. Платформа добре справляється з поширеними випадками використання та масштабується, оскільки організації розширюють свою практику геолокаційної аналітики.

Дані про місцезнаходження й надалі відіграватимуть дедалі більшу роль у бізнес-рішеннях, оскільки все більше організацій усвідомлюють їхню цінність. Вибір правильного програмного забезпечення вже зараз дозволяє вашій команді ефективно працювати з географічною інформацією та отримувати корисну інформацію з даних, які ви вже зібрали.

2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування

Для розробки програмних модулів, обробки геопросторових даних та реалізації алгоритмів мережевої тріангуляції у системах на базі протоколів Apple Location Services обрано мову програмування Python. Це високорівнева мова загального призначення, яка завдяки своїй ефективності, читаності синтаксису та мультиплатформності широко використовується для створення аналітичних сервісів, обробки телеметрії та машинного навчання в провідних технологічних компаніях.

Python є скриптовою об'єктно-орієнтованою мовою з динамічною типізацією та інтерпретованим характером виконання. Це дозволяє гнучко маніпулювати структурами даних без попереднього жорсткого оголошення типів та оперативно виявляти логічні помилки ще на етапі прототипування.

Програмне забезпечення організовується у вигляді модулів і пакетів, причому інтроспекція дозволяє динамічно запитувати структуру та атрибути об'єктів під час виконання програми.

Ключові переваги мови у проєкті:

– Логічний і мінімалістичний синтаксис, що забезпечує легкість читання та підтримки коду.

– Висока гнучкість і масштабованість для побудови складної високоточни́х алгоритмів позиціонування.

– Інтерпретована природа, що спрощує кросплатформне розгортання та тестування на різних апаратних середовищах.

– Потужна екосистема спільноти та профільних бібліотек для математичних розрахунків.

Основні обмеження: нижча швидкість виконання та підвищене споживання ресурсів оперативно-зберігальних пристроїв порівняно з компільованими мовами (наприклад, C/C++), що компенсується використанням оптимізованих низькорівневих бібліотек обчислень.

Сфери застосування Python у системі позиціонування:

1. Обробка геопросторових даних та тріангуляція: виконання складних математичних розрахунків для визначення координат об'єктів на основі сигналів точок доступу та мережевих параметрів.

2. Розробка серверної частини (Backend): створення API-шлюзів для взаємодії з мобільними клієнтами, приймання та агрегації даних геолокації від сервісів Apple.

3. Автоматизація та скриптинг: написання сценаріїв для калібрування радіомапи, збору польових даних та автоматизованого тестування точності позиціонування.

4. Машинне навчання: застосування алгоритмів ML для фільтрації шуму радіосигналів, компенсації багатопроменевого поширення радіохвиль та покращення точності тріангуляції.

Для вирішення специфічних завдань комплексу високоточного позиціонування використовується набір перевірених бібліотек:

– NumPy: забезпечує створення багатовимірних масивів і виконання швидких векторних матричних операцій, необхідних для геометричних розрахунків триангуляції.

– Pandas: використовується для зручного керування табличними даними, часовими рядами логів геопозиції та фільтрації вимірювань.

– Matplotlib / Seaborn: застосовуються для побудови двовимірних і тривимірних графіків просторового розподілу сигналів, траєкторій руху та похибок позиціонування.

– Requests: стандартний інструмент для здійснення HTTP/HTTPS-запитів до зовнішніх API та серверів геолокації.

– OpenCV-Python: відкриває можливості комп'ютерного зору (за необхідності візуальної верифікації локацій або обробки картографічних зображень).

Для організації серверної архітектури та забезпечення зручного середовища розробки застосовуються:

– Веб-фреймворки (Django, Pyramid, FastAPI): використовуються для побудови масштабованих бекенд-сервісів, що обробляють запити позиціонування в реальному часі.

– Інтегровані середовища розробки (IDE): для написання, відлагодження та тестування коду комплексу переважно застосовуються середовища PyCharm та Spyder, які забезпечують розвинені інструменти аналізу коду та роботи з числовими бібліотеками.

2.3 Розгорнута постановка завдання

Згідно з технічним завданням на випускну кваліфікаційну роботу за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, реалізації підлягає програмне забезпечення, яке призначено для системи високоточного позиціонування на

основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

В процесі розробки випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти необхідно виконати наступний обсяг роботи:

а) провести аналіз існуючих систем-аналогів для виявлення їх позитивних і негативних якостей. Результати аналізу врахувати в подальших розробках;

б) вибрати та обґрунтувати методику побудови системи контролю роботи технологічного обладнання на виробництві в автоматизованому режимі. Розробити функціональну та структурну схеми системи;

в) розробити програмне забезпечення системи, що дозволить реалізувати поставлену технічним завданням задачу. Побудувати блок-схеми алгоритмів програми та підпрограми;

г) організувати інтерфейс користувача з метою формування та виводу на екран ЕОМ повідомлень про некоректні дії користувача та нестандартні ситуації в роботі технологічного обладнання;

д) розробити рекомендації по організаційних та методичних заходах, які забезпечать впровадження системи в промислову експлуатацію та її подальшу успішну експлуатацію;

е) провести розрахунки по визначенню економічної ефективності розробленої системи;

ж) розробити заходи по охороні праці при впровадженні та експлуатації системи, а також розробити заходи з цивільного захисту;

з) сформувати висновки про виконаний обсяг робіт та одержані результати.

3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис функціонування системи

Типи технологій позиціонування в приміщенні

На відміну від супутникової GPS, IPS являє собою плавильний котел кількох різних технологій, включаючи радіотехнології, оптичні, акустичні та магнітні, кожна з яких має свої переваги та обмеження. Різні технології та методи IPS йдуть рука об руку до інтеграції для кращої точності. У наступній частині будуть показані найпоширеніші технології позиціонування в приміщенні.

Bluetooth/Bluetooth з низьким енергоспоживанням

Спочатку Bluetooth використовувався для обміну даними на коротких відстанях, але зараз він широко використовується та є наріжним каменем систем позиціонування всередині приміщень. Позиціонування Bluetooth в основному включає позиціонування на стороні терміналу та позиціонування на стороні мережі. Позиціонування на стороні терміналу підходить для позиціонування та навігації в торгових центрах та центрах громадського транспорту, таких як аеропорти, тоді як позиціонування на стороні мережі більше підходить для позиціонування та відстеження активів та персоналу на складах. Позиціонування Bluetooth вимагає розгортання маячків у цільовій зоні з використанням трилатерації та змін значення RSSI для оцінки відстаней. Як правило, стандартна точність позиціонування Bluetooth становить близько 3-5 метрів.

Чудовим прикладом є iBeacon від Apple. Він використовує BLE для трансляції сигналів, які можуть виявляти сусідні розумні пристрої, щоб запускати служби визначення місцезнаходження та позиціонування.

Стандарт Bluetooth 5.1 запровадив новий підхід до визначення напрямку руху за допомогою Bluetooth, зокрема Bluetooth AoA та AoD. Позиціонування Bluetooth AoA – це нова технологія позиціонування в приміщенні. Антенні

решітки виявляють напрямок сигналів від передавальних вузлів і обчислюють відносну орієнтацію або кут між приймальним вузлом (шлюзом) і передавальним вузлом (міткою). Завдяки цьому точність позиціонування Bluetooth може сягати 1 метра.

Спираючись на це, нещодавній запуск Bluetooth 6.0 запровадив функцію Bluetooth Channel Sounding для безпечного та точного визначення відстані. Вона використовує методи фазового визначення відстані (PBR) та часу обміну даними (RTT). Це важлива інновація у вимірюванні відстані за допомогою Bluetooth. Теоретично, це може досягти рівня точності, порівнянного з UWB, з точністю до 10-30 см.

Wi-Fi

Позиціонування в приміщенні за допомогою технології Wi-Fi використовує існуючу інфраструктуру, яка вже широко поширена в комерційних та громадських приміщеннях. Багато громадських закладів, таких як торгові центри, лікарні та ресторани, зазвичай пропонують повсюдні точки доступу (AP) Wi-Fi. Водночас, приймачі Wi-Fi є стандартними компонентами сучасних смартфонів та планшетів. Це забезпечує готову основу для використання Wi-Fi як технології для рішень для позиціонування та навігації в приміщенні.

Під час впровадження систем позиціонування в приміщеннях на основі Wi-Fi координати точок доступу заздалегідь відображаються на карті. Методологія позиціонування в основному базується на вимірюванні ослаблення сили сигналу або виявленні закономірностей у розподілі сигналу для розрахунку відносного положення між пристроєм кінцевого користувача та точкою доступу. Це дозволяє здійснювати локалізацію в приміщенні в режимі реального часу без необхідності додаткового обладнання. Точність позиціонування Wi-Fi зазвичай коливається від 5 до 15 метрів.

UWB (надширокосмуговий)

Технологія позиціонування UWB дозволяє знаходити об'єкти або людей у будівлях з високою точністю та стала однією з основних технологій позиціонування в приміщенні. Оскільки сигнали UWB мають пропускну

здатність понад 500 МГц з широким діапазоном частот 3,1-10,6 ГГц, вони можуть передавати дані, надсилаючи та приймаючи надзвичайно вузькі імпульси на наносекундному або субнаносекундному рівні. UWB зазвичай використовує TDoA для досягнення точного позиціонування в приміщенні. Він має високу стійкість до багатопроменевих перешкод та чудові можливості проникнення. Тому його можна застосовувати для позиціонування та відстеження нерухомих та рухомих об'єктів, а також людей, забезпечуючи точність до сантиметрів.

Однак, UWB не може бути розгорнутий так просто, швидко та економічно ефективно, як рішення Bluetooth-маяків. Це вимагає встановлення повної системи зі шлюзами, і кожен шлюз має обмежене покриття (зазвичай близько 150 метрів), що призводить до вищих витрат. У деяких випадках рішення UWB та Bluetooth AoA можуть забезпечити порівнянну продуктивність позиціонування.

Як показує наведене вище порівняння, вибір правильної системи визначення місцезнаходження в режимі реального часу (RTLS) визначатиметься вашими конкретними вимогами до точності на сантиметровому рівні порівняно з вартістю розгортання. Хоча позиціонування за допомогою надширокосмугового зв'язку (UWB) набагато точніше, Bluetooth є найкращим рішенням, коли йдеться про доступну навігацію в приміщенні та аналітику пішохідного трафіку.

3.2 Розробка структурної схеми

Хочете змінити місцезнаходження свого iPhone, але не впевнені, який метод насправді працює?

Онлайн-посібники пропонують низку рішень: використання VPN, зміна регіону Apple ID, джейлбрейк телефону або інше. Але після спроби більшість людей відкривають Карти та виявляють, що їхнє місцезнаходження не змінилося.

Причина? Різні методи вирішують різні проблеми. У цьому розділі порівнюються всі чотири варіанти та представлено найефективніше GPS-рішення, доступне у 2026 році.

Лише два останні методи можуть фактично змінити ваше GPS-локацію. Джейлбрейк несе забагато ризиків. Для більшості користувачів спеціалізований інструмент для спуфінгу – це правильний вибір.

Якщо вашою метою є підміна GPS-рівня (для ігор, соціальних програм або конфіденційності), перейдіть до методу 3, щоб отримати повний посібник із інструменту для підміни GPS.

Спосіб 1: Зміна регіону Apple ID (безкоштовно)

Найкраще підходить для: завантаження програм, недоступних у App Store вашої країни, або доступу до покупок, придбаних у певному регіоні.

Як це зробити: Перейдіть до Налаштувань → ваше ім'я → Медіа та покупки → Переглянути обліковий запис → Країна/регіон. Виберіть цільову країну та оновіть спосіб оплати.

Примітка: Зміна регіону Apple ID не впливає на ваше місцезнаходження за GPS. Карти та програми на основі місцезнаходження не помітять жодної різниці. Вам також потрібно буде витратити будь-який залишок кредиту та скасувати активні підписки, перш ніж ця опція стане доступною.

Спосіб 2: Використання VPN (безкоштовного/платного)

Найкраще підходить для: доступу до географічно обмеженого контенту на Netflix, Disney+ або інших платформах та маскування вашої мережевої IP-адреси.

Серед популярних варіантів – ExpressVPN, NordVPN та Surfshark. Усі вони пропонують прості у використанні додатки для iOS.

Примітка: VPN змінюють вашу IP-адресу лише на рівні мережі. Вони не можуть змінювати GPS-координати. Це найпоширеніша помилка. Відкрийте Карти після підключення до VPN, і ви все одно побачите своє справжнє місцезнаходження. Безкоштовні VPN також мають ризики для конфіденційності, оскільки багато з них фінансуються за рахунок продажу даних користувачів.

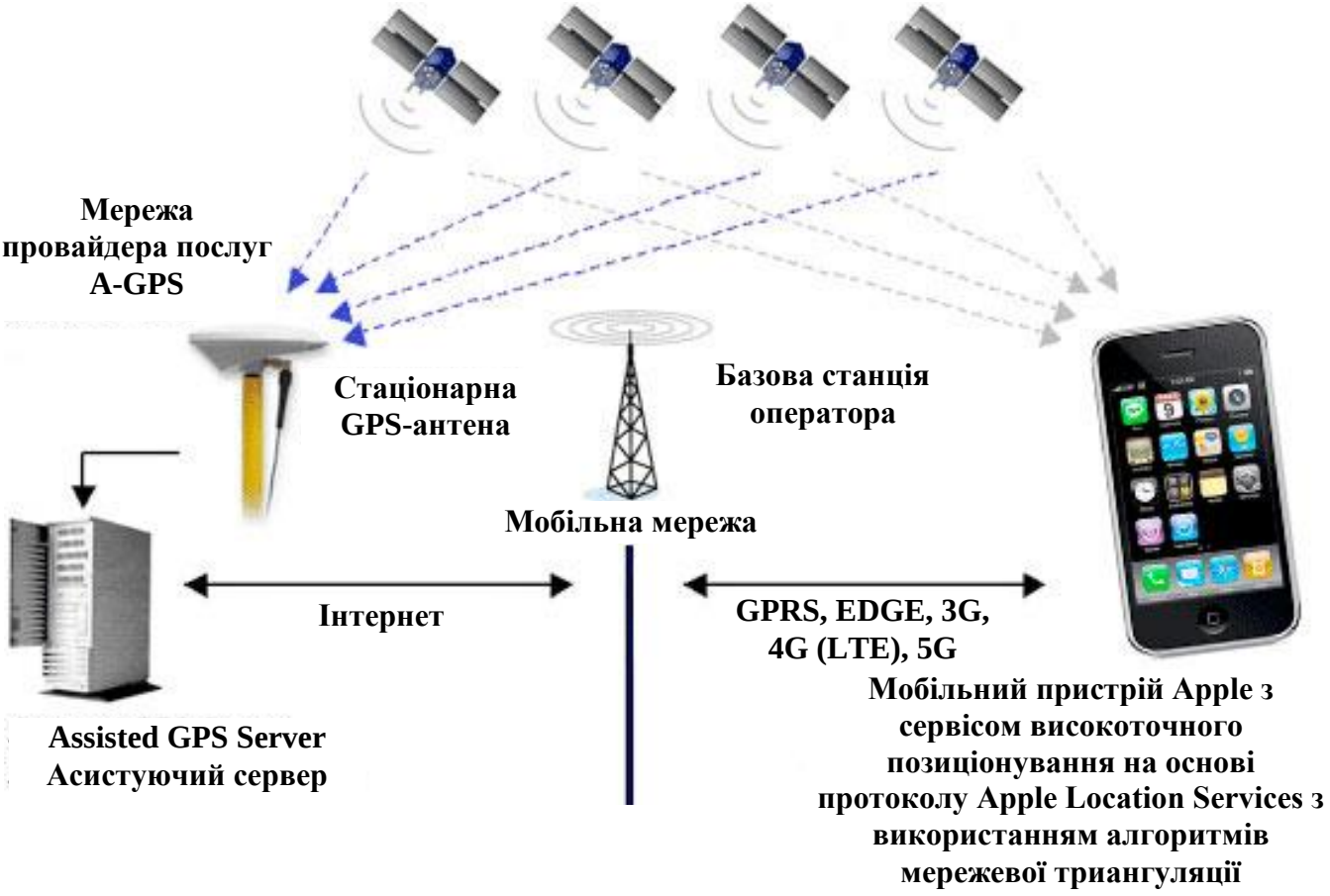


Рисунок 3.1 – Структурна схема роботи системи

Спосіб 3: Інструмент для підміни GPS (найбільш рекомендований)

Якщо вам потрібно змінити своє фактичне місцезнаходження GPS, це єдиний варіант без джейлбрейка, який працює на iPhone.

Що таке інструмент для підміни GPS?

iOS не має вбудованої функції імітації місцезнаходження, як Android. Інструмент для підміни GPS, такий як PoGoskill, підключається до вашого iPhone через Bluetooth, імітуючи сигнал GPS на системному рівні без зміни будь-яких файлів та необхідності встановлення джейлбрейка. Усі програми, які мають доступ до даних про місцезнаходження, зчитуватимуть підроблені координати.

Спосіб 4: Джейлбрейк

Джейлбрейк дозволяє контролювати ваше місцезнаходження на рівні системи, але це пов'язано зі значними ризиками:

– Вразливості безпеки.

– Нестабільність системи.

– Анульована гарантія Apple.

– Заблоковані оновлення iOS.

Для переважної більшості користувачів спеціалізований інструмент для спуфінгу досягає того ж результату без будь-яких із цих ризиків.

3.3 Розробка функціональної схеми

На рисунку 3.3 наведено функціональну схему розробленої системи, яка ілюструє взаємодію приймачів сигналів глобального позиціонування та програмного забезпечення комплексу.

Архітектурно процес починається з приймання навігаційних сигналів від штучних супутників Землі мобільним пристроєм під управлінням мобільної операційної системи. За запитом користувача ці дані передаються до розробленого програмного модуля. Завдяки реалізованому інтерфейсу користувач може отримувати та візуалізувати широкий спектр геопараметричних даних:

– геодезичну широту та довготу;

– прискорення та швидкість руху (горизонтальну і вертикальну);

– кути підйому та схилу;

– загальну довжину маршруту;

– поточний час із коригуванням;

– максимальну досягнуту висоту та висоту над рівнем моря;

– динамічні характеристики розгону (0–100 км/год та 80–120 км/год);

– орієнтацію мобільного пристрою відносно сторін світу та поточний азимут;

– час сходу і заходу сонця;

– сумарний час руху.

Конвертування картографічних даних для інтеграції з GPS

Для забезпечення роботи системи з геопросторовими даними часто

виникає потреба в конвертуванні векторних карт із пропрієтарних або застарілих форматів (наприклад, із форматів ГІС у середовища обміну даними на кшталт DXF чи MIF/MID).

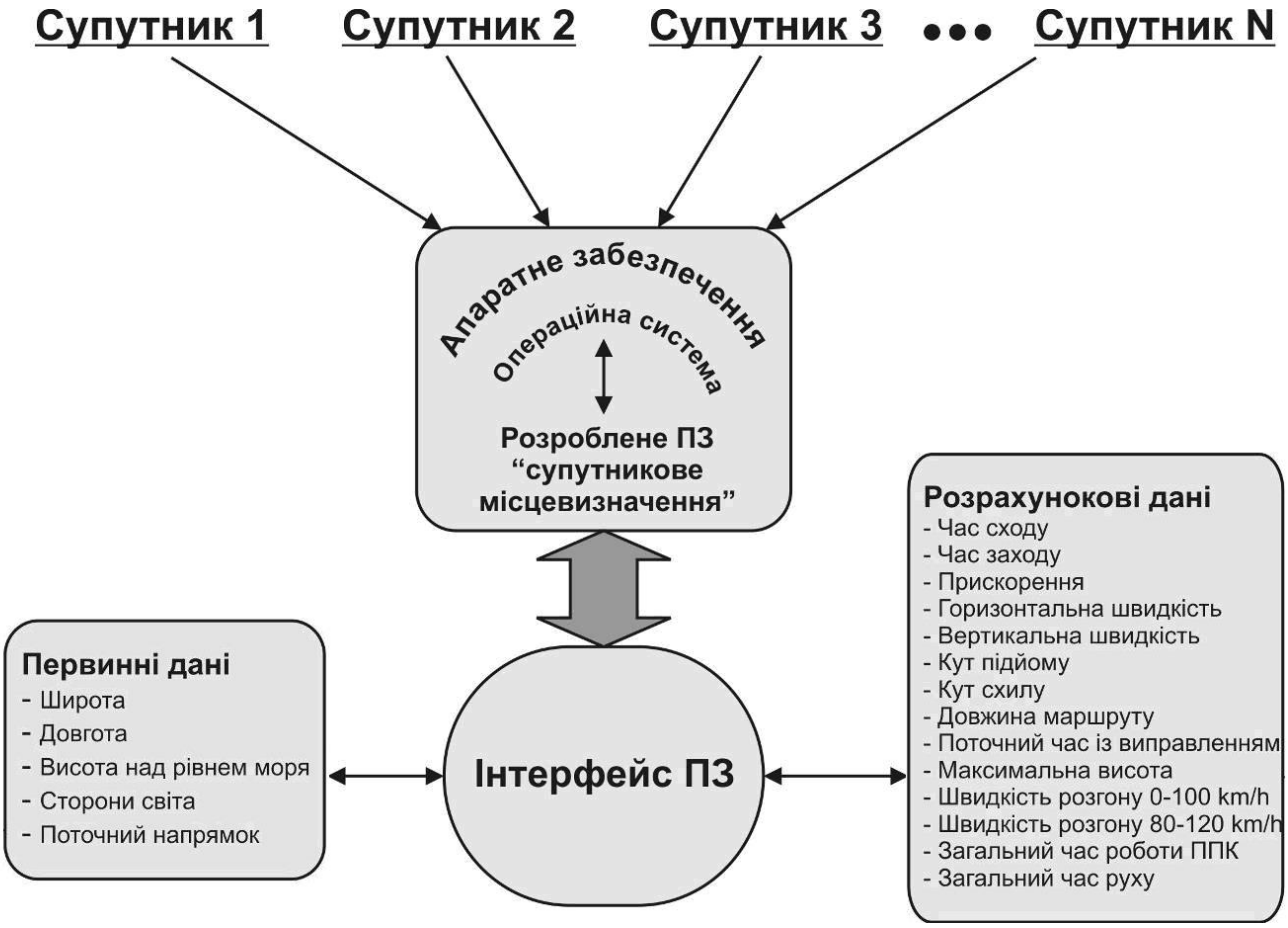


Рисунок 3.2 – Функціональна схема роботи системи

Процес підготовки та трансформації карт включає такі етапи:

1. Експорт з вихідної бази даних: переведення геометрії об'єктів (наприклад, дорожньої мережі) у формат обміну даними (MID/MIF), які зберігаються в локальній декартовій системі координат.

2. Афінні перетворення координат: приведення локальних координат до системи координат WGS84 за допомогою лінійних перетворень, що враховують коефіцієнти розтягання та зсуву по осях.

Для обчислення параметрів трансформації використовується мінімум дві

опорні точки з відомими координатами в обох системах, а уточнення проводиться методами апроксимації (зокрема, методом найменших квадратів).

3. Конвертація у формат SHP: перетворення MIF/MID-файлів набору векторних шарів (точки, лінії, полігони, підписи) за допомогою утиліт конвертації (наприклад, mifshape) для подальшої обробки геоінформаційними середовищами.

4. Корекція та прив'язка: перевірка точності накладання шарів за контрольними треками та точками. У разі виявлення похибок застосовуються інструменти афінного чи квадратичного перетворення (функції Transform).

5. Фінальна генерація та завантаження: налаштування атрибутів карти (ідентифікаторів, кодування UTF-8 / CP1251 для коректного відображення української локалізації), збереження у проміжний формат MP та компіляція у бінарний файл .IMG для безпосереднього завантаження у пам'ять GPS-навігатора чи мобільного термінала за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (або візуальних розширень на кшталт img2gps).

Розглянувши усі блоки функціональної схеми перейдемо до розгляду діаграми взаємодії процесів, які відбуваються у системі.

3.4 Розробка діаграми процесів

На рисунку 3.3 наведено діаграму потоків даних розробленої системи, детальний розгляд якої дозволяє простежити логіку взаємодії її функціональних компонентів. У процесі проєктування використовується структурний підхід та графічне представлення інформаційних потоків у системі (Data Flow Diagram, DFD), що дає змогу ефективно візуалізувати процеси обробки та передачі даних між мобільними клієнтами, серверами позиціонування та зовнішніми службами геолокації.

Згідно з інженерною методологією, розробка розпочинається з побудови контекстної діаграми (діаграми нульового рівня), яка визначає глобальні межі системи та її інтерфейси із зовнішнім середовищем. Надалі ця модель підлягає

ітераційній декомпозиції шляхом деталізації базових процесів та потоків даних (зокрема збору координат, виконання алгоритмів тріангуляції та видачі результатів) з метою повного відображення архітектури розроблюваного комплексу.

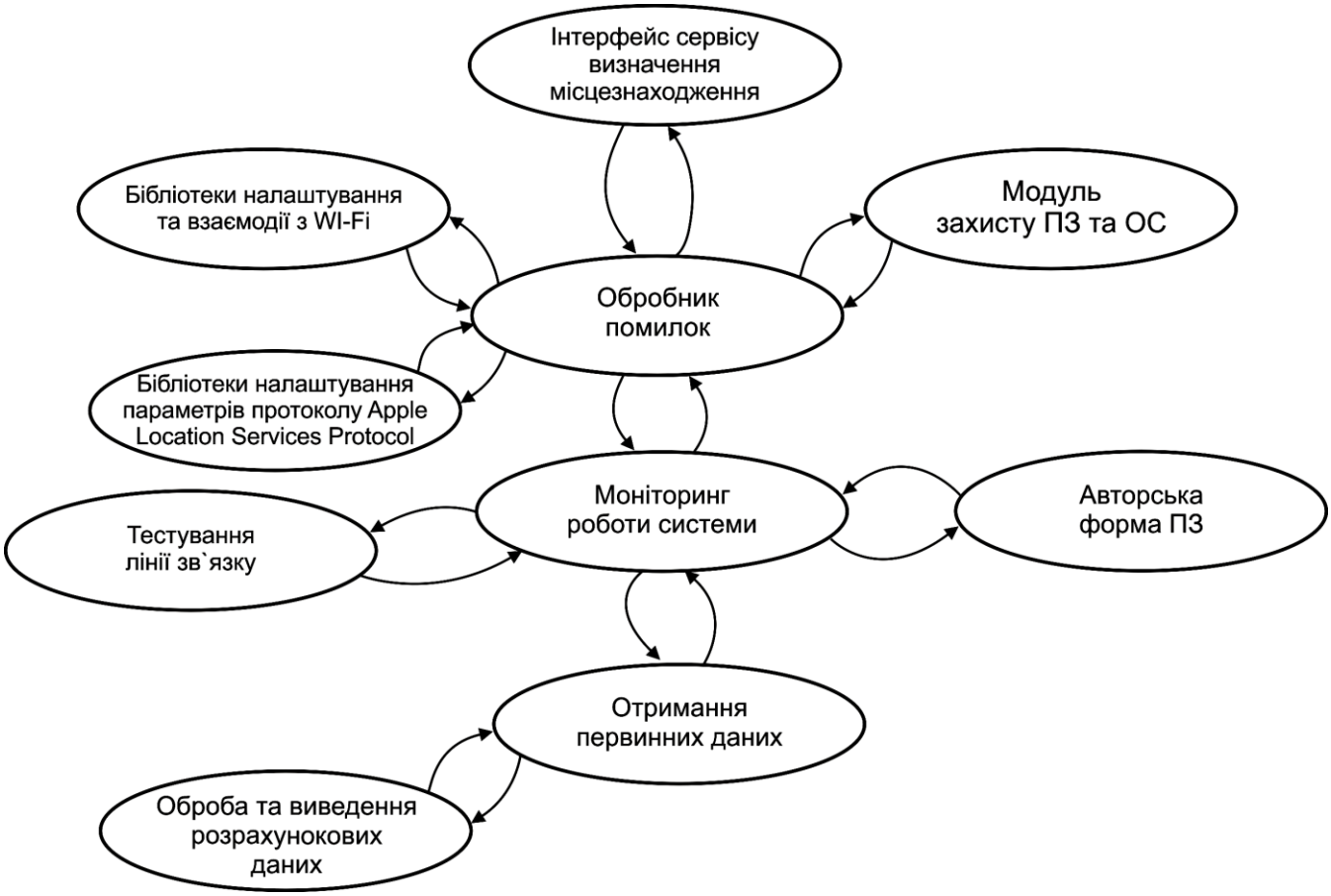


Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії процесів

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Алгоритмічне забезпечення системи високоточного позиціонування на основі Apple Location Services із використанням мережевої триангуляції спрямоване на визначення просторового положення мобільного пристрою шляхом поєднання геолокаційних даних та вимірювань параметрів бездротової мережі. Основним завданням є формування оцінки координат із урахуванням доступності опорних точок, характеристик радіосигналу та похибок вимірювання. Особливе значення має можливість використання мережевих даних у приміщеннях і місцях зі складними умовами приймання сигналів супутникової навігації. Для реалізації такого підходу передбачається послідовне отримання геолокаційних вимірювань, визначення відстаней до мережевих орієнтирів, розрахунок координат та оцінювання достовірності результату. Загальну блок-схему функціонування програмного комплексу представлено на рисунку 4.1.

У запропонованому проєктному рішенні Apple Location Services використовується як системне джерело геолокаційної інформації. Доступ до відповідної функціональності в прикладних програмах Apple забезпечується насамперед через Core Location. Цей програмний інтерфейс дозволяє отримувати координати, часові позначки, оцінки точності та інші характеристики розташування пристрою. Сама служба позиціонування може використовувати інформацію GPS, Wi-Fi, стільникових мереж і вбудованих датчиків. При цьому внутрішні алгоритми поєднання даних визначаються операційною системою та не розкриваються прикладній програмі як незалежний набір вимірювань від кожної точки доступу.

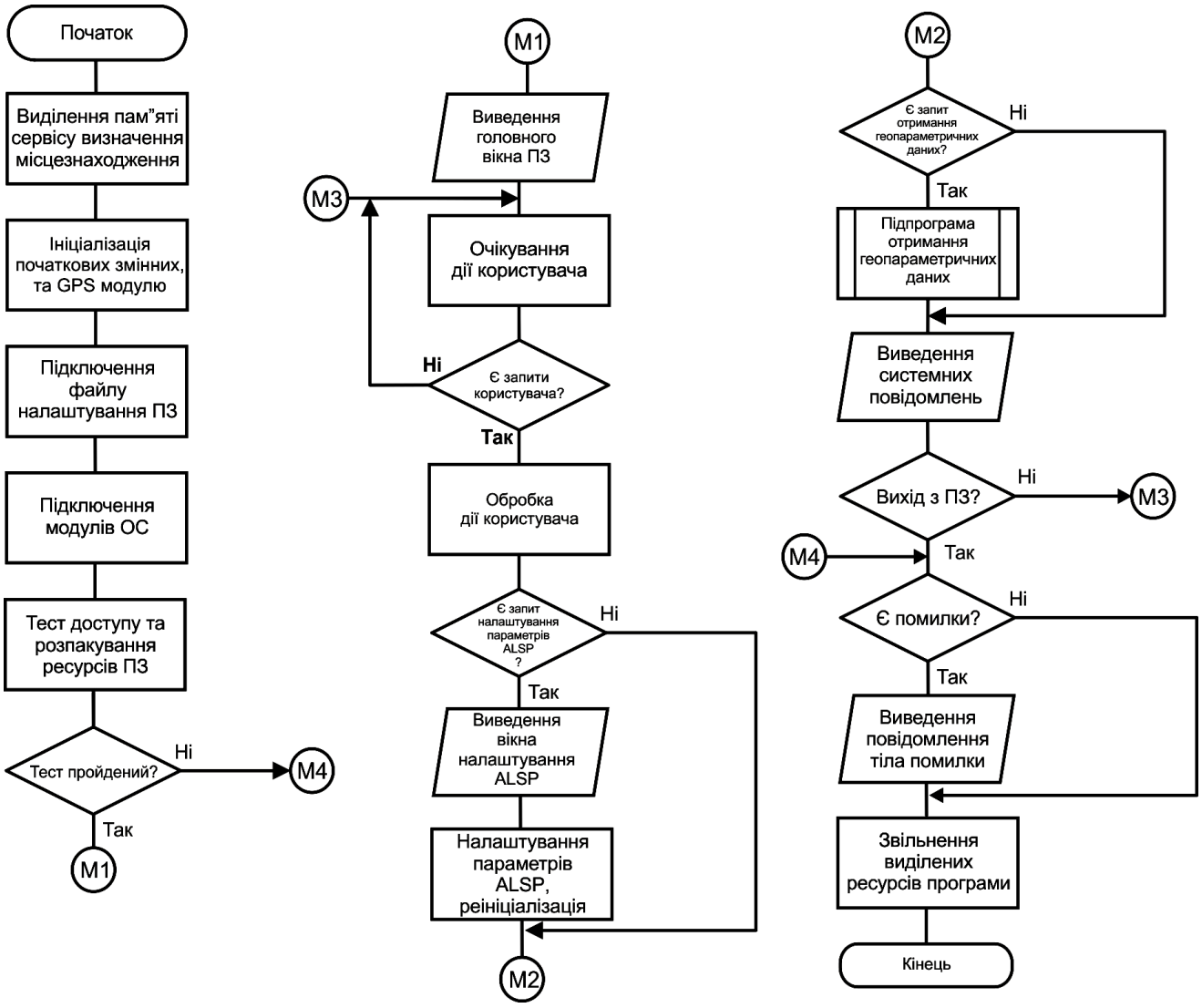


Рисунок 4.1 – Блок-схема основної програми

Важливо враховувати, що назва Apple Location Services позначає систему служб геолокації, а не відкритий мережевий протокол для безпосереднього отримання координат усіх точок Wi-Fi з бази Apple. Публічні засоби iOS не надають стороннім застосункам універсального інтерфейсу сканування навколишніх бездротових мереж для побудови власної багатоточкової радіогеометричної моделі. Тому програмну реалізацію доцільно розділити на два взаємопов'язані механізми. Перший отримує дозволені системою координати через Core Location. Другий виконує незалежні геометричні обчислення на основі вимірювань від мережевих опорних вузлів, доступних у контрольованій інфраструктурі.

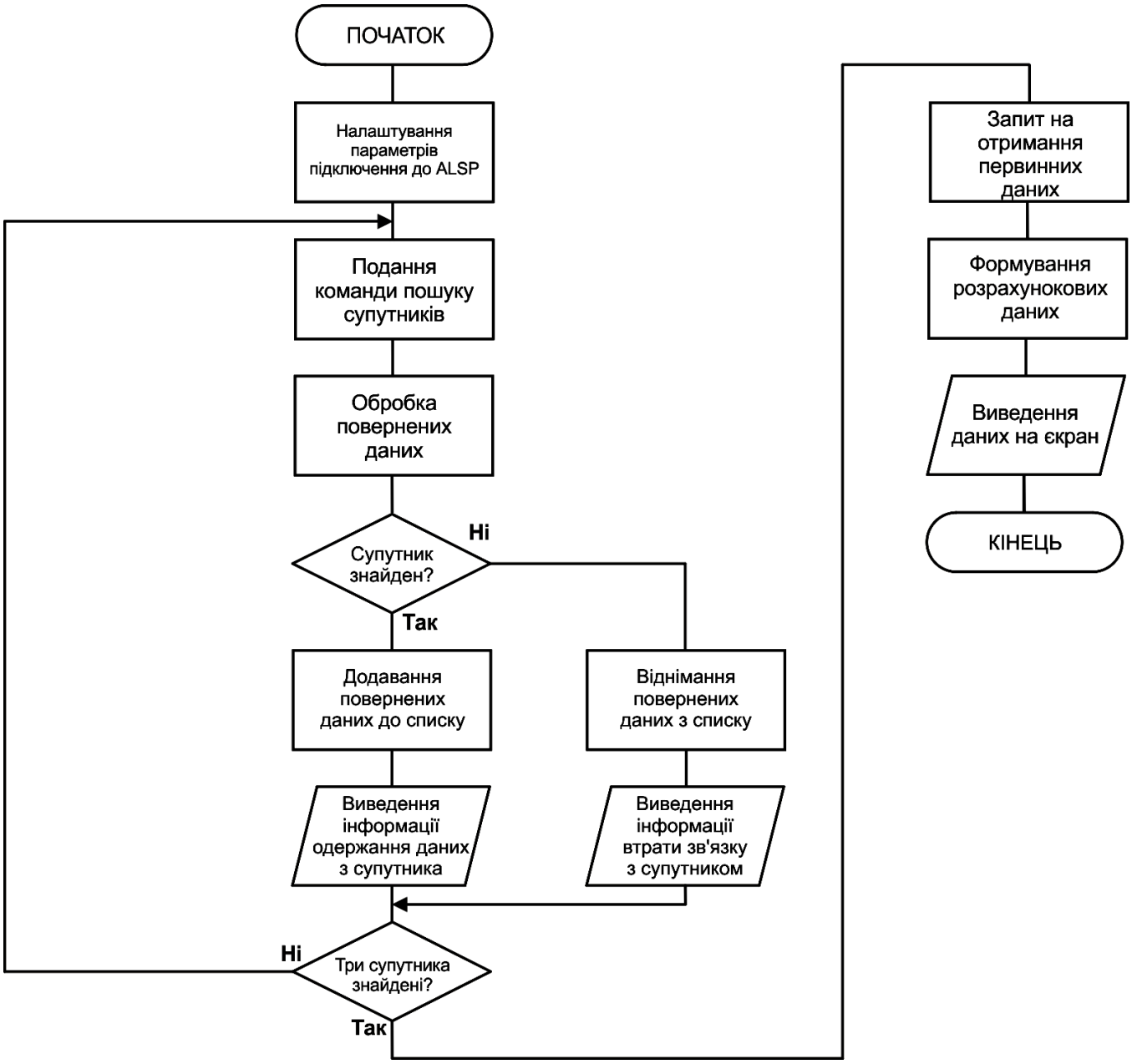


Рисунок 4.2 – Блок-схема роботи підпрограми

Для додаткового уточнення просторового положення розглядається застосування геометричних методів визначення координат за декількома опорними точками. Якщо відомі напрямки на об'єкт, використовується кутова тріангуляція. Якщо отримано оцінки відстаней до опорних вузлів, застосовується трилатерація або мультилатерація. У межах запропонованої системи основна розрахункова модель використовує відстані, оцінені за параметрами радіозв'язку. Програмна підсистема повинна перевіряти кількість доступних опорних точок,

їхнє геометричне розташування та якість вимірювань. Послідовність виконання цієї підпрограми геометричного позиціонування відображено на рисунку 4.2.

Особливістю проєктованої системи є необхідність узгодження результатів двох різних механізмів позиціонування. Core Location повертає підготовлену операційною системою оцінку розташування. Мережевий алгоритм обчислює координати на підставі вимірювань у власній системі опорних точок. Отримані результати можуть мати різні похибки, затримки та геодезичні системи відліку. Тому їхнє об'єднання потребує нормалізації координат, синхронізації часу та визначення допустимих вагових коефіцієнтів. Просте арифметичне усереднення координат без урахування цих чинників не забезпечує обґрунтованого підвищення точності.

Для практичної реалізації доцільно передбачити мобільний компонент отримання координат, серверний модуль геометричних розрахунків, сховище характеристик опорних вузлів та підсистему оцінювання похибок. Мобільний компонент взаємодіє із системними службами Apple через дозволені програмні інтерфейси. Серверна частина може бути реалізована мовою Python із використанням бібліотек чисельних обчислень. Передавання результатів між компонентами здійснюється через захищений програмний інтерфейс. Зазначена структура розглядається як обґрунтований варіант реалізації, що потребує підтвердження фактичним програмним кодом і результатами випробувань.

Організація отримання координат засобами Apple Location Services

Початковим етапом функціонування системи є перевірка доступності геолокаційних служб мобільного пристрою. Для цього застосунок повинен встановити стан дозволів на використання місцезнаходження та визначити допустимий режим точності. У Core Location керування отриманням координат може виконуватися через об'єкт CLLocationManager. Він дозволяє запитувати одноразове визначення положення або отримувати послідовність оновлень під час переміщення пристрою. Вибір режиму залежить від функціонального призначення системи, необхідної частоти вимірювань та обмежень енергоспоживання.

Під час початкової ініціалізації необхідно перевірити, чи увімкнено служби геолокації та чи надав користувач необхідний дозвіл. Якщо доступ відсутній, алгоритм припиняє отримання системних координат і повідомляє про неможливість виконання відповідної процедури. У випадку дозволу з обмеженою точністю застосунок повинен враховувати, що запит вищого рівня точності не гарантує отримання детальних координат. Core Location розрізняє режими fullAccuracy та reducedAccuracy, які визначають дозволену деталізацію розташування.

Після підтвердження доступу налаштовуються параметри отримання координат. Властивість desiredAccuracy визначає бажаний рівень точності, а distanceFilter задає мінімальну зміну положення, необхідну для формування наступного оновлення в стандартному режимі. Для високоточного позиціонування доцільно запитувати максимально доступну точність лише на період активного виконання вимірювань. Постійне використання такого режиму може збільшувати енергоспоживання мобільного пристрою. Крім того, заданий рівень точності є побажанням застосунку, а не гарантією отримання координат із відповідною похибкою.

Кожне отримане геолокаційне повідомлення повинно містити координати широти й довготи, часову позначку та оцінку горизонтальної невизначеності. Для подальших розрахунків використовується значення horizontalAccuracy, яке характеризує радіус області невизначеності навколо повернутої координати. Від'ємне значення цього параметра вказує на недійсність координат. Для коректного математичного використання показника необхідно враховувати, що він не є автоматично встановленим стандартним відхиленням конкретного ймовірнісного розподілу.

Отримані координати проходять перевірку на допустимість. Широта повинна належати інтервалу від мінус 90 до 90 градусів, а довгота від мінус 180 до 180 градусів. Додатково перевіряється актуальність часової позначки та додатність оцінки точності. Якщо повідомлення було сформовано раніше за встановлений допустимий інтервал, його не слід використовувати як поточне

вимірювання без додаткового аналізу. Це особливо важливо під час переміщення пристрою, оскільки застарілі координати можуть істотно відрізнятися від фактичного положення.

Для відокремлення мобільної платформи від серверної логіки доцільно створити уніфіковану структуру геолокаційного повідомлення. Вона повинна містити ідентифікатор вимірювання, час, координати, заявлену горизонтальну точність та джерело отримання. Така структура використовується серверним компонентом незалежно від конкретного способу надходження даних. Програмне представлення перевірки координат може бути реалізоване мовою Python.

```
from dataclasses import dataclass
from datetime import datetime, timezone
from math import isfinite

# Системне геолокаційне вимірювання Apple Core Location
@dataclass(frozen=True)
class LocationSample:
    latitude: float
    longitude: float
    horizontal_accuracy: float
    timestamp: datetime
    source: str = "core_location"
def validate_location(sample: LocationSample, max_age=10.0):
    # Контроль коректності координат і похибки
    values = (
        sample.latitude,
        sample.longitude,
        sample.horizontal_accuracy
    )
    if not all(isfinite(v) for v in values):
        raise ValueError("Нечислові параметри вимірювання")
    if not -90 <= sample.latitude <= 90:
        raise ValueError("Некоректна широта")
    if not -180 <= sample.longitude <= 180:
        raise ValueError("Некоректна довгота")
    if sample.horizontal_accuracy <= 0:
        raise ValueError("Недійсна оцінка точності")
    # Час має містити інформацію про часову зону
    if sample.timestamp.tzinfo is None:
        raise ValueError("Не визначено часову зону")

    now = datetime.now(timezone.utc)
    age = (now - sample.timestamp.astimezone(timezone.utc))
    age_seconds = age.total_seconds()

    # Застарілі та явно майбутні записи відхиляються
    if age_seconds > max_age or age_seconds < -2:
        raise ValueError("Вимірювання неактуальне")
    return True
```

Наведена функція забезпечує базову перевірку географічних координат перед виконанням розрахунків. Значення допустимого віку вимірювання визначається умовами експлуатації. Для рухомих об'єктів воно повинно

враховувати швидкість переміщення та необхідну частоту оновлення позиції. Перевірка не встановлює фактичну геодезичну похибку, а лише відхиляє дані, які не відповідають заданим технічним обмеженням.

Наступним етапом є приведення отриманих координат до системи, придатної для геометричних розрахунків. Географічні координати задаються в кутових одиницях і не повинні безпосередньо використовуватися в евклідових формулах визначення відстаней. Для локальної області позиціонування доцільно виконувати перетворення до прямокутної системи координат із метричними одиницями. За невеликих просторових розмірів може застосовуватися локальна дотична площина, прив'язана до відомої геодезичної точки.

Побудова мережевої опорної інфраструктури для геометричного позиціонування

Для виконання незалежних розрахунків необхідно сформувати мережеву опорну інфраструктуру з відомими координатами вузлів. Такими вузлами можуть бути стаціонарні точки доступу Wi-Fi, спеціалізовані радіомаяки або мережеві приймачі, які підтримують отримання вимірювань радіосигналу. Кожному вузлу присвоюється унікальний ідентифікатор, а його положення визначається відносно спільної системи координат. Точність встановлення цих координат безпосередньо впливає на якість подальшого позиціонування.

Для практичної реалізації важливо розрізняти точку доступу, яка лише забезпечує мережеве підключення, та вимірювальний вузол, здатний передавати придатні для позиціонування характеристики сигналу. Звичайна точка Wi-Fi не обов'язково підтримує вимірювання потужності сигналу від конкретного мобільного клієнта в необхідному форматі та з потрібною частотою. Тому придатність обладнання необхідно визначати за можливостями його програмних інтерфейсів. Для отримання відомостей про рівень сигналу можуть використовуватися інтерфейси керування контрольованими точками доступу або спеціалізовані приймачі.

У випадку iOS необхідно враховувати обмеження доступу до мережевих параметрів. Інтерфейс NEHotspotNetwork.fetchCurrent за визначених умов

дозволяє отримати інформацію про поточну підключену мережу, зокрема SSID та BSSID. Для його використання потрібні відповідні дозволи й можливості застосунку. Цей інтерфейс не є універсальним засобом отримання вимірювань від усіх навколишніх точок доступу. Тому збір даних від декількох опорних вузлів у запропонованій архітектурі повинен виконуватися незалежними засобами контрольованої мережевої інфраструктури.

Підготовка опорної інфраструктури починається з визначення області позиціонування. Для приміщення доцільно використовувати локальну прямокутну систему координат, у якій положення кожного вузла задається парою $a_i = (x_i, y_i)$. Координати повинні відповідати реальним точкам встановлення обладнання. Якщо необхідно визначати положення на декількох поверхах, додатково враховується висота z_i. У такому випадку двовимірна модель може використовуватися окремо для кожного поверху або замінюватися тривимірною моделлю.

Для коректної двовимірної трилатерації необхідно мати щонайменше три геометрично придатні опорні точки. При цьому їхнє розташування не повинно бути колінеарним. Якщо точки розміщені вздовж однієї прямої, задача визначення координат може бути неоднозначною або погано обумовленою. Збільшення кількості опорних вузлів дозволяє сформувати надлишкову систему вимірювань, але саме по собі не гарантує покращення точності. Важливими залишаються якість даних та просторове розташування вузлів.

Для кожної опорної точки доцільно зберігати ідентифікатор, координати, характеристики радіоінтерфейсу та параметри калібрування. Якщо використовуються сигнали Wi-Fi, можуть враховуватися робочий частотний діапазон, канал, ідентифікатор BSSID та умовні параметри поширення радіохвиль. Зберігання таких відомостей дозволяє виконувати повторні розрахунки з урахуванням змін конфігурації обладнання. Після фізичного переміщення точки доступу її координати повинні оновлюватися до використання нових вимірювань.

Окремим етапом є визначення зв'язку між локальною системою координат та географічною системою WGS 84. Для цього встановлюється геодезична опорна точка та орієнтація локальних осей. Перетворення дозволяє відображати розраховане положення на електронній карті й зіставляти його з координатами Core Location. Без такого перетворення результати мережевого позиціонування та системної геолокації не можна безпосередньо поєднувати.

Математична модель оцінювання відстаней за параметрами радіосигналу

Одним із доступних способів оцінювання відстані до мережевого вузла є використання показника потужності прийнятого сигналу RSSI. У спрощеній моделі зі збільшенням відстані середня потужність сигналу зменшується. Однак реальна залежність визначається не тільки геометричною відстанню, а й перешкодами, багатопроменевим поширенням, положенням антен та характеристиками обладнання. Тому безпосереднє перетворення RSSI на відстань повинно спиратися на попередньо встановлену модель радіоканалу.

Для опису поширення сигналу можна використовувати логарифмічну модель втрат. Вона задається співвідношенням

$$P_i(d) = P_i(d_0) - 10n_i \log _(10)((d)/(d_0)) + \varepsilon_i,$$

де $P_i(d)$ означає виміряну потужність сигналу від i-го вузла на відстані d, $P_i(d_0)$ характеризує потужність на еталонній відстані d_0, n_i є коефіцієнтом поширення сигналу, а ε_i відображає похибку вимірювання та вплив середовища. Параметр n_i не є універсальною сталою та повинен визначатися для конкретних умов.

Якщо значення похибки в окремому вимірюванні не враховується, оцінку відстані можна обчислити за формулою

$$\widehat{d_i} = d_0\, 10^{\left((P_i(d_0)-P_i(d))/(10n_i)\right)}.$$

Отримане значення є розрахунковою оцінкою, а не точним геометричним вимірюванням. Для її використання в алгоритмі трилатерації необхідно також оцінити невизначеність. Вона може визначатися на основі експериментального розкиду RSSI під час калібрування або за допомогою окремої статистичної моделі.

Калібрування передбачає виконання вимірювань у декількох точках із відомими координатами. Для кожної точки обчислюється фактична відстань до опорного вузла та реєструється відповідне значення потужності сигналу. На основі отриманих пар даних визначаються параметри логарифмічної моделі. Для цього може застосовуватися метод найменших квадратів або робастна регресія. Якщо середовище характеризується істотно різними умовами поширення, доцільно передбачити окремі параметри для різних зон.

Під час оброблення поточних вимірювань необхідно зменшувати вплив короткочасних коливань RSSI. Для цього може використовуватися медіанна фільтрація послідовності значень. Вона дозволяє зменшити вплив поодиноких аномальних відхилень. Після фільтрації результат перетворюється на оцінку відстані відповідно до параметрів калібрування. При цьому кількість вимірювань у вікні потрібно обирати з урахуванням допустимої затримки.

Наведений приклад Python демонструє обчислення відстані на основі каліброваної логарифмічної моделі. Функція не виконує вимірювання RSSI самостійно. На вхід їй передаються значення, отримані від відповідного мережевого обладнання.

```
from math import isfinite
from statistics import median

def estimate_distance(
    rssi_samples,
    reference_rssi,
    path_loss_exponent,
    reference_distance=1.0
):
    # Перевірка наявності вимірювань
    if not rssi_samples:
        raise ValueError("Відсутні вимірювання RSSI")
    values = [float(v) for v in rssi_samples]
    if not all(isfinite(v) for v in values):
        raise ValueError("Некоректні значення RSSI")
    if not isfinite(reference_rssi):
        raise ValueError("Некоректна опорна потужність")
    if not isfinite(path_loss_exponent):
        raise ValueError("Некоректний коефіцієнт поширення")
    if path_loss_exponent <= 0 or reference_distance <= 0:
       raise ValueError("Параметри моделі мають бути додатними")
    # Медіана зменшує вплив одиничних викидів
    filtered_rssi = median(values)
    # Перетворення RSSI на оцінку відстані
    exponent = (
        reference_rssi - filtered_rssi
    ) / (10.0 * path_loss_exponent)
```

```
distance = reference_distance * (10.0 ** exponent)
if not isfinite(distance):
    raise ValueError("Неможливо обчислити відстань")
return distance
```

Функція повертає скалярну оцінку відстані до одного опорного вузла. Для визначення координат потрібно виконати аналогічні обчислення для декількох вузлів і сформувати спільний набір вимірювань. Значення reference_rssi та path_loss_exponent повинні бути отримані під час калібрування відповідного радіоканалу. Використання довільних значень цих параметрів не дозволяє обґрунтовано оцінити точність позиціонування.

У реальному середовищі можуть виникати ситуації, коли сигнал проходить через декілька стін або відбивається від металевих поверхонь. У таких випадках оцінка відстані за RSSI може значно відрізнятися від фактичного значення. Тому алгоритм повинен передбачати перевірку допустимого діапазону вимірювань та виявлення аномальних відхилень. Вимірювання з великою невизначеністю доцільно використовувати з меншою вагою або виключати після перевірки встановлених критеріїв.

Розрахунок координат методом зваженої мультилатерації

Після визначення відстаней до опорних точок виконується геометричне обчислення положення мобільного об'єкта. Для двовимірної системи координат кожне вимірювання формує коло з центром у відповідному опорному вузлі. Шукане положення повинно відповідати точці, відстані від якої до опорних вузлів узгоджуються з отриманими значеннями. За відсутності похибок кола можуть перетинатися в одній точці. У реальних умовах такого точного перетину зазвичай немає, тому необхідно використовувати наближений чисельний розрахунок.

Для i-ї опорної точки геометрична модель має вигляд

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2,$$

де x, y є невідомими координатами об'єкта, x_i, y_i визначають координати опорного вузла, а d_i характеризує оцінену відстань. Якщо доступні три або більше незалежних вимірювань, формується система рівнянь. Її розв'язок визначає положення об'єкта в локальній системі координат.

Оскільки оцінки відстаней містять похибки, доцільно застосовувати метод зважених найменших квадратів. Його цільова функція визначається співвідношенням

$$J(x,y) = \sum (i=1)^{(m)} w_i \left(\sqrt{((x-x_i)^2 + (y-y_i)^2)} - \hat{d}_i \right)^2,$$

де m є кількістю опорних вузлів, $\hat{d}_i$ означає оцінену відстань, а w_i визначає вагу вимірювання. За умови відомої дисперсії σ_i^2 та незалежності похибок можна використовувати вагу $w_i = 1/\sigma_i^2$. Таким чином, вимірювання з меншою невизначеністю мають більший вплив на результат.

Для мінімізації цільової функції може застосовуватися ітераційний метод Гаусса-Ньютона. Початкова оцінка координат визначається на основі розташування опорних точок або попереднього положення об'єкта. На кожній ітерації обчислюються прогнозовані відстані, залишки вимірювань і матриця похідних. Після цього визначається поправка координат. Процес завершується після досягнення заданої точності збіжності або встановленої кількості ітерацій.

Матриця похідних для i-го вимірювання містить компоненти

$$H_i = [(x-x_i)/(r_i), (y-y_i)/(r_i)],$$

де $r_i = \sqrt{((x-x_i)^2 + (y-y_i)^2)}$. Ці компоненти характеризують зміну прогнозованої відстані під час зміщення шуканої точки. На їхній основі формується нормальна система рівнянь, яка використовується для обчислення наступного наближення.

Для ілюстрації програмної реалізації можна використати бібліотеку NumPy. Вона забезпечує операції над векторами та матрицями. Наведена функція виконує ітераційне оцінювання координат за декількома відстанями. У коді передбачено перевірку кількості опорних вузлів та геометричної придатності їхнього розташування.

```
import numpy as np

def estimate_position(
    anchors,
    distances,
    uncertainties,
    max_iterations=50,
    tolerance=1e-5
```

```
):
    # Вхідні координати опорних вузлів
    anchors = np.asarray(anchors, dtype=float)
    distances = np.asarray(distances, dtype=float)
    uncertainties = np.asarray(uncertainties, dtype=float)
    if anchors.ndim != 2 or anchors.shape[1] != 2:
        raise ValueError("Очікуються двовимірні координати")
    count = len(anchors)
    if count < 3:
        raise ValueError("Недостатня кількість опорних точок")

    if distances.shape != (count,):
        raise ValueError("Некоректна кількість відстаней")

    if uncertainties.shape != (count,):
        raise ValueError("Некоректна кількість похибок")
    if not all(np.isfinite(a).all() for a in
               (anchors, distances, uncertainties)):
        raise ValueError("Виявлено некоректні числові дані")
    if np.any(distances <= 0) or np.any(uncertainties <= 0):
        raise ValueError("Відстані та похибки мають бути додатними")
    # Перевірка просторового розташування вузлів
    geometry = anchors[1:] - anchors[0]
    if np.linalg.matrix_rank(geometry) < 2:
        raise ValueError("Опорні точки розміщені колінеарно")
    # Початкова оцінка координат
    position = np.mean(anchors, axis=0)

    # Ваги визначаються невизначеністю відстаней
    weights = 1.0 / np.square(uncertainties)

    for _ in range(max_iterations):
        delta = position - anchors
        predicted = np.linalg.norm(delta, axis=1)

        # Захист від ділення на нуль
        predicted = np.maximum(predicted, 1e-9)

        # Залишки між виміряними та
        # прогнозованими відстанями
        residuals = distances - predicted

        # Матриця похідних
        jacobian = delta / predicted[:, None]

        normal = jacobian.T @ (
            weights[:, None] * jacobian
        )

        right = jacobian.T @ (weights * residuals)

        if np.linalg.cond(normal) > 1e10:
            raise ValueError("Нестійка геометрія вимірювань")

        correction = np.linalg.solve(normal, right)
        position = position + correction

        # Контроль збіжності
        if np.linalg.norm(correction) < tolerance:
            return tuple(position)

    raise RuntimeError("Алгоритм не досяг збіжності")
```

Наведена функція демонструє базову реалізацію зваженої мультилатерації. Вона не містить повного механізму робастної обробки викидів, тому її використання передбачає попередню перевірку вхідних відстаней. Значення uncertainties повинні характеризувати оцінену невизначеність кожного вимірювання. Якщо такі величини невідомі, їх необхідно визначити експериментально або використовувати обґрунтовану альтернативну модель ваг.

Після отримання координат потрібно оцінити нев'язки окремих вимірювань. Для кожного вузла визначається різниця між фактично використаною оцінкою відстані та відстанню, розрахованою за знайденими координатами. Значна нев'язка може свідчити про вплив багатопроменевого поширення, неправильні координати опорного вузла або помилкове вимірювання. У такому випадку доцільно виконати повторну перевірку з використанням робастної функції втрат.

Для підвищення стійкості алгоритму може застосовуватися функція втрат Губера. Вона зберігає квадратичну залежність для невеликих залишків і зменшує вплив великих відхилень. Такий підхід дозволяє обмежити вплив окремих аномальних вимірювань без автоматичного виключення всіх значень, які відрізняються від прогнозованих. Порогове значення переходу між режимами функції повинно визначатися відповідно до статистичних характеристик вимірювань.

Інтеграція геометричних оцінок із даними Apple Location Services

Після виконання мережевої мультилатерації система отримує оцінку положення в локальній системі координат. Для її зіставлення з результатом Apple Location Services необхідно виконати перетворення до спільної координатної системи. Якщо розрахункова область має невеликі розміри, доцільно використовувати локальну систему East-North-Up, орієнтовану відносно геодезичної опорної точки. Вона дозволяє представляти горизонтальні зміщення в метрах. Для більших територій необхідно застосовувати повноцінні геодезичні перетворення з урахуванням форми Землі.

Основним завданням об'єднання результатів є визначення остаточних координат з урахуванням невизначеності кожного джерела. При цьому необхідно враховувати можливу статистичну залежність оцінок. Apple Location Services може використовувати ті самі Wi-Fi-мережі, які входять до незалежної системи позиціонування. Тому помилки двох оцінок можуть бути корельованими. Без урахування цієї обставини просте зважене усереднення здатне призвести до необґрунтованого зменшення розрахункової похибки.

За умови підтвердженої незалежності похибок та наявності оцінок їхніх коваріаційних матриць можна застосовувати статистичне об'єднання координат. Нехай p_a є оцінкою Apple Location Services, p_n характеризує результат мережевого позиціонування, а P_a і P_n є відповідними коваріаційними матрицями. Тоді об'єднана оцінка визначається співвідношенням

$$\hat{p} = \left(P_a^{(-1)} + P_n^{(-1)}\right)^{(-1)} \left(P_a^{(-1)} p_a + P_n^{(-1)} p_n\right).$$

Ця модель придатна лише за виконання її статистичних припущень. Значення horizontalAccuracy не слід безпосередньо підставляти як стандартне відхилення без попереднього обґрунтування відповідного перетворення.

Якщо незалежність оцінок не підтверджена, доцільно використовувати механізм вибору джерела або консервативне об'єднання без необґрунтованого зменшення невизначеності. Наприклад, за недостатньої кількості мережевих опорних точок основним результатом може залишатися системна геолокація. Якщо геометрична модель має придатну конфігурацію та пройшла перевірку калібрування, її результат може використовуватися для локального уточнення. Остаточне рішення повинно враховувати результати експериментального порівняння з еталонними координатами.

Для рухомого об'єкта додатково необхідно виконувати часову фільтрацію. Вона дозволяє зменшувати короткочасні коливання координат і враховувати попередній напрямок переміщення. Як математичну основу можна використовувати фільтр Калмана зі станом $x_k = \left[x_k, y_k, v_{(x,k)}, v_{(y,k)}\right]^T$. До нього

включаються горизонтальні координати та компоненти швидкості. Перехід між станами визначається інтервалом часу між вимірюваннями.

Для моделі рівномірного руху матриця переходу має вигляд

$$F_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

де Δt означає тривалість інтервалу між оновленнями. На етапі прогнозування обчислюються очікувані координати та коваріаційна матриця стану. Після надходження нового вимірювання виконується коригування прогнозу. Для практичного використання необхідно визначити моделі шуму процесу та вимірювань, а також врахувати можливі різкі зміни напрямку руху.

За відсутності нових даних алгоритм може тимчасово використовувати прогнозоване положення. Однак невизначеність такого прогнозу зростає зі збільшенням часу від останнього вимірювання. Тому потрібно встановити максимальний допустимий інтервал прогнозування. Після його перевищення координати повинні позначатися як застарілі. Це запобігає відображенню прогнозованого положення як достовірно визначеної поточної позиції.

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

Програмне забезпечення системи високоточного позиціонування на основі Apple Location Services із використанням алгоритмів мережевої триангуляції призначене для визначення просторового положення мобільного пристрою шляхом поєднання системних геолокаційних даних і результатів вимірювання параметрів бездротової мережі.

Робота програмного комплексу передбачає отримання координат через Core Location, оброблення характеристик сигналів від опорних мережевих вузлів та уточнення місцезнаходження методами геометричної мультилатерації.

Для виконання розрахунків використовується інформація про координати опорних точок, оцінені відстані та невизначеність вимірювань. Головне вікно програми показано на рисунку 5.1.

Для впровадження запропонованої системи необхідно підготувати мобільне та серверне програмне середовище. Мобільний компонент повинен працювати на пристрої Apple з підтримкою служб геолокації.

Його основним завданням є отримання дозволених операційною системою координат, часових позначок і характеристик точності.

Серверний компонент відповідає за оброблення мережевих вимірювань, виконання математичних розрахунків та формування результату позиціонування.

Мобільний застосунок може бути реалізований мовою Swift із використанням фреймворку Core Location. Цей програмний інтерфейс забезпечує взаємодію із системними службами визначення місцезнаходження.

Для отримання геолокаційних даних використовується об'єкт CLLocationManager, який дозволяє керувати запитами координат та контролювати стан дозволів користувача.

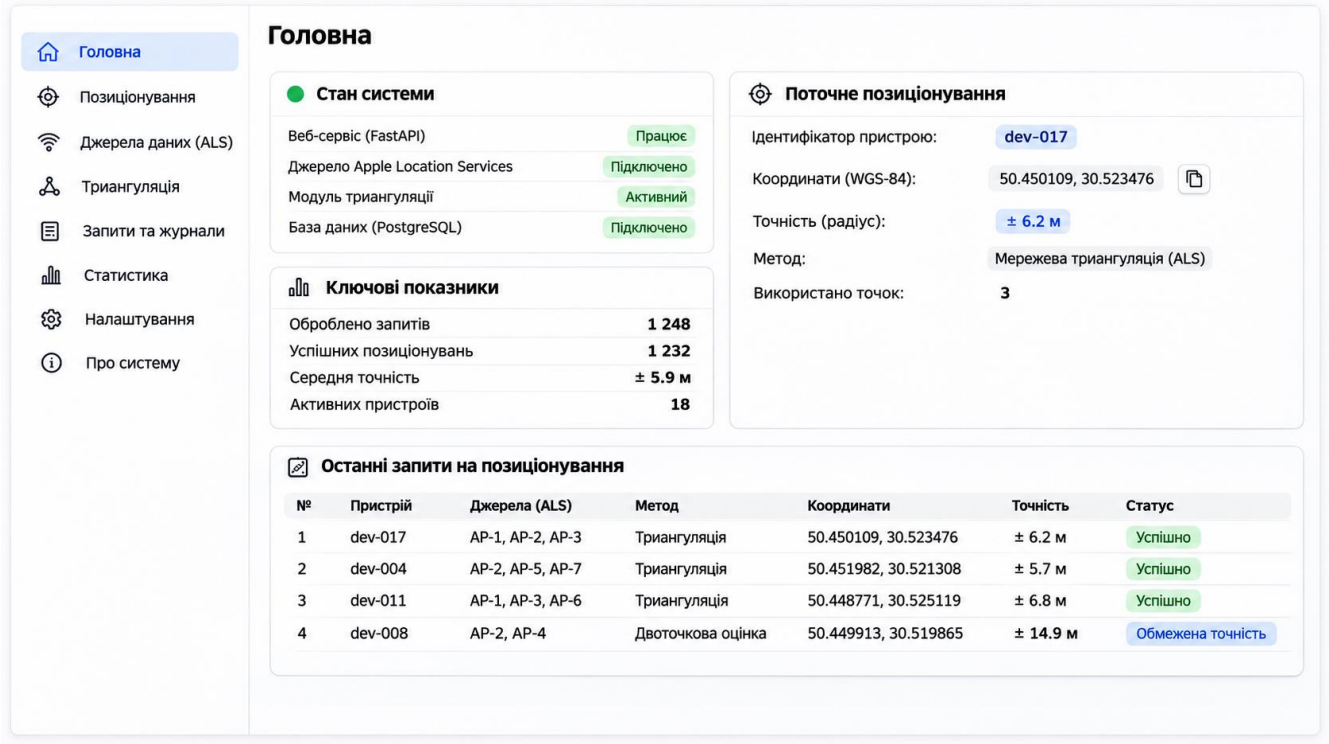


Рисунок 5.1 – Головне вікно ПЗ

Під час підготовки застосунку необхідно налаштувати декларації використання геолокації відповідно до вимог iOS. Окремо визначається режим отримання координат і необхідність доступу до точного місцезнаходження.

Для серверної реалізації алгоритмів позиціонування доцільно застосувати Python із бібліотекою NumPy. Вона забезпечує операції над матрицями, векторами та числовими масивами, необхідні для розв'язання задач мультилатерації.

Для складніших процедур оптимізації може використовуватися SciPy. Перед встановленням програмних залежностей необхідно перевірити сумісність версії Python із вибраними бібліотеками. Для ізоляції робочого середовища рекомендується створити окреме віртуальне середовище Python. Після встановлення залежностей перевіряється доступність математичних модулів та коректність виконання основних обчислювальних операцій.

Апаратна частина системи повинна містити мобільний пристрій і мережеву інфраструктуру з відомими координатами опорних вузлів.

Для двовимірного позиціонування методом трилатерації необхідно передбачити щонайменше три геометрично придатні опорні точки. Вони не повинні розташовуватися на одній прямій.

Для отримання надлишкових вимірювань доцільно використовувати більшу кількість вузлів. Опорними елементами можуть бути точки доступу Wi-Fi або спеціалізоване обладнання, здатне надавати параметри прийнятого радіосигналу через доступні програмні інтерфейси.

Під час налаштування необхідно враховувати обмеження платформи Apple. Core Location повертає системну оцінку місцезнаходження, але не надає універсального доступу до вимірювань від усіх навколишніх точок Wi-Fi.

Тому отримання значень RSSI від декількох опорних вузлів доцільно організувати через обладнання контрольованої мережевої інфраструктури. Для цього необхідно перевірити можливості керування точками доступу, доступність відповідних інтерфейсів і підтримку передавання вимірювань до серверного компонента.

Підготовка опорної мережі починається з визначення області позиціонування та вибору локальної системи координат. Для кожного вузла встановлюється його положення відносно спільної початкової точки.

Отримані координати заносяться до конфігурації серверного компонента. Додатково зберігаються ідентифікатори вузлів та характеристики радіоінтерфейсів. Якщо результати необхідно відображати в географічній системі координат, виконується прив'язка локальної області до WGS 84. Перед використанням системи потрібно перевірити правильність координат і відповідність ідентифікаторів фактичному обладнанню.

Наступним етапом є калібрування моделі поширення радіосигналу. Для цього в контрольних точках із відомими координатами виконуються вимірювання RSSI. Отримані значення використовуються для визначення опорного рівня сигналу та коефіцієнта його ослаблення залежно від відстані.

Калібрування бажано виконувати в різних частинах приміщення з урахуванням перешкод і особливостей розташування обладнання. Результати

зберігаються серед параметрів опорних вузлів. Використання некаліброваних значень може спричиняти значні похибки під час розрахунку координат.

Для ідентифікації програмного продукту необхідно передбачити відображення відомостей про його розробника. Такі дані дозволяють встановити зв'язок програмної реалізації з відповідною магістерською кваліфікаційною роботою. Інформацію про авторство доцільно розміщувати в окремому інформаційному розділі застосунку. Вона не повинна містити конфіденційних параметрів серверного середовища або персональних геолокаційних записів користувачів. Авторські дані розробленого програмного забезпечення представлено на рисунку 5.2.

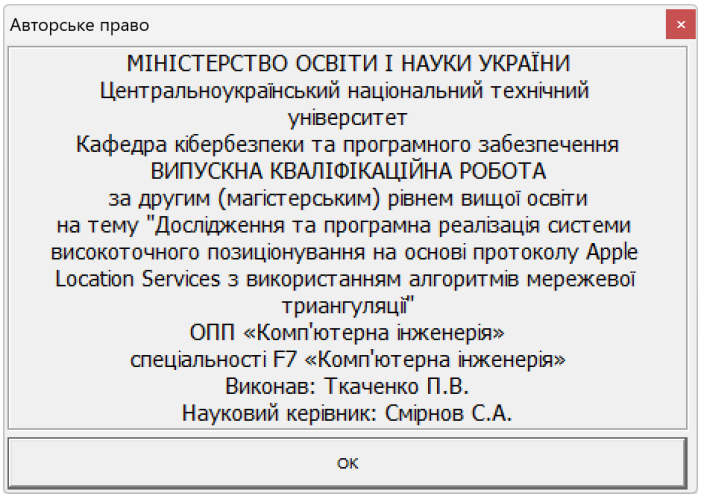


Рисунок 5.2 – Шаблона форма авторського права

Для взаємодії мобільного застосунку із серверною частиною доцільно використовувати захищений програмний інтерфейс. Передавання даних може здійснюватися через HTTPS із застосуванням структурованих повідомлень JSON. До повідомлення включаються координати Core Location, час отримання, оцінка горизонтальної точності та ідентифікатор вимірювання.

Сервер додатково отримує мережеві характеристики від опорної інфраструктури. Для коректного зіставлення даних необхідно забезпечити синхронізацію часу компонентів і контроль допустимої затримки повідомлень.

Рекомендована послідовність запуску починається з перевірки доступності мережевих опорних вузлів і серверного середовища. Після цього активується компонент отримання радіовимірювань та перевіряється завантаження калібрувальних параметрів. Наступним запускається серверний модуль геометричних розрахунків і програмний інтерфейс обміну даними. На мобільному пристрої запускається застосунок, перевіряється стан дозволів на геолокацію та активується отримання координат. Після встановлення захищеного з'єднання система може передавати вимірювання для подальшого оброблення.

Первинна перевірка працездатності передбачає отримання координат від Core Location та контроль їхньої актуальності.

Далі перевіряється надходження характеристик радіосигналу від опорних вузлів. За наявності достатньої кількості вимірювань сервер обчислює оцінені відстані й виконує мультилатерацію. Результат повинен містити координати в узгодженій системі відліку та відомості про якість розрахунку. Якщо кількість опорних точок недостатня або геометрична конфігурація нестійка, система повинна повідомити про неможливість отримання достовірної мережевої оцінки.

У процесі експлуатації необхідно контролювати доступність опорної інфраструктури, актуальність калібрувальних параметрів, затримку передавання вимірювань і правильність виконання розрахунків. У разі втрати окремих мережевих вузлів сервер повинен перевіряти можливість подальшого позиціонування.

Якщо необхідні умови не виконуються, мережевий результат позначається як недоступний. Геолокаційні дані користувача повинні оброблятися лише в межах наданих дозволів із застосуванням відповідних обмежень доступу та строків зберігання.

6 НАУКОВА НОВИЗНА

У випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Об'єктом дослідження є процес високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Предметом дослідження є методи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів. У процесі рішення завдань, обумовлених цілями дослідження, отримані наступні результати:

– Удосконалено метод високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

– Розроблено вітчизняний продукт високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції, який має більш широкі можливості, на відміну від існуючих аналогів.

7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

7.1 Вступ

Аналізуючи умови працівників ІТ-сфери, на перший погляд, може здатися, що працівники сфери інформаційних технологій не схильні до ризиків на виробництві, та якщо більш глибоко розглянути умови і специфіку праці фахівців сфері ІТ-індустрії, можна виявити ряд факторів які будуть мати негативний сплив на стан охорони праці, та на самого ІТ-фахівця зокрема.

Сюди можна віднести як невідповідність освітлення, так і високий рівень шуму, що негативно позначатимуться як на емоційному так і на фізичному стані фахівця, призводитимуть до зниження ефективності праці та виробничих травм.

Також, важливим моментом охорони праці ІТ-фахівця є врахування його психологічних можливостей (швидкість реакції, особливості пам'яті та уваги, емоційний стан тощо). Для того, щоб забезпечити ефективну роботу ІТ-фахівця, потрібно враховувати та максимально компенсувати такі негативні фактори як: надмірне нервово-емоційне навантаження, довготривалі статичні перевантаження, обмежена рухова активність.

Всі ці чинники призводить до різноманітних відхилень у стані здоров’я, зокрема до перевтоми, зниження фізичної та розумової працездатності, неврозів, захворювань серцево-судинної системи тощо.

Метою даного розділу є огляд конкретних умов праці спеціаліста у сфері ІТ-індустрії. Завданнями для даного розділу є: аналіз умов праці на робочому місці фахівця ІТ-індустрії, розробка конкретних рекомендацій щодо покрашення умов праці фахівців ІТ-індустрії, огляд пожежної безпеки на ІТ-підприємстві та розрахунок системи загального штучного освітлення виробничого приміщення де працюють ІТ-фахівці.

7.2 Аналіз умов праці на робочому місці ІТ-фахівця

На робочому місці ІТ-фахівця (або програміста) виникають небезпечні та шкідливі для безпечної життєдіяльності фактори:

– підвищений рівень шуму;

– недостатній рівень освітленості;

– шкідливі речовини;

– підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот;

– висока напруга електричної мережі;

– статична електрика та інші.

Робота супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи. Таким чином, вивчення умов праці на робочому місці програміста є необхідною умовою запобігання негативних наслідків впливу небезпечних та шкідливих факторів. Робоче місце, добре пристосоване до трудової діяльності інженера, правильно і доцільно організоване, щодо простору, форми, розміру забезпечує йому зручне положення при роботі і високу продуктивність праці при найменшому фізичному і психічному напруженні.

Нормування параметрів проводиться в залежності від періоду року та категорії важкості виконуваних робіт. Для постійних робочих місць, якими є робочі місця ІТ-фахівців, встановлені оптимальні параметри мікроклімату, а за неможливості їх дотримання використовують допустимі параметри. Робота ІТ-фахівця за важкістю відноситься до Іа (роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження) та Іб (роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням) категорій. В таблиці 7.1. наведені оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях.

Виміряні за допомогою приладів температура та вологість у приміщеннях праці ІТ-фахівців повинні відповідати зазначеним у таблиці для теплого періоду року.

Таблиця 7.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	22...24°С; 40... 60%; до 0,1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	23...25 °С 40...60% 0,1...0,2 м/с

Слід зазначити, що для нормалізації параметрів мікроклімату слід використовувати у приміщеннях кондиціювання повітря, або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції. Норми подачі свіжого повітря наведені у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Норми подачі свіжого повітря в приміщення

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата свіжого повітря, що подається в приміщення, $м^3$ на одну людину в годину
Об'єм до 20 $м^3$ на людину 20... 40 $м^3$ на людину Більше 40 $м^3$ на людину	Не менше 30 Не менше 20 Може бути використана природна вентиляція

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості, позитивно впливає на продуктивність

праці. Забарвлення приміщень і меблів повинні сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою. У службових приміщеннях, у яких виконується одноманітна розумова робота, що вимагає значної нервової напруги і великого зосередження, забарвлення повинно бути спокійних тонів – мало насичені відтінки холодного зеленого або блакитного кольорів.

При розробці оптимальних умов праці програміста необхідно враховувати освітленість. Раціональне освітлення робочого місця є одним з найважливіших факторів, що впливають на ефективність трудової діяльності людини, що попереджають травматизм і професійні захворювання. Правильно організоване освітлення створює сприятливі умови праці, підвищує працездатність і продуктивність праці. Освітлення на робочому місці програміста повинно бути таким, щоб працівник міг без напруги зору виконувати свою роботу. Стомлюваність органів зору залежить від ряду причин: недостатність освітленості; надмірна освітленість; неправильний напрям світла. Недостатність освітлення приводить до напруги зору, ослабляє увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до нещасного випадку або профзахворювань. [2]

7.3 Пропозиції щодо підвищення працездатності ІТ-фахівців

Поява та впровадження нових інформаційно-комунікаційних технологій зумовлює необхідність подальшого вдосконалення охорони праці фахівців ІТ-індустрії. Все це потребує розробки нових нормативно-правових актів з регламентації праці та відпочинку фахівців ІТ-індустрії і стандартів підприємств, центрів комп'ютерної техніки, центрів інформаційних технологій, сучасних комп'ютерних класів. Для підвищення розумової працездатності то зорової роботи повинна здійснюватися ергономічна оптимізація в рамках

системи «оператор-термінал», яка сприятиме результативній фізичній та інтелектуальний працездатності і відновленню психосоматичного здоров'я фахівців ІТ-індустрії. Всі наведені заходи щодо вдосконалення охорони праці фахівців ІТ-індустрії повинні контролюватися службою охорони праці та комісією з охорони праці підприємства. Особливе значення у соціальному захисті цієї категорії працівників належить прийняття комплексного договору, який може забезпечити фахівців додатковими пільгами та компенсаціями.

Для більшого розуміння, пропозиції щодо підвищення працездатності ІТ-фахівців, розіб'ємо на декілька категорій:

1. Середовище і розпорядок праці. Для мінімізації негативних ефектів, що пов'язані з перевтомленням ІТ-фахівців, потрібно чітко прописати і реалізувати графік періодів праці-відпочинку, щоб фахівець міг можливість переключити увагу, дати можливість відпочити очам, мозку, елементарно, встати розім'яти ноги. Також потрібно зробити максимально комфортними умови мікроклімату у офісному приміщенні, де працюють ІТ-фахівці. Мається на увазі встановлення і експлуатація, коли виникає необхідність, кондиціонерів, опалення, та системи вентиляції, задля попередження перегрівання, переохолодження ІТ-фахівців, і подальшої неможливості ними виконувати свої функції. Також, за можливості, нами пропонується введення практики віддаленої праці ІТ-фахівцями, якщо роботодавець не може забезпечити оптимальні і безпечні умови в офісному приміщенні, або якщо фахівця вони не влаштовують із певних причин.

2. Фізичні і психоемоційні чинники. Першим і найважливішим чинником, що впливає на працездатність ІТ-фахівців є робоче місце, і саме тому, роботодавець має забезпечити максимальний його комфорт і безпеку. Гарантією цих факторів може слугувати сертифікація меблів, що використовуються на підприємстві ІТ-галузі. Тому нами пропонується закупівля тільки меблів, які пройшли сертифікацію на відповідність. Під психоемоційними чинниками ми розуміємо гарне самопочуття фахівців, позитивний настій, гарний психологічний клімат у колективі, тощо. Задля того, щоб психоемоційні чинники мали максимально позитивний ефект, керівництву слід поводити

заходи, які сприятимуть укріпленню і покращенню міжособистісних стосунків у колективі, таких як психологічні тренінги, таймбілдінг, спортивні змагання і естафети. Також, сюди можна віднести розробку і впровадження системи мотивації працівників, як фінансової, так моральної і адміністративної.

7.4 Розрахунок системи загального штучного освітлення виробничого приміщення де працюють ІТ-фахівці

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення, яке відповідало б вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», ДСАНПІН 3.3.2.007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Приміщення для роботи із ПЕОМ повинні мати природне й штучне освітлення. Віконні прорізи повинні бути орієнтовані на північ або на північний схід, забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не менш 1,5% і мати жалюзі або штори. Віконні прорізи повинні мати регульовані пристрої для відкривання, а також жалюзі, завіски, зовнішні козирки тощо. Приміщення із ПЕОМ повинні бути обладнані системою загального рівномірного освітлення. У виробничих і адміністративно-суспільних приміщеннях, де переважно ведеться робота з документами, допускається комбінована система штучного освітлення. Штучне освітлення має здійснюватися системою загального рівномірного освітлення, яка включає суцільні або такі, що перериваються, лінії світильників, розташованих збоку робочих місць (переважно ліворуч), паралельно лінії зору користувачів ПК. Світильники повинні мати розсіювачі світла. У світильниках місцевого освітлення можна використовувати лампи накалювання. При розміщенні ПК по периметру приміщення лінії світильників штучного освітлення повинні розміщуватися локально над робочими місцями. Система освітлення робочого місця користувача ПК має відповідати наступним вимогам (рис. 7.1).



Рисунок 7.1 – Вимоги до системи освітлення робочого місця користувача ПК

Освітленість на робочому столі користувача в зоні розташування документів має бути в межах 300-500 лк. Якщо цей рівень освітленості неможливо забезпечити системою загального освітлення то допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану (яскравість відблисків не повинна перевищувати 40 кд/м^2) та перевищення його освітленості більше ніж 300 лк. Яскравість світильників загального освітлення, а також яскравість стелі при застосуванні системи відбитого освітлення не повинна перевищувати 200 кд/м^2. Величина коефіцієнта пульсації освітленості не повинна перевищувати 5%. Що стосується розподілу яскравості в полі зору працюючих за дисплеями ПК, то відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1

Проведемо розрахунок штучного освітлення за методом коефіцієнта використання світлового потоку для приміщення ширина якого складає 6 м, довжина – 7 м, висота – 2,9 м. У зазначеному приміщенні працює 7 людей.

Для того, щоб визначити потрібну кількість світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою [1]:

$$F = E \cdot S \cdot K \cdot Z / n,$$

де:

F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; *E = 300 Лк;*

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=6 х 7 = 42 $м^2$);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку *K = 1,5);*

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1.1... 1.2, в нашому випадку *Z = 1,1*);

n – коефіцієнт використання світлового потоку, (відношення світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в долях одиниці [8]; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{стін.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{стін}$ = 50% і $\rho_{стелі}$ = 50%.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$i = S/(h \cdot (A+B)),$$

де:

S – площа приміщення, *S* = 42 $м^2$*;*

h – розрахункова висота підвісу, *h* = 2,9 *м (співпадає з в*исотою стелі, т.я. лампи освітлення закріплюються на стелі)*;*

А – ширина приміщення, *А = 6 м;*

В – довжина приміщення, *В* = 7 *м.*

Підставимо всі значення у формулу та визначимо індекс приміщення:

i=1,4.

Знаючи індекс приміщення, за довідковими даними знаходимо n = 0,29 (з табличних даних коефіцієнтів використання світлового потоку (n) світильників з відповідним типом лампам) [8]. Підставимо всі значення у формулу, визначимо світловий потік: F=71689 Лм.

Для розрахунку будемо використовувати світлодіодні стельові панелі Delux LED Panel 41 44Вт., світловий потік яких $F_л$ = 3600 *Лм.*

Кількість світильників визначається по формулі:

$$N=F/F_л$$

де:

F – світловий потік,

$F_л$ – світловий потік однієї лампи.

Підставимо всі значення у формулу та визначимо кількість світильників приміщення:

N= 71689 / 3600=19,9 шт.

Приймаємо необхідну кількість світлодіодних світильників 20 шт.

7.5 Висновки до розділу

Дотримання всіх необхідних умов праці не лише сприяє збереженню здоров’я працівників, а також підвищує ефективність виробництва в цілому.

З цих міркувань було здійснено аналіз умов праці на робочому місці ІТ-фахівця, призначеного для праці програмістів, проведено розгляд небезпечних та шкідливих факторів, що негативно впливають на програмістів під час роботи. Виконано розрахунок штучного освітлення, як одного з ключових факторів впливу на працездатність та здоров’я програміста. Розроблено заходи з умов поліпшення охорони праці.

8 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Програмне забезпечення, створене в результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, призначено для системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

В межах України в недостатній мірі представлені вітчизняні розробки в цій області.

У випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

– Був проведений огляд існуючих систем високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

– Досліджена система високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції.

Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності

предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Розроблене програмне забезпечення має простий, дружній та зручний інтерфейс користувача, що забезпечує легкість у освоєнні роботи програмного продукту, зручність у використанні, і не потребує особливих спеціальних знань.

При створені програмного забезпечення було використано об'єктно-орієнтований підхід, що відповідає сучасним тенденціям у галузі розробки комерційних програмних систем.

Програма реалізована на мові високого рівня Python. Дана мова програмування дозволяє найбільш ефективно обробляти дані. Це дозволило мінімізувати строк розробки програмного забезпечення, і, як слід, зменшити витрати на його розробку. Запропоноване програмне забезпечення ділиться на загальне програмне забезпечення, що поставляється із засобами обчислювальної техніки й спеціальне програмне забезпечення, що спеціально розроблене для даної конкретної системи й включає програми, що реалізують її функції.

Програма призначена для виконання під управлінням багатозадачної операційної системи iOS.

Даються необхідні рекомендації з установки розробленого програмного забезпечення.

В цілому створене програмне забезпечення підтверджує правильність використаних проектних рішень та повністю відповідає вимогам технічного завдання. Створене програмне забезпечення має потенційну можливість для подальшого вдосконалення і застосування у різних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткаченко П.В. Дослідження та програмна реалізація системи високоточного позиціонування на основі протоколу Apple Location Services з використанням алгоритмів мережевої триангуляції // Збірник праць молодих науковців ЦНТУ. – Вип. 17. – Кропивницький: ЦНТУ, 2027.
2. JJ Geewax. API Design Patterns. Manning Publications Co. 2021. 481 p.
3. Prateek Prasad. App Design Apprentice. Razeware LLC. 2020. 272 p.
4. Dawn Griffiths, David Griffiths. Head First Android Development. O'Reilly Media, Inc. 2021. 1414 p.
5. Nathan Metzler. Kotlin Programming for Beginners. Independently published. 2021. 158 p.
6. Aaron Torres. Go Programming Cookbook Second Edition. Packt Publishing Ltd. 2019. 427 p.
7. Мелешко Є.В., Якименко М.С., Поліщук Л.І. Алгоритми та структури даних: Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форми навчання. – Кропивницький: Видавець – Лисенко В.Ф., 2019. – 156 с.
8. Knuth D. The Art of Computer Programming, Vol. 1: Fundamental Algorithms, 3rd Edition 3rd Edition. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 672 p.
9. Knuth D. Art of Computer Programming, Vol. 2: Seminumerical Algorithms 3rd Edition, Kindle Edition. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 672 p.
10. Knuth D. The Art of Computer Programming: Vol. 3: Sorting and Searching 2nd Edition, Kindle Edition. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 800 p.
11. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms, 3rd Edition (The MIT Press) 3rd Edition – The MIT Press, 2019. – 1292 p.
12. Богаченко, С., Смірнов, О., Буравченко, К., Смірнова, Т.,

Конопліцька-Слободенюк, О., Якименко, Н., Смірнов, С. «Обмеження ресурсів мобільних та edge-платформ при розробці програмного забезпечення для реалізації та оптимізації моделей машинного навчання». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2026, т. 2 № 34, С. 677-686.

13. Смірнов, О., Ткачук, Р., Козірова, Н., Константинова, Л., Конопліцька-Слободенюк, О., Якименко, Н., Смірнов, С.. «Дослідження застосування векторних баз даних у генеративному штучному інтелекті». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2026, Том 1 № 33, 667-682.

14. Вінтенко Б.Ю., Смірнова Т.В., Миронець І.В., Смірнов О.А., Буравченко К.О. «Метод оцінки функціональної стійкості комп'ютерно-орієнтованих процедур системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Системи управління, навігації та зв'язку,* 2026, вип. 2(84), С. 62-69.

15. Смірнова Т.В., Усік П.С., Лисенко І.А., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Методологія підтримки технологічних процесів у критичній інфраструктурі з забезпеченням безпеки інформації на основі хмарних технологій». *Безпека інформації.* 2025. Том 31 № 1. С. 49-60.

16. Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Добринчук О.А., Смірнов С.А., Якименко Н.М., Смірнов О.А. «Хмарна технологія моніторингу ключових індикаторів ефективності технологічних процесів у критичній інфраструктурі». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. № 12(43), ч. II. С. 36-54.

17. Лисенко, І., Минайленко, Р., Смірнов, С., Буравченко, К., Якименко, Н., Смірнов, О. «Дослідження інструментів штучного інтелекту для інтелектуального аналізу даних». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»,* 2025, № 3(31), С. 227–241.

18. Vintenko, B., Myronets, I., Smirnov, O., Smirnova, T. «Enhancing the Reliability of Input Data for Nuclear Power Plant Operator Support Systems». *International Conference on Sensors, Devices and Systems. SDaS 2025. Lecture Notes*

in Electrical Engineering, 2026. vol 1617. pp 3-12 Springer, Cham.

19. Смірнов О., Заріцкий В., Буравченко К., Конопліцька-Слободенюк О., Константинова Л., Якименко Н., Смірнов С. «Оптимізація розпізнавання облич за допомогою CUDA прискореної бібліотеки dlib». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»,* 2026, Том 4, № 32, С. 573-582.

20. Kuznetsov O., Frontoni E., Kuznetsova Y., Chevardin V., Smirnov O. «Architectural foundations for adaptive security in edge computing systems». *Cybersecurity Defensive Walls in Edge Computing,* 2025. pp. 21-61.

21. Вінтенко, Б.Ю., Миронець, І.В., Смірнов, О.А., Коваленко, О.В., Усік, П.С., Буравченко, К.О., Лисенко, І.А. «Логіко-структурна модель комп'ютерно-орієнтованої процедури системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том 2 № 30. С. 413-427, 2025.

22. Смірнова, Т.В. «Дослідження методів, моделей та сучасних ІТ-рішень для підтримки технологічних процесів у критичній інфраструктурі держави». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том 2 № 30. С.195-208, 2025.

23. Al-Azzeh, J., Ayyoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.

24. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В., Коваленко О.В., Мацуй А.М. «Модель шляхів отримання вхідних даних комп’ютерної інтелектуальної системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. Вип. 11(42), ч. II. С.52-62.

25. Смірнов, О.А., Константинова, Л.В., Конопліцька-Слободенюк, О.К., Козірова, Н.В, Якименко, Н.М., Доренський, О.П., Буравченко, К.О. «Дослідження інструментів штучного інтелекту для роботи з базами даних та

аналізу даних». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2025. №3(27), С. 429–448.**)**

26. Smirnov O., Fedorov E., Neskorodieva A., Neskorodieva T. «Intellectual Classification method of Gymnastic Elements Based on Combinations of Descriptive and Generative Approache». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 3664, 2024, Pages 11-23.

27. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Коваленко, А., Конопліцька-Слободенюк, О., Смірнова, Т., Константинова, Л. «Дослідження застосування систем підтримки оперативного персоналу об'єкту критичної інфраструктури при керуванні енергоблоком АЕС з реактором типу ВВЕР-1000». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»,* 2024. № 2(26), С. 6-26.

28. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2024. №3(23), С. 111-131.

29. Kuznetsov O., Ilchenko O., Kryvinska N., Buravchenko K., Smirnov O., Savchenko Iu. «An Empirical Assessment of Leading Blockchain Financial Services». *2023 IEEE 1st Ukrainian Distributed Ledger Technology Forum (UADLTF)*, Kyiv, Ukraine, 2023, pp. 1-6,

30. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 106-115.

31. Malyukov V., Bebeshko B., Lakhno V., Smirnov O., Malyukova I., Mohylnyi H. «Managing the Purchase-Sale Process of Digital Currencies Under Fuzzy Conditions». *Lecture Notes in Networks and Systems,* 2023, 729 LNNS, pp. 104–112.

32. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.

33. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O.,

Yenchev, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings,* Volume 3530, 2023, pp. 256-265.

34. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2023, 178, pp. 208–223.

35. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.

36. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2024. №3(23), С. 111-131.

37. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А., Коваленко А.С. «Дослідження нормативних документів та галузевих стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 2(72), С. 170-178.

38. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.

39. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А. «Дослідження нормативної документації та стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». VI міжнародна науково-практична конференція "Інформаційна безпека та комп'ютерні технології", м. Кропивницький. 20-21 квітня 2023 р. –

Кропивницький: ЦНТУ. – 2023. – С. 35-36.

40. Smirnov, O., Karapetyan, A., Fedorov, E., «Creating Neural Network and Single Solution Human-Based Metaheuristic Methods of Solving the Traveling Salesman Problem». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3312, 2022, pp. 47-58.

41. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w.

42. Smirnov O., Kovalenko O., Kovalenko A., Kavun S. «Quantitative Risk Assessment Method Development in the Context of the SDLC-model». 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 203-208, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772143

43. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». Communications in Computer and Information Science, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.

44. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.

45. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.

46. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.

47. Smirnov, O., Shekhanin, K., Kuznetsov, A., Krasnobayev, V. «Detecting Hidden Information in FAT». International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). Vol. 12, No. 3, 2020. PP.33-43.

48. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.

49. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaicenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.

50. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.

51. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

52. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.

53. Kuznetsova, T., «Code-Based Schemes for Post-Quantum Digital Signatures», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P. 707-712.

54. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Stefanovych, O., Gorbenko, Y., Krasnobaev, V., Kuznetsova K. «Information Hiding Using 3D-Printing Technology», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P.701-706.

55. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov,

M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.

56. Смірнов, О.А., Усік П.С., Полігенько О.О., Одарченко Р.С., Терещенко Л.Ю. «Інформаційна технологія та програмне забезпечення для підвищення ефективності планування підсистеми базових станцій стільникового зв'язку». Проблеми телекомунікацій. № 1(26). С. 83-96. 2020.

57. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. №4. С. 103-110. 2020.

58. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3(7). С. 43-62. 2020.

59. Смірнов О.А., Дрєєва Г.М., Дрєєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 2(33). с. 161-172, 2019.

60. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova., K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).