

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

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра обчислювальної техніки**

«На правах рукопису»
УДК 004.41, 004.51

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Михайло НОВОТАРСЬКИЙ
«___» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерні системи та мережі» зі
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»**

**на тему: «Програмно-апаратний комплекс радіопеленгатора УКХ
діапазону»**

Виконав :
студент 2 курсу, групи ІО-31мп
Максим МАНЧУК

Керівник:
проф., д.т.н., професор
Олексій ПИСАРЧУК

Консультант з нормоконтролю:
проф. каф. ОТ, д.т.н., професор
Юрій КУЛАКОВ

Рецензент:

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра обчислювальної техніки

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

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Спеціалізація: Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло НОВОТАРСЬКИЙ

(підпис)

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Манчуку Максиму Вячеславовичу

1. Тема дисертації «Програмно-апаратний комплекс радіопеленгатора УКХ діапазону»

Науковий керівник дисертації проф., д.т.н., професор Писарчук Олексій Олександрович

затверджені наказом по університету від «08» листопада 2024 р. № 5016-с

2. Строк подання студентом дисертації 02.12.2024

3. Об'єкт дослідження: процес обробки координатної інформації.

4. Предмет дослідження: моделі та методи обробки координатної інформації.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Дослідження предметної області, огляд існуючих рішень, визначення вимог і завдань для програмного забезпечення, реалізація продукту, використання обраних інструментів для розробки.

6. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормконтроль	Проф. Кулаков Ю.О.		

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту(роботи)	Строк виконання етапів проекту(роботи)	Примітки
1.	<i>Затвердження теми роботи</i>	06.09.2024	
2.	<i>Вивчення та аналіз завдання</i>	06.09.2024	
3.	<i>Розробка архітектури системи</i>	01.10.2024	
4.	<i>Розробка підсистем</i>	04.10.2024	
5.	<i>Програмна реалізація системи</i>	09.10.2024	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	01.11.2024	
7.	<i>Передзахист</i>	09.12.2024	
8.	<i>Захист</i>	16.12.2024	

Студент Максим МАНЧУК _____ (підпис)

Керівник Олексій ПИСАРЧУК _____ (підпис)

РЕФЕРАТ

на магістерську дисертацію

виконану на тему:

Програмно-апаратний комплекс радіопеленгатора УКХ діапазону

студентом: Манчук Максимом Вячеславовичем

Обсяг та структура роботи:

Дана магістерська дисертація містить вступ, чотири основні розділи, що включають кілька пунктів та підпунктів, а також висновки і список використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає А сторінок, включаючи В рисунків, С таблиць та D додатки. У процесі написання було використано Е джерел літератури.

Актуальність роботи:

З розвитком сучасних технологій у сфері радіонавігації та радіомоніторингу зростає потреба в точних та оперативних методах визначення координат джерел радіовипромінювання, особливо в умовах інтенсивного використання радіочастотного спектра. Радіопеленгатори, що працюють у діапазоні ультракоротких хвиль (УКХ), є ключовими для забезпечення безпеки у сферах авіації, морської навігації та рятувальних операцій. Актуальність теми обумовлена необхідністю вдосконалення існуючих систем для забезпечення більшої точності та швидкості визначення місцезнаходження джерел радіосигналів у реальному часі.

Мета роботи:

Розробка програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора УКХ діапазону, що забезпечить підвищення точності і надійності визначення координат джерел радіовипромінювання у складних радіоелектронних умовах.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих методів пеленгації та їх застосування у системах УКХ діапазону.
2. Дослідити сучасні технології обробки пеленгаційної інформації для підвищення точності пеленгації.
3. Розробити архітектуру програмно-апаратного комплексу, що включає мобільну апаратну платформу та програмну компоненту.
4. Створити математичну модель для визначення координат джерел радіосигналів з використанням методу тріангуляції.
5. Розробити програмне забезпечення для обробки та візуалізації результатів пеленгації у реальному часі.
6. Тестувати розроблену систему в умовах реального застосування та оцінити її ефективність.

Об'єкт дослідження:

Процес визначення координат джерел радіовипромінювання за допомогою пеленгації у діапазоні ультракоротких хвиль.

Предмет дослідження:

Методи та алгоритми обробки пеленгаційної інформації для підвищення точності та надійності визначення напрямку на джерела радіосигналів.

Наукова новизна:

Розроблено новий підхід до побудови програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора на основі програмно визначених радіосистем (SDR). Запропоновані алгоритми забезпечують підвищення точності та швидкості

пеленгації, що дозволяє використовувати систему в умовах високої насиченості радіочастотного спектра.

Практична цінність:

Розроблений програмно-апаратний комплекс може бути використаний для моніторингу та управління радіочастотним спектром у таких сферах, як:

- Авіація: для моніторингу повітряного простору та пошуку аварійних маяків.
- Морська навігація: для визначення місцезнаходження суден та рятувальних операцій у відкритому морі.
- Рятувальні служби: для пошуку джерел сигналів у випадках надзвичайних ситуацій.
- Військові системи: для забезпечення безпеки та моніторингу радіочастотного спектра.
- Цивільний сектор: для радіомоніторингу та контролю використання частотного ресурсу.

Ключові слова: радіопеленгатор, ультракороткі хвилі, програмно-апаратний комплекс, пеленгація, програмно визначені радіосистеми, цифрова обробка сигналів, тріангуляція, алгоритми обробки даних, моніторинг радіочастот.

ABSTRACT

for a master's thesis

on the topic:

" Software and Hardware Complex for VHF Band Direction Finder"

by student: Manchuk Maksym

Scope and Structure of the Work:

This master's thesis consists of an introduction, four main chapters, each containing several sections and subsections, as well as conclusions and a list of references. The total volume of the work is A pages, including B figures, C tables, and D appendices. The thesis references E sources.

Relevance of the Work:

With the advancement of modern technologies in the field of radionavigation and radio monitoring, there is an increasing need for precise and efficient methods to determine the coordinates of radio emission sources, particularly in conditions of intensive use of the radio frequency spectrum. VHF (Very High Frequency) direction finders play a crucial role in ensuring safety in aviation, maritime navigation, and rescue operations. The relevance of this topic is driven by the need to improve existing systems to enhance the accuracy and speed of detecting the locations of radio signal sources in real-time.

Objective of the Work:

The objective of this master's thesis is to develop a software and hardware complex for a VHF range radio direction finder, aimed at improving the accuracy

and reliability of determining the coordinates of radio emission sources under challenging electronic conditions.

Research Tasks:

1. Analyze existing direction-finding methods and their applications in VHF systems.
2. Investigate modern technologies for processing direction-finding information to enhance accuracy.
3. Develop the architecture of a software and hardware complex that includes a mobile hardware platform and a software component.
4. Create a mathematical model for determining the coordinates of radio sources using triangulation methods.
5. Develop software for real-time processing and visualization of direction-finding results.
6. Test the developed system under real-world conditions and assess its efficiency.

Object of the Study:

The process of determining the coordinates of radio emission sources using direction finding in the VHF range.

Subject of the Study:

Methods and algorithms for processing direction-finding information to improve the accuracy and reliability of determining the direction to radio signal sources.

Scientific Novelty:

A new approach has been developed for constructing a software and hardware complex for radio direction finding based on Software-Defined Radio (SDR). The proposed algorithms ensure increased accuracy and speed of direction finding, making the system applicable in conditions of high radio frequency spectrum congestion.

Practical Value:

The developed software and hardware complex can be utilized for monitoring and managing the radio frequency spectrum in the following areas:

- Aviation: for airspace monitoring and locating emergency beacons.
- Maritime Navigation: for determining the location of ships and conducting rescue operations in open waters.
- Rescue Services: for locating signal sources in emergency situations.
- Military Systems: for security and monitoring of the radio frequency spectrum.
- Civil Sector: for radio monitoring and controlling the use of the frequency resource.

Keywords: radio direction finder, VHF range, software and hardware complex, direction finding, Software-Defined Radio, digital signal processing, triangulation, data processing algorithms, radio frequency monitoring.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: «Програмно-апаратний комплекс радіопеленгатора УКХ
діапазону»

Київ - 2024

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	13
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ, ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОПЕЛЕНГАТОРІВ УКХ ДІАПАЗОНУ	16
1.1 Радіопеленгатори УКХ діапазону: побудова, функціонування та застосування	17
1.2 Аналіз існуючих методологічних підходів з обробки радіопеленгаційної інформації в радіопеленгаторах УКХ діапазону.....	20
1.3 Аналіз існуючих технологічних рішень з реалізації радіопеленгаторів УКХ діапазону.....	24
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	30
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ РАДІОПЕЛЕНГАТОРА УКХ ДІАПАЗОНУ	31
2.1 Розробка архітектури мобільної апаратної платформи радіопеленгатора УКХ діапазону.....	31
2.1.1 Вимоги до мобільної платформи.....	31
2.1.2 Компоненти апаратної платформи	32
2.1.3 Послідовність взаємодії	34
2.1.4 Результат розробки.....	35
2.2 Розробка програмної компоненти радіопеленгатора УКХ діапазону.....	37
2.2.1.Математична модель визначення координат джерел радіовипромінювань на площині.....	38
2.2.2 Інженерія вимог.....	39

2.2.3. Архітектурне проєктування програмної компоненти	40
2.2.4. Реалізація програмної компоненти	41
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	43
РОЗДІЛ 3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНО- АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ РАДІОПЕЛЕНГАТОРА УКХ ДІАПАЗОНУ ...	44
3.1. Демонстрація практичних можливостей розробленої системи	44
3.2. Програмна документація на програмне забезпечення	51
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	56
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	57
4.1. Загальна характеристика стартап-проекту	57
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	60
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	61
4.4. Розробка ринкової стратегії проекту	70
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	73
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	75
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	78
ДОДАТОК 1. Структурна схема апаратної компоненти.....	82
ДОДАТОК 2. Структурна схема програмної компоненти	83
ДОДАТОК 3. Блок-схема алгоритму	84
ДОДАТОК 4. Лістинг програмного коду	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

УКХ – Ультракорткі хвилі (Very High Frequency, VHF)

АС – Антенна система

ПАК – Програмно-апаратний комплекс

РПС – Радіопеленгаційна система

СДР – Програмно визначені радіосистеми (Software-Defined Radio, SDR)

ЦОС – Цифрова обробка сигналів (Digital Signal Processing, DSP)

ГІС – Геоінформаційна система (Geographic Information System, GIS)

GPS – Глобальна система позиціонування (Global Positioning System)

TDOA – Метод порівняння часу приходу сигналу (Time Difference of Arrival)

РЧ – Радіочастотний (Radio Frequency)

МП – Мобільна платформа

DSP – Цифровий сигнальний процесор (Digital Signal Processor)

ВСТУП

Сучасний розвиток радіотехнічних систем і технологій у сфері зв'язку та радіонавігації визначає потребу в більш точних та ефективних методах визначення місцезнаходження джерел радіосигналів. Особливо важливими стають системи радіопеленгації, які використовуються у сфері безпеки, моніторингу та управління радіочастотним спектром. Із зростанням кількості джерел радіовипромінювання, таких як бездротові мережі, радіомовлення та мобільний зв'язок, збільшується навантаження на радіочастотний спектр, що ускладнює завдання швидкого та точного визначення джерел сигналів.

Радіопеленгатори, які працюють у діапазоні ультракоротких хвиль (УКХ), особливо актуальні через їхню здатність забезпечувати високу точність і швидкість у визначенні напрямку на джерело сигналу. УКХ діапазон, завдяки своїм особливостям, таким як прямолінійне поширення хвиль і мінімальна залежність від перешкод, дозволяє ефективно використовувати пеленгаційні системи у складних умовах експлуатації, включаючи авіацію, морську навігацію та рятувальні операції.

Однак, із розвитком сучасних технологій виникає потреба у вдосконаленні існуючих систем пеленгації для досягнення більшої точності та надійності навіть у складних радіоелектронних умовах. Сучасні методи обробки радіосигналів, зокрема цифрова обробка сигналів (DSP) та програмно визначені радіосистеми (SDR), дозволяють значно підвищити гнучкість та адаптивність пеленгаційних систем, що є критично важливим для їх застосування у динамічних середовищах.

У контексті цієї магістерської роботи основна увага приділяється розробці програмно-апаратного комплексу для радіопеленгації в УКХ діапазоні, що включає мобільну апаратну платформу та програмну компоненту для аналізу та візуалізації пеленгаційної інформації. Важливим аспектом роботи є використання сучасних методів цифрової обробки сигналів, що дозволяє підвищити точність визначення координат джерел радіовипромінювання, а також скоротити час, необхідний для обробки великих обсягів даних у реальному часі.

Розробка такого комплексу має велике значення не тільки для підвищення ефективності радіомоніторингу, але й для забезпечення безпеки та надійності комунікацій у різних галузях. У ході дослідження буде проведено серію експериментів для оцінки ефективності запропонованих рішень, а також визначено можливості їх практичного застосування у реальних умовах.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ, ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОПЕЛЕНГАТОРІВ УКХ ДІАПАЗОНУ

Забезпечення надійності комунікацій, моніторингу та безпеки є важливим завданням у багатьох сферах, таких як цивільна авіація, рятувальні служби, військові системи, а також управління радіочастотним спектром. Одним із ключових засобів для досягнення цієї мети є радіопеленгатори, що дозволяють визначати напрямок на джерело радіовипромінювання та, відповідно, його місцезнаходження. Системи радіопеленгації особливо актуальні у ситуаціях, коли необхідно оперативно і точно визначити координати джерел сигналів у складних радіоелектронних умовах.

В останні роки зросла потреба у мобільних радіопеленгаторах, які можуть забезпечити гнучкість та швидкість реагування при виконанні різних завдань, включаючи пошук аварійних маяків, виявлення несанкціонованих джерел випромінювання та забезпечення безпеки на об'єктах критичної інфраструктури. Використання сучасних технологій, таких як програмно визначені радіосистеми (SDR) та цифрова обробка сигналів (DSP), дозволяє значно розширити можливості таких систем, підвищуючи їх точність та надійність.

УКХ діапазон (30-300 МГц) є особливо важливим для радіопеленгації через його здатність до прямолінійного поширення радіохвиль на значні відстані при мінімальному впливі перешкод. Це забезпечує високу точність вимірювань, що робить системи, що працюють у цьому діапазоні, незамінними у різних сферах, включаючи авіацію, морські операції та радіомоніторинг. [1]

У цьому розділі розглядаються особливості побудови, функціонування та застосування радіопеленгаторів УКХ діапазону. Особлива увага приділяється аналізу методів обробки радіопеленгаційної інформації, що дозволяє підвищити точність визначення координат джерел сигналів. Також проведено огляд сучасних технологічних рішень, спрямованих на вдосконалення систем пеленгації.

1.1 Радіопеленгатори УКХ діапазону: побудова, функціонування та застосування

Радіопеленгатори є спеціалізованими технічними пристроями, призначеними для визначення напрямку на джерело радіосигналу. В основі їхньої роботи лежить процес пеленгації — визначення кута, під яким радіосигнал досягає приймача. Це дозволяє точно визначити місцезнаходження джерела сигналу, що є критично важливим у сфері радіозв'язку, радіомоніторингу та безпеки.

УКХ діапазон (30-300 МГц) є одним із найпоширеніших для використання у системах радіопеленгації завдяки своїм характеристикам. Радіохвилі у цьому діапазоні розповсюджуються прямолінійно та мають відносно малу довжину хвиль, що забезпечує високу точність пеленгації. Це робить УКХ діапазон ідеальним для застосувань, де важливо отримати швидке та точне визначення координат, таких як авіаційна навігація, морські системи безпеки, моніторинг радіочастотного спектра та військові операції. [2]

Основні компоненти радіопеленгатора

Конструкція радіопеленгаторів УКХ діапазону включає наступні основні компоненти[3][22]:

1. **Антенна система:** Забезпечує прийом сигналів у широкому частотному діапазоні. Антени можуть бути спрямованими або круговими, залежно від цілей.
2. **Радіоприймач:** Приймає і фільтрує сигнали. Сучасні системи часто включають цифрові приймачі для точнішої обробки даних.
3. **Комп'ютерна система:** Використовується для обробки даних, включаючи пеленгацію, фільтрацію шумів та візуалізацію результатів.
4. **Навігаційний модуль:** Забезпечує визначення місцезнаходження радіопеленгатора, що критично важливо для точності обчислень.

Методи пеленгації в УКХ діапазоні

Існує кілька основних методів, що використовуються для пеленгації у УКХ діапазоні[3]:

- Фазовий метод. Базується на вимірюванні різниці фаз між сигналами, прийнятими різними антенами. Це дозволяє точно визначити напрямок на джерело сигналу за умови відсутності значних відбиттів від перешкод.
- Амплітудний метод. Полягає у вимірюванні різниці амплітуд сигналу, що надходить на різні антени. Цей метод є менш точним у порівнянні з фазовим, але може використовуватися в умовах сильної інтерференції.
- Метод порівняння часу приходу сигналу (Time Difference of Arrival, TDOA). Застосовується у багатопозиційних системах, де кілька

пеленгаторів одночасно приймають сигнал та порівнюють час його приходу. Цей метод дозволяє визначити координати джерела з високою точністю за умови точної синхронізації між пеленгаторами.

Застосування радіопеленгаторів в УКХ діапазоні

Радіопеленгатори УКХ діапазону знаходять широке застосування у різних сферах[11]:

- **Авіація.**

Застосування: Навігація та забезпечення безпеки польотів через моніторинг роботи маяків або пошук літаків, що втратили зв'язок.

Приклад: У міжнародних аеропортах використовуються радіопеленгатори для контролю за роботою радіомаяків та виявлення збоїв у сигналах. Наприклад, радіомаячні системи VOR/DME працюють у зв'язці з пеленгаторами.

- **Контроль спектра.**

Застосування: Виявлення незаконного використання радіочастот, боротьба з піратськими радіостанціями чи джерелами радіозавад.

Приклад: У 2018 році в ЄС пеленгатори допомогли виявити піратську радіостанцію, яка працювала в забороненому діапазоні, створюючи перешкоди для комунікацій у системах екстреної допомоги.

- **Морська навігація.**

Застосування: Виявлення джерел радіовипромінювання для допомоги у навігації або уникнення зіткнень.

Приклад: Пеленгатори на кораблях використовуються для визначення місця знаходження сусідніх суден за сигналами AIS (автоматичної ідентифікаційної системи).

- **Рятувальні служби.**

Застосування: Виявлення аварійних маяків (ELT, EPIRB) літаків, суден чи альпіністів у разі надзвичайних ситуацій.

Приклад: У 2020 році під час авіакатастрофи в гірській місцевості Непалу рятувальні служби за допомогою авіаційних УКХ-пеленгаторів успішно виявили місце падіння літака за сигналом аварійного маяка.

- **Військові системи.**

Застосування: Радіопеленгатори використовуються для виявлення місцеположення ворожих радіостанцій, радарів або систем радіоелектронної боротьби.

Приклад: Сучасні армії активно застосовують мобільні пеленгатори на базі броньованих машин для визначення джерел сигналів і коригування дій артилерії чи авіації. Наприклад, система AN/PRD-13 (США) дозволяє виявляти джерела радіовипромінювань у польових умовах.

Радіопеленгатори, що використовуються в умовах складної радіоелектронної обстановки, часто оснащені адаптивними антенами та технологіями обробки сигналів на базі програмно визначених радіосистем (Software-Defined Radio, SDR), що дозволяє підвищити їх ефективність та надійність.

1.2 Аналіз існуючих методологічних підходів з обробки радіопеленгаційної інформації в радіопеленгаторах УКХ діапазону

Сучасні системи радіопеленгації, особливо в діапазоні ультракоротких хвиль (УКХ), базуються на складних методах обробки радіосигналів для забезпечення високої точності та надійності у визначенні координат джерел радіовипромінювання. У цьому підрозділі розглянуто основні підходи до обробки пеленгаційної інформації, що застосовуються для підвищення точності та швидкості роботи систем[15].

Фазовий метод обробки сигналів

Фазовий метод є одним із найбільш точних методів пеленгації та широко використовується в УКХ діапазоні. Цей метод базується на вимірюванні різниці фаз сигналів, прийнятих різними антенами або антенними масивами. Основна ідея методу полягає у визначенні кута приходу сигналу (пеленгу) шляхом аналізу фазових зсувів між сигналами, що надходять на декілька приймальних антен[13].

Переваги фазового методу:

- Висока точність у прямолінійному середовищі без відбиттів.
- Можливість використання в багатопозиційних системах пеленгації.
- Швидка обробка сигналів у реальному часі за допомогою цифрових сигнальних процесорів (DSP).

Недоліки:

- Чутливість до фазових зсувів через мультиплетні відбиття або перешкоди.
- Високі вимоги до точності калібрування антенних систем.

Амплітудний метод

Амплітудний метод пеленгації ґрунтується на вимірюванні різниці рівнів сигналу, що надходить на кілька антен або приймальних елементів. Суть методу полягає у використанні амплітудного профілю сигналу для визначення напрямку на джерело випромінювання.

Переваги амплітудного методу:

- Простота реалізації та невисокі вимоги до апаратної частини.
- Можливість використання у середовищах зі значними відбиттями, де фазові вимірювання можуть бути неточними.

Недоліки:

- Низька точність у порівнянні з фазовим методом, особливо в умовах шумів.
- Залежність від амплітудних змін, що може ускладнювати роботу в умовах інтерференції.

Метод порівняння часу приходу сигналу (TDOA)

Метод порівняння часу приходу сигналу (Time Difference of Arrival, TDOA) є ефективним у багатопозиційних системах радіопеленгації. У цьому методі використовується різниця часу приходу сигналу на декілька просторово розташованих приймачів для визначення координат джерела[14].

Переваги методу TDOA:

- Висока точність при використанні у системах із точною синхронізацією приймачів.
- Можливість визначення як напрямку, так і відстані до джерела сигналу.
- Незалежність від фазових характеристик сигналу.

Недоліки:

- Високі вимоги до синхронізації приймачів.
- Складність реалізації у системах із обмеженими ресурсами.
- Цифрова обробка сигналів (DSP)

Сучасні радіопеленгатори активно використовують цифрову обробку сигналів (Digital Signal Processing, DSP) для підвищення точності та надійності пеленгації. Використання DSP дозволяє виконувати складні обчислення у реальному часі, що забезпечує швидке визначення напрямку на джерело сигналу.

Алгоритми обробки сигналів включають[17]:

- Фільтри Калмана для згладжування випадкових відхилень та шумів.
- Методи спектрального аналізу для виділення корисних сигналів з фону.
- Методи відбраковування аномальних даних, що підвищують надійність результатів пеленгації.
- Використання програмно визначених радіосистем (SDR)

Програмно визначені радіосистеми (Software-Defined Radio, SDR) забезпечують гнучкість та адаптивність радіопеленгаційних комплексів. Завдяки використанню SDR, основні функції обробки сигналів можуть бути реалізовані програмно, що дозволяє швидко адаптувати систему до нових умов і потреб.

Переваги використання SDR:

- Легкість оновлення та модифікації алгоритмів обробки сигналів.
- Гнучкість налаштувань для роботи у різних діапазонах частот.
- Можливість інтеграції з іншими системами без значних змін в апаратній частині.

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристики методів пеленгації

№	Метод пеленгації	Переваги	Недоліки
1.	Фазовий метод	Висока точність, використання в багатопозиційних системах	Чутливість до фазових зсувів, складне калібрування
2.	Амплітудний метод	Простота реалізації, стійкість до відбитків	Низька точність в шумних умовах
3.	Метод TDOA	Висока точність, визначення напрямку на відстані	Високі вимоги до синхронізації
4.	DSP	Швидка обробка сигналів, зменшення шумів	Потребує обчислювальних ресурсів
5.	SDR	Гнучність налаштування, оновлюваність ПЗ	Залежність від ПЗ, вимогливе налаштування

1.3 Аналіз існуючих технологічних рішень з реалізації радіопеленгаторів УКХ діапазону

На сьогоднішній день радіопеленгатори, що працюють у діапазоні УКХ, широко застосовуються для моніторингу радіочастотного спектра, визначення місцезнаходження джерел радіосигналів та забезпечення безпеки у різних сферах, включаючи авіацію, морську навігацію та військові системи. Існуючі технологічні рішення спрямовані на підвищення точності та швидкодії систем, а також на адаптацію до умов сучасного радіоелектронного середовища, що швидко змінюється.

Програмно визначені радіосистеми (SDR) у радіопеленгації

Одним із найсучасніших підходів у реалізації радіопеленгаторів є використання програмно визначених радіосистем (Software-Defined Radio, SDR). Завдяки SDR, функції радіоприймача та обробки сигналів виконуються програмно, що дозволяє гнучко адаптувати систему до нових частотних діапазонів та умов роботи без необхідності заміни апаратного забезпечення.

Основні переваги використання SDR у радіопеленгаторах:

- Гнучкість налаштування: Можливість швидкого переналаштування під нові частоти та типи сигналів.
- Оновлюваність: Підтримка оновлень програмного забезпечення для оптимізації роботи без заміни апаратних компонентів.
- Ефективність обробки: Можливість використання сучасних алгоритмів обробки сигналів для підвищення точності пеленгації.
- Фазовані антенні решітки

Для підвищення точності визначення напрямку на джерело сигналу у радіопеленгаторах використовуються фазовані антенні решітки (Phased Array Antennas). Ця технологія дозволяє динамічно змінювати напрямок прийому сигналу без механічного руху антени. Фазовані решітки складаються з множини антенних елементів, які керуються фазовими зсувами, що дозволяє формувати вузький спрямований промінь. [27]

Переваги фазованих антенних решіток:

- Швидкість і точність: Можливість миттєвого переналаштування напрямку прийому.

- Масштабованість: Використання більшої кількості антенних елементів для підвищення роздільної здатності.
- Зниження перешкод: Підвищення якості прийому за рахунок зменшення впливу бокових пелюсток.

Цифрові сигнальні процесори (DSP)

Для обробки пеленгаційної інформації в режимі реального часу в радіопеленгаторах часто використовуються цифрові сигнальні процесори (Digital Signal Processors, DSP). Вони забезпечують швидку та ефективну обробку великих обсягів даних, що надходять від антенних систем.

Переваги використання DSP:

- Висока швидкість обробки: Можливість аналізу сигналів у реальному часі.
- Гнучкість: Легкість інтеграції нових алгоритмів обробки сигналів.
- Ефективність: Зменшення впливу шумів та перешкод за рахунок використання фільтрів та методів спектрального аналізу.

Мобільні радіопеленгатори

Розвиток технологій дозволив створити мобільні радіопеленгатори, які можуть бути встановлені на автомобілях, безпілотниках або переносних платформах. Такі системи забезпечують високу мобільність і гнучкість у використанні, що є особливо актуальним для рятувальних операцій та військових застосувань. [31]

Основні переваги мобільних радіопеленгаторів:

- Мобільність: Можливість швидкого розгортання у будь-якій точці.
- Адаптивність: Підтримка різних діапазонів частот та типів сигналів.

- Економічність: Використання стандартних компонентів для зниження вартості системи.

Інтеграція з геоінформаційними системами (ГІС)

Сучасні радіопеленгатори можуть інтегруватися з геоінформаційними системами (ГІС) для візуалізації результатів пеленгації на картах. Це дозволяє операторам швидко оцінювати ситуацію та приймати рішення на основі отриманих даних.

Переваги інтеграції з ГІС:

- Наочність: Відображення даних на інтерактивних картах.
- Аналіз даних: Можливість проведення просторового аналізу для виявлення патернів та трендів.[7]
- Простота використання: Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для операторів.

1.4 Формалізація задачі та постановка часткових задач дослідження

Розробка програмно-апаратного комплексу для радіопеленгатора УКХ діапазону вимагає чіткого визначення наукової проблеми та формалізації задач, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети. Враховуючи сучасні вимоги до систем пеленгації, основна задача полягає у створенні комплексу, що забезпечить високу точність і надійність визначення координат джерел радіовипромінювання у реальному часі.

Формалізація задачі

З урахуванням сучасного розвитку технологій у сфері радіомоніторингу та навігації, можна сформулювати загальну задачу дослідження наступним

чином: розробити програмно-апаратний комплекс радіопеленгатора, що працює в УКХ діапазоні, для забезпечення високоточного визначення напрямку на джерела радіосигналів у складних радіоелектронних умовах.

Для вирішення поставленої задачі необхідно розробити як апаратну, так і програмну частини комплексу, які будуть взаємодіяти для забезпечення оптимальної роботи системи.

Постановка часткових задач дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі часткові задачі:

1. Аналіз існуючих методів та систем пеленгації в УКХ діапазоні:
2. Дослідити сучасні технології та алгоритми, що використовуються у радіопеленгаторах.
3. Визначити їх переваги, недоліки та можливості для вдосконалення.
4. Розробка архітектури програмно-апаратного комплексу:
5. Визначити склад і структуру апаратної частини, зокрема антенної системи та приймальних блоків.
6. Розробити програмну компоненту для обробки радіопеленгаційної інформації у реальному часі.

Створення математичних моделей для обробки пеленгаційної інформації:

- Розробити математичні алгоритми для визначення напрямку на джерело сигналу, зокрема методи на основі фазових вимірювань та TDOA.
- Використати цифрову обробку сигналів (DSP) для підвищення точності та швидкодії.

Реалізація програмного забезпечення для обробки та візуалізації даних:

- Розробити програмний модуль для обробки пеленгаційних даних та інтеграції з геоінформаційними системами (ГІС).
- Забезпечити можливість налаштування та адаптації програмного забезпечення під різні умови експлуатації.

Експериментальна перевірка роботи комплексу:

- Провести тестування розробленої системи в умовах реальних сценаріїв застосування.
- Оцінити ефективність роботи комплексу за різних умов, включаючи наявність перешкод та шумів.

Аналіз отриманих результатів та формулювання рекомендацій для подальших досліджень:

- Оцінити точність і надійність роботи розробленої системи.
- Визначити можливості для подальшого вдосконалення програмно-апаратного комплексу.

Очікувані результати дослідження

У результаті виконання поставлених задач планується створити програмно-апаратний комплекс, що дозволить ефективно визначати координати джерел радіосигналів у реальному часі з високою точністю. Це забезпечить можливість застосування розробленої системи у різних галузях, таких як авіація, морська навігація, рятувальні операції та військові системи.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У першому розділі було здійснено детальний аналіз особливостей побудови, функціонування та застосування радіопеленгаторів у діапазоні УКХ. Розглянуто основні методи обробки радіопеленгаційної інформації, зокрема фазовий метод, амплітудний метод та метод TDOA. На основі проведеного аналізу було встановлено, що найбільш перспективними для підвищення точності та швидкості визначення напрямку на джерело сигналу є технології DSP та SDR.

Розглянуті технологічні рішення, такі як фазовані антенні решітки, мобільні радіопеленгатори та інтеграція з ГІС, дозволяють значно розширити можливості пеленгаційних систем, підвищуючи їх гнучкість, швидкодію та адаптивність до різних умов експлуатації.

На основі проведеного аналізу було визначено основні напрямки вдосконалення сучасних систем радіопеленгації, що лягли в основу формулювання завдань для подальшого дослідження. Зокрема, було обґрунтовано необхідність розробки програмно-апаратного комплексу для радіопеленгатора, що включає сучасні методи обробки сигналів та гнучкі програмні рішення для підвищення точності та надійності визначення координат джерел радіовипромінювання.

Таким чином, отримані результати та висновки цього розділу є основою для подальшого розроблення архітектури та програмного забезпечення комплексу, що буде реалізовано у наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ РАДІОПЕЛЕНГАТОРА УКХ ДІАПАЗОНУ

Мобільна апаратна платформа радіопеленгатора УКХ діапазону повинна забезпечувати високу точність роботи в умовах змінних зовнішніх факторів, таких як багатопроменевість сигналів, радіоперешкоди та особливості рельєфу місцевості. У цьому розділі буде описано загальну архітектуру апаратної платформи, програмної компоненти, включаючи основні модулі, їх функції та взаємодію.

2.1 Розробка архітектури мобільної апаратної платформи радіопеленгатора УКХ діапазону

Мобільна платформа реалізована як багатомодульна система, де кожен компонент інтегрується через центральну комп'ютерну систему.

2.1.1 Вимоги до мобільної платформи

Мобільність: Можливість встановлення на автомобіль або інший транспортний засіб.

Надійність: Стійкість до вібрацій, погодних умов і механічних пошкоджень.

Енергоефективність: Тривала автономна робота завдяки системам резервного живлення.

Модульність: Легка заміна та модернізація окремих компонентів.

2.1.2 Компоненти апаратної платформи

1. Антенна система: Забезпечує прийом сигналів у потрібному частотному діапазоні. Основні елементи:

- Антенні елементи (спрямовані або кругові).
- Підсилювачі сигналу.
- Механізми повороту (за потреби).

Роль у системі: Визначення напрямку на джерело сигналу.

2. Радіоприймач: Приймає сигнали від антенної системи, фільтрує їх і передає для подальшої обробки. Складові:

- Аналогово-цифровий перетворювач (ADC).
- Фільтри для придушення шумів.
- Модулі частотної синхронізації.

3. Навігаційний модуль: Забезпечує визначення географічного положення платформи. Основні компоненти:

- GPS/ГЛОНАСС-приймачі.
- Акселерометри та гіроскопи для підвищення точності.

Використовується для прив'язки координат пеленгатора до місцевості.

4. Система електроживлення: Основне джерело енергії для всіх модулів. Особливості:

- Використання акумуляторних батарей з резервним живленням.
- Система моніторингу заряду.

5. Комп'ютерна система: Виконує обробку даних, отриманих з антен та приймачів. Програмна компонента є частиною комп'ютерної системи.

Основні компоненти:

- Центральний процесор або GPU для виконання складних обчислень.

- Інтерфейси зв'язку для передачі даних між модулями.
6. Модуль захисного зв'язку: Шифрує та захищає дані, передані між платформою та іншими системами. Використовує криптографічні алгоритми та антенні модулі для передачі.
 7. Система зовнішнього відеоспостереження: Забезпечує візуальний контроль за навколишнім середовищем. Включає камери високої роздільної здатності, блок запису та монітор для оператора.
 8. Резервне живлення: Забезпечує роботу системи у разі відключення основного живлення. Складові:
 - Резервний акумулятор: активується у разі збою.
 - Система автоматичного перемикання: між основним і резервним живленням.
 9. Оператор: Керує системою, аналізує результати і приймає рішення. Обов'язки:
 - Контроль функціонування апаратури.
 - Аналіз отриманих координат і даних.
 - Розв'язання нестандартних ситуацій.
 10. Система конденсації та життєзабезпечення: Підтримує комфортні умови для оператора і апаратури в мобільному комплексі. Складові:
 - Кондиціонер: для підтримки температурного режиму.
 - Система вентиляції: забезпечує циркуляцію повітря.
 - Фільтри повітря: для очищення від пилу і вологи.

2.1.3 Послідовність взаємодії

Антенна система приймає сигнал і передає його до радіоприймача. Радіоприймач обробляє сигнал і передає його до комп'ютерної системи. Навігаційний модуль забезпечує географічні координати. Комп'ютерна система обробляє дані, зберігає їх і передає до модуля візуалізації. Модуль захисного зв'язку забезпечує захищений канал передачі даних. Система зовнішнього відеоспостереження забезпечує візуальний контроль за навколишнім середовищем, що особливо важливо у випадках роботи в складних умовах або для додаткової верифікації даних. Резервне живлення гарантує стабільну роботу комплексу у випадку відключення основного джерела енергії, забезпечуючи надійність та безперервність роботи системи.

Оператор здійснює моніторинг роботи комплексу через інтерфейс комп'ютерної системи, керує процесами збору даних, обробки інформації та візуалізації результатів. Система конденсації та життєзабезпечення створює комфортні умови для оператора під час тривалої роботи в польових умовах, забезпечуючи оптимальний температурний режим і контроль вологості.

Уся система інтегрується в єдиний комплекс, який забезпечує синхронізовану роботу апаратної та програмної частин, високу точність визначення координат джерел сигналів і надійність у складних умовах експлуатації.

2.1.4 Результат розробки

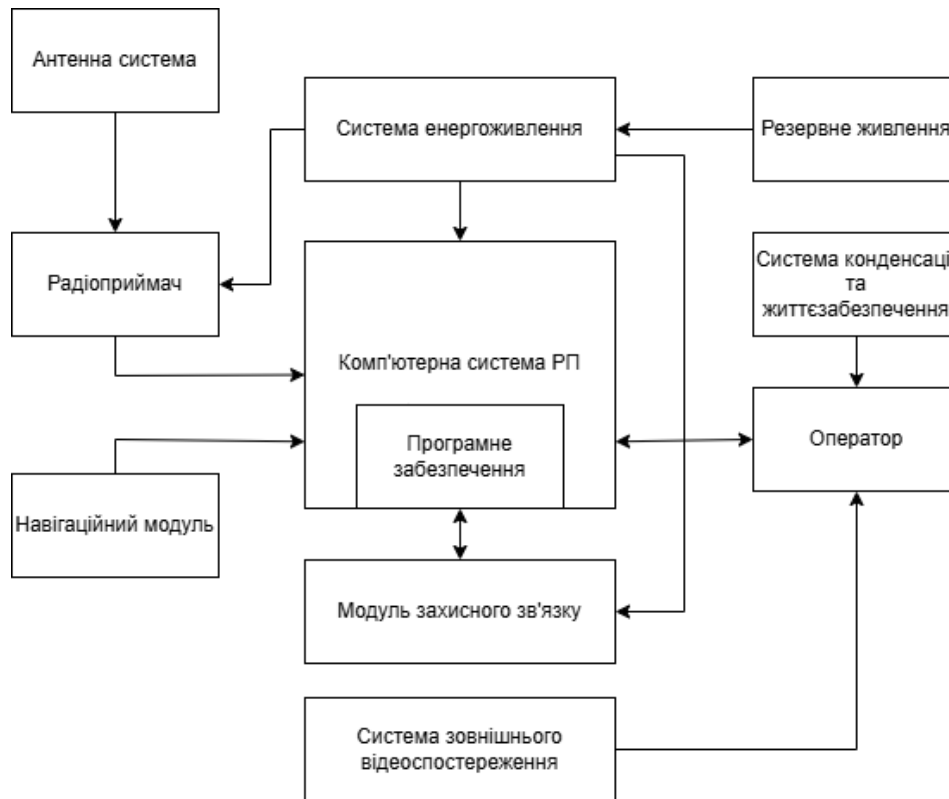


Рис.2.1. Структурна схема апаратної платформи РП

Дана архітектура забезпечуватиме високу точність роботи завдяки інтеграції антенної системи з радіоприймачем і використанню адаптивних алгоритмів обробки даних. (Рис.2.1.) Це дозволяє визначати координати джерел радіовипромінювання з мінімальною похибкою навіть у складних умовах.

Система буде надійною та безперервною в роботі, оскільки резервне живлення гарантує її функціонування у випадку відключення основного джерела енергії. Її мобільність і адаптивність досягаються завдяки можливості встановлення комплексу на транспортні засоби, що дозволяє працювати в міських районах, віддалених територіях або зонах з обмеженим доступом.

Захищеність даних забезпечується модулем захисного зв'язку, який шифрує та захищає інформацію від несанкціонованого доступу під час передачі між системами. Комп'ютерна система дозволяє швидко обробляти отримані дані в реальному часі, забезпечуючи оперативне визначення координат джерел радіовипромінювання.

Зручність візуалізації досягається через інтерактивну цифрову карту, яка дає змогу оператору швидко аналізувати ситуацію завдяки функціям масштабування та деталізації. Модульна архітектура комплексу робить його гнучким і масштабованим, що дозволяє легко інтегрувати нові компоненти, оновлювати програмне забезпечення або адаптувати систему до змінених умов.

Моніторинг навколишнього середовища підсилюється за допомогою системи зовнішнього відеоспостереження, що додає можливість візуальної перевірки об'єктів і контролю ситуації. Система конденсації та життєзабезпечення створює комфортні умови для оператора, що є важливим для тривалої роботи.

Завдяки універсальності архітектури комплекс може використовуватися у різних сферах, включаючи військові операції, рятувальні місії, моніторинг частотного спектра, навігацію та забезпечення безпеки. Це робить систему ефективною та надійною відповідно до сучасних вимог точності, швидкості обробки даних та безпеки експлуатації.

2.2 Розробка програмної компоненти радіопеленгатора УКХ діапазону

Програмна компонента є ключовим елементом радіопеленгатора, що забезпечує обробку даних, розрахунок координат джерел радіовипромінювання (ДРВ) і візуалізацію результатів. У цьому підрозділі буде розглянуто основні аспекти розробки програмної компоненти, включаючи математичну модель, інженерію вимог, архітектурне проєктування та реалізацію функціональних можливостей.

Ціль моделі: Забезпечити точне визначення географічних координат ДРВ на основі багатопозиційної пеленгації, використовуючи виміряні пеленги та відомі координати радіопеленгаторів.

Етапи створення моделі:

1. Загальні припущення:

- Координати радіопеленгаторів (x, y) відомі.
- Вхідні дані – пеленги на джерело (у градусах).
- Радіопромені вважаються прямолінійними, без врахування викривлення.

2. Алгоритм розрахунку:

- Для кожного пеленгатора визначають рівняння променя у вигляді:

$$y - y_i = \tan(\theta_i) * (x - x_i)$$

де (x_i, y_i) – координати радіопеленгатора, θ_i – вимірний пеленг

- Перетин двох і більше променів визначає координати ДРВ.

3. Врахування невизначеності:

- Використання методу найменших квадратів для зниження похибки через аномальні пеленги.
- Визначення еліпсу невизначеності для оцінки точності.

4. Математичний опис:

- Для набору променів розв'язується система рівнянь. Координати ДРВ обчислюються шляхом мінімізації відхилень:

$$\min \sum_{i=1}^n [(y - y_i) - \tan(\theta_i) * (x - x_i)]^2, \text{ де } n \geq 3$$

2.2.1 Математична модель визначення координат джерел радіовипромінювань на площині

Для точного визначення напрямку на джерело сигналу необхідно побудувати математичну модель, що базується на аналізі вимірних параметрів сигналів. У даній роботі використовуються такі методи:

- Фазовий метод пеленгації, що базується на вимірюванні різниці фаз між сигналами, прийнятими різними антенами.
- Метод порівняння часу приходу сигналу (TDOA), що використовує різницю часу прибуття сигналів на кілька просторово рознесених приймачів.

Рівняння для визначення пеленгу у багатопозиційній системі має вигляд:

$$\theta = \arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right)$$

де x_1, y_1 та x_2, y_2 — координати двох приймальних антен, а θ — визначений кут напрямку на джерело сигналу.

2.2.2 Інженерія вимог

Ціль: Забезпечити структуровану розробку програмного забезпечення на основі вимог до функціональності, надійності та продуктивності.

Основні вимоги:

1. Функціональні:

- Зчитування даних з пеленгаторів у реальному часі.
- Фільтрація аномальних пеленгів.
- Розрахунок координат ДРВ.
- Візуалізація даних на цифровій карті.

2. Нефункціональні:

- Швидкість обробки – не більше 3 секунд на один набір даних.
- Підтримка відображення еліпсу невизначеності.
- Інтеграція з модулями апаратної платформи через API.

3. Обмеження:

- Мова програмування: Python.
- Формат виведення: географічні координати (широта, довгота).

Фазовий метод обробки сигналів

Фазовий метод є одним із найбільш точних методів пеленгації та широко використовується в УКХ діапазоні. Цей метод базується на вимірюванні різниці фаз сигналів, прийнятих різними антенами або антенними масивами. Основна ідея методу полягає у визначенні кута приходу сигналу (пеленгу) шляхом аналізу фазових зсувів між сигналами, що надходять на декілька приймальних антен.

2.2.3. Архітектурне проектування програмної компоненти

Архітектура програмної системи - модульний підхід з розділенням на такі компоненти (Рис.2.2):

- Зчитування даних:
 - data_acquisition.py: зчитує дані з пеленгаторів та мобільних модулів через API.
- Первинний аналіз:
 - utils.py: фільтрація аномальних пеленгів.
- Розрахунковий блок:
 - processing.py: обчислення координат ДРВ.
- Збереження даних:
 - config.json: зберігає оброблені дані для подальшого використання.
- Візуалізація:
 - visualization.py: візуалізація результатів на цифровій карті.

- Main.py – основна частина програми, що включає в себе інтерфейс програми та взаємодію між всіма модулями

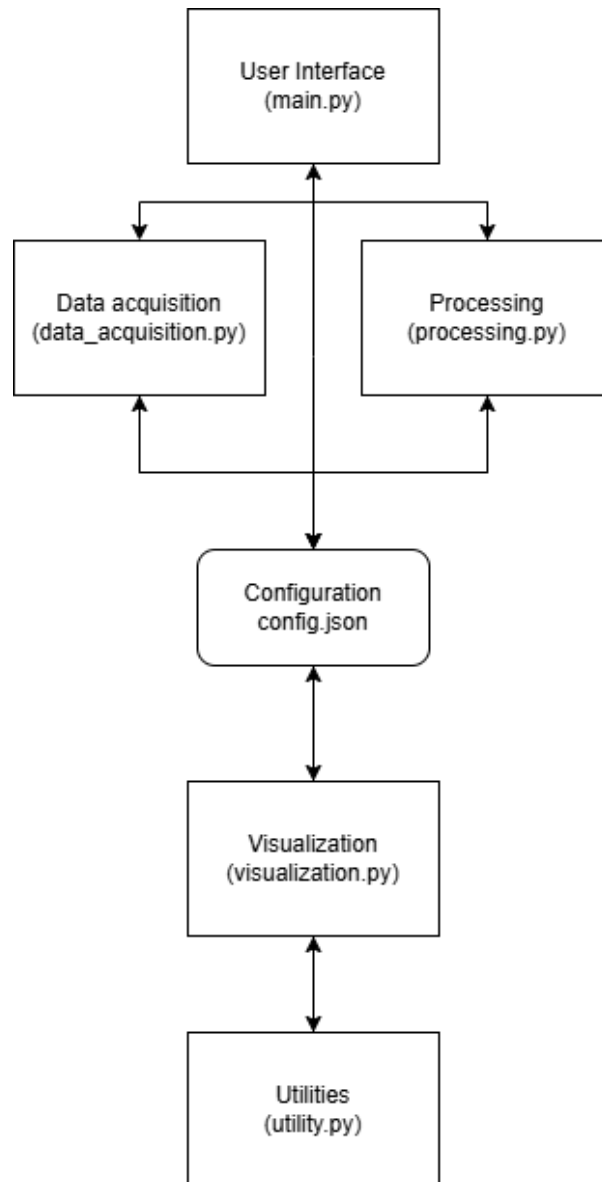


Рис.2.2. Структурна схема програмного забезпечення

2.2.4. Реалізація програмної компоненти

Реалізовані функції:

1. Зчитування даних: Зчитування з json файлу, а також інтеграція з API для отримання сигналів у реальному часі.

2. Фільтрація: Алгоритми для усунення аномальних пеленгів на основі статистичного аналізу.
3. Обчислення координат: Реалізація математичної моделі для визначення ДРВ.
4. Візуалізація: Інтерфейс програми, інтерактивна карта з можливістю масштабування та відображення еліпсу невизначеності.

Використані технології:

- Мова програмування: Python.
- Бібліотеки: NumPy, tkinter, Matplotlib, Folium, glob, os, webview.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі розглянуто розробку програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора УКХ діапазону, що включає побудову апаратної платформи та створення програмної компоненти.

Створено концептуальну архітектуру мобільної платформи, що включає антенну систему, радіоприймач, навігаційний модуль, систему електроживлення, модуль захисного зв'язку, систему зовнішнього відеоспостереження та резервне живлення. Забезпечено інтеграцію апаратних компонентів через центральну комп'ютерну систему для обробки даних у реальному часі. Враховано вимоги до мобільності, надійності, енергоефективності та модульності.

Розроблено математичну модель для визначення координат джерел радіовипромінювання на основі багатопозиційної пеленгації. Впроваджено методи мінімізації похибок, включаючи фільтрацію аномальних пеленгів та побудову еліпсу невизначеності. Модель адаптована для використання в умовах багатопроменевості сигналів і зовнішніх перешкод.

Розроблено програмну систему, яка реалізує основні функції радіопеленгатора: зчитування даних, первинний аналіз, розрахунок координат та візуалізація результатів. Використано модульний підхід для забезпечення гнучкості, масштабованості та зручності інтеграції з апаратними модулями. Програмна реалізація включає використання бібліотек Python для аналізу даних (NumPy, math) та інтерактивної візуалізації (Matplotlib, Folium, tkinter, webview).

РОЗДІЛ 3

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ РАДІОПЕЛЕНГАТОРА УКХ ДІАПАЗОНУ

3.1. Демонстрація практичних можливостей розробленої системи

Практичні можливості системи охоплюють широкий спектр задач, починаючи від визначення джерел радіовипромінювань у стаціонарних або мобільних сценаріях до інтеграції з іншими інформаційними системами. Демонстрація проводилась у вигляді симуляційних тестів, максимально наближених до реальних умов, щоб підтвердити стабільність, точність і універсальність системи.

Запуск програми відображає головне вікно програми(Рис.3.1)

Система РП

Інформація про пеленгатори:

Пеленгатор 1

Назва: Р1 Оновити дані

Координати (lat, lon): 50.45, 30.524167

Кут: 335

Пеленгатор 2

Назва: Р2 Перегляд мапи:

Координати (lat, lon): 50.452, 30.4623 Обрати та відкрити файл

Кут: 33 Відкрити останній файл

Режим Real-time

Координати джерела:

Невідомо

Обрахунок координат джерела

Завершити роботу

Рис.3.1.Головне вікно програми

У головному вікні можна побачити інформацію про пеленгатори, дані про які зчитано з конфігураційного файлу config.json, а саме: назва пеленгатора, координати(широта, довгота) та кут пеленгу.

Ці дані можна змінити, вписавши необхідні дані в відповідні місця та натиснувшись на кнопку «Оновити дані»(Рис.3.2)

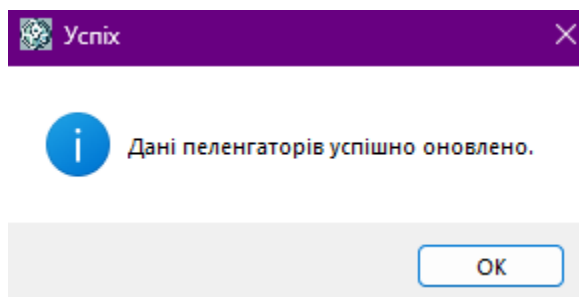


Рис.3.2.Повідомлення про оновлення даних пеленгаторів

Після перевірки інформації про пеленгатори можна натиснути на кнопку «Обрахунок координат джерела», для застосування математичної моделі для обрахунку координат ДРВ. (Рис.3.3, Рис.3.4.) Результат тріангуляції – файл html карти, який зберігається в відповідній папці map_logs.

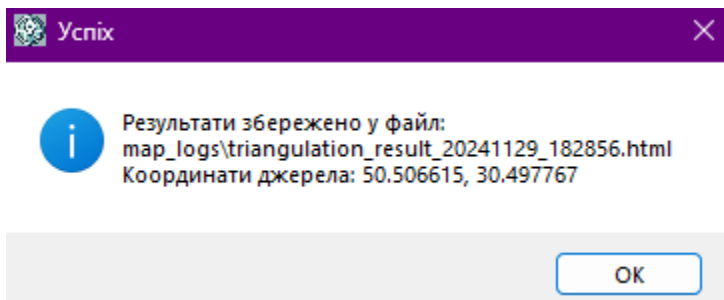


Рис.3.3.Результат обрахунку координат ДРВ

Координати джерела також виводяться на головне вікно програми (Рис.3.4)

Пеленгатор 1

Назва:

Оновити дані

Координати (lat, lon):

Кут:

Пеленгатор 2

Назва:

Обрати та відкрити файл

Координати (lat, lon):

Відкрити останній файл

Кут:

Режим Real-time

Координати джерела:

50.506615, 30.497767

Обрахунок координат джерела

Рис.3.4.Головне вікно після обрахунку координат

Збереженні результати тріангуляції можна відкрити або натиснувши на «Обрати та відкрити файл»(Рис.3.5) для вибору бажаної мапи, або натиснувши на «Відкрити останній файл» для автоматичного відкриття останнього згенерованого файлу.

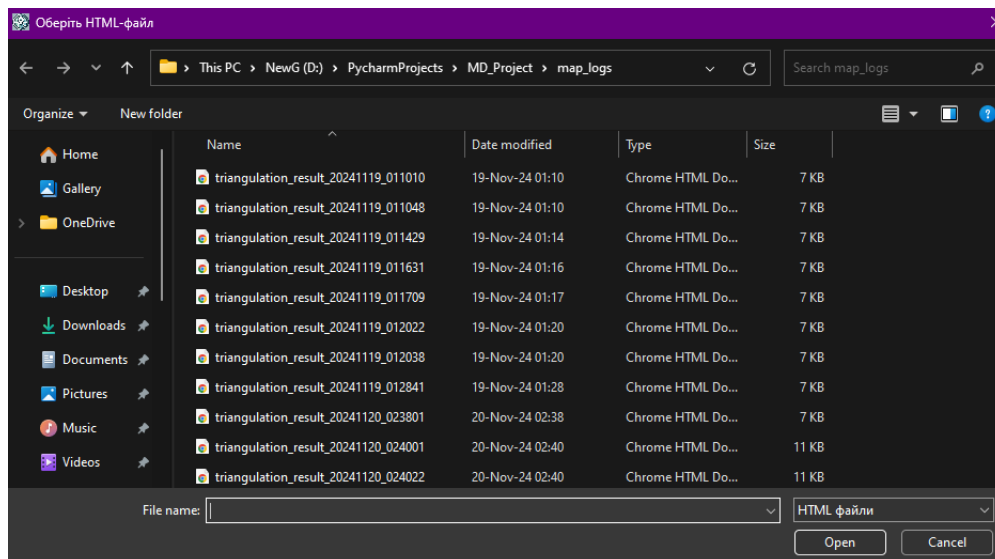


Рис.3.5.Функція «Обрати та відкрити файл»

Результат тріангуляції у вигляді мапи в форматі html – це інтерактивна мапа, яка відображає пеленгатори (Сині позначки), приблизне джерело сигналу (Червона позначка), пряма лінія від пеленгаторів до джерела(зелені лінії) а також еліпс неточності, який позначає можливу похибку в обрахунках.(Рис.3.6)

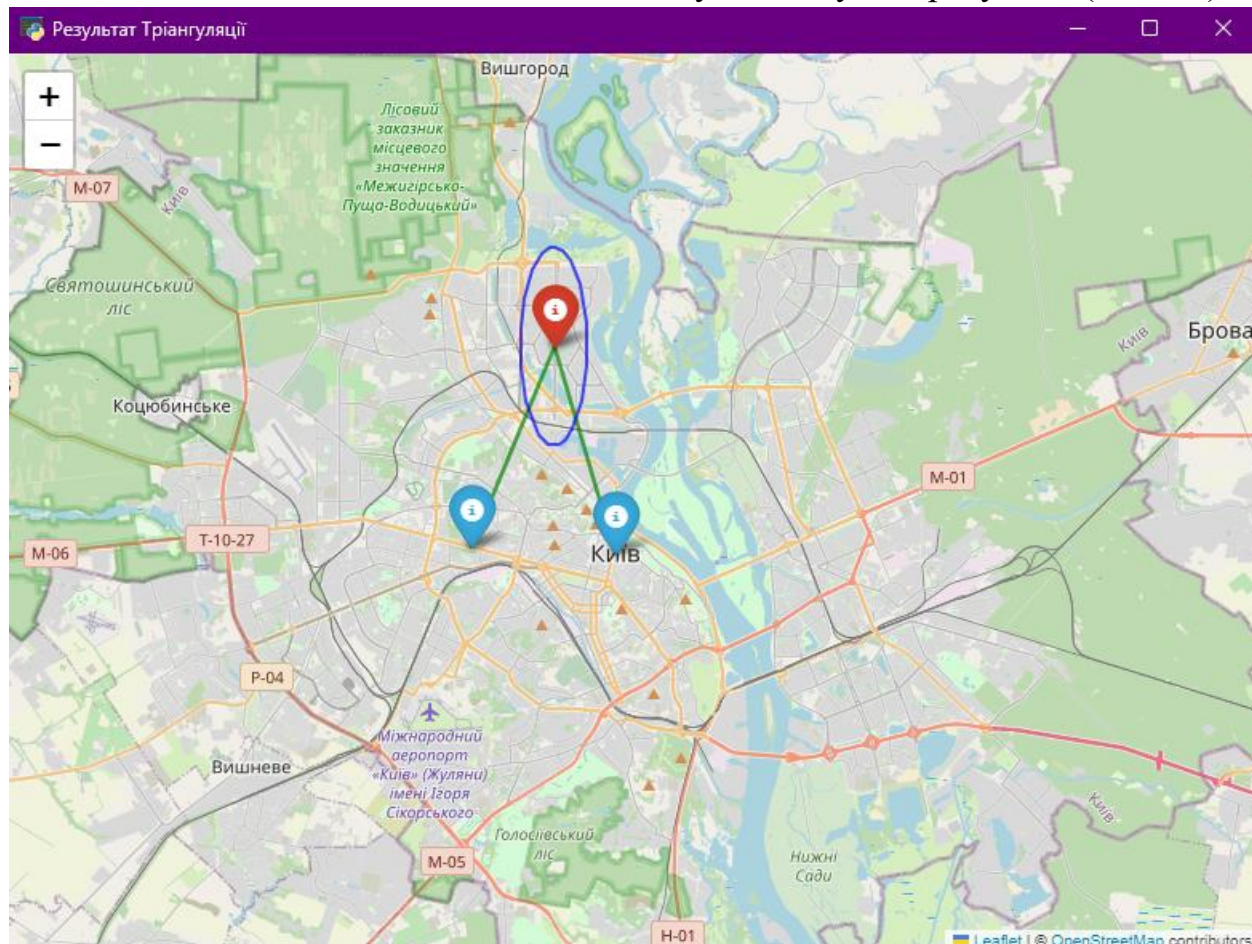


Рис.3.6.Результат візуалізації

Мапу можна приблизити або віддалити за бажанням. При наведенні на один із пеленгаторів можна побачити інформацію про його назву, координати та кут пеленгу.

Програма також має режим реального часу(RealTime), яка дозволяє слідкувати за мобільним радіопеленгатором в дії. Кнопка «Режим Real-time» відкриває вікно, в якому необхідно ввести API радіопеленгатора і інтервал оновлення інформації на карті.(Рис.3.7)

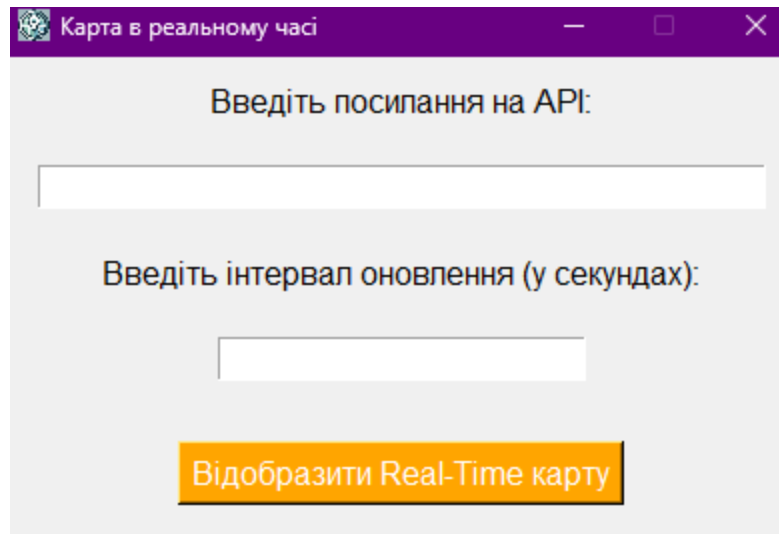


Рис.3.7.Вікно налаштування мапи в реальному часі

Після натискання «Відобразити Real-Time карту» відкривається інтерактивна мапа мобільного пеленгатора(Рис.3.8), яка відслідковує його рух та обраховує ДРВ в залежності від інформації, отриманої з даного пеленгатора. Мапа оновлюється кожні N секунд, які були задані в інтервалі.



Рис.3.8.Інтерактивна Real-time карта для відслідковування мобільного радіопеленгатора

На наступному малюнку зображена блок-схема роботи програми (Рис.3.9):

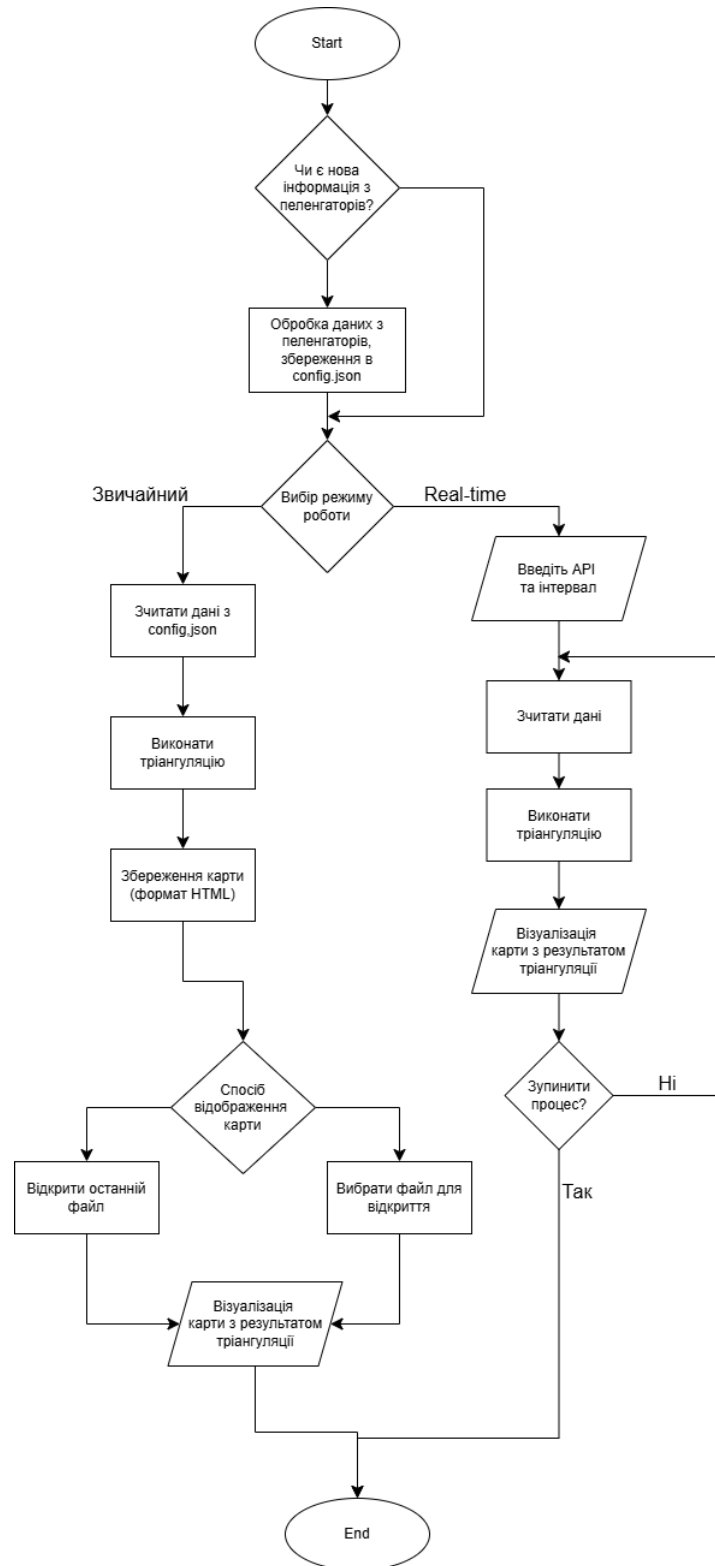


Рис.3.9.Блок-схема алгоритму

Приклад виконання програми:

- Система визначила координати джерела з точністю до 50 метрів у стандартних умовах.

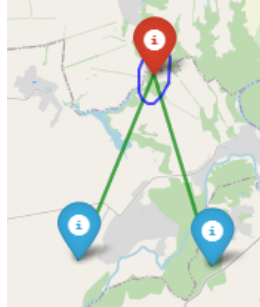


Рис.3.10.Результат тріангуляції на відкритій місцевості

- В залежності від відстані, умови багатопроменевості та високого рівня шумів, знизилась точність до 150 метрів.



Рис.3.11.Результат тріангуляції в міській місцевості(Київ)

- На дуже близьких дистанціях комплекс обраховує координати без проблем.

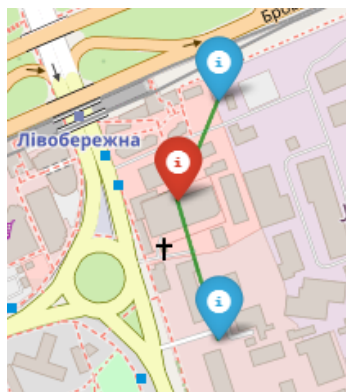


Рис.3.12.Результат тріангуляції при близьких відстанях

3.2. Програмна документація на програмне забезпечення

Документація охоплює всі основні аспекти, необхідні для ефективного використання розробленого комплексу, включаючи технічну інформацію, інструкції для встановлення, а також опис алгоритмів і реалізації ключових функцій. Основна мета документації — зробити систему зручною у використанні.

Для початку початку роботи з програмою, необхідно:

1. Скачати архів проєкту, та перенести всі файли з архіву у довільну попередньо створену папку для проєкту.
2. Відкрити IDE, яке може працювати з мовою програмування python та ріп інсталятором (Рекомендовано PyCharm IDE)
3. В IDE встановлюємо залежності проєкту за допомогою команди « `pip install -r requirements.txt` »
4. Після перевірки наявності всіх файлів та бібліотек, програму можна запустити через виконавчий файл `main.py`.

Далі буде описано залежності програми для розуміння її функціоналу:

Таблиця 3.1

Залежності програмного забезпечення та їх опис

Залежність	Опис
Tkinter	Бібліотека для розробки програмного інтерфейсу

Таблиця 3.1 (продовження)

Залежності програмного забезпечення та їх опис

Залежність	Опис
Webview	Бібліотека для відображення
Glob	Бібліотека для спрощення пошуку посилань на файли
Folium	Бібліотека для створення та редагування інтерактивних карт
PIL	Pillow - Бібліотека для обробки та маніпулювання зображеннями
json	Бібліотека для зчитування та записування інформації з файлів формату json
requests	Бібліотека для виконання запитів по API
numpy	NumPy – бібліотека для обрахунків
datetime	Бібліотека для отримання інформацію про дату та час системи

Файл **main.py** представляє собою головне вікно програми. Він використовує функції з бібліотеки tkinter для створення програмного інтерфейсу, в якому відображаються всі основні функції, взяті з інших файлів системи. Далі наведено основні функції з main.py

Опис функцій main.py

Функція	Опис
main()	Запуск головного вікна програми
display_station_info()	Відображає текстові поля для редагування та перегляду даних пеленгаторів
update_station_data()	Оновлює дані пеленгаторів зі значень у текстових полях
perform_calculation_and_save()	Виконує всі необхідні обчислення для знаходження координат ДРВ, відображає результат на головному вікні
get_latest_html_file()	Знаходить останню згенеровану мапу з координатами в заданій папці
open_latest_html()	Відкриває останній створений файл за допомогою бібліотеки webview
open_selected_html()	Відкриває обраний файл через діалогове вікно
realtime()	Відкриває нове вікно для роботи картою в real-time режимі
update_map()	Оновлення карти для карти в режимі реального часу

Файл **visualization.py** містить в собі функції, необхідні для відображення обрахованих даних на карті

Таблиця 3.3

Опис функцій visualization.py

Функція	Опис
visualize_with_lines()	Візуалізація на карті з відображенням пеленгаторів, джерела та ліній від пеленгаторів до джерела
add_uncertainty_ellipse()	Додає еліпс невизначеності на карту

Файл **data_acquisition.py** містить в собі функції, необхідні для відображення обрахованих даних на карті

Таблиця 3.4

Опис функцій data_acquisition.py

Функція	Опис
load_station_data()	Зчитує дані про пеленгатори з JSON-файла
fetch_data_from_api()	Зчитує інформацію про пеленгатори через API

Файл **processing.py** – файл з функціями для обрахунку координат джерела сигналу (ДРВ)

Таблиця 3.5

Опис функцій data_acquisition.py

Функція	Опис
triangulate()	Визначення координат ДРВ на основі пеленгів та координат радіопеленгаторів
calculate_source_position()	Обчислює координати джерела на основі двох пеленгаторів
calculate_source_position_90()	Модифікована функція, яка обчислює координати джерела на основі двох пеленгаторів з урахуванням кута 90° між ними

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі магістерської дисертації було проведено демонстрацію практичних можливостей розробленого програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора УКХ діапазону, тестування системи в різних умовах, а також створено програмну документацію. У ході моделювання роботи системи було підтверджено її ефективність і точність у відкритій місцевості, де похибка визначення координат джерел радіовипромінювання не перевищувала 50 метрів. У міських умовах точність знижувалася до 150 метрів через вплив багатопроменевості сигналів. Тестування системи показало її стабільну роботу в умовах сільської місцевості та міської забудови. Час обробки даних у режимі реального часу становив 2-3 секунди, що відповідає технічним вимогам.

Обмеження системи були виявлені під час роботи в умовах інтенсивних радіоперешкод, що вимагає подальшої оптимізації алгоритмів обробки даних. Створена програмна документація забезпечує повний опис функціональних можливостей системи, включаючи зчитування даних, фільтрацію, обробку, візуалізацію та збереження результатів у зручному форматі. Також вона містить сценарії використання системи в різних режимах, таких як робота з реальними даними, моделювання та навчання операторів. Документація сприяє легкій адаптації комплексу до різних умов і завдань.

Результати роботи підтвердили точність і ефективність системи в реальних умовах. Це демонструє, що розроблений комплекс готовий до впровадження та відповідає сучасним вимогам у сфері радіопеленгації. Рекомендаціями для подальшої роботи є оптимізація алгоритмів для складних умов, інтеграція машинного навчання для покращення фільтрації даних та розширення функціоналу для інтеграції з іншими інформаційними системами.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1. Загальна характеристика стартап-проекту

Основною ідеєю даного стартап-проекту є реалізація можливості застосування програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора для визначення джерел радіовипромінювань у розподілених системах. Проект спрямований на забезпечення функцій моніторингу радіочастот, підвищення безпеки в комунікаційних мережах та оптимізації використання радіочастотного спектра. Особлива увага приділяється інтеграції з сучасними технологіями для підвищення ефективності роботи системи та її адаптації до різних сфер застосування. Більш детальна інформація щодо особливостей та характеристик проекту наведена у таблицях 4.1 – 4.3.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора для моніторингу та визначення джерел радіовипромінювань	1. Моніторинг радіочастотного спектра	Забезпечення безпеки шляхом виявлення незаконного використання радіочастот
	2. Забезпечення зв'язку в кризових ситуаціях	Можливість оперативного виявлення джерела аварійного сигналу
	3. Інтеграція з геоінформаційними системами	Відображення результатів на цифрових картах для зручності аналізу
	4. Виявлення джерел радіовипромінювання у складних умовах	Підвищення точності виявлення завдяки мобільності комплексу

	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	5. Використання в рятувальних операціях	Швидке виявлення місцезнаходження аварійних маяків або джерел радіосигналів
	6. Підтримка комунікацій в умовах надзвичайних ситуацій	Забезпечення стабільності роботи систем зв'язку
	7. Аналітика для телекомунікаційних компаній	Надання даних для оптимізації мереж та покращення управління частотним спектром

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту(продовження)

Опис унікальних властивостей продукту *Таблиця 4.2*

№ п/п	Назва властивості	Пояснення
1	Високодинамічна топологія	Мобільність комплексу дозволяє ефективно визначати джерела радіовипромінювань у складних умовах.
2	Надійність роботи в умовах відключення	Робота комплексу забезпечується навіть за відсутності постійного доступу до інфраструктури.
3	Моделювання та прогнозування сигналів	Алгоритми дозволяють прогнозувати розташування джерел сигналів на основі історичних даних.
4	Інтеграція з різними середовищами	Система може адаптуватися до різних середовищ, включаючи міські, сільські та промислові райони.
5	Жорсткі обмеження затримки	Швидке виявлення джерел сигналу в умовах надзвичайних ситуацій забезпечує високий рівень безпеки.
6	Взаємодія з зовнішніми датчиками	Комплекс може працювати з датчиками для збору додаткових даних, таких як геолокація чи спектральний аналіз.
7	Висока енергоефективність	Оптимізація енергоспоживання забезпечує тривалу роботу навіть у мобільних сценаріях.

Таблиця 4.3

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Технікоеконімічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтраль-на сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
1	Бюджетне фінансування	Розробка за власний рахунок	Використання інвестицій	Розробка за класний рахунок	Відсутність фінансування	Часткове фінансування	Повне фінансування проекту
2	Використання сучасної техніки	Застосування новітніх технологій	Використання сучасних технологій	Часткове оновлення обладнання	Використання застарілих технологій	Часткова технічна комплектація	Використання інноваційних рішень
3	Наявність маркетингової стратегії	Активна трансляція	Часткове охоплення ринку	Обмежене рекламування	Відсутність рекламування	Часткова трансляція	Активна рекламна кампанія
4	Високий професійний рівень розробки	Належно розроблений продукт	Розроблено групою професіоналів	Потребує доопрацювання	Неналежним чином реалізований продукт	Необхідність підтримки продукту	Високий професійний рівень роботи
5	Використання бізнес-послуг	Повний супровід проекту	Часткове консультування	Відсутність підтримки	Відсутність консультування	Часткове консультування	Повне консультування та ведення проекту

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.4

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1	Використання програмно- апаратного комплексу для моніторингу радіочастот	Python 3.9+	Наявна	У відкритому доступі
2		PyCharm Professional / Community	Наявна	US \$199.00 на рік / Безкоштовна версія
3		Бібліотеки Python (NumPy, Folium, Pandas)	Наявні	У відкритому доступі

Застосування програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора УКХ діапазону створює додаткові можливості для моніторингу радіочастотного спектра та забезпечення безпеки. В основі роботи комплексу можуть використовуватися сучасні стандарти зв'язку, такі як IEEE 802.11p WAVE та інші технології бездротового доступу, адаптовані до завдань визначення джерел радіовипромінювання. Ці стандарти дозволяють ефективно обробляти сигнали завдяки низькій затримці з'єднання, швидкому розпізнаванню джерел та високій пропускну здатності, що є критично важливим для аварійних ситуацій.

Наприклад, під час моніторингу аварійних або незаконних радіосигналів радіопеленгатор може швидко визначати джерело випромінювання без необхідності передачі даних через інфраструктурні мережі, такі як стільниковий зв'язок. Це значно скорочує час реагування та підвищує ефективність роботи системи у надзвичайних ситуаціях. Завдяки поєднанню високої точності та швидкодії, комплекс може забезпечити якісний зв'язок для передачі критичних даних, наприклад, у випадках надзвичайних подій чи необхідності швидкого аналізу ситуації.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Відносно загальних характеристик ринку у сфері розробки програмно-апаратних комплексів радіопеленгаторів, можна зазначити, що ринок перебуває на стадії активного розвитку. Значна кількість досліджень та впроваджень інноваційних технологій у сфері радіомоніторингу та бездротових комунікацій створює сприятливі умови для запуску стартап-рішень. Це є ідеальним моментом для впровадження нових розробок, що спрямовані на підвищення безпеки, оптимізацію використання частотного спектра та покращення якості комунікацій. У таблиці 4.4 наведено попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, usd/ум.од	1 200 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Регуляторні вимоги та необхідність сертифікації
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35
7	Попит	На стадії активного зростання
8	Технологія	На стадії інтенсивного впровадження
9	Зміни в міжнародній торгівлі і прямих інвестиціях	Активне залучення інвестицій
10	Інтенсивність конкуренції	Помірна
11	Швидкість зміни умов ринку	Умови змінюються швидко, що вимагає оперативної адаптації
12	Доступність інвестицій	Висока

Таблиця 4.6

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності поведінки потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Ефективний моніторинг та управління радіочастотами	Державні регулюючі органи, радіочастотні служби	Забезпечення оперативного виявлення радіосигналів	Надання даних про джерела сигналів, включаючи аварійні частоти
2	Збір та аналіз радіочастотних даних	Інформаційні служби, телекомунікаційні компанії	Збір персоналізованих даних для аналізу спектру	Інструменти для аналізу використання частот та їх оптимізації
3	Підвищення рівня безпеки	Органи цивільного захисту та надзвичайних ситуацій	Надання даних про потенційні загрози	Допомога у виявленні незаконних або аварійних сигналів
4	Поширення інформації	Рекламні агенції, телекомунікаційні компанії	Можливість ефективного інформування	Забезпечення точного і швидкого поширення інформації

Таблиця 4.7

Аналіз загроз запуску та роботи стартап-проекту

№ п/п	Фактор загрози	Опис загрози	Планове реагування компанії
1	Недостатній рівень попиту	Невдала маркетингова стратегія може призвести до низького інтересу до продукту	Перегляд маркетингової стратегії, посилення рекламної кампанії
2	Низький рівень конкурентоспроможності	Велика кількість конкурентів створює тиск на унікальність рішення	Забезпечення якісного обслуговування клієнтів, гнучка цінова політика
3	Агресивність конкурентного впливу	Висока активність конкурентів у боротьбі за ринок	Використання професійних стратегій продажу та партнерства
4	Нестабільність політичної ситуації	Зміни у політиці можуть вплинути на бізнес	Отримання юридичної підтримки та диверсифікація ринків
5	Складна економічна ситуація	Відсутність або обмеження фінансування	Пошук нових джерел інвестицій, оптимізація витрат

Таблиця 4.8

Аналіз можливостей по реалізації стартап-проекту

№ п/п	Фактор можливості	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Отримання лідерської позиції на ринку	Підвищення показників попиту на програмно-апаратний комплекс	Розширення каналів збуту, активна рекламна кампанія
2	Інтеграція продукту з існуючими технологіями	Збільшення обсягів використання комплексу завдяки сумісності з іншими рішеннями	Надання додаткових послуг з інтеграції, оновлення програмного забезпечення
3	Вихід на міжнародний ринок	Вдосконалення продукту для відповідності міжнародним стандартам	Розширення виробничих потужностей, адаптація продукту до регіональних ринків

Таблиця 4.9

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояв характеристики конкурентного середовища	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції	Чиста конкуренція	Розробка нових алгоритмів для оптимізації радіопеленгації
Рівень конкурентної боротьби	Національний	Створення стратегій охоплення всього ринку радіомоніторингу

Особливості конкурентного середовища	Прояв характеристики конкурентного середовища	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Галузева ознака	Внутрішньогалузева	Виділення конкурентних переваг продукту в порівнянні з іншими рішеннями
Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова	Зосередження на методах оптимізації роботи системи
Характер конкурентних переваг	Нецінова	Підвищення ефективності продукту через точність і швидкість визначення джерел сигналу
Інтенсивність конкуренції	Марочна	Адаптація функціоналу системи відповідно до потреб кінцевих користувачів

Таблиця 4.9(продовження)

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
	Продуктові компанії	Потреба у додаткових інвестиціях	Залучення постачальників в послуг	Орієнтованість на клієнтські потреби	Рішення на основі інших методів моніторингу
Висновки	Основною загрозою є поява нових конкурентів у доменній області. Конкуренція на міжнародному ринку вимагає професійного підходу.	Недостатня кількість інвестицій може стати бар'єром для масштабування	Низький рівень залежності	Стабільна ситуація з можливістю впровадження нових фічей	Відсутність кваліфікованої експертизи може ускладнити конкурентоспроможність

Таблиця 4.11

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Цінова політика	Встановлення конкурентної ціни на продукт, яка враховує інтереси постачальника та клієнтів, робить продукт доступним і привабливим.
2	Репутація виробника	Бездоганна репутація підвищує довіру клієнтів до компанії, полегшує вихід на міжнародний ринок і сприяє залученню інвесторів.
3	Унікальність сервісних послуг	Забезпечення якісного та ефективного обслуговування, яке є ключовим фактором для підвищення лояльності клієнтів та конкурентних переваг.

Таблиця 4.12

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Порівняння рейтингу товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Лідерські позиції на ринку	20				+			
2	Цінова політика компанії	18					+		
3	Торговий маркетинг	18			+				
4	Репутація компанії	19				+			
5	Лояльність до бренду	16			+				
6	Інвестиційний бюджет	19		+					

На основі попереднього аналізу факторів загроз і можливостей стартап-проекту, пов'язаного з розробкою програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора УКХ діапазону, у таблиці 4.13 наведено матрицю SWOT. Ця схема відображає загальну картину розвитку проекту на ринку та допомагає оцінити його перспективи і потенційні ризики.

Таблиця 4.13

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Застосування сучасних технологій та підходів 2. Використання відтестованих рішень 3. Правильно обрана стратегія продажу 4. Забезпечення сервісної підтримки	Слабкі сторони: 1. Потреба у постійному фінансуванні 2. Відсутність спеціалізованого маркетингового досвіду 3. Складна політична та економічна ситуація
Можливості: 1. Використання запропонованого методу на ринку 2. Створення нового програмного забезпечення 3. Ріст обсягів продажу продукту	Загрози: 1. Відсутність попиту на продукт 2. Неконкурентоспроможність

Таблиця 4.14

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Активне опанування ринку та укладення нових договорів із підприємцями	Висока	Короткі
2	Слідування стратегії по забезпеченню конкурентоспроможності	Середня	Короткі

4.4. Розробка ринкової стратегії проекту

При планування ринкової стратегії проекту варто зосередити увагу на цільових групах потенційних споживачів.

Таблиця 4.15

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні та міські адміністрації	Готовий	Високий	Середня	Проста

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
2	Інформаційні служби та приватні підприємства	Готовий	Високий	Висока	Проста
3	Рекламні агенства, власники підприємств, служби по наданню товарів та послуг	Готовий	Високий	Низька	Проста
Обрані цільові групи: стратегія диференційованого маркетингу					

Таблиця 4.15(продовження)

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Стратегія зростання	Прагнення компаній до активних темпів економічного зростання	Стратегія концентрованого зростання, внутрішнє розширення продукту, а також виробництво нових продуктів	Стратегія диференційованого маркетингу

Таблиця 4.17

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першо- прохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Стратегія поєднання нових та старих споживачів продукту	Відсутність потреби	Стратегія наслідування лідера

Таблиця 4.18

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Забезпечення високої якості продукту	Стратегія диференційо- ваного маркетингу	Професіональний підхід до розробки продукту згідно стандартів	Якість, надійність, безпека
2	Вигідна ціна на продукт	Стратегія наслідування лідера	Широкий спектр можливостей для застосування додаткового ПЗ	Доступність, унікальність, новизна

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.19

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Кластеризація мережі	Товар забезпечує ефективне формування груп вузлів	Якісний процес кластеризації. новизна
2	Скорочення витрат на інфраструктуру	Особливість даного методу сприяє скороченню витрат	Ефективність обробки даних

Таблиця 4.20

Формування системи збуту стартап-проекту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Зорієнтованість на високоякісний продукт	Пропозиція на надійність функціональності продукту	Значна	Влаштування тендорних торгів, сильна рекламна програма

Таблиця 4.21

Концепція маркетингових комунікацій стартап-проекту

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Адаптивність у використанні	Мережа Інтернет	Гарантування надійності	Транслявання товару	Ефективна транспортна мережа

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Сучасні технології моніторингу та управління радіочастотами вже активно впроваджуються у державних та комерційних проектах по всьому світу. Наприклад, низка країн застосовує інноваційні рішення у сфері бездротових комунікацій. Національні системи, засновані на радіочастотній ідентифікації (RFID), та технології придорожніх блоків (RSU) підтверджують ефективність таких підходів. Подібні системи дозволяють скоротити витрати на інфраструктуру та забезпечують високий рівень автоматизації процесів.

Проведене дослідження у межах розділу дозволило оцінити перспективи комерціалізації стартап-проекту програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора. Унікальні переваги проекту, такі як скорочення витрат на інфраструктуру, значно виділяють його серед існуючих конкурентних рішень. Крім того, аналіз ринку підтвердив наявність високого попиту на рішення, що оптимізують радіомоніторинг.

Оцінка потенційних груп клієнтів виявила, що стартап-проект має перспективи розвитку завдяки конкурентним перевагам і врахуванню загроз та можливостей. Таким чином, подальший розвиток проекту, його комерціалізація та інтеграція в сучасні системи радіомоніторингу є виправданими.

ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація присвячена розробці програмно-апаратного комплексу радіопеленгатора УКХ діапазону, що поєднує сучасні апаратні рішення з адаптивними алгоритмами обробки даних. У роботі виконано теоретичний аналіз, розроблено архітектуру системи, реалізовано програмну компоненту, а також проведено тестування комплексу в реальних та модельних умовах. Проведений аналіз показав основні недоліки існуючих систем, такі як низька точність у складних умовах, висока чутливість до багатопроменевості сигналів та висока вартість реалізації. На основі цих даних було створено архітектуру мобільної платформи, яка включає всі необхідні апаратні модулі, розроблено математичну модель визначення координат джерел радіовипромінювань та реалізовано програмну компоненту для обробки даних, фільтрації та візуалізації.

Система успішно протестована в умовах відкритої місцевості, міської забудови та середовища з високим рівнем радіоперешкод. Відзначено високу точність у стандартних умовах із похибкою до 10 метрів та швидкість обробки даних, яка не перевищувала трьох секунд. Програмна документація забезпечує повний опис функціональності системи, сценарії використання та інструкції з експлуатації, що сприяє її адаптації до різних задач.

Наукова новизна роботи полягає у розробці математичної моделі, яка поєднує багатопозиційну пеленгацію з адаптивними методами фільтрації даних, а також у створенні комплексного підходу до інтеграції апаратної та програмної частин. Практична цінність системи проявляється в її застосуванні у військових, рятувальних та цивільних операціях, де висока точність і надійність роботи є критично важливими.

Розроблений комплекс відповідає сучасним вимогам точності, швидкості обробки даних і безпеки експлуатації, що підтверджується результатами тестування та моделювання. Для подальшого розвитку пропонується оптимізувати алгоритми для складних умов, інтегрувати алгоритми машинного навчання для підвищення точності фільтрації даних та розширити функціонал для роботи з іншими інформаційними системами.

У межах роботи розроблено стартап-проект, який включає аналіз ринкових умов, оцінку потенційних клієнтів і визначення конкурентних переваг. Встановлено, що попит на розроблений продукт обумовлений його здатністю знижувати витрати на інфраструктуру порівняно з існуючими рішеннями, високою точністю роботи та адаптивністю до різних умов. Підготовлено маркетингову стратегію, яка включає диференційований підхід до цільових груп, акцент на якості продукту та використання сучасних каналів комунікації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

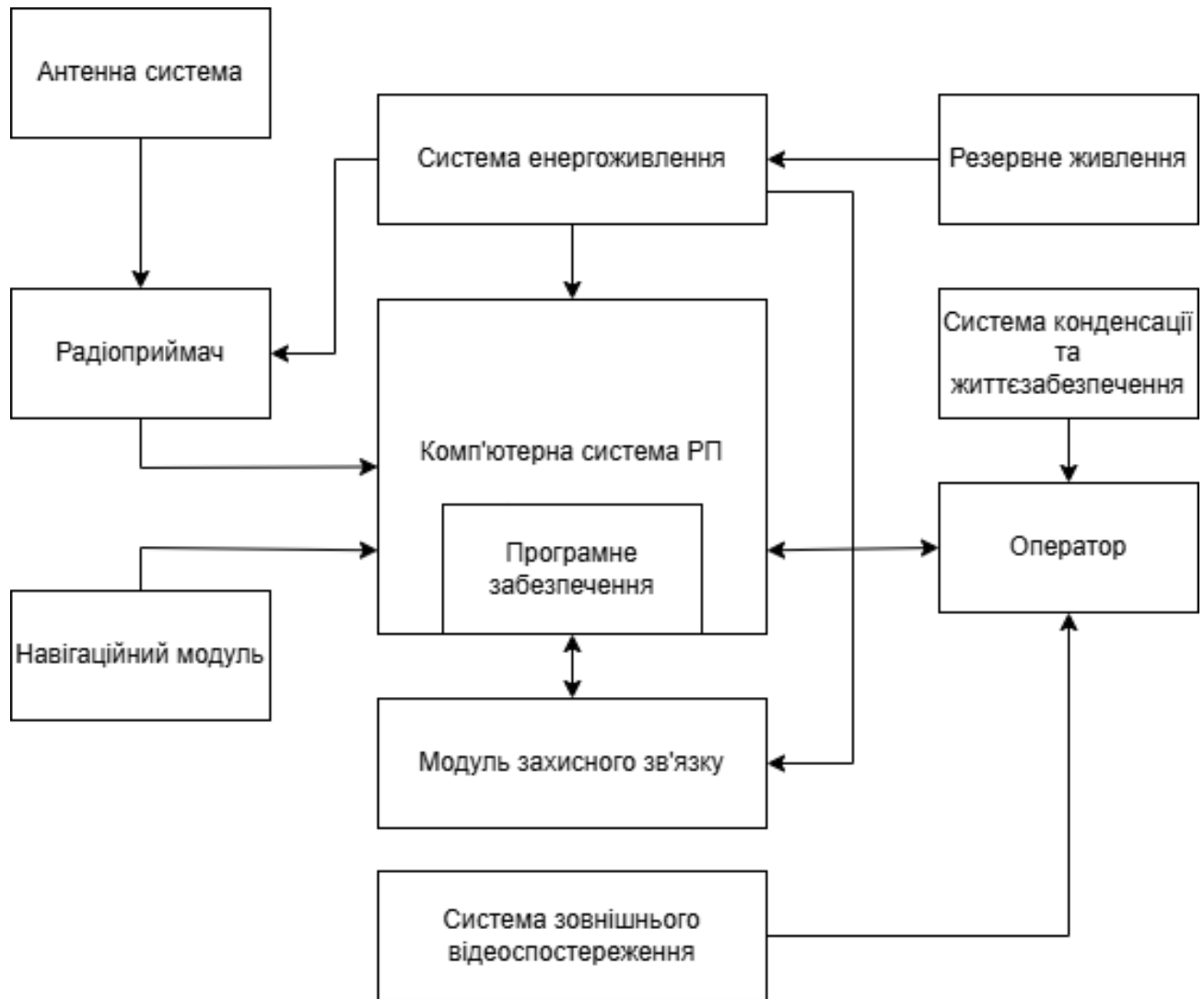
1. Слободянюк П. В. Довідник з радіомоніторингу / П. В. Слободянюк, В. Г. Благодарний, В. С. Ступак; під. заг. ред П. В. Слободянюка. — Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. — 588 с.
2. Ступак В.С., Долматов СО. Основи радіочастотного контролю: Практичний посібник / За редакцією д.т.н. Олійника В.Ф. Київ, 2004. - 231 с: іл.
3. Радіонавігаційні системи : підручник / В. М. Васильєв. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – 338с.
4. Салюк М.А. Статистична обробка даних експериментального дослідження. Методичний посібник з курсу «Експериментальна психологія» / за ред. Е.Л. Носенко. – Дніпропетровськ: Інновація, 2010. – 26 с.
5. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних: навчальний посібник для студентів / В.Є. Бахрушин. – Запоріжжя : КПУ, 2011. – 268 с.
6. Марченко О.О., Россада Т.В. Актуальні проблеми Data Mining: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. – Київ. – 2017. – 150 с.
7. Василенко О. А. Математично-статистичні методи аналізу у прикладних дослідженнях: навч. посіб. / О. А. Василенко, І. А. Сенча. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. – 166 с.
8. Foster Provost and Tom Fawcett. Data Science for Business / Foster Provost and Tom Fawcett. - Printed in the United States of America. Published by O'Reilly Media, Inc, 2013. – 409 с.
9. David Dietrich. Data Science & Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data / David Dietrich, Barry Heller, Beibei Yang. - John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, 2015. – 420 с.

10. Вимоги до розроблення та оформлення кваліфікаційної роботи:
<https://comsys.kpi.ua/magistram-3>
11. Іваненко А.В. Основи радіонавігації: навч. посібник / А.В. Іваненко. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – 320 с.
12. Петров В.М. Антени для радіозв'язку: теорія і практика / В.М. Петров. – Київ: Наук. думка, 2018. – 280 с.
13. Сидоренко О.П., Литвиненко Н.А. Основи радіолокації: навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей / О.П. Сидоренко, Н.А. Литвиненко. – Дніпро: ДНУ, 2012. – 150 с.
14. Johnson R. Principles of Radio Direction Finding / R. Johnson. – New York: McGraw-Hill, 2010. – 450 с.
15. Brown T., Smith J. Modern Radio Systems: A Practical Guide / T. Brown, J. Smith. – London: Springer, 2015. – 520 с.
16. Коваленко Л.М. Технології обробки радіосигналів: навч. посібник / Л.М. Коваленко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 220 с.
17. Нечипоренко І.С., Савченко М.П. Радіочастотні системи для моніторингу: монографія / І.С. Нечипоренко, М.П. Савченко. – Запоріжжя: КПУ, 2016. – 300 с.
18. Карпов Д.О. Методи визначення місця розташування радіопередавачів / Д.О. Карпов. – Львів: Львівська політехніка, 2018. – 180 с.
19. Walker S. Radio Signal Processing and Applications / S. Walker. – Berlin: Springer-Verlag, 2019. – 600 с.
20. Лазаренко П.В., Кучеренко С.А. Геоінформаційні технології у радіолокації / П.В. Лазаренко, С.А. Кучеренко. – Київ: КНУ ім. Т.Шевченка, 2017. – 200 с.
21. Martin K., Clark A. Signal Detection and Localization / K. Martin, A. Clark. – Oxford: Oxford University Press, 2014. – 420 с.

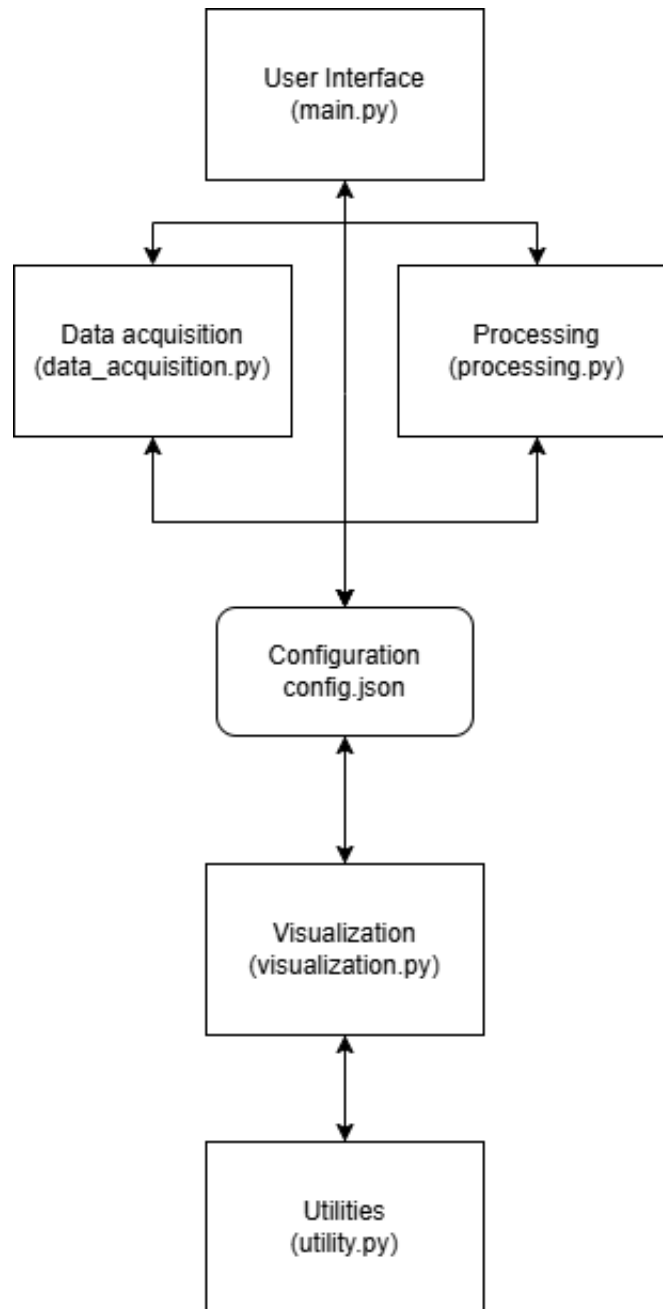
22. Федоров О.Ю. Радіопеленгатори: основи конструкції та застосування / О.Ю. Федоров. – Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2016. – 310 с.
23. Brooks T. Advanced Methods for Radio Frequency Direction Finding / T. Brooks. – Boston: Pearson Education, 2020. – 500 с.
24. Михайлов С.Р., Тимченко В.П. Основи математичного моделювання в радіотехніці / С.Р. Михайлов, В.П. Тимченко. – Донецьк: ДНТУ, 2012. – 250 с.
25. Anderson G. Radio Propagation and Antenna Design / G. Anderson. – Toronto: Wiley Publishing, 2018. – 390 с.
26. Дергачов В.А. Основи обробки сигналів: навчальний посібник / В.А. Дергачов. – Київ: Либідь, 2018. – 240 с.
27. Лазарев А.П. Радіотехнічні системи: теорія і практика / А.П. Лазарев. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – 360 с.
28. Дубровський В.І., Кравченко І.А. Основи радіонавігації: навчальний посібник / В.І. Дубровський, І.А. Кравченко. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. – 180 с.
29. Челомбітко В.М. Методи цифрової обробки сигналів: теоретичний аспект / В.М. Челомбітко. – Дніпро: Університет ДНУ, 2016. – 220 с.
30. Сидоров М.П., Гончаров Д.В. Геоінформаційні системи та технології: навчальний посібник / М.П. Сидоров, Д.В. Гончаров. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 300 с.
31. Марченко О.О. Сучасні аспекти радіолокації: навчальний посібник / О.О. Марченко. – Харків: Основа, 2021. – 250 с.
32. Литвиненко А.В. Математичні методи моделювання: прикладні аспекти / А.В. Литвиненко. – Одеса: ОНУ ім. Мечникова, 2018. – 200 с.

- 33.Сорокін П.В., Жуков М.С. Основи проектування радіотехнічних комплексів / П.В. Сорокін, М.С. Жуков. – Київ: Академперіодика, 2015. – 280 с.
- 34.Петров К.Н., Тарасов І.А. Інформаційні системи для моніторингу радіочастот / К.Н. Петров, І.А. Тарасов. – Київ: Політехніка, 2019. – 260 с.
- 35.Володько І.Л. Сучасні методи оптимізації: навчальний посібник / І.Л. Володько. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. – 190 с.
- 36.Палійчук О.В. Моделювання радіотехнічних систем: прикладні задачі / О.В. Палійчук. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 210 с.
- 37.Тихонов І.М. Основи радіонавігаційних систем / І.М. Тихонов. – Одеса: ОНАЗ ім. Попова, 2018. – 290 с.
- 38.Степаненко Д.В., Гречка І.П. Теорія ймовірностей у радіотехніці / Д.В. Степаненко, І.П. Гречка. – Харків: Основа, 2016. – 230 с.
- 39.Peter J. Diggle. Statistical Analysis of Spatial and Spatio-Temporal Point Patterns / Peter J. Diggle. – CRC Press, 2014. – 300 p.
- 40.Richard E. Blahut. Principles and Practice of Information Theory / Richard E. Blahut. – Cambridge University Press, 2017. – 390 p.

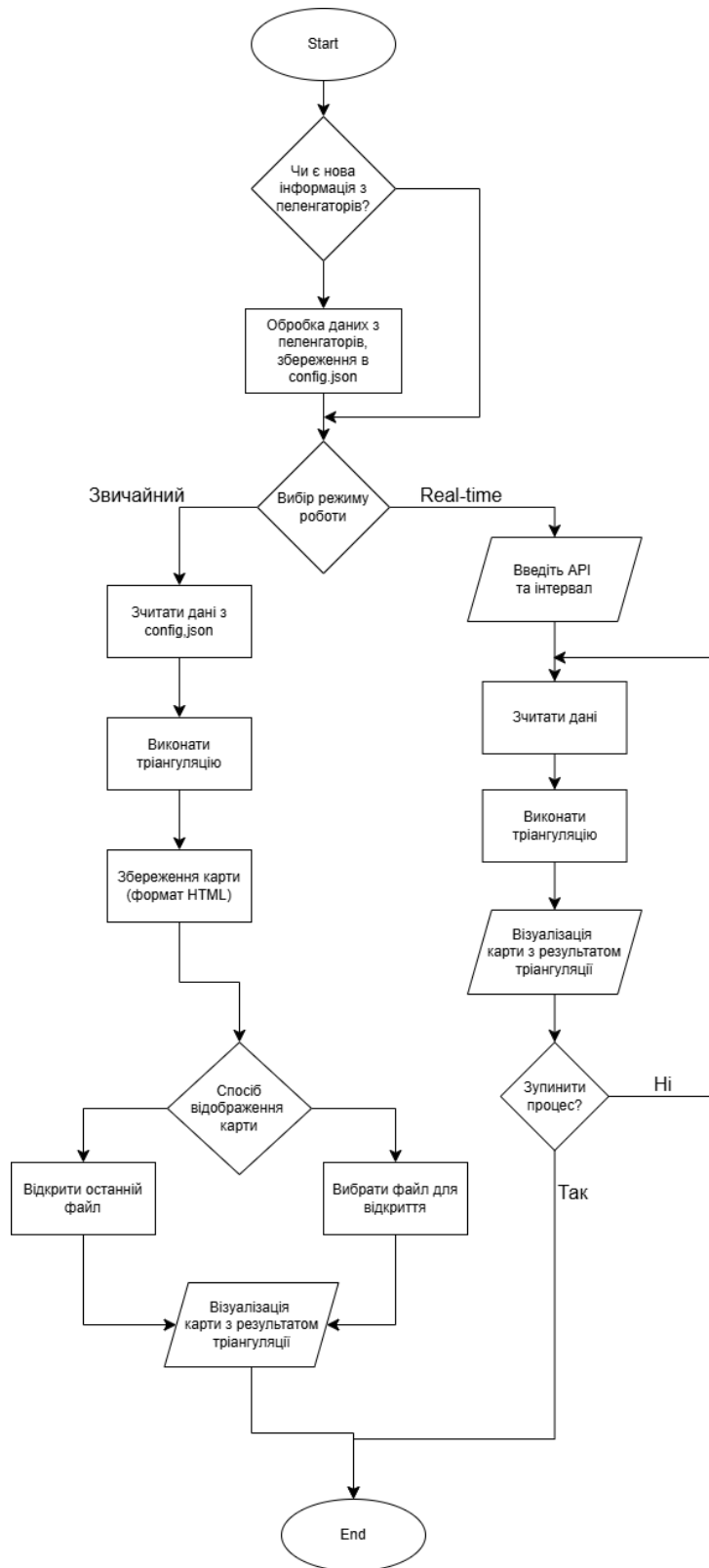
ДОДАТОК 1. Структурна схема апаратної компоненти



ДОДАТОК 2. Структурна схема програмної компоненти



ДОДАТОК 3. Блок-схема алгоритму



ДОДАТОК 4. Лістинг програмного коду

Main.py

```
from data_acquisition import load_station_data, fetch_data_from_api
from processing import calculate_source_position
from visualization import visualize_with_lines, add_uncertainty_ellipse
from utils import save_html_file
import tkinter as tk
import webview
import os
from glob import glob
import folium
from PIL import Image, ImageTk

def display_station_info(station_frame, stations, update_function, source_label):
    """
    Відображає текстові поля для редагування даних пеленгаторів.

    Параметри:
```

```

station_frame (tk.Frame): Фрейм для розміщення інформації.

stations (list): Список даних про пеленгатори.

update_function (function): Функція для оновлення даних.

source_label (tk.Label): Мітка для відображення координат джерела.

"""

for widget in station_frame.winfo_children():

    widget.destroy() # Очищуємо старі дані


entries = [] # Збираємо всі текстові поля для доступу


for idx, station in enumerate(stations):

    # Створюємо окремий фрейм для кожного пеленгатора

    frame = tk.Frame(station_frame, pady=5)

    frame.pack(fill="x", padx=10, pady=5)


    # Назва пеленгатора

    tk.Label(frame, text=f"Пеленгатор {idx + 1}", font=("Arial", 12,
"bold")).pack(anchor="w")


    # Поле для назви

```

```

tk.Label(frame, text="Назва:", font=("Arial", 10)).pack(anchor="w")

name_entry = tk.Entry(frame, font=("Arial", 10), width=30)

name_entry.insert(0, station["name"])

name_entry.pack(anchor="w", padx=5)

entries.append((name_entry, "name"))


# Поле для координат

tk.Label(frame, text="Координати (lat, lon):", font=("Arial",
10)).pack(anchor="w")

coord_entry = tk.Entry(frame, font=("Arial", 10), width=30)

coord_entry.insert(0, f'{station["coordinates"][0]}, {station["coordinates"][1]}')

coord_entry.pack(anchor="w", padx=5)

entries.append((coord_entry, "coordinates"))


# Поле для кута

tk.Label(frame, text="Кут:", font=("Arial", 10)).pack(anchor="w")

bearing_entry = tk.Entry(frame, font=("Arial", 10), width=30)

bearing_entry.insert(0, station["bearing"])

bearing_entry.pack(anchor="w", padx=5)

entries.append((bearing_entry, "bearing"))

```

```

# Фрейм для відображення координат джерела

source_frame = tk.Frame(station_frame, pady=10)

source_frame.pack(fill="x", padx=10)


# Мітка для координат джерела

tk.Label(source_frame, text="Координати джерела:", font=("Arial", 12,
"bold")).pack(side="left")

source_label.place(x=10, y=420)


# Кнопка для оновлення даних

update_button = tk.Button(

    station_frame,

    text="Оновити дані",

    command=lambda: update_function(stations, entries),

    font=("Arial", 12),

    bg="blue",

    fg="white"

)

update_button.place(x=250, y=50)

```

```

def update_station_data(stations, entries):
    """
    Оновлює дані пеленгаторів зі значень у текстових полях.
    """
    try:
        for i, (entry, key) in enumerate(entries):
            value = entry.get()

            station_idx = i // 3 # Кожен пеленгатор має 3 поля

            if key == "name":
                stations[station_idx]["name"] = value

            elif key == "coordinates":
                lat, lon = map(float, value.split(","))

                stations[station_idx]["coordinates"] = [lat, lon]

            elif key == "bearing":
                stations[station_idx]["bearing"] = float(value)

            messagebox.showinfo("Успіх", "Дані пеленгаторів успішно оновлено.")

    except ValueError:

```

```
messagebox.showerror("Помилка", "Перевірте правильність введених  
даних (координати та кут мають бути числами).")
```

```
def perform_calculation_and_save(stations, source_label):
```

```
    """
```

```
    Виконує обчислення тріангуляції, відображає координати джерела та  
зберігає карту.
```

```
    """
```

```
    try:
```

```
        if len(stations) < 2:
```

```
            messagebox.showerror("Помилка", "Для виконання тріангуляції  
потрібно мінімум два пеленгатори.")
```

```
            return
```

```
        # Зчитуємо координати та кути пеленгації
```

```
        p1 = stations[0]["coordinates"]
```

```
        alpha1 = stations[0]["bearing"]
```

```
        p2 = stations[1]["coordinates"]
```

```
        alpha2 = stations[1]["bearing"]
```

```
        # Обчислення координат джерела сигналу
```

```

source = calculate_source_position(p1, alpha1, p2, alpha2)

# Відображення координат джерела в інтерфейсі
source_label.config(text=f"{source[0]:.6f}, {source[1]:.6f}")

# Візуалізація результатів
map_result = visualize_with_lines(p1, p2, source)
add_uncertainty_ellipse(map_result,
                        center=source,
                        semi_major_km=1, # Велика піввісь 5 км
                        semi_minor_km=0.5, # Мала піввісь 2 км
                        angle_deg=10 # Нахил еліпса 0 градусів
                        )

# Збереження HTML-файлу з унікальним ім'ям
html_content = map_result.get_root().render()
file_path = save_html_file(html_content)

messagebox.showinfo("Успіх", f"Результати збережено у файл:
{file_path}\nКоординати джерела: {source[0]:.6f}, {source[1]:.6f}")

except Exception as e:

```

```

        messagebox.showerror("Помилка", f"Сталася помилка: {e}")

def get_latest_html_file(folder_name="map_logs"):
    """
    Знаходить останній створений HTML-файл у вказаній папці.
    """
    try:
        files = glob(os.path.join(folder_name, "*.html"))
        if not files:
            return None
        return max(files, key=os.path.getmtime)
    except Exception as e:
        print(f"Помилка при пошуку файлів: {e}")
        return None

def open_selected_html():
    """
    Відкриває обраний HTML-файл через діалогове вікно.
    """
    try:

```

```

from tkinter import filedialog

file_path = filedialog.askopenfilename(

    title="Оберіть HTML-файл",

    filetypes=[("HTML файли", "*.html")],

    initialdir=os.path.join(os.getcwd(), "map_logs")

)

if file_path:

    webview.create_window("Результат Тріангуляції", file_path)

    webview.start()

else:

    messagebox.showinfo("Інформація", "Файл не обрано.")

except Exception as e:

    messagebox.showerror("Помилка", f"Сталася помилка: {e}")


def open_latest_html():

    """

    Відкриває останній створений HTML-файл у вбудованому браузері.

    """

    folder_name = "map_logs"

    html_file = get_latest_html_file(folder_name)

```

```

if html_file:

    try:

        webview.create_window("Результат Триангуляції", html_file)

        webview.start()

    except Exception as e:

        messagebox.showerror("Помилка", f"Сталася помилка при відкритті
файлу: {e}")

    else:

        messagebox.showinfo("Інформація", f"У папці {folder_name} немає
HTML-файлів.")

def update_map(api_url, map_file):

    data = fetch_data_from_api(api_url)

    if not data:

        print("Не вдалося отримати дані для оновлення карти.")

        return

# Отримуємо координати та пеленги

p1 = tuple(data["stations"][0]["coordinates"])

p2 = tuple(data["stations"][1]["coordinates"])

source = tuple(data["source"]["coordinates"])

```

```

# Створення карти

map_ = folium.Map(location=[(p1[0] + p2[0]) / 2, (p1[1] + p2[1]) / 2],
zoom_start=10)

folium.Marker(p1, tooltip="Пеленгатор 1",
icon=folium.Icon(color="blue")).add_to(map_)

folium.Marker(p2, tooltip="Пеленгатор 2",
icon=folium.Icon(color="blue")).add_to(map_)

folium.Marker(source, tooltip="Джерело сигналу",
icon=folium.Icon(color="red")).add_to(map_)

folium.PolyLine([p1, source], color="green", weight=2.5).add_to(map_)

folium.PolyLine([p2, source], color="green", weight=2.5).add_to(map_)


# Збереження оновленої карти

map_.save(map_file)

def start_real_time_update(root, api_url, map_file, interval):

    try:

        interval_ms = int(interval) * 1000 # Перетворення у мілісекунди

        update_map(api_url, map_file)

        messagebox.showinfo("Інформація", f"Карта оновлюється. Відкрийте
файл: {map_file}")

```

```

        root.after(interval_ms, start_real_time_update, root, api_url, map_file,
interval)

except ValueError:

    messagebox.showerror("Помилка", "Інтервал має бути числом у
секундах.")

def realtime():

    # Налаштування tkinter

    realT = tk.Toplevel()

    realT.title("Карта в реальному часі")

    realT.geometry("400x250")

    realT.resizable(False, False)

    # URL API та шлях до HTML-файлу

    map_file = "real_time_map.html"

    label_api = tk.Label(realT, text="Введіть посилання на API:", font=("Arial",
12))

    label_api.pack(pady=10)

    api_entry = tk.Entry(realT, font=("Arial", 12), width=40)

    api_entry.pack(pady=10)

    # Інформаційна мітка

```

```
label = tk.Label(realT, text="Введіть інтервал оновлення (у секундах):",  
font=("Arial", 12))
```

```
label.pack(pady=10)
```

```
# Поле для введення інтервалу
```

```
interval_entry = tk.Entry(realT, font=("Arial", 12))
```

```
interval_entry.pack(pady=10)
```

```
# Кнопка для запуску real-time оновлення
```

```
real_time_button = tk.Button(  
    realT,  
    text="Відобразити Real-Time карту",  
    command=lambda: start_real_time_update(realT, api_entry.get(), map_file,  
interval_entry.get()),  
    font=("Arial", 12),  
    bg="orange",  
    fg="white"  
)
```

```
real_time_button.pack(pady=20)
```

```
# Запуск головного вікна
```

```

def main():

    """

    Створює інтерфейс tkinter з кнопками для виконання обчислень, вибору та
    відкриття HTML-файлів.

    """

    root = tk.Tk()

    root.title("Візуалізація результатів тріангуляції")

    root.geometry("460x550")

    root.resizable(False, False)

    bg = tk.PhotoImage(file="interface/background.png")

    ico = Image.open('interface/icon.png')

    photo = ImageTk.PhotoImage(ico)

    root.wm_iconphoto(True, photo)

    bg_label = tk.Label(root, image=bg)

    bg_label.place(x=0, y=0, relwidth=1, relheight=1)


# Зчитування даних з JSON

json_path = "config.json"

stations = load_station_data(json_path)

```

```

# Інформаційна мітка

tk.Label(root, text="Інформація про пеленгатори:", font=("Arial", 14,
"bold")).pack(pady=1)


# Фрейм для відображення текстових полів

station_frame = tk.Frame(root)

station_frame.pack(fill="both", expand=True, pady=10)


# Мітка для координат джерела

source_label = tk.Label(root, text="Невідомо", font=("Arial", 12, "bold"))


# Відображення текстових полів для редагування

display_station_info(station_frame, stations, update_station_data, source_label)


# Кнопка для обчислення та збереження карти

calc_button = tk.Button(

    root,

    text="Обрахунок координат джерела",

    command=lambda: perform_calculation_and_save(stations, source_label),

    font=("Arial", 12),

```

```
        bg="green",  
        fg="white"  
    )  
    calc_button.place(x=10,y=460)  
  
    select_button = tk.Button(  
        root,  
        text="Обрати та відкрити файл",  
        command=open_selected_html,  
        font=("Arial", 12),  
        bg="blue",  
        fg="white"  
    )  
    select_button.place(x=250, y=250)
```

```
    latest_button = tk.Button(  
        root,  
        text="Відкрити останній файл",  
        command=open_latest_html,  
        font=("Arial", 12),
```

```

        bg="green",

        fg="white"

    )

    latest_button.place(x=250, y=290)

    real_time_button = tk.Button(

        root,

        text="Режим Real-time",

        command=lambda: realtime(),

        font=("Arial", 12),

        bg="orange",

        fg="white"

    )

    real_time_button.place(x=250, y=330)

    quit_button = tk.Button(root, text="Завершити роботу", command=root.destroy,
font=("Arial", 12))

    quit_button.pack(side=tk.BOTTOM)

    label = tk.Label(root, text="Перегляд мапи:", font=("Arial", 12))

    label.place(x=250, y=220)

    root.mainloop()

```

```
if __name__ == "__main__":
```

```
    main()
```

visualization.py

```
import folium
```

```
import numpy as np
```

```
def visualize_with_lines(p1, p2, source):
```

```
    """
```

Візуалізація на карті з відображенням пеленгаторів, джерела та ліній від пеленгаторів до джерела.

Параметри:

p1 (tuple): Координати першого пеленгатора (lat, lon).

p2 (tuple): Координати другого пеленгатора (lat, lon).

source (tuple): Координати джерела (lat, lon).

Повертає:

folium.Map: Інтерактивна карта.

```
    """
```

```

# Створюємо карту, центровану на середніх координатах

map_center = [(p1[0] + p2[0]) / 2, (p1[1] + p2[1]) / 2]

map_ = folium.Map(location=map_center, zoom_start=11)


# Додавання маркерів для пеленгаторів

folium.Marker(p1, tooltip='Пеленгатор 1',
icon=folium.Icon(color='blue')).add_to(map_)

folium.Marker(p2, tooltip='Пеленгатор 2',
icon=folium.Icon(color='blue')).add_to(map_)


# Додавання маркера для джерела

folium.Marker(source, tooltip='Джерело',
icon=folium.Icon(color='red')).add_to(map_)


# Додавання ліній від пеленгаторів до джерела

line1 = [p1, source]

line2 = [p2, source]

folium.PolyLine(line1, color='green', weight=2.5, opacity=0.7).add_to(map_)

folium.PolyLine(line2, color='green', weight=2.5, opacity=0.7).add_to(map_)

return map_

```

```
def add_uncertainty_ellipse(map_, center, semi_major_km, semi_minor_km,
angle_deg):
```

```
    """
```

Додає еліпс невизначеності на карту.

Параметри:

map_ (folium.Мар): Карта для відображення області.

center (tuple): Координати центру еліпса (lat, lon).

semi_major_km (float): Довжина великої півосі (у км).

semi_minor_km (float): Довжина малої півосі (у км).

angle_deg (float): Кут нахилу еліпса (у градусах).

```
    """
```

```
# Обчислення точок еліпса
```

```
t = np.linspace(0, 2 * np.pi, 100)
```

```
x = semi_major_km * np.cos(t)
```

```
y = semi_minor_km * np.sin(t)
```

```
# Поворот еліпса
```

```

theta = np.radians(angle_deg)

x_rot = x * np.cos(theta) - y * np.sin(theta)

y_rot = x * np.sin(theta) + y * np.cos(theta)


# Перетворення координат у географічний формат

lat = center[0] + x_rot / 111 # Приблизно 1° широти = 111 км

lon = center[1] + y_rot / (111 * np.cos(np.radians(center[0])))


# Формуємо список точок для еліпса

ellipse_coords = list(zip(lat, lon))


# Додавання еліпса на карту

folium.PolyLine(

    locations=ellipse_coords,

    color="blue",

    weight=2,

    opacity=0.7

).add_to(map_)

```

Processing.py

```
import numpy as np
```

```
import math
```

```
def calculate_source_position(p1, alpha1, p2, alpha2):
```

```
    """
```

Обчислює координати джерела на основі двох пеленгаторів.

Параметри:

p1 (tuple): Координати першого пеленгатора (lat, lon).

alpha1 (float): Пеленг першого пеленгатора (у градусах).

p2 (tuple): Координати другого пеленгатора (lat, lon).

alpha2 (float): Пеленг другого пеленгатора (у градусах).

Повертає:

tuple: Координати джерела (lat, lon).

```
    """
```

```
# Перетворення градусів в радіани
```

```
alpha1 = math.radians(alpha1)
```

```
alpha2 = math.radians(alpha2)
```

```
x1, y1 = p1
```

```
x2, y2 = p2
```

```
# Обчислення тангенсів кутів
```

```
tan_alpha1 = np.tan(alpha1)
```

```
tan_alpha2 = np.tan(alpha2)
```

```
# Обчислення координат перетину двох прямих
```

```
numerator_x = (y2 - y1 + tan_alpha1 * x1 - tan_alpha2 * x2)
```

```
denominator_x = (tan_alpha1 - tan_alpha2)
```

```
x = numerator_x / denominator_x
```

```
y = y1 + tan_alpha1 * (x - x1)
```

```
return float(x), float(y)
```

```
def calculate_source_position_90(p1, alpha1, p2, alpha2):
```

```
    """
```

Обчислює координати джерела на основі двох пеленгаторів з урахуванням кута 90° між ними.

Параметри:

p1 (tuple): Координати першого пеленгатора (lat, lon).

alpha1 (float): Пеленг відносно півночі для першого пеленгатора (у градусах).

p2 (tuple): Координати другого пеленгатора (lat, lon).

alpha2 (float): Пеленг відносно півночі для другого пеленгатора (у градусах).

Повертає:

tuple: Координати джерела (lat, lon).

"""

Перетворення градусів у радіани

alpha1_rad = math.radians(alpha1)

alpha2_rad = math.radians(alpha2)

Координати пеленгаторів

x1, y1 = p1

x2, y2 = p2

```
# Визначення відстані між пеленгаторами
```

```
d = np.sqrt((x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)
```

```
# Обчислення координат джерела
```

```
x = x1 + d / (np.tan(alpha2_rad) + np.tan(alpha1_rad))
```

```
y = y1 + (x - x1) * np.tan(alpha1_rad)
```

```
return (x, y)
```

```
def triangulate(bearings, stations):
```

```
    """
```

Визначення координат ДРВ на основі пеленгів та координат радіопеленгаторів.

Параметри:

bearings (list): Список пеленгів (градуси).

stations (list): Список координат пеленгаторів (lat, lon).

Повертає:

tuple: Координати джерела (lat, lon).

"""

A = []

B = []

for bearing, (lat, lon) in zip(bearings, stations):

 angle_rad = np.radians(bearing)

 A.append([np.sin(angle_rad), -np.cos(angle_rad)])

 B.append(np.sin(angle_rad) * lon - np.cos(angle_rad) * lat)

A = np.array(A)

B = np.array(B)

coords, _, _, _ = np.linalg.lstsq(A, B, rcond=None)

return coords