

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод сканування місцевості та візуалізації даних
ультразвукового сенсора на основі ехолокації та
ультразвукового датчика»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення
освітньо-професійної програми Інженерія програмного забезпечення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Ждан ЧЕРНЯВСЬКИЙ
(підпис)

Виконав: здобувач вищої освіти групи ПДМ-61
Ждан ЧЕРНЯВСЬКИЙ

Керівник: Світлана ПОПЕРЕШНЯК
к.ф.-м.н., доцент

Рецензент: _____
науковий ступінь,
вчене звання

Київ 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного

забезпечення Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення

Освітньо-професійна програма «Інженерія програмного забезпечення»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інженерії програмного забезпечення

_____Ірина ЗАМРІЙ

«_____» _____2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

_____Чернявському Ждану Анатолійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод сканування місцевості та візуалізації даних ультразвукового сенсора на основі ехолокації та ультразвукового датчика»

керівник кваліфікаційної роботи Світлана ПОПЕРЕШНЯК, к.ф.-м.н., доцент,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних
технологій від «15» жовтня 2024 р. № 320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «17» грудня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, параметри сканування місцевості, методи обробки та візуалізації даних ультразвукового сенсора, вимоги до точності та представлення даних.

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

1. Дослідження методів ультразвукового сканування та ехолокації.

2. Моделювання та реалізація візуалізації даних, отриманих ультразвуковим сенсором.
3. Аналіз точності та ефективності запропонованого методу.
5. Перелік графічного матеріалу: *презентація*
 1. Мета, об'єкта та предмет дослідження.
 2. Методи сканування місцевості ультразвуковими сенсорами.
 3. Математична оцінка точності візуалізації даних ультразвукових сенсорів.
 4. Схема методу ехолокації та роботи ультразвукових сенсорів.
 5. Схема методу сканування місцевості.
 6. Демонстрація роботи методу на реальних прикладах.
 7. Результати моделювання методу в 3D-просторі.
 8. Результати моделювання застосування методу ультразвукового сканування в різних умовах.
 9. Висновки.
 10. Публікації та апробація роботи.
6. Дата видачі завдання «16» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	16.10-05.11.2024	
2	Вивчення матеріалів для аналізу технологій сканування місцевості ультразвуковими сенсорами	06.11-12.11.2024	
3	Дослідження методів ехолокації	13.11-19.11.2024	
4	Аналіз особливостей впливу методів ехолокації на точність візуалізації	20.11-26.11.2024	
5	Дослідження технологій візуалізації даних	27.11-03.12.2024	
6	Застосування методу ехолокації в моделюванні сканування місцевості	04.12-10.12.2024	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	11.12-20.12.2024	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	21.12-29.12.2024	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ждан ЧЕРНЯВСЬКИЙ

Керівник
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Світлана ПОПЕРЕШНЯК

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 88 стор., 2 табл., 16 рис., 28 джерел.

Мета роботи – підвищення точності сканування місцевості та візуалізації даних за допомогою ультразвукового сенсора на основі ехолокації.

Об'єкт дослідження – процес сканування місцевості та візуалізації даних в тривимірному просторі.

Предмет дослідження – метод сканування місцевості та обробка даних ультразвукових сенсорів для їхньої візуалізації у тривимірному просторі.

У роботі використано різноманітні методи, такі як методи ехолокації, апарат математичного аналізу, технології об'єктно-орієнтованого програмування. Головний акцент зроблено на методах ультразвукового сканування для покращення ефективності системи отримання даних.

Проведено аналіз сучасних методів ультразвукового сканування та візуалізації даних. Глибоко вивчено принципи роботи ультразвукових сенсорів та їхню застосовність у задачах сканування місцевості.

Розроблено та оптимізовано метод сканування місцевості на основі ультразвукового сенсора, що використовує технологію ехолокації. Застосовано сучасні підходи для покращення точності та продуктивності роботи системи.

Реалізовано програмні системи, які використовують розроблений метод для ефективного сканування та візуалізації місцевості. Застосовано технології об'єктно-орієнтованого програмування для розробки програмного забезпечення.

Проведено експерименти для валідації розробленого методу та порівняння його ефективності з існуючими підходами. Оцінено продуктивність та точність методу сканування місцевості на реальних даних.

Результати дослідження підтверджують успішність та перспективність використання ультразвукових сенсорів та методів ехолокації для задач сканування та візуалізації місцевості. Розроблений метод продемонстрував очікувані результати та може знайти широке застосування в галузях картографії, моніторингу середовища та автоматизованих системах аналізу місцевості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: УЛЬТРАЗВУКОВЕ СКАНУВАННЯ, ЕХОЛОКАЦІЯ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ, УЛЬТРАЗВУКОВІ СЕНСОРИ, ОБРОБКА СИГНАЛІВ, ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ МІСЦЕВОСТІ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining the master's degree: 88 pages, 2 table, 25 figures, 30 sources.

The purpose of the work is to increase the accuracy of terrain scanning and data visualization using an ultrasonic sensor based on echolocation.

The object of research is the process of scanning terrain and visualizing data in three-dimensional space

The subject of research is a method of terrain scanning and processing of data from ultrasonic sensors for their visualization in three-dimensional space. Various methods are used in the work, such as echolocation methods, mathematical analysis apparatus, object-oriented programming technologies. The main emphasis is on ultrasound scanning methods to improve the efficiency of the data acquisition system.

An analysis of modern methods of ultrasonic scanning and data visualization was carried out. The principles of operation of ultrasonic sensors and their applicability in terrain scanning tasks are deeply studied.

A terrain scanning method based on an ultrasonic sensor using echolocation technology has been developed and optimized. Modern approaches have been applied to improve the accuracy and performance of the system.

Software systems have been implemented that use the developed method for effective terrain scanning and visualization. Object-oriented programming technologies are used for software development.

Experiments were conducted to validate the developed method and compare its effectiveness with existing approaches. The performance and accuracy of the terrain scanning method were evaluated on real data.

The results of the study confirm the success and prospects of using ultrasonic sensors and echolocation methods for tasks of scanning and visualization of the terrain. The developed method demonstrated the expected results and can be widely used in the fields of cartography, environmental monitoring and automated terrain analysis systems.

KEY WORDS: ULTRASONIC SCANNING, ECHOLOCATION, DATA VISUALIZATION, ULTRASONIC SENSORS, SIGNAL PROCESSING, THREE-DIMENSIONAL MODELING, LOCATION ANALYSIS, AUTOMATION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ.....	14
1.1 Сканування місцевості ультразвуковими сенсорами	14
1.2 Принцип ехолокації	15
1.3 Застосування ультразвукового сканування	18
1.4 Технічні особливості ультразвукових сенсорів	20
1.5 Сучасні тенденції та перспективи розвитку	21
1.6 Ультразвуковий сенсор та мікроконтролер як спосіб збору даних	22
1.7 Огляд актуальних наукових робіт в галузі мікроконтролерів та ультразвуку	24
2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СЕНСОРА.....	28
2.1 Аналіз існуючих методів сканування місцевості та візуалізації даних ультразвукового сенсора.....	28
2.1.1 Класичні методи ультразвукового сканування	28
2.1.2 Інтегровані методи ультразвукового сканування з іншими сенсорами ...	32
2.2 Аналіз переваг та недоліків методів ультразвукового сканування.....	33
2.3 Математична модель методу сканування місцевості з використанням ультразвукового сенсора	36
3 РОЗРОБКА МЕТОДУ СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ ЕХОЛОКАЦІЇ ТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА	41
3.1 Опис розробки методу.....	41
3.2 Опис використаних програмних засобів	48
3.3 Опис структури проекту.....	66
3.4 Опис роботи апарату сканування та візуальної частини методу візуалізації даних ультразвукового сенсора.....	70
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80
ДОДАТОК А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЧМІ - Частотний модуляційний імпульс

ІМУ - Інерційний вимірювальний пристрій

ІДЕ - Інтегроване середовище розробки

LCD - Рідкокристалічний дисплей

PWM - Широтно-імпульсна модуляція

EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

ВСТУП

З розвитком сучасних технологій і швидкими темпами цифрової трансформації постає необхідність вдосконалення систем збору та обробки даних для вирішення викликів сучасного світу. Однією з ключових галузей є розробка методів сканування місцевості та візуалізації даних за допомогою ультразвукових сенсорів та технології ехолокації. Ці методи мають великий потенціал у різноманітних областях, включаючи картографію, моніторинг середовища, безпеку, роботи та багато інших.

Хоча традиційні методи сканування місцевості та отримання даних мали свій внесок у цій галузі, сучасний напрямок розвитку зосереджується на використанні ультразвукових сенсорів для підвищення точності та ефективності процесу отримання даних. Застосування ехолокації та обробки сигналів у цьому контексті відкриває нові можливості та дозволяє створювати більш точні та надійні системи збору інформації.

Данна дипломна робота присвячений аналізу та дослідженню сучасних методів сканування місцевості та візуалізації даних, зокрема використанню ультразвукових сенсорів та методів ехолокації для цієї мети. У результаті роботи виконаний детальний аналіз різних підходів, їх переваг та недоліків, а також розроблено новий метод для покращення процесу отримання та візуалізації даних в складних умовах.

Ця дипломна робота спрямована на вирішення важливих проблем у галузі збору даних та дослідження перспективних напрямків розвитку методів сканування місцевості, що мають велике значення для сучасного технологічного прогресу.

Таким чином, завдання розробки методу сканування місцевості та візуалізації даних за допомогою ультразвукових сенсорів є сучасним та актуальним.

Мета роботи – підвищення точності сканування місцевості та візуалізації даних за допомогою ультразвукового сенсора на основі ехолокації.

Об'єкт дослідження – процес сканування місцевості та візуалізації даних у

тривимірному просторі.

Предмет дослідження – метод сканування місцевості та обробка даних ультразвукових сенсорів для їхньої візуалізації у тривимірному просторі.

Для досягнення мети було пройдено наступні етапи:

1. літературний огляд. Проведено дослідження та детальний аналіз існуючих наукових джерел, щоб отримати повне уявлення про сучасні методи сканування місцевості та візуалізації даних за допомогою ультразвукових сенсорів і технології ехолокації. Вивчено переваги та обмеження існуючих підходів;

2. експериментальні дослідження. Застосовано теоретичні знання та методики з літературного огляду для перевірки їхньої ефективності на реальних та симульованих даних. Виконано серію експериментів з використанням різних методів сканування місцевості, проведено порівняльний аналіз результатів, включаючи оцінку точності, швидкості та стабільності отриманих даних;

3. моделювання та програмування. Розроблено та реалізовано програмну модель, що відображає процес сканування місцевості за допомогою ультразвукових сенсорів. Виконано програмування алгоритмів, необхідних для збору, обробки та візуалізації даних у тривимірному просторі, а також проведено навчання і тестування на вибраних наборах даних;

4. аналіз результатів. Використано статистичні методи для оцінки та порівняння результатів різних методів. Визначено точність, швидкість та стабільність кожного методу;

5. порівняльний аналіз та вдосконалення. Проведено порівняльний аналіз ефективності та продуктивності розробленого методу з існуючими підходами. На основі результатів аналізу вдосконалено методи сканування місцевості за допомогою ультразвукових сенсорів та розроблено новий підхід, спрямований на підвищення точності, швидкості та стабільності збору й обробки даних. Внесено зміни, що дозволяють покращити алгоритми аналізу та візуалізації тривимірної інформації;

Вирішення цих завдань сприяє детальному аналізу, тестуванню та розвитку сучасних підходів у дослідженні та розробці методів сканування місцевості й візуалізації даних із застосуванням ультразвукових технологій.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Сканування місцевості ультразвуковими сенсорами

Сканування місцевості ультразвуковими сенсорами (рис. 1.1) — це процес, який дозволяє створювати картину навколишнього середовища шляхом аналізу відбитих ультразвукових сигналів. Основна мета такого сканування — отримати точні дані про відстані до об'єктів, їхню форму та розташування в просторі. Це метод, який використовується у багатьох сферах, таких як картографія, робототехніка, автоматизація процесів на виробництві та системи моніторингу.

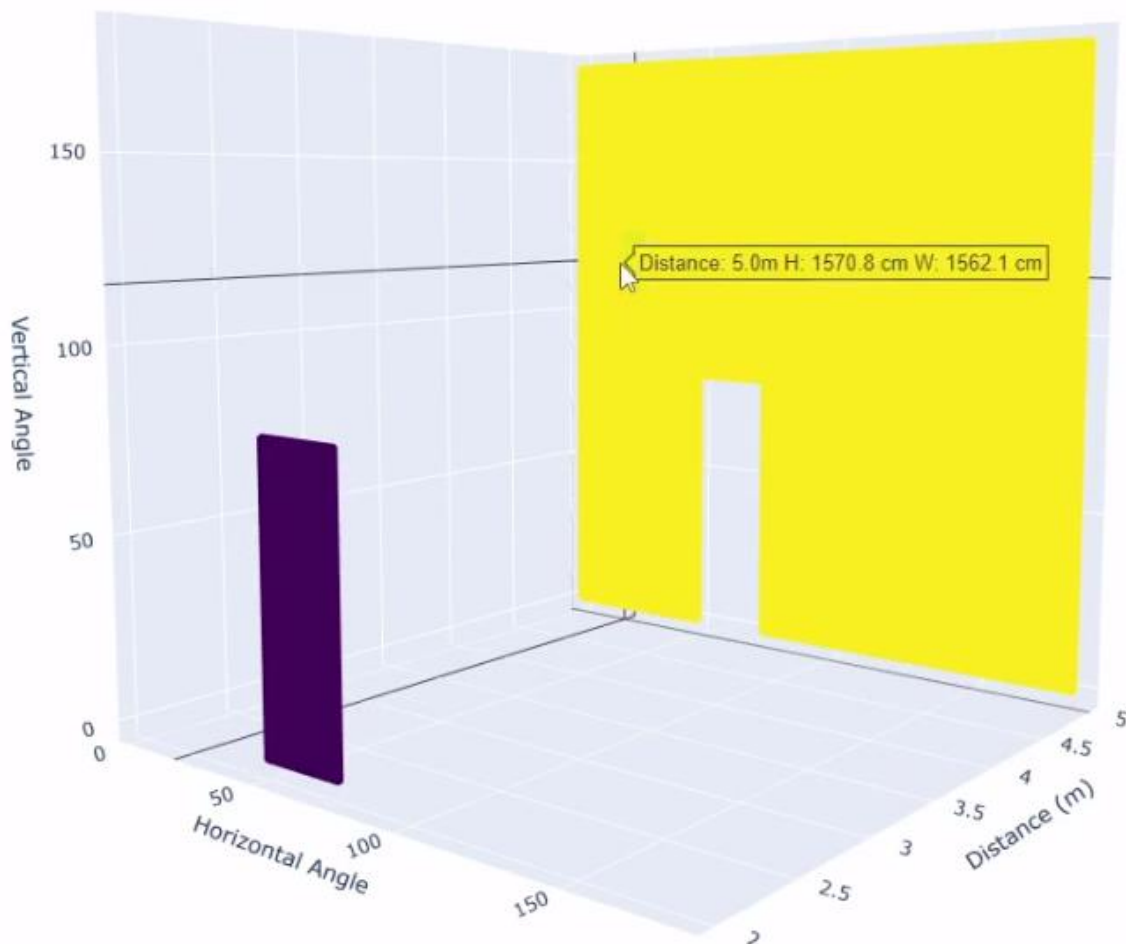


Рис 1.1 Приклад роботи ультразвукового скану

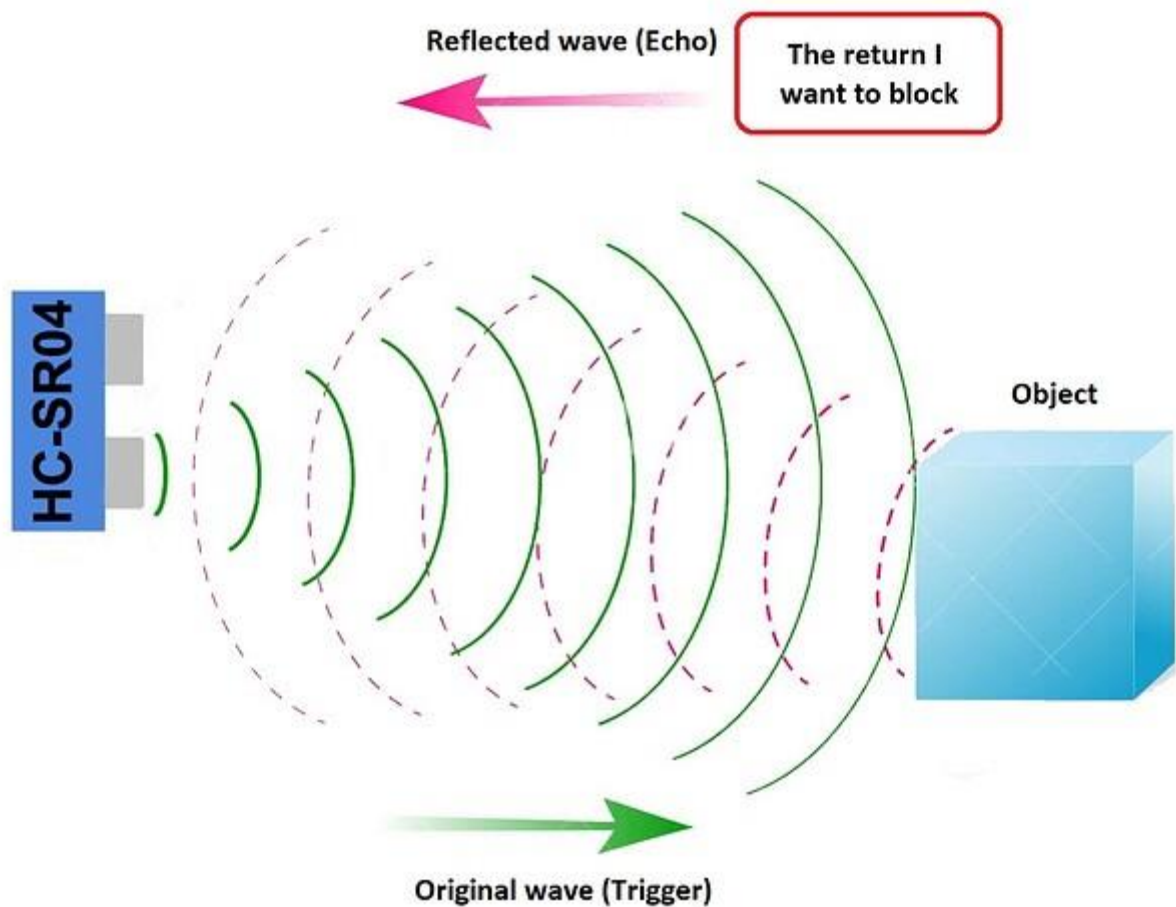


Рис. 1.2 Схематичне зображення роботи ультразвукового сенсора при скануванні місцевості

Ультразвукові сенсори працюють за принципом випромінювання ультразвукових хвиль, що відбиваються від об'єктів, та подальшого прийняття відбитого сигналу. Час, який необхідний хвилі, щоб повернутися до сенсора, дозволяє визначити відстань до об'єкта. Цей метод є дуже корисним для сканування територій з нерівною поверхнею та для отримання тривимірної інформації про навколишнє середовище (рис. 1.2).

1.2 Принцип ехолокації

Ехолокація — це метод, заснований на принципі використання звукових хвиль для визначення відстаней до об'єктів. У природі цей метод активно

використовується тваринами, такими як кажани та дельфіни, які здатні орієнтуватися у просторі завдяки відбиттю звукових хвиль від об'єктів (рис. 1.3).

Ехолокація дозволяє отримувати інформацію про об'єкти, використовуючи властивості звукових хвиль, які відбиваються від різних поверхонь і повертаються до джерела випромінювання. У технічному контексті цей метод широко застосовується в ультразвукових сенсорах для сканування місцевості та створення тривимірних моделей об'єктів. Ультразвукові сигнали проходять через середовище, стикаються з перешкодами, відбиваються і повертаються до приймача. На основі часу повернення сигналу можна визначити відстань до об'єкта та його форму.

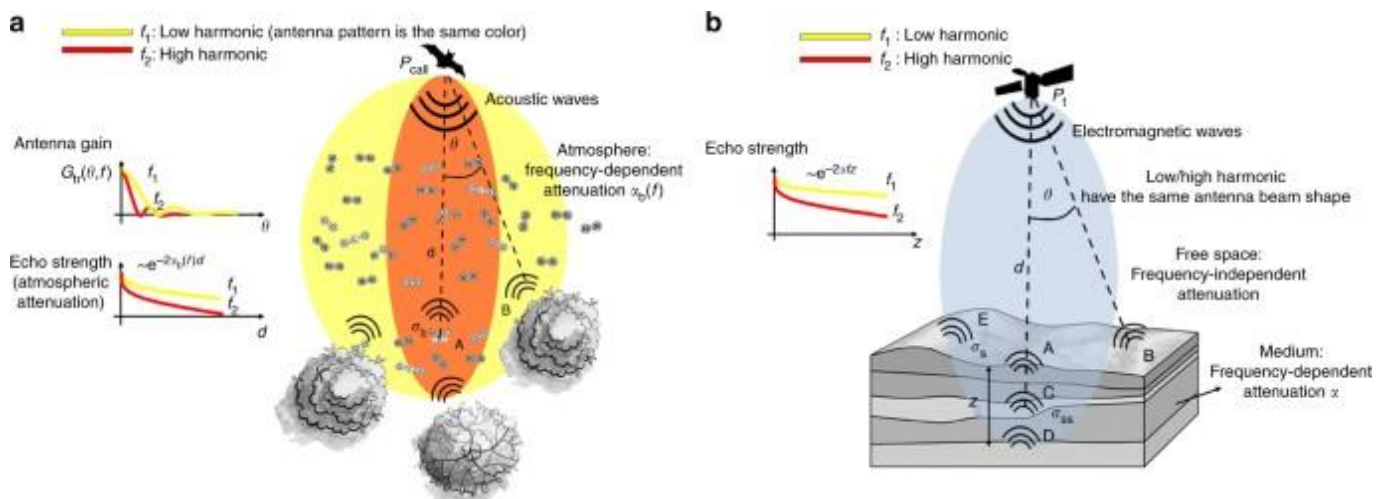


Рисунок. 1.3 Візуалізація роботи ехолокації на прикладі супутників та кажанів

У контексті сканування місцевості за допомогою ультразвукових сенсорів, ехолокація дозволяє отримати інформацію про форму та розташування об'єктів, створюючи детальну тривимірну модель місцевості. Цей метод ефективно застосовується для сканування місцевості в умовах, де інші технології, наприклад, оптичні сенсори, можуть мати обмеження через недостатнє освітлення чи наявність перешкод.

Ехолокація також відіграє ключову роль у морських дослідженнях, де ультразвукові хвилі використовуються для дослідження дна водойм, оцінки глибини та пошуку підводних об'єктів. Цей метод забезпечує високу точність та

надійність навіть у складних умовах, таких як каламутна вода або сильні течії.

Ультразвукове сканування на основі ехолокації має перевагу перед іншими методами завдяки своїй стійкості до зовнішніх впливів, таких як зміни освітлення або погодні умови. Це дозволяє використовувати ехолокацію для навігації в умовах обмеженої видимості, наприклад, під час туману або вночі. Крім того, ехолокація широко використовується в медицині для візуалізації внутрішніх органів і діагностики захворювань, що свідчить про її універсальність та ефективність.

Ехолокація також використовується у медицині для діагностики, зокрема в ультразвукових дослідженнях, де відбиття звукових хвиль дозволяє отримати зображення внутрішніх органів пацієнта. Принцип ехолокації дозволяє створювати точні зображення, що є основою для багатьох медичних процедур, включаючи контроль за станом плоду під час вагітності.

У промисловості ехолокація використовується для контролю якості продукції, наприклад, для виявлення дефектів у матеріалах. В авіації та автомобілебудуванні ехолокація допомагає визначати структурні пошкодження або відхилення у компонентах, що дозволяє забезпечити високу якість і безпеку техніки. Ехолокація також активно застосовується в навігаційних системах автомобілів для виявлення перешкод, підтримки безпечної дистанції між транспортними засобами та допомоги водіям під час паркування.

У сфері робототехніки ехолокація є важливим елементом систем навігації та виявлення перешкод. Роботи, оснащені ультразвуковими сенсорами, можуть ефективно працювати у складних умовах, автоматично обходити перешкоди та прокладати оптимальні маршрути. Це особливо актуально для мобільних роботів, що використовуються для дослідження небезпечних територій, таких як зони екологічних катастроф або аварійні об'єкти.

Таким чином, ехолокація є універсальним та ефективним методом, який дозволяє отримувати детальну інформацію про навколишнє середовище, забезпечуючи високу точність та надійність вимірювань у широкому спектрі застосувань.

1.3 Застосування ультразвукового сканування

Застосування ультразвукового сканування має широке розповсюдження у різних галузях:

Картографія. Ультразвукові сенсори дозволяють створювати детальні карти місцевості, які можуть бути використані для планування будівельних робіт або моніторингу територій.

У картографії ультразвукове сканування використовується для створення тривимірних моделей рельєфу, що особливо корисно при плануванні будівельних проектів або інфраструктурних об'єктів. За допомогою ультразвукових сенсорів можна отримати точні дані про геометрію території, враховуючи особливості ландшафту, водні об'єкти, зелені насадження та інші елементи. Ультразвукові методи дозволяють проводити зйомки навіть в умовах обмеженої видимості, таких як туман, дощ або недостатнє освітлення, що робить їх важливим інструментом для геодезичних робіт. Крім того, ультразвукові технології дозволяють проводити моніторинг змін ландшафту з часом. Це особливо важливо для запобігання природним катастрофам, таким як зсуви чи ерозія ґрунтів. Постійний моніторинг рельєфу дозволяє вчасно виявляти зміни та вживати необхідних заходів для мінімізації ризиків.

Робототехніка та автономні системи. Ультразвукові сенсори часто використовуються в робототехніці для орієнтації роботів у просторі та уникнення перешкод. У робототехніці ультразвукові сенсори використовуються для створення автономних систем навігації. Вони допомагають роботам орієнтуватися в просторі, визначати відстань до перешкод і планувати шляхи обходу. Це особливо важливо для мобільних роботів, які працюють у невідомих або змінних умовах. Крім того, ультразвукові сенсори можуть використовуватися для точного позиціонування маніпуляторів та виконання складних операцій, наприклад, збирання об'єктів або зварювання деталей.

Автоматизація процесів. На виробництві ультразвукові сенсори застосовуються для контролю процесів, де важливо точно визначити положення об'єктів. На виробничих лініях ультразвукові сенсори дозволяють точно визначати положення об'єктів, контролювати їх переміщення та здійснювати контроль якості. Наприклад, вони можуть використовуватися для перевірки рівня заповнення резервуарів, контролю розмірів деталей або виявлення дефектів на поверхнях продукції. Ультразвукові методи дозволяють автоматизувати ці процеси, підвищуючи ефективність виробництва та зменшуючи вплив людського фактору.

Крім того, ультразвукові сенсори можуть застосовуватися для виявлення прихованих дефектів у матеріалах, таких як тріщини або порожнини. Це дозволяє забезпечити високу якість продукції та мінімізувати кількість браку, що є важливим фактором для зменшення витрат на виробництво.

Моніторинг середовища та екологія. У системах моніторингу, наприклад, у природоохоронних територіях, ультразвукове сканування дозволяє виявляти зміни у рельєфі та відстежувати пересування об'єктів. У системах моніторингу середовища ультразвукове сканування застосовується для відстеження змін у природних територіях. Це включає моніторинг берегової лінії, спостереження за рівнем води у водоймах, а також контроль за станом лісових масивів. Використання ультразвукових сенсорів дозволяє виявляти потенційні проблеми, такі як ерозія ґрунтів або підтоплення, на ранніх стадіях, що дає змогу вжити відповідних заходів для їх запобігання.

Ультразвукові сенсори також можуть використовуватися для моніторингу стану водних екосистем. Вони допомагають визначати глибину водойм, досліджувати стан дна та виявляти наявність перешкод, що може бути корисним для навігації та рибальства. В екологічних дослідженнях ці сенсори дозволяють вивчати поведінку риб та інших водних організмів, що є важливим для підтримки біорізноманіття та збереження природних ресурсів.

1.4 Технічні особливості ультразвукових сенсорів

Ультразвукові сенсори мають ряд технічних особливостей, які роблять їх незамінними для сканування місцевості.

- дальність вимірювання. Сучасні ультразвукові сенсори здатні вимірювати відстані від кількох сантиметрів до десятків метрів, що дозволяє охоплювати значні площі місцевості;
- точність. Висока точність вимірювань дозволяє отримувати деталізовані тривимірні моделі, які можуть бути використані для подальшого аналізу;
- стійкість до умов навколишнього середовища. Ультразвукові сенсори не залежать від освітлення, тому можуть використовуватися як вдень, так і вночі, а також у важких погодних умовах;
- невеликий розмір і вага. Це дозволяє інтегрувати їх у різні системи, включаючи безпілотні літальні апарати, роботи та інші мобільні платформи;
- енергоефективність. Ультразвукові сенсори споживають мало енергії, що робить їх придатними для використання у автономних системах з обмеженим джерелом живлення, таких як дрони або роботизовані платформи.

Окрім цього, ультразвукові сенсори мають високу стійкість до радіочастотних перешкод, що робить їх ідеальними для використання в середовищах з високим рівнем електромагнітних шумів, таких як промислові об'єкти чи місця з великим скупченням електронного обладнання. Це забезпечує надійність їх роботи навіть у складних умовах, що є важливим фактором при виборі технології для сканування та моніторингу місцевості.

Ультразвукові сенсори також відзначаються простотою в установці та налаштуванні, що дозволяє швидко інтегрувати їх у різні системи. Вони можуть використовуватися в комбінації з іншими датчиками, такими як інфрачервоні або лазерні, для створення комплексних рішень з підвищеною точністю та ефективністю. Така гнучкість у використанні робить ультразвукові сенсори

універсальним інструментом для вирішення різноманітних завдань, пов'язаних зі скануванням та моніторингом.

1.5 Сучасні тенденції та перспективи розвитку

На сьогоднішній день ультразвукове сканування активно розвивається, і існують нові тенденції, які роблять цей метод ще більш ефективним:

1. інтеграція з іншими сенсорами. Комбінування ультразвукових сенсорів з іншими типами датчиків, такими як оптичні або інфрачервоні, дозволяє отримувати більш повну інформацію про місцевість. Наприклад, поєднання даних з ультразвукових сенсорів та камер дозволяє створювати високоточні моделі, що враховують як відстані, так і текстури поверхонь;

2. застосування алгоритмів машинного навчання. Алгоритми машинного навчання використовуються для покращення обробки даних, отриманих з ультразвукових сенсорів, та підвищення точності візуалізації. Зокрема, нейронні мережі дозволяють автоматично виявляти об'єкти та класифікувати їх, що значно спрощує процес аналізу отриманих даних;

3. автономні системи. Ультразвукове сканування використовується у автономних роботах та транспортних засобах для навігації та уникнення перешкод. Це включає як наземні роботи, так і безпілотні літальні апарати, які можуть сканувати території, недоступні для людей. Використання ультразвукових сенсорів у поєднанні з GPS та іншими навігаційними системами дозволяє створювати автономні рішення для дослідження важкодоступних місць;

4. розвиток тривимірної візуалізації. Сучасні системи ультразвукового сканування використовуються для створення тривимірних моделей об'єктів та місцевості. Це особливо корисно у будівництві, архітектурі та при плануванні інфраструктури. Такі моделі дозволяють інженерам і проектувальникам отримувати точне уявлення про об'єкти ще до початку будівельних робіт;

5. покращення точності та роздільної здатності. Нові розробки в області ультразвукових сенсорів дозволяють значно покращити точність вимірювань і

роздільну здатність отриманих даних. Це робить можливим використання ультразвукового сканування для задач, що потребують високої деталізації, таких як контроль якості на виробництві або детальне картографування складних об'єктів;

6. зменшення габаритів та підвищення енергоефективності. Технологічний прогрес сприяє створенню компактних і енергоефективних ультразвукових сенсорів, які можуть бути легко інтегровані в мобільні платформи, такі як дрони або автономні роботи. Це дозволяє розширити спектр їх застосування, включаючи дослідження важкодоступних місцевостей або проведення розвідки в небезпечних умовах;

7. впровадження у смарт-системи. Сучасні ультразвукові сенсори все частіше використовуються в смарт-системах, таких як розумні будинки або інтелектуальні міста. Вони допомагають автоматизувати контроль доступу, моніторинг навколишнього середовища, забезпечення безпеки та інші функції, що підвищують рівень комфорту і безпеки для користувачів.

1.6 Ультразвуковий сенсор та мікроконтролер як спосіб збору даних

Ультразвукові сенсори у поєднанні з мікроконтролерами є ефективним способом збору та обробки даних у реальному часі. Мікроконтролери, такі як Arduino або Raspberry Pi, забезпечують управління роботою сенсора, обробку сигналів та передачу даних до інших пристроїв для подальшої обробки або візуалізації.

Комбінація ультразвукових сенсорів з мікроконтролерами дозволяє створювати компактні та автономні системи, здатні виконувати складні завдання з мінімальним втручанням людини. Наприклад, такі системи можуть використовуватися в роботах для автономної навігації, де мікроконтролер керує сенсорами, обробляє отримані дані та приймає рішення щодо подальших дій робота.

Мікроконтролери забезпечують можливість програмування логіки роботи сенсора, що дозволяє адаптувати систему до конкретних умов застосування.

Наприклад, для дослідження місцевості можна запрограмувати сенсор на періодичне сканування навколишнього середовища та збереження отриманих даних для подальшого аналізу. Крім того, мікроконтролери можуть використовуватися для об'єднання даних з різних сенсорів, що дозволяє створювати комплексні системи моніторингу та виявлення об'єктів.

Однією з переваг використання мікроконтролерів є можливість передачі даних через бездротові мережі, такі як Wi-Fi або Bluetooth, що дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг і управління системою. Це особливо корисно у випадках, коли необхідно контролювати важкодоступні або небезпечні території. Наприклад, ультразвуковий сенсор, підключений до мікроконтролера, може використовуватися для моніторингу стану конструкцій на віддалених об'єктах, таких як мости або трубопроводи.

Ультразвукові сенсори також можуть використовуватися в поєднанні з мікроконтролерами для створення систем виявлення перешкод у транспортних засобах. Мікроконтролер обробляє дані від сенсорів і попереджає водія про наявність перешкод, що підвищує безпеку руху. Такі системи є невід'ємною частиною сучасних автомобілів, де вони використовуються для допомоги при паркуванні та уникненні зіткнень.

У сільському господарстві ультразвукові сенсори у поєднанні з мікроконтролерами використовуються для моніторингу стану ґрунту та рослин. Наприклад, сенсори можуть визначати відстань до рослин, що дозволяє оцінювати їхній ріст і стан. Мікроконтролер обробляє ці дані та передає їх до центральної системи управління фермою, що дозволяє своєчасно вживати необхідні заходи для покращення врожайності.

Таким чином, ультразвукові сенсори та мікроконтролери разом утворюють потужний інструмент для збору та обробки даних, який може використовуватися в різних галузях, включаючи робототехніку, транспорт, сільське господарство та системи безпеки. Їхнє поєднання дозволяє створювати автономні та інтелектуальні системи, здатні виконувати складні завдання у реальному часі, що відкриває нові

можливості для автоматизації та підвищення ефективності роботи у багатьох сферах людської діяльності.

1.7 Огляд актуальних наукових робіт в галузі мікроконтролерів та ультразвуку

Ультразвукова технологія та використання мікроконтролерів для керування та обробки даних є надзвичайно перспективними напрямками в сучасних інженерних дослідженнях. Вони знаходять широке застосування у різних галузях науки та техніки: від медицини до робототехніки. Розвиток мікроконтролерних систем значно розширив можливості реалізації ультразвукових проєктів, що охоплюють як промислові, так і побутові потреби. У цьому розділі розглянемо актуальні наукові роботи та дослідження, які мають вагоме значення для розвитку цієї галузі.

Для досягнення поставленої мети проведено огляд літератури. Було здійснено поглиблений аналіз існуючих наукових джерел для розуміння новітніх методів сканування місцевості з використанням ультразвукових датчиків, технології ехолокації та візуалізації отриманих даних. Наприклад, у роботі Frederike Dümbgen et al. (2023) [1] описано нові підходи до локалізації та картографування на основі звуку для роботів, які використовують прості звукові сигнали та мікрофони. Дослідження Steven Levy (2024) [2] розглядає семирічний проєкт Google X щодо інтеграції штучного інтелекту в фізичні роботи, зокрема використання ультразвукових технологій для навігації та взаємодії з навколишнім середовищем.

Вивчено переваги та обмеження існуючих підходів. Зокрема, Gajendra S. Shekhawat та Vinayak P. Dravid (2005) [3] підкреслюють важливість використання ближньопольової ультразвукової голографії для наномасштабної візуалізації вбудованих структур. Проведено експериментальні дослідження, результати яких підтверджують висновки попередніх робіт. Теоретичні знання та методи, отримані

з літературних джерел, застосовано для перевірки їх ефективності на реальних і змодельованих даних.

Виконано серію експериментів із використанням різних методів сканування та здійснено порівняльний аналіз результатів, зокрема оцінено точність, швидкість і стабільність отриманих даних. Наприклад, M.G. Silk та B.H. Lidington (1975) [4] запропонували методику ультразвукового тестування для виявлення дефектів у зварних з'єднаннях, яка була використана для оцінки ефективності сканування місцевості у реальних умовах. Розроблено та впроваджено програмну модель для відображення процесу сканування місцевості за допомогою ультразвукового датчика..

Розроблено алгоритми, необхідні для збору, обробки та візуалізації даних у тривимірному просторі, та виконано тестування вибраних наборів даних, проведений аналіз результатів. Для оцінки та порівняння різних методів використовувались статистичні методи, було визначено точність, швидкість і стабільність кожного методу. Здійснено порівняльний аналіз, проведено оцінку ефективності та продуктивності розробленого методу у порівнянні з існуючими підходами, також було проведено оптимізацію та вдосконалення. Наприклад, дослідження J.-P. Monchalain (2004) [5] вказує на можливі шляхи покращення алгоритмів аналізу та візуалізації тривимірної інформації, які були частково реалізовані в рамках цього дослідження.

Для оцінки та порівняння різних методів використовувались статистичні методи, було визначено точність, швидкість і стабільність кожного методу, здійснено порівняльний аналіз, проведено оцінку ефективності та продуктивності розробленого методу у порівнянні з існуючими підходами, також було проведено оптимізацію та вдосконалення. Покращено метод сканування місцевості за допомогою ультразвукових датчиків. Розроблено нові підходи для підвищення точності, швидкості та стабільності збору і обробки даних, внесено зміни для вдосконалення алгоритмів аналізу та візуалізації тривимірної інформації.

Наукові роботи, розглянуті у цьому розділі, підкреслюють значний потенціал мікроконтролерів та ультразвукових технологій у різноманітних сферах. Розвиток

сучасних мікроконтролерів дозволяє розробляти компактні та енергоефективні системи для збирання та обробки ультразвукових даних, що є ключовим для автоматизованих систем навігації, моніторингу та аналізу середовища. Ультразвукові сенсори в поєднанні з сучасними методами обробки даних знаходять застосування у різних сферах, починаючи від медицини і завершуючи робототехнікою та AR-технологіями, що підтверджує актуальність і перспективність подальших досліджень у цій галузі.

Наукові роботи, присвячені ультразвуковому скануванню, демонструють високу ефективність цього методу для вирішення широкого спектра задач у різних сферах. Наприклад, статті про застосування ультразвукових сенсорів у картографії описують методи створення тривимірних карт місцевості, які використовуються для будівельних та інженерних робіт. Інші дослідження фокусуються на застосуванні ультразвукового сканування у медицині, де воно допомагає отримувати зображення внутрішніх органів і діагностувати різні захворювання.

Останні наукові досягнення у сфері ультразвукового сканування спрямовані на підвищення точності та швидкості отримання даних. Наприклад, розробки в галузі обробки сигналів дозволяють зменшити вплив шумів та покращити якість отримуваних зображень. Використання новітніх алгоритмів обробки даних, таких як нейронні мережі та машинне навчання, дозволяє автоматизувати процес аналізу отриманої інформації та значно підвищити ефективність роботи систем ультразвукового сканування.

Огляд літератури також свідчить про активне використання ультразвукових сенсорів у робототехніці, де вони є невід'ємною частиною систем навігації та виявлення перешкод. Роботи з ультразвуковими сенсорами можуть виконувати складні завдання у важкодоступних місцях, що робить їх важливим інструментом для досліджень у небезпечних умовах, наприклад, під час ліквідації наслідків техногенних катастроф.

Однією з актуальних тем у наукових дослідженнях є інтеграція ультразвукових сенсорів з іншими типами датчиків. Це дозволяє створювати комплексні системи, які поєднують переваги різних методів вимірювань.

Наприклад, ультразвукові сенсори можуть використовуватися разом з інфрачервоними камерами для покращення точності виявлення об'єктів у складних умовах, таких як дим або темрява. Інше важливе напрямок — це застосування ультразвукових сенсорів у безпілотних літальних апаратах для створення детальних карт та моніторингу територій.

Значний внесок у розвиток ультразвукового сканування здійснили дослідження у сфері медицини, де цей метод дозволяє отримувати точні дані про стан внутрішніх органів без необхідності хірургічного втручання. Наприклад, у галузі акушерства ультразвук використовується для моніторингу розвитку плоду, що дозволяє своєчасно виявити можливі відхилення (Комітет Американського коледжу акушерів та гінекологів, 2021, "Indications for Outpatient Antenatal Fetal Surveillance") [6]. У кардіології ультразвукове дослідження, відоме як ехокардіографія, дозволяє оцінювати роботу серця, його структуру та виявляти серцеві патології (R. M. Lang та ін., 2021, "Echocardiography in the Diagnostic Evaluation and Phenotyping of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction") [7]. Це робить ультразвукове дослідження безпечним і зручним для пацієнтів, що сприяє його широкому застосуванню в різних галузях медицини, від акушерства до кардіології.

Перспективи розвитку ультразвукового сканування включають використання нових матеріалів для виготовлення сенсорів, що дозволить підвищити їх чутливість та зменшити розміри. Крім того, активно розробляються методи автоматизації обробки даних, отриманих під час сканування, що дозволить зменшити вплив людського фактора і підвищити точність результатів.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СЕНСОРА

2.1 Аналіз існуючих методів сканування місцевості та візуалізації даних ультразвукового сенсора.

2.1.1 Класичні методи ультразвукового сканування

Одним із класичних методів сканування місцевості є використання імпульсного методу, який базується на генерації ультразвукових імпульсів та їх подальшому аналізі. Ультразвуковий імпульс генерується передавачем, і після відбиття від об'єкта приймається датчиком, що дозволяє визначити відстань до цього об'єкта. Імпульсні сигнали використовують математичний опис часу затримки для обчислення відстані. Основна формула для розрахунку виглядає наступним чином: Нехай c — швидкість звуку, t — час проходження сигналу до об'єкта та назад, тоді відстань d можна визначити за формулою (2.1):

$$d = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (2.1)$$

де d — відстань до об'єкта, c — швидкість звуку в середовищі (в середньому 343 м/с у повітрі при температурі 20 °C).

Цей метод є базовим для багатьох систем ультразвукового сканування та може застосовуватися для виявлення перешкод, вимірювання глибини, створення карт місцевості тощо. Основною перевагою імпульсного методу є його простота та висока ефективність при невеликій складності об'єктів. Проте, метод має обмеження в умовах складного середовища, наприклад, при наявності великої кількості відбиттів або шумів.

Метод фазового аналізу також є одним із класичних підходів. Він базується на порівнянні фаз переданого і прийнятого сигналів для визначення зміни відстані. Формула для розрахунку зміни відстані Δd виглядає наступним чином (2.2):

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \Delta\varphi, \quad (2.2)$$

де λ — довжина хвилі ультразвуку, $\Delta\varphi$ — зміна фази сигналу.

Цей метод забезпечує більш точне визначення відстані, проте потребує складнішого обладнання та обчислювальних ресурсів. Застосування фазового аналізу часто знаходить своє місце у високоточних системах вимірювання відстані та тривимірного картування.

Існує також метод частотного модуляційного імпульсу (ЧМІ), який базується на аналізі зміни частоти ультразвукових імпульсів під час їхнього проходження до об'єкта і назад. Цей метод дозволяє вимірювати відстані з високою точністю, використовуючи залежність між частотою переданого сигналу та частотою прийнятого сигналу. Формула для визначення відстані при використанні ЧМІ виглядає так(2.3):

$$d = \frac{c}{2b} \cdot \Delta f, \quad (2.3)$$

де d — відстань до об'єкта, c — швидкість звуку, B — ширина смуги частот, Δf — зміна частоти сигналу після відбиття.

Цей метод забезпечує високу роздільну здатність і може бути використаний для детального картування місцевості. Важливою перевагою ЧМІ є можливість використовувати його для роботи в умовах сильних шумів, оскільки частотна модуляція дозволяє виділяти сигнал серед перешкод.

Метод доплерівського ефекту застосовується для визначення швидкості руху об'єктів. Ультразвуковий сенсор генерує сигнал, який відбивається від рухомого об'єкта, і аналізується зміна частоти прийнятого сигналу порівняно з переданим. Формула для визначення швидкості об'єкта v на основі доплерівського зсуву частоти f_d виглядає так(2.4):

$$v = \frac{f_d \cdot c}{2f_0}, \quad (2.4)$$

де f_d — доплерівський зсув частоти, c — швидкість звуку, f_0 — початкова частота переданого сигналу.

Цей метод широко використовується для виявлення та відстеження рухомих об'єктів, таких як транспортні засоби або дрони. Доплерівський метод дозволяє точно визначати швидкість об'єкта, але потребує точного налаштування

обладнання для мінімізації похибок, викликаних зовнішніми факторами.

Ще одним методом є використання ультразвукових решіток, де кілька ультразвукових сенсорів працюють одночасно для отримання більш детальної інформації про місцевість. Формула для розрахунку відстані до об'єкта в системі з кількома сенсорами базується на тріангуляції(2.5):

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}, \quad (2.5)$$

де r_i — відстань від i -го сенсора до об'єкта, (x_i, y_i, z_i) — координати i -го сенсора, (x_0, y_0, z_0) — координати об'єкта.

Використання ультразвукових решіток дозволяє підвищити точність вимірювань та забезпечити кращу стійкість до перешкод, оскільки інформація обробляється одночасно з кількох джерел. Це зменшує вплив випадкових похибок і дозволяє отримати детальнішу модель місцевості.

Крім того, можна застосовувати метод адаптивного фільтрування для покращення якості сигналу, що дозволяє зменшити рівень шумів та інших перешкод. Адаптивне фільтрування полягає в обчисленні коефіцієнтів фільтра на основі поточного значення сигналу та історії попередніх вимірювань. Фільтр використовується для обробки сигналів, що надходять від ультразвукових датчиків, з метою видалення шумів або небажаних коливань і виділення корисної інформації. Це особливо важливо при аналізі відбитих сигналів, які можуть містити багато перешкод, викликаних зовнішніми факторами або властивостями середовища. Формула для адаптивного фільтра може бути представлена таким чином(2.6):

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} w_i(n) x(n-i), \quad (2.6)$$

де $y(n)$ — вихідний сигнал фільтра, $w_i(n)$ — адаптивні вагові коефіцієнти, $x(n-i)$ — вхідний сигнал, M — порядок фільтра.

Адаптивне фільтрування дозволяє ефективно виділяти корисний сигнал серед шумів, особливо в умовах, коли характеристики шуму можуть змінюватися з часом.

Також слід згадати методи статистичного усереднення, які використовуються для покращення точності вимірювань. Метод усереднення

полягає у зборі кількох вимірів і розрахунку середнього значення, що дозволяє зменшити вплив випадкових помилок. Формула для розрахунку середнього значення виглядає наступним чином(2.7):

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (2.7)$$

де $\bar{d}$ — середнє значення відстані, N — кількість вимірювань, d_i — i -те виміряне значення.

Цей метод дозволяє значно зменшити випадкові похибки, особливо при наявності перешкод або нестабільних умов вимірювання. Застосування статистичних методів обробки даних є важливим інструментом для покращення надійності результатів вимірювань.

Іншим важливим аспектом є використання методів корекції температурних впливів. Швидкість звуку в повітрі залежить від температури, тому для підвищення точності вимірювань необхідно враховувати цей фактор. Формула для корекції швидкості звуку залежно від температури T виглядає так(2.8):

$$c(T) = c_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}}, \quad (2.8)$$

де $c(T)$ — швидкість звуку при температурі T , c_0 — швидкість звуку при температурі 0°C (приблизно 331.3 м/с).

Ця формула дозволяє коригувати результати вимірювань відповідно до поточних температурних умов, що підвищує загальну точність ультразвукових скануючих систем.

Усі ці методи мають свої переваги та обмеження і можуть застосовуватися в залежності від конкретних завдань та умов середовища. Імпульсний метод і метод фазового аналізу є основними для загальних вимірювань, тоді як ЧМІ та доплерівський ефект дозволяють отримувати більш детальні дані та використовуються для спеціалізованих застосувань. Ультразвукові решітки дозволяють підвищити надійність і точність вимірювань, забезпечуючи можливість створення високоякісних тривимірних моделей місцевості.

2.1.2 Інтегровані методи ультразвукового сканування з іншими сенсорами

Інтегровані методи ультразвукового сканування з іншими сенсорами Для підвищення точності та надійності сканування часто застосовуються інтегровані системи, які використовують комбінацію ультразвукових сенсорів з іншими типами сенсорів, такими як оптичні або інфрачервоні сенсори. Це дозволяє компенсувати недоліки одного типу сенсора за рахунок переваг іншого, забезпечуючи більш стабільні та точні результати.

Одним із прикладів інтегрованого підходу є комбінування ультразвукового сенсора з оптичним для створення гібридної системи виявлення перешкод. Ультразвуковий сенсор використовується для визначення відстані до об'єктів, тоді як оптичний сенсор забезпечує додаткову інформацію про структуру та контури об'єктів. Це дозволяє покращити точність розпізнавання та зменшити кількість помилкових виявлень, особливо в складних умовах освітлення.

Формально інтеграцію даних можна представити як злиття двох наборів вимірювань, де результуюче значення визначається як середнє зважене між вимірюваннями ультразвукового (d_u) та оптичного сенсора (d_0)(2.9):

$$d = w_u d_u + w_0 d_0, \quad (2.9)$$

де w_u та w_0 — вагові коефіцієнти, що визначають внесок кожного з сенсорів у результуюче значення. Вибір коефіцієнтів залежить від характеристик сенсорів та умов, в яких проводиться вимірювання.

Ще одним прикладом є інтеграція ультразвукових сенсорів рис 2.1. з інерційними вимірювальними одиницями (IMU), що дозволяє враховувати рух сенсора під час сканування. Використання IMU дозволяє компенсувати вплив вібрацій та зміни кута нахилу сенсора, що особливо важливо для мобільних платформ. Формула для корекції виміряної відстані з урахуванням кута нахилу φ виглядає так(2.10):

$$d' = d \cdot \cos(\varphi), \quad (2.10)$$

де d' — скоригована відстань, d — початкова виміряна відстань, φ — кут нахилу сенсора відносно вертикалі.

HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module Distance Measuring Transducer

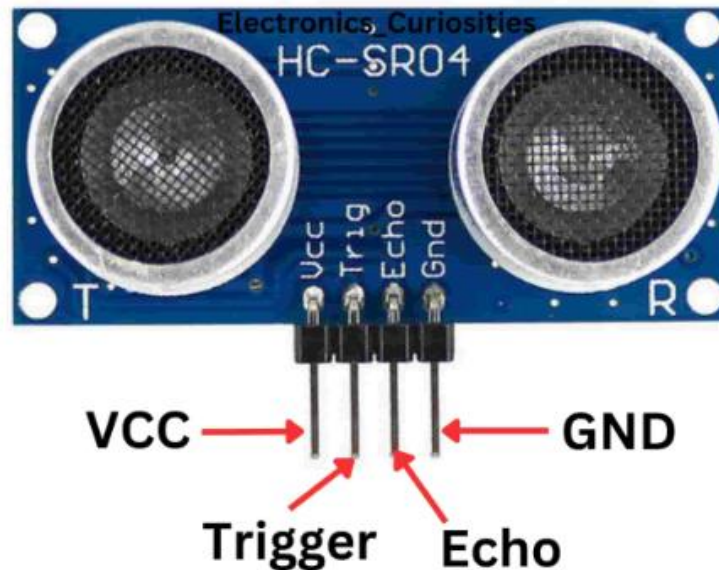


Рис 2.1 ультразвуковий сенсор Arduino

Інтеграція ультразвукових сенсорів з іншими типами сенсорів дозволяє створювати більш стійкі та надійні системи сканування, що можуть працювати у складних умовах, таких як нерівні поверхні, висока вологість або змінне освітлення. Використання гібридних систем значно підвищує точність отриманих даних та забезпечує можливість використання таких систем у реальних додатках, таких як автономна навігація або дослідження навколишнього середовища.

2.2 Аналіз переваг та недоліків методів ультразвукового сканування.

Для досягнення високої ефективності сканування місцевості використовуються різні методи ультразвукового сканування, кожен із яких має свої унікальні переваги та обмеження. Вибір відповідного методу залежить від умов середовища, завдань та вимог до точності, швидкості і вартості. Далі наведено детальний аналіз переваг та недоліків різних методів ультразвукового сканування.

Інтегровані методи ультразвукового сканування комбінують кілька типів сенсорів, що підвищує загальну точність і стійкість до перешкод, а використання ультразвукових та оптичних сенсорів забезпечує детальнішу інформацію про об'єкти і зменшує кількість помилкових виявлень, що дозволяє працювати в складних умовах, таких як змінне освітлення чи нерівна поверхня, проте такі системи потребують складнішого налаштування та синхронізації даних, що збільшує їх вартість і складність. Методи статистичного усереднення зменшують вплив випадкових похибок у вимірюваннях, оскільки збір кількох вимірів і розрахунок середнього значення забезпечують надійні результати, особливо в умовах шуму чи нестабільного середовища, а простота реалізації та ефективність роблять цей метод зручним, однак він не компенсує систематичних похибок, що обмежує його застосування. Адаптивне фільтрування дозволяє зменшити шум і перешкоди, коригуючи параметри фільтра на основі сигналу, і добре працює в динамічних умовах, де шум змінюється з часом, а здатність автоматично підлаштовуватися до середовища підвищує надійність сигналу, хоча метод вимагає значних обчислювальних ресурсів, що може бути проблемою для мобільних пристроїв і систем реального часу. Метод доплерівського ефекту дозволяє визначати швидкість об'єктів за зміною частоти відбитого сигналу, забезпечуючи високу точність для швидкорухомих об'єктів, таких як транспорт чи дрони, і дозволяє безконтактне вимірювання швидкості в реальному часі, однак він чутливий до зовнішніх факторів і потребує точного налаштування обладнання.

Метод частотного модуляційного імпульсу, базується на аналізі зміни частоти між переданим і відбитим сигналом, активно застосовується у високоточних вимірюваннях, таких як картографування поверхонь, моніторинг відстаней і автоматизоване управління транспортними засобами. Його висока роздільна здатність дозволяє фіксувати навіть незначні зміни відстаней, що робить його незамінним у складних середовищах, наприклад у радіолокації чи LiDAR-системах. Водночас використання цього методу вимагає складного електронного обладнання для генерування та обробки сигналів, що суттєво

збільшує вартість його реалізації. Точність системи залежить від якісної налаштування, що мінімізує вплив шумів або нестабільності апаратури.

Імпульсний метод ґрунтується на вимірюванні часу проходження сигналу до об'єкта та назад, відрізняється простотою реалізації. Завдяки доступності необхідного обладнання, цей метод широко використовують у побуті та промисловості, також його досить широко використовують в системах безпеки, та ультразвукових датчиках для паркування автомобілів і виявлення перешкод у робототехніці. Однак точність цього методу помітно знижується в складних середовищах, де сигнал може багаторазово відбиватися від різних поверхонь. Це особливо проблематично при роботі з об'єктами складної форми або в приміщеннях із великою кількістю відбивальних структур.

Для порівняльної характеристики зобразимо таблицю 2.1:

Таблиця 2.1

Порівняння методів сканування місцевості ультразвуковими сенсорами

Характеристика/Метод	Складність збору даних	Алгоритми обробки даних	Вартість обладнання	Вимоги до технічного обслуговування	Застосування в малобюджетних проектах	Гнучкість використання
Триангуляція	Висока – потребує множини сенсорів та їх фіксованого розташування	Складні, потребують високих обчислювальних ресурсів	Висока – в три рази дорожче	Високі – налаштування та підтримка множини сенсорів	Обмежене через високу вартість	Обмежена фіксованим розташуванням сенсорів
Метод фазового зсуву	Низька – один сенсор	Складні, але зазвичай швидкі для обчислень	Висока – потребує спеціалізованих датчиків	Низькі – потребує мінімального технічного обслуговування	Обмежене через високу вартість	Висока – може бути адаптоване для різних застосувань
Метод резонансу	Висока – потребує складних апаратних засобів	Складні, вимагають високої точності	Висока – потребує спеціальних матеріалів та обладнання	Високі – потрібно регулярно калібрувати обладнання	Обмежене через вартість матеріалів та обладнання	Обмежена специфічним умовами роботи
Метод матриць яскравості та відстані	Низька – один сенсор, просте налаштування	Прості обчислення, мінімальні вимоги до ресурсів	Низька – потребує 1 сенсор	Низькі – мінімальні технічні обслуговування	Висока доступність для малобюджетних проектів	Висока – можна змінювати розташування сенсора в залежності від потреб

Порівняння параметрів ультразвукового сканування за різних погодних умов можна побачити у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Порівняння параметрів ультразвукового сканування за різних погодних умов

Погодні умови	Нормальні умови	Висока вологість	Низька температура	Сильний вітер	Висока температура	Сильний дощ
Точність (% від нормаль-ної)	100%	90%	95%	85%	98%	80%
Швидкість (від нормаль-ної)	100%	85%	95%	80%	102%	75%
Примітки	Сканування займає 1 хвилину і 7 секунд	Волога може впливати на точність, час може бути довшим (78.82 секунд)	Може трохи знижувати швидкість, але точність не сильно змінюється (70.53 секунд)	Вітер може вплинути на точність і швидкість сигналу (83.75 секунд)	Швидкість звуку може трохи збільшитись при високій температурі (65.69 секунд)	Вологість і дощ знижують точність і зменшують швидкість (89.33 секунд)

2.3 Математична модель методу сканування місцевості з використанням ультразвукового сенсора

Математична модель у наукових дослідженнях слугує абстрактним описом реальної системи, процесу чи явища через використання математичних виразів, рівнянь, графіків та алгоритмів. Вона дозволяє глибше зрозуміти процеси, що відбуваються, оцінити їх характеристики, передбачити подальший розвиток та виявити залежності між параметрами системи. У контексті роботи з ультразвуковим скануванням місцевості, математична модель дає змогу

формалізувати процес детектування об'єктів і будувати їх візуальне представлення.

Математична модель виконує важливу роль у вивченні складних систем, оскільки вона дозволяє абстрагуватися від зайвих деталей реальності, залишаючи лише ключові аспекти, які визначають поведінку системи в цілому. Це значно спрощує аналіз навіть дуже складних явищ, дозволяючи зосередитися на найважливіших компонентах і їхніх взаємозв'язках, що критично важливо для розуміння природи функціонування системи. Водночас, модель дає можливість формалізувати взаємозв'язки між окремими елементами системи, використовуючи для цього точні математичні рівняння, які дозволяють однозначно описати вплив кожного елемента на загальну поведінку. Таке формалізоване уявлення не лише спрощує розрахунки, але й дає змогу побачити приховані закономірності, які могли б залишитися непоміченими у випадку звичайного емпіричного аналізу.

Крім того, за допомогою математичної моделі можна змодельовати поведінку системи за різних умов, оцінити, як зміна окремих параметрів або вплив зовнішніх факторів відображається на загальній динаміці, а також передбачити можливі сценарії розвитку. Це відкриває широкі можливості для прогнозування, планування та ухвалення рішень, заснованих на ґрунтовному аналізі. Особливу цінність цей підхід має у ситуаціях, коли потрібно оцінити складні сценарії чи спрогнозувати наслідки впливу рідкісних подій.

Моделі також є потужним інструментом для аналізу і оптимізації, оскільки вони не лише дозволяють вивчати поведінку системи у різних ситуаціях, але й слугують засобом пошуку оптимальних параметрів чи сценаріїв. Це дозволяє підвищити ефективність функціонування системи, скоротити витрати або уникнути небажаних наслідків. Математична модель стає базою для прийняття раціональних рішень, адже вона дає можливість не лише краще зрозуміти систему, але й знаходити рішення, які забезпечують найкращі результати відповідно до поставлених цілей. Таким чином, математичне моделювання виступає ключовим інструментом в аналізі, прогнозуванні, оптимізації та

управлінні складними системами.

Ультразвукове сканування базується на передачі та прийомі звукових хвиль високої частоти, які взаємодіють з об'єктами на своєму шляху. У процесі сканування передавач випромінює хвилю, яка розповсюджується в середовищі з певною швидкістю. Коли хвиля досягає межі середовища або об'єкта, вона частково відбивається назад до приймача. Швидкість звуку у повітрі може бути описана наступною формулою(2.11):

$$v = 331.4 + 0.6 * T, \quad (2.11)$$

де: v — швидкість звуку (м/с); T — температура повітря в градусах Цельсія.

Ця формула показує, що швидкість звуку залежить від температури, що необхідно враховувати при розрахунках відстаней до об'єктів. Наприклад, при температурі 20°C швидкість звуку у повітрі становить приблизно 343 м/с.

Модель передачі та прийому ультразвукових сигналів. Передача та прийом ультразвукових хвиль є основою методу сканування місцевості. Модель передачі ультразвукових хвиль може бути описана рівнянням, яке враховує час проходження сигналу від передавача до об'єкта і назад до приймача(2.12):

$$D = \frac{v*t}{2}, \quad (2.12)$$

де D — відстань до об'єкта; v — швидкість звуку у середовищі; t — час, який витрачається на проходження сигналу від передавача до об'єкта і назад.

Ця формула дозволяє визначити відстань до об'єкта, враховуючи, що ультразвукова хвиля проходить шлях двічі (туди і назад). Припустимо, що час проходження сигналу становить 0,02 секунди, а швидкість звуку у повітрі — 343 м/с. Тоді відстань до об'єкта можна визначити як(2.13):

$$D = \frac{343*0.02}{2} = 3.43 \text{ м.}, \quad (2.13)$$

Швидкість звуку у середовищі залежить від різних параметрів, таких як температура, вологість та тиск. Температура є одним із ключових факторів, який значно впливає на швидкість звуку. З підвищенням температури швидкість звуку збільшується, що пов'язано зі збільшенням енергії молекул і швидшою передачею

коливань. Вологість також впливає на швидкість звуку — чим більша вологість, тим вища швидкість, оскільки водяна пара легша за сухе повітря.

Модифікована формула для обчислення відстані до об'єкта з урахуванням температури виглядає наступним чином(2.14):

$$D = \frac{(331.4 + 0.6 * T) * t}{2}, \quad (2.14)$$

Візуалізація даних ультразвукового сенсора полягає у перетворенні відстаней до об'єктів у координати точок, що представляють розташування цих об'єктів у просторі. Для цього використовується полярна система координат, в якій відстань до об'єкта та кут визначають його положення(2.15):

$$x = D * \cos(\theta), y = D * \sin(\theta), \quad (2.15)$$

де D — відстань до об'єкта; θ — кут сканування.

Ці рівняння дозволяють отримати координати точки в декартовій системі координат, що зручно для побудови карти місцевості. Поступове зміщення сенсора дозволяє зібрати дані з різних позицій, створюючи повну картину досліджуваної території.

Для побудови точної тривимірної моделі місцевості використовуються методи триангуляції. Триангуляція дозволяє визначити просторове положення об'єктів, використовуючи кілька вимірювань з різних позицій. Основна формула триангуляції виглядає наступним чином(2.16):

$$Z = \frac{f * T}{d}, \quad (2.16)$$

де Z — глибина об'єкта; f — фокусна відстань камери; T — відстань між сенсорами (база); d — диспаратет між відповідними точками на двох зображеннях.

Цей метод дозволяє створювати тривимірні моделі об'єктів, відновлюючи їх положення в просторі на основі даних з декількох сенсорів або зображень, що є надзвичайно корисним у навігаційних системах та системах моніторингу.

Для ефективного сканування місцевості необхідно оптимізувати траєкторію руху сенсора таким чином, щоб забезпечити максимальне покриття території за

мінімальний час. Оптимізація може бути реалізована як задача мінімізації, де цільова функція визначає сумарний час сканування або кількість непокритих областей.

Для побудови поверхневої тривимірної моделі використовується метод перетворення двовимірної у тривимірну. Цей підхід базується на принципах проекційної геометрії та обробки даних, отриманих з ультразвукових сенсорів. В основі цього методу лежить трансформація полярних або сферичних координат у декартові координати для створення хмари точок, яка є основою для побудови поверхні. Дані, які надходять з ультразвукового сенсора, містять: горизонтальний кут (θ) — визначає напрямок у горизонтальній площині, вертикальний кут (ϕ) — визначає напрямок у вертикальній площині, відстань до об'єкта (r) — вимірюється сенсором для кожної точки сканування. Отримані дані представлено у сферичних координатах. Для їхнього використання в 3D—просторі потрібно виконати перетворення у декартову систему координат за такими формулами (2.17),(2.18),(2.19):

$$x = r * \sin \phi * \cos \theta, \quad (2.17)$$

$$y = r * \sin \phi * \sin \theta, \quad (2.18)$$

$$z = r * \cos \phi, \quad (2.19)$$

де x, y, z — декартові координати точки у тривимірному просторі; θ — горизонтальний кут (вимірюється в градусах або радіанах); ϕ — вертикальний кут; r — відстань до точки.

Цей метод дозволяє створювати тривимірні моделі об'єктів, відновлюючи їх положення в просторі на основі даних з декількох сенсорів або зображень, що є надзвичайно корисним у навігаційних системах та системах моніторингу.

3 РОЗРОБКА МЕТОДУ СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ ЕХОЛОКАЦІЇ ТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА

3.1 Опис розробки методу

Розроблений метод ультразвукового сканування місцевості з візуалізацією даних базується на принципі ехолокації та передбачає поетапний підхід для отримання двовимірних та тривимірних зображень. Метод включає апаратну та програмну реалізації, обробку даних, візуалізацію та оптимізацію процесу сканування. Апаратна частина включає використання ультразвукового датчика (HC—SR04), який здійснює вимірювання відстані на основі часу повернення сигналу після його відбиття від об'єктів. Сервоприводи, керовані мікроконтролером Arduino, використовуються для регулювання напрямку сканування. Один сервопривід відповідає за горизонтальне переміщення датчика, інший за вертикальне. Ультразвуковий датчик розташовується в точці початкового вимірювання, після чого він послідовно змінює свій кут для покриття заданої області.

Програмне забезпечення на мові C/C++ розроблене для мікроконтролера Arduino керує процесом збору даних. Воно забезпечує рух сервоприводів під різними кутами та здійснює вимірювання відстані на кожному етапі сканування. Зібрані дані, що включають кути повороту та відповідні значення відстаней, передаються на комп'ютер через послідовний інтерфейс для подальшої обробки. Дані вимірювань зберігаються у текстовому файлі, де кожен рядок містить три значення: вертикальний кут, горизонтальний кут та відстань до об'єкта. Використовується Python для обробки цих даних: на початку зчитується файл, і значення записуються у список, що формує базу даних вимірювань для подальшого аналізу та візуалізації. Дані обробляються шляхом нормалізації відносно мінімальних кутів та створення матриці, що використовується для

побудови зображень.

Двовимірна візуалізація здійснюється шляхом створення матриці значень яскравості, яка показує інтенсивність відбитого сигналу залежно від відстані. Матриця зберігається у вигляді зображення у градаціях сірого кольору, де яскравість вказує на відстань до об'єкта. Тривимірна візуалізація реалізується за допомогою бібліотеки Plotly, створюючи тривимірну модель досліджуваної області, де кожна точка має відповідний колір залежно від виміряної відстані. Ультразвуковий датчик відображається червоним маркером як точка відліку.

Метод ультразвукового сканування передбачає послідовне вимірювання відстаней під різними кутами в горизонтальній та вертикальній площинах з метою створення двовимірних і тривимірних моделей місцевості. Апаратна частина забезпечує механічне сканування, а програмна частина — збір, обробку і візуалізацію даних.

Для реалізації методу було розроблено як апаратне, так і програмне забезпечення. Апаратна частина включає ультразвуковий датчик, сервоприводи для керування напрямком сканування, а також мікроконтролер Arduino, який виконує функції управління процесом сканування. Програмне забезпечення для мікроконтролера було написано на мові програмування C/C++ та виконує контроль руху сервоприводів, забезпечуючи сканування під різними кутами. Серво двигуни дозволяють змінювати напрямок ультразвукового датчика в горизонтальній та вертикальній площинах, що дає змогу отримувати дані з різних позицій та формувати тривимірну модель об'єкта або місцевості.

Код для Arduino реалізує алгоритм, який керує рухом двох сервоприводів — один відповідає за горизонтальне переміщення, а інший за вертикальне. Ультразвуковий сенсор HC—SR04 виконує вимірювання відстаней до об'єктів на основі часу повернення відбитого сигналу. Дані вимірювань передаються на комп'ютер через послідовний інтерфейс, де вони зберігаються та обробляються за допомогою Python для подальшої візуалізації.

Для обробки даних використовувався код на Python, що опрацьовує інформацію, збережену в текстовому файлі. Дані включають значення кутів

повороту вертикалі, горизонталі та відстані до точки. На початку код читає файл і записує всі значення у список. Це дозволяє створити базу даних вимірювань, яка потім використовується для візуалізації. Дані зчитуються у форматі, де кожен рядок містить три числа: вертикальний кут, горизонтальний кут та відстань до об'єкта. Така структура забезпечує зручність аналізу та обробки інформації.

Після отримання даних, визначаються мінімальні та максимальні значення кутів для вертикалі та горизонталі. Це важливо для правильного формування матриці, що буде використовуватися для візуалізації. В подальшому відбувається перерахунок значень відносно мінімальних кутів для заповнення матриці даними. Такий підхід забезпечує нормалізацію даних, що дозволяє уникнути помилок при візуалізації та забезпечити правильне відтворення результатів.

Оброблені дані використовуються для формування двовимірних зображень, що зберігаються в матриці значень яскравості та відстані. Матриця яскравості служить для відображення інтенсивності сигналу, що повертається від об'єктів. Відстань до об'єктів визначає інтенсивність відбитого сигналу, яка візуалізується в градаціях сірого кольору. Переворот матриці по вертикалі забезпечує коректне відображення даних, що дозволяє отримати точне зображення рельєфу та інших об'єктів. Отримані зображення мають градації сірого кольору, які залежать від відстані до об'єктів, що дозволяє оцінити глибину і форму кожного об'єкта на досліджуваній території.

Окрім 2D візуалізації, розроблений метод передбачає створення 3D моделі за допомогою бібліотеки Plotly. Ця модель дозволяє наглядно представляти дані в тривимірному просторі, забезпечуючи краще розуміння структури і розташування об'єктів на місцевості. Ультразвуковий сенсор розташовується в точці нульової відстані, а його позицію візуалізують червоним маркером. Це дозволяє показати точку відліку, звідки проводилося вимірювання. Отримані дані дозволяють створити тривимірне поле для сканування, де кожна точка має відповідний колір залежно від відстані. Це дозволяє будувати наочні моделі з правильним відтворенням глибини і рельєфу обстежуваної поверхні. Використання кольорового кодування для відображення відстані забезпечує легкість сприйняття

інформації та дозволяє швидко ідентифікувати різні особливості рельєфу.

Важливо зазначити, що використання сервоприводів для переміщення сенсора дозволяє сканувати місцевість з високою точністю. Сервоприводи забезпечують плавний рух ультразвукового сенсора, що дозволяє уникнути різких змін кута та зменшує похибку вимірювання. Крім того, можливість зміни кута як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах забезпечує повноцінне тривимірне покриття досліджуваної області. Це робить метод універсальним і придатним для різних типів досліджень — від детального аналізу малих об'єктів до картографування великих територій.

Запропонований підхід забезпечує високу точність сканування, оскільки дозволяє відтворювати об'єкти з різною яскравістю, що допомагає чітко відокремлювати геометричні та теренні особливості обстежуваної поверхні. Метод також є зручним для використання в польових умовах, оскільки ультразвукові сенсори є доступними і не потребують дорогого обладнання. Крім того, ультразвукові сенсори можуть використовуватися в будь-яких погодних умовах, що робить цей метод універсальним для дослідження місцевості в різних ситуаціях. Використання Python та Plotly для візуалізації даних дозволяє швидко отримувати наочні моделі поверхні, забезпечуючи її чітке відтворення. Візуалізація даних у реальному часі також надає можливість оперативно реагувати на зміни та проводити аналіз місцевості на місці проведення дослідження.

Додатково, метод дозволяє створювати тривимірні моделі з високою роздільною здатністю, що особливо важливо для детального вивчення рельєфу або інфраструктури. Наприклад, така візуалізація може використовуватися для оцінки стану будівель, виявлення можливих перешкод для прокладання маршрутів або для підготовки до будівельних робіт. Ультразвукові сенсори, використані в цьому методі, мають високу точність, що дозволяє отримувати детальні дані про відстань до об'єктів навіть на великих відстанях. Це робить метод ефективним для використання в таких галузях, як археологія, геодезія, будівництво та рятувальні роботи.

Метод також може бути застосований для моніторингу змін рельєфу з плином часу. Це особливо корисно для екологічних досліджень, де важливо відстежувати зміни внаслідок ерозії, будівництва або інших факторів. Регулярне сканування однієї і тієї ж території дозволяє створювати динамічні моделі, що відображають процеси зміни поверхні. Це дозволяє краще розуміти, як змінюється місцевість, і приймати відповідні заходи для її захисту або оптимального використання.

Розроблений метод має потенціал для автоматизації процесу сканування та обробки даних. Використання сучасних технологій, таких як дрони або роботизовані платформи, дозволяє автоматично проводити сканування великих територій з мінімальним втручанням людини. Поєднання ультразвукового сканування з іншими методами, такими як фотограмметрія або лазерне сканування, може забезпечити ще більшу точність та деталізацію отриманих даних. Це відкриває нові можливості для комплексного дослідження місцевості і створення багат шарових карт, які враховують різні аспекти рельєфу та інфраструктури.

Загалом, розроблений метод сканування місцевості з візуалізацією даних ультразвукового сенсора є універсальним інструментом для дослідження територій. Його інноваційний підхід, заснований на ехолокації, дозволяє отримувати точні дво- та тривимірні зображення місцевості, що робить його ефективним для широкого спектру завдань. Використання Python та Plotly для обробки та візуалізації даних дозволяє швидко отримувати результати та легко адаптувати їх для подальшого аналізу. Метод має великий потенціал для розвитку та інтеграції з іншими технологіями, що робить його перспективним напрямом у галузі дослідження рельєфу та місцевості.

Додаткові можливості методу полягають у його інтеграції з іншими системами збору даних, такими як супутникові знімки або аерофотознімки, що дозволяє створювати комплексні моделі територій, враховуючи як детальну інформацію, отриману за допомогою ультразвукового сенсора, так і дані, зібрані іншими методами. Це відкриває нові горизонти для досліджень, оскільки дає

змогу поєднувати дані різного типу для досягнення найточнішої картини досліджуваної території. Крім того, поєднання ультразвукового методу з іншими методами дозволяє виявляти об'єкти, які не завжди можна помітити за допомогою одного типу сенсора.

Ще однією важливою перевагою методу є можливість його використання для створення інтерактивних карт, які можуть використовуватися як у наукових, так і в прикладних цілях. Наприклад, на основі зібраних даних можна створити інтерактивну 3D карту, де користувач зможе самостійно оглядати місцевість, змінюючи кут огляду та масштабування. Це дозволяє не тільки вивчати місцевість, але і проводити віртуальні екскурсії, планувати будівництво або оцінювати вплив природних катастроф на рельєф території. Подібні карти можуть бути корисними для туристичних компаній, рятувальних служб, геологічних експедицій та інших організацій, які мають потребу в детальному аналізі рельєфу.

Крім цього, метод може бути використаний для виявлення підземних об'єктів або порожнин. Завдяки ехолокації можливо ідентифікувати відмінності у відбитті сигналу, що може вказувати на наявність порожнин або інших аномалій під поверхнею. Це робить метод цінним для геологічних досліджень, виявлення археологічних об'єктів або перевірки стабільності ґрунту перед будівництвом. Також можливе використання даного методу для визначення рівня підземних вод, що є важливим аспектом для аграрної галузі та екологічних досліджень.

Розширене використання методу в поєднанні з машинним навчанням дозволяє значно підвищити точність та автоматизувати процес обробки даних. Наприклад, зібрані дані можуть бути використані для навчання моделей штучного інтелекту, які в подальшому зможуть самостійно аналізувати рельєф, знаходити аномалії та навіть передбачати можливі зміни поверхні. Це може бути особливо корисним для моніторингу зон ризику, таких як зсуви, ерозії або зони підвищеної сейсмічної активності. Автоматизація процесу дозволяє зменшити втручання людини, що, в свою чергу, знижує ризик помилок та підвищує ефективність досліджень.

Також важливо зазначити, що метод має потенціал для використання в

міських умовах, де необхідно проводити обстеження території для оцінки стану інфраструктури. Наприклад, ультразвукове сканування може використовуватися для моніторингу мостів, тунелів, будівель та інших об'єктів, щоб вчасно виявляти дефекти або пошкодження. Це дозволяє не тільки забезпечити безпеку експлуатації, але й проводити профілактичні заходи для продовження терміну служби об'єктів інфраструктури. Крім того, метод може бути застосований для оцінки впливу будівництва на навколишню територію, що є важливим аспектом для міського планування та екологічного моніторингу.

Ще одним напрямом використання розробленого методу є створення цифрових двійників об'єктів та територій. Цифровий двійник — це віртуальна модель реального об'єкта, яка дозволяє проводити аналіз та моделювання віртуально, без ризику для реального об'єкта. Ультразвукове сканування може забезпечити створення точного цифрового двійника місцевості або інфраструктурного об'єкта, що дозволяє проводити тестування різних сценаріїв, прогнозувати наслідки певних дій та приймати обґрунтовані рішення. Це може бути корисним для різних галузей, включаючи будівництво, транспорт, енергетику та управління природними ресурсами.

Окрім технічних можливостей, метод має також значний освітній потенціал. Його можна використовувати в навчальних закладах для демонстрації принципів ехолокації, роботи ультразвукових сенсорів, а також для вивчення основних принципів картографування та тривимірної візуалізації. Студенти можуть на практиці вивчати, як збираються та обробляються дані, як будується 3D модель місцевості та як використовуються сучасні технології для аналізу рельєфу. Це дозволяє зробити навчальний процес більш цікавим та інтерактивним, сприяючи кращому засвоєнню матеріалу.

Метод сканування місцевості з ультразвуковим сенсором також має великий потенціал для розвитку в контексті смарт—міст та автоматизованих систем управління. Інтеграція даних сканування в єдину систему управління містом дозволить більш ефективно управляти інфраструктурою, проводити моніторинг змін та своєчасно реагувати на можливі проблеми. Наприклад, дані про стан доріг,

мостів або інших об'єктів інфраструктури можуть автоматично передаватися до відповідних служб для планування ремонтних робіт або інших заходів. Це сприятиме підвищенню безпеки та якості життя мешканців міст.

Загалом, розроблений метод є універсальним і має величезний потенціал для застосування в різних сферах. Він дозволяє не тільки проводити дослідження рельєфу та інфраструктури, але й інтегрувати отримані дані з іншими джерелами інформації для створення комплексних моделей. Використання сучасних технологій, таких як дрони, роботизовані платформи та штучний інтелект, робить цей метод ще більш потужним інструментом для вивчення та моніторингу місцевості. Він відкриває нові можливості для науки, бізнесу та управління, сприяючи прийняттю обґрунтованих рішень та підвищенню ефективності різних процесів.

3.2 Опис використаних програмних засобів

Для реалізації розробленого методу сканування місцевості з візуалізацією даних ультразвукового сенсора були використані різні програмні засоби, що забезпечили керування апаратною частиною, обробку даних, їх візуалізацію та інтерактивне представлення результатів. Основними використаними інструментами були мікроконтролер **Arduino Uno**, мова програмування **C++**, інтегроване середовище розробки **PyCharm**, а також бібліотеки **Python** для обробки та візуалізації даних, такі як **NumPy**, **Matplotlib** та **Plotly**.

Для апаратної реалізації **Arduino Uno** було обрано як основний мікроконтролер для управління апаратною частиною системи. **Arduino Uno** рис. 3.1 є доступною та популярною платформою для створення прототипів електронних пристроїв. Вона дозволяє легко підключати різноманітні сенсори та виконавчі механізми, що робить її ідеальним вибором для реалізації методу ультразвукового сканування. Мікроконтролер **Arduino Uno** використовується для керування сервоприводами, які змінюють напрямок ультразвукового датчика **HC—SR04** у горизонтальній та вертикальній площинах, а також для збору даних про відстань до об'єктів.

Arduino Uno Rev3

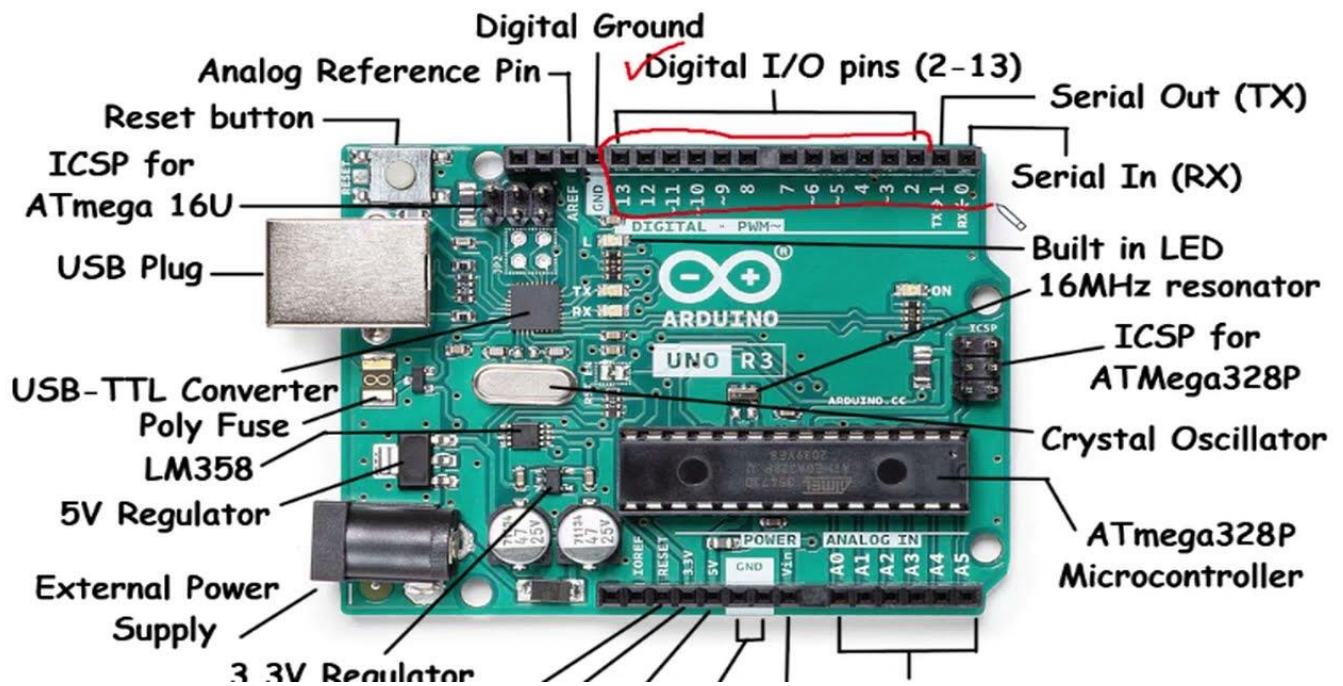


Рис. 3.1 Arduino Uno

Arduino — це платформа відкритого коду, яка включає апаратне і програмне забезпечення, що дозволяє створювати прототипи електронних пристроїв і взаємодіяти з фізичним світом. Основу платформи складають мікроконтролери, такі як Arduino Uno, Mega, Nano та інші, а також інтегроване середовище розробки (IDE), що спрощує написання, завантаження та налагодження коду. Arduino набула великої популярності серед ентузіастів, інженерів та студентів завдяки своїй доступності, простоті використання та величезній спільноті підтримки.

Arduino є однією з найпопулярніших платформ для розробки електронних проектів завдяки своїй відкритій архітектурі, простоті використання і широким можливостям. Як проект з відкритим кодом, Arduino надає вільний доступ до своїх схем, компонентів і програмного забезпечення, що дозволяє будь-кому створювати власні версії апаратного забезпечення, модифікувати вже існуючі моделі або адаптувати їх для специфічних завдань. Це створює широкі можливості для інновацій та кастомізації, оскільки користувачі можуть як зосередитися на готових рішеннях, так і розробляти власні апаратні та програмні інтерфейси.

Простота використання є однією з ключових переваг платформи, адже вона підходить як для досвідчених інженерів, так і для початківців. Arduino використовує спрощену версію мови програмування C++, яка дозволяє писати зрозумілий і ефективний код, що забезпечує доступ до широких можливостей апаратного забезпечення. Завдяки інтуїтивному підходу до написання програм, навіть складні функції можуть бути реалізовані без значних зусиль, що робить платформу доступною для освітніх цілей і самостійного навчання.

Платформа пропонує великий вибір моделей, що дозволяє знайти оптимальне рішення для кожного конкретного проекту. Наприклад, Arduino Uno, як одна з найпопулярніших моделей, використовується для базових проектів завдяки своїй універсальності та простоті. Для масштабних проектів, які потребують великої кількості входів і виходів, підходить Arduino Mega, яка має розширений функціонал. Компактні моделі, такі як Arduino Nano або Pro Mini, створені для проектів, де важливими є невеликі розміри і мінімальна вага. Цей широкий вибір дозволяє реалізовувати проекти найрізноманітніших масштабів і складності, від простих систем моніторингу до повноцінних робототехнічних комплексів.

Arduino підтримує величезний спектр сенсорів, виконавчих механізмів і модулів, що дозволяє створювати багатофункціональні пристрої. Наприклад, платформа легко інтегрується з ультразвуковими сенсорами для вимірювання відстані, GPS—модулями для відстеження положення, Bluetooth—адаптерами для бездротового зв'язку або Wi—Fi—модулями для роботи в мережі. Завдяки цьому Arduino є універсальною основою для проектів у таких галузях, як автоматизація, Інтернет речей (IoT), робототехніка, системи моніторингу навколишнього середовища та багато інших. Інтегроване середовище розробки (IDE) додає зручності у використанні платформи, забезпечуючи інтуїтивний інтерфейс для написання, компіляції і завантаження коду. Arduino IDE підтримує численні бібліотеки, що значно спрощують роботу з сенсорами, модулями та іншими компонентами, дозволяючи навіть початківцям швидко досягати результатів.

Величезна і активна спільнота підтримки є ще однією сильною стороною Arduino. Користувачі платформи мають доступ до великої кількості навчальних матеріалів, включаючи посібники, відеоуроки, форуми і приклади реальних проектів. Це створює можливість швидкого вирішення проблем, обміну досвідом і отримання нових знань. Для початківців це справжній скарб, оскільки вони можуть навчатися, використовуючи реальні кейси, а для досвідчених розробників спільнота стає джерелом натхнення і партнером у вирішенні складних технічних завдань.

Arduino забезпечує широкі можливості взаємодії з фізичним світом завдяки входам і виходам, що дозволяють підключати сенсори та виконавчі механізми. Наприклад, можна використовувати датчики температури, світла, вологості або натискання кнопок для збору даних, а також керувати серводвигунами, світлодіодами, реле або іншими пристроями. Це дозволяє створювати складні системи автоматизації, такі як смарт—доми, робототехнічні пристрої або інтерактивні установки. Arduino також здатна збирати і обробляти дані з різних сенсорів, передаючи їх на інші пристрої для подальшого аналізу. Підтримка різних протоколів зв'язку, таких як UART, SPI, I2C, Bluetooth і Wi—Fi, дозволяє інтегрувати платформу в розподілені системи або мережі Інтернет речей, створюючи комплексні рішення для моніторингу, управління або обробки даних.

Моделі Arduino, такі як Arduino Uno, мають потужну апаратну базу, яка забезпечує широкий функціонал. Наприклад, мікроконтролер ATmega328P, що є "серцем" плати Uno, має 32 КБ флеш—пам'яті для програм, 2 КБ оперативної пам'яті та 1 КБ EEPROM, що дозволяє виконувати складні обчислення і зберігати дані. Плата має 14 цифрових входів/виходів, із яких 6 підтримують PWM, і 6 аналогових входів для роботи з аналоговими сигналами, що робить її універсальним інструментом для взаємодії з різними пристроями. USB—інтерфейс забезпечує зручність підключення до комп'ютера, завантаження програм та обміну даними. Плата підтримує живлення як від USB, так і від зовнішнього джерела (9–12 В), що дозволяє використовувати її як у лабораторних, так і в польових умовах. Вбудований регулятор напруги забезпечує стабільність роботи навіть за умов

коливань напруги, що важливо для надійності системи.

Arduino є універсальним рішенням для розробки проектів будь—якої складності, починаючи від простих освітніх завдань і закінчуючи масштабними інженерними системами. Завдяки гнучкості, потужності та доступності платформа здобула популярність серед розробників, інженерів, студентів і ентузіастів по всьому світу.

Для візуалізації даних у двовимірному просторі ультразвукових сенсорів використовувався Python бібліотеки **matplotlib** та **plotly**

Matplotlib рис 3.2 — це популярна бібліотека для візуалізації даних в мові програмування Python. Вона дозволяє створювати високоякісні графіки, діаграми та інші види візуального представлення даних. Завдяки своїй гнучкості та широким можливостям, Matplotlib є одним з найважливіших інструментів для дослідників, аналітиків і науковців, які займаються аналізом даних.

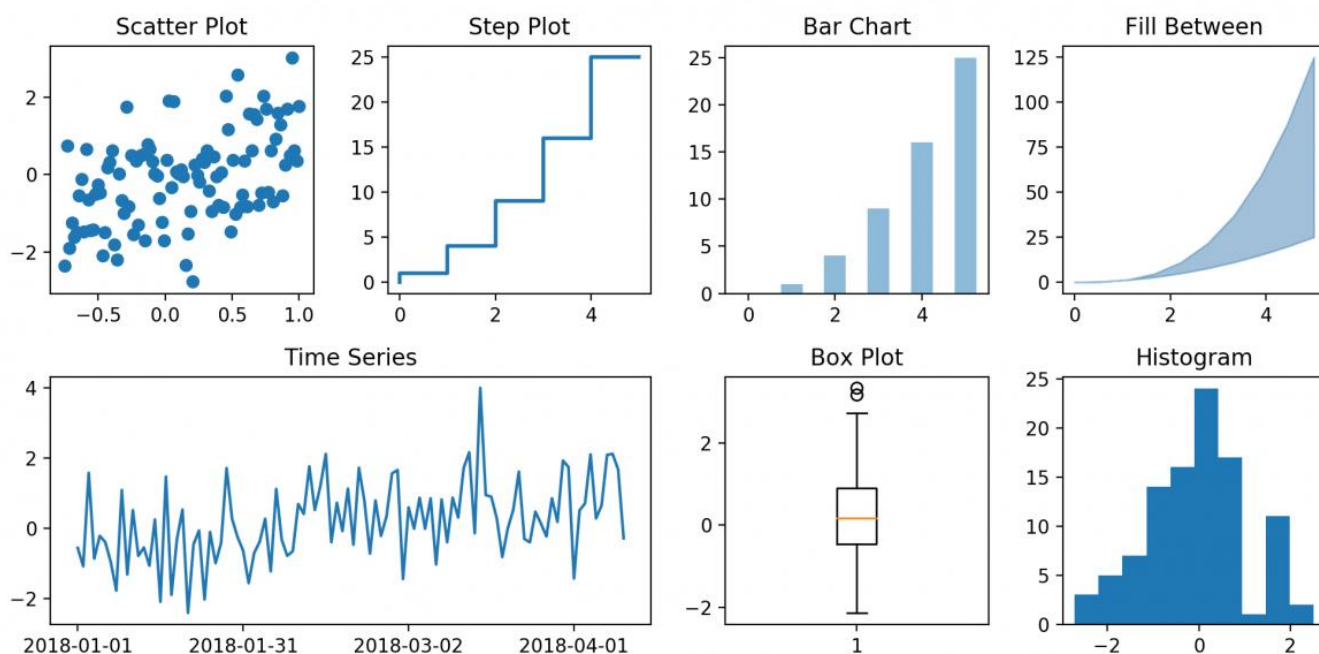


Рис. 3.2 Приклад візуалізації даних **Matplotlib**

Це одна з найпопулярніших і найбільш універсальних бібліотек для візуалізації даних у Python, яка пропонує потужні інструменти для створення графіків різного типу, адаптованих до потреб користувачів із різними рівнями досвіду. Її багатофункціональність дозволяє створювати широкий спектр графіків,

включаючи лінійні графіки, гістограми, діаграми розсіювання, стовпчикові діаграми, кругові діаграми, тривимірні поверхні та багато інших. Цей широкий вибір форматів робить Matplotlib універсальним рішенням для аналізу та представлення даних у найрізноманітніших сферах, від науки та інженерії до фінансів і бізнесу.

Однією з найважливіших характеристик Matplotlib є її висока гнучкість. Бібліотека дозволяє користувачам налаштовувати всі аспекти графіка, включаючи кольори, стилі ліній, шрифти, підписи осей, легенди, форматування осей, розташування елементів, маркери, прозорість і багато іншого. Це особливо важливо для тих, хто працює з науковими публікаціями або корпоративними презентаціями, адже користувач може адаптувати вигляд графіка до будь-яких стандартів або вимог. Наприклад, графіки можуть бути налаштовані таким чином, щоб підкреслити ключові аспекти даних, виділити певні тренди або забезпечити читабельність навіть для складних наборів даних.

Matplotlib ідеально інтегрується з іншими популярними бібліотеками Python, такими як NumPy, Pandas і SciPy, що робить її незамінним інструментом у складних проектах з обробки та аналізу даних. Ця інтеграція дозволяє швидко створювати візуалізації на основі чисельних розрахунків або статистичних аналізів, виконаних за допомогою інших бібліотек. Наприклад, Pandas часто використовується для роботи з табличними даними, а Matplotlib дозволяє візуалізувати ці дані у вигляді діаграм і графіків. Завдяки такій комбінації інструментів користувач може без зайвих зусиль переходити від аналізу до візуалізації.

Бібліотека також підтримує інтерактивну візуалізацію, що дозволяє користувачам взаємодіяти з графіками в реальному часі. Наприклад, можна змінювати масштаб графіка, виділяти окремі ділянки, обертати тривимірні поверхні або детально досліджувати певні області даних. Це особливо корисно для роботи з великими наборами даних, де статична візуалізація може не дати повного уявлення про структуру даних. Інтерактивність також значно покращує якість презентацій, дозволяючи фокусувати увагу аудиторії на ключових аспектах графіка та швидко відповідати на запитання.

Matplotlib пропонує розширені можливості для створення двовимірних графіків, включаючи лінійні графіки, гістограми, коробкові діаграми та діаграми розсіювання. Лінійні графіки, створені за допомогою функції `plot()`, дозволяють відображати тренди та залежності між змінними, у той час як гістограми надають можливість аналізувати розподіл даних і визначати статистичні характеристики, такі як середнє, медіана чи мода. Коробкові діаграми (`boxplot`) широко використовуються для виявлення розмаху, відхилень і аномалій у даних. Діаграми розсіювання, у свою чергу, допомагають візуалізувати кореляцію між змінними, що є важливим кроком у дослідженні залежностей у даних.

Однією з ключових функцій Matplotlib є можливість створення багатопанельних графіків, які дозволяють одночасно відображати кілька графіків у межах одного вікна за допомогою функції `subplot()`. Це зручно для порівняння різних наборів даних або аналізу різних аспектів одного дослідження. Наприклад, на одному графіку можна показати тренди продажів у різних регіонах, а на іншому — співвідношення між витратами та доходами. Така організація візуалізації значно спрощує сприйняття складних даних і дозволяє знаходити закономірності, які було б важко виявити за допомогою окремих графіків.

Matplotlib підтримує побудову тривимірних графіків за допомогою модуля `mplot3d`. Ця функціональність відкриває нові можливості для роботи з тривимірними даними, дозволяючи створювати поверхні, об'ємні діаграми розсіювання, векторні поля і навіть тривимірні гістограми. Це робить бібліотеку надзвичайно корисною для наукових досліджень, моделювання фізичних процесів, аналізу просторових даних або представлення складних результатів симуляцій. Завдяки підтримці трьох вимірів Matplotlib стає незамінним інструментом у багатьох галузях, включаючи машинне навчання, фізику, біологію, географію та інженерію.

Архітектура Matplotlib побудована на двох ключових компонентах: фігура (`figure`) і осі (`axes`). Фігура є контейнером, який об'єднує всі елементи графіка, включаючи осі, заголовки, легенди, підписи та інші об'єкти. Ось, у свою чергу, є простором, де відображаються дані. Однією фігурою може бути декілька осей, що

дозволяє створювати складні багатопанельні графіки. Пакет `pyplot` надає зручний інтерфейс для створення графіків, дозволяючи додавати дані, налаштовувати вигляд графіків і додавати додаткові елементи, такі як легенди чи анотації. Завдяки своїй простоті та інтуїтивності `pyplot` дозволяє навіть новачкам швидко освоїти основи візуалізації даних.

`Matplotlib` також підтримує створення анімацій, які дозволяють візуалізувати динамічні процеси. Наприклад, можна показати зміну температури з часом, моделювання фізичних систем або візуалізувати роботу алгоритмів. Анімації є незамінним інструментом для представлення результатів досліджень, де динамічний характер даних відіграє ключову роль. Крім того, бібліотека підтримує використання стилів і тем для оформлення графіків, що дозволяє створювати професійні й естетично привабливі візуалізації, адаптовані до корпоративних чи публікаційних стандартів.

Таким чином, `Matplotlib` є надзвичайно потужним, гнучким і універсальним інструментом для візуалізації даних, який широко використовується в науці, бізнесі, освіті та інженерії. Її можливості, інтеграція з іншими інструментами, підтримка різних форматів візуалізації та доступність для користувачів усіх рівнів роблять її ключовим компонентом сучасного аналізу даних.

Також у зв'язці з `Matplotlib` використовувався `plotly` (див. рис. 3.3) для візуалізації даних у тривимірному просторі для відображення точок відбиття ультразвукових хвиль.

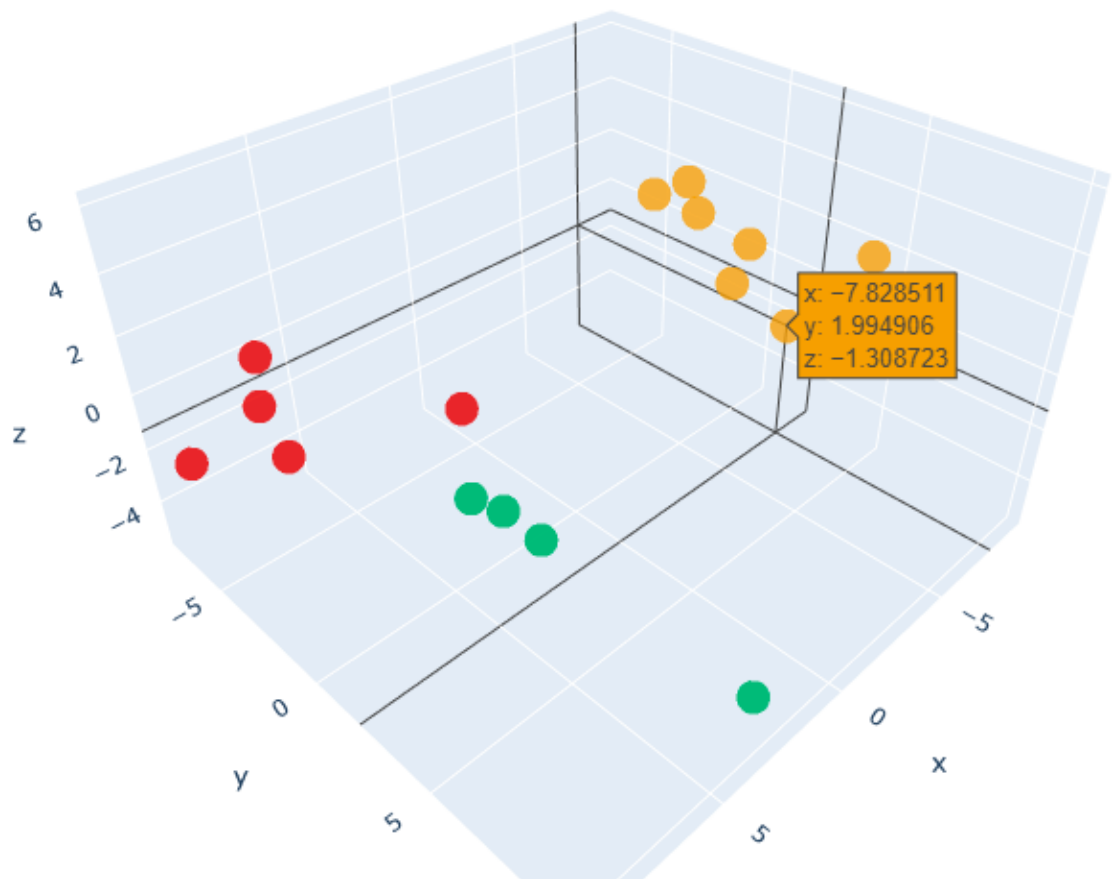


Рис. 3.3 Приклад візуалізації даних у 3д за допомогою plotly

Це потужна бібліотека для створення інтерактивних графіків та візуалізацій на мові програмування Python. Вона дозволяє розробникам і аналітикам легко створювати динамічні візуалізації, що забезпечують багатий досвід для користувача. Завдяки підтримці великої кількості типів графіків та інтерактивних функцій, Plotly є одним із провідних інструментів для візуалізації даних у сучасних проектах.

Plotly це потужна бібліотека для створення інтерактивних графіків у Python, яка забезпечує широкий функціонал для візуалізації даних. Її основною характеристикою є інтерактивність, що дозволяє користувачам взаємодіяти з графіками в реальному часі. Завдяки цій властивості користувачі можуть досліджувати дані детальніше, реагуючи на дії, такі як наведення курсору,

краще мишею або масштабування. Наприклад, наведення курсору на точку даних може відображати спливаючі підказки з додатковою інформацією, що є надзвичайно корисним для глибшого аналізу. Це робить Plotly ідеальним інструментом для візуалізації складних наборів даних у зрозумілому та доступному вигляді.

Бібліотека підтримує широкий спектр типів графіків, включаючи лінійні графіки, гістограми, стовпчикові діаграми, кругові діаграми, теплові карти, діаграми розсіювання, тривимірні графіки, географічні карти, а також спеціалізовані візуалізації, такі як графіки свічок для фінансових даних. Ця багатофункціональність дозволяє користувачам вирішувати завдання з найрізноманітніших сфер, включаючи фінансовий аналіз, маркетинг, наукові дослідження, географічний аналіз та багато інших. Наприклад, фінансові аналітики можуть використовувати графіки свічок для аналізу ринкових тенденцій, тоді як дослідники в галузі екології можуть будувати теплові карти для аналізу кліматичних змін.

Однією з найважливіших характеристик Plotly є її веб—орієнтованість. Усі графіки, створені за допомогою цієї бібліотеки, генеруються у форматі HTML і можуть бути легко інтегровані у веб—сторінки або інтерактивні дашборди. Це дозволяє створювати веб—додатки з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом для візуалізації та аналізу даних. Завдяки цьому Plotly стає ідеальним інструментом для створення сучасних аналітичних систем, які дозволяють користувачам взаємодіяти з даними без необхідності встановлювати додаткове програмне забезпечення. Наприклад, інтерактивні дашборди можуть використовуватися для відображення ключових показників бізнесу в реальному часі, дозволяючи менеджерам приймати рішення швидше та ефективніше.

Інтеграція Plotly з іншими бібліотеками Python, такими як Pandas, NumPy і SciPy, робить її незамінним інструментом для проектів з аналізу даних. Користувачі можуть виконувати складні обчислення або аналіз даних за допомогою цих бібліотек, а потім швидко візуалізувати результати у Plotly. Наприклад, використовуючи Pandas для підготовки даних, можна побудувати

інтерактивну гістограму для аналізу розподілу, або, застосовуючи NumPy, створити тривимірну поверхню для моделювання математичних функцій. Крім того, Plotly відмінно працює з Jupyter Notebook, що дозволяє створювати інтерактивні звіти для подальшого аналізу або презентації результатів.

Plotly також підтримує створення тривимірних графіків, що відкриває нові можливості для візуалізації даних. За допомогою бібліотеки можна створювати 3D—діаграми розсіювання, тривимірні поверхні та інші типи графіків, що дозволяють представляти залежності між трьома змінними. Наприклад, у наукових дослідженнях ці графіки використовуються для аналізу складних залежностей між фізичними параметрами, у бізнесі — для моделювання поведінки клієнтів, а в географії — для побудови топографічних карт. Завдяки інтерактивності користувачі можуть обертати тривимірні моделі, змінювати масштаб і досліджувати дані з різних кутів, що робить аналіз ще ефективнішим.

Однією з унікальних функцій Plotly є підтримка інтерактивних карт. Використовуючи цю бібліотеку, можна створювати теплові карти, карти розподілу або навіть складні географічні моделі. Це робить Plotly важливим інструментом для географічного аналізу, включаючи візуалізацію демографічних даних, аналіз ринку за регіонами або дослідження глобальних тенденцій. Наприклад, компанії можуть створювати карти розташування клієнтів, щоб краще зрозуміти, у яких регіонах потрібно посилити маркетингові зусилля.

Plotly також дозволяє створювати інтерактивні дашборди, що об'єднують кілька графіків та елементів управління на одній сторінці. Такі дашборди надають користувачам можливість аналізувати дані комплексно, перемикатися між різними типами графіків, фільтрувати інформацію або змінювати параметри в реальному часі. Наприклад, інтерактивні дашборди використовуються в бізнесі для моніторингу продажів, у медицині — для аналізу статистики захворювань, а в науці — для представлення результатів експериментів. Завдяки високій якості візуалізацій і підтримці інтерактивних елементів дашборди Plotly виглядають професійно і забезпечують високий рівень зручності для кінцевих користувачів.

Архітектура Plotly базується на концепції графічних об'єктів (Graph Objects), що забезпечують високий рівень деталізації та налаштування графіків. Кожен елемент графіка можна налаштовувати, визначаючи його властивості, такі як колір, розмір, стиль ліній, шрифти або прозорість. Це дозволяє створювати візуалізації, які точно відповідають вимогам до корпоративного стилю, презентацій або наукових публікацій. Наприклад, у фінансових звітах можна налаштувати кольори для різних категорій даних, а в наукових статтях — змінити стилі графіків для забезпечення чіткої інтерпретації результатів.

Таким чином, Plotly — це надзвичайно потужний інструмент для створення інтерактивних, високоякісних графіків та дашбордів. Її багатофункціональність, інтерактивність, гнучкість у налаштуванні та підтримка широкого спектра форматів роблять її ідеальним вибором для аналізу даних у найрізноманітніших сферах, включаючи науку, бізнес, освіту та географію. Завдяки своїм можливостям Plotly допомагає користувачам не лише візуалізувати дані, але й отримувати з них глибші інсайти, що сприяє ухваленню більш обґрунтованих рішень.

Для написання C++ коду під Arduino та всі датчики та сенсори використовувалась **Arduino IDE** рис 3.4. Це офіційне інтегроване середовище розробки, яке використовується для програмування мікроконтролерів Arduino. Це середовище було розроблене з метою зробити процес програмування та інтеграції мікроконтролерів доступним для всіх, від новачків до професіоналів. Arduino IDE надає інструменти для написання, компіляції та завантаження коду на мікроконтролери серії Arduino, що робить її основним засобом для роботи з цими пристроями.



Рис. 3.4 Arduino IDE

Arduino IDE — це інтегроване середовище розробки, яке було створено для максимальної зручності програмування мікроконтролерів Arduino. Основною характеристикою цього середовища є його простота використання, що робить його доступним навіть для тих, хто не має спеціалізованих знань у сфері електроніки чи програмування. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє користувачам швидко розпочати роботу, писати код, компілювати його та завантажувати на плату без необхідності глибокого занурення у технічні деталі. Це робить Arduino IDE ідеальним інструментом для студентів, хобістів і аматорів, які тільки починають свій шлях у світі електроніки. Наприклад, завдяки зрозумілому інтерфейсу, навіть новачок може створити програму для керування світлодіодом або серводвигуном за лічені хвилини.

Однією з важливих переваг Arduino IDE є підтримка роботи на різних платформах. Це середовище розробки є мультиплатформним і може працювати на Windows, macOS і Linux, що забезпечує зручність використання незалежно від операційної системи користувача. Мультиплатформеність дозволяє розробникам

працювати на будь—якому пристрої, зберігаючи при цьому доступність проєктів. Наприклад, користувач може почати розробку на робочому комп'ютері з Windows і продовжити її вдома на ноутбучі з Linux.

Arduino IDE також поставляється з великим набором вбудованих бібліотек, які значно полегшують розробку програм для роботи з різними компонентами, такими як датчики, дисплеї, серводвигуни, реле та багато інших. Ці бібліотеки дають змогу реалізовувати складні функції без необхідності писати код з нуля. Наприклад, для роботи з ультразвуковим датчиком достатньо підключити відповідну бібліотеку, і ви отримаєте всі необхідні функції для зчитування даних із сенсора. Це знижує поріг входження для новачків і дозволяє зосередитися на творчій частині проєкту.

Arduino IDE підтримує велику кількість плат, що робить її універсальною платформою для розробки. Вона дозволяє програмувати не тільки найпопулярніші моделі, такі як Arduino Uno, Mega, Nano, Leonardo, але й багато інших сумісних мікроконтролерів. Завдяки цій універсальності користувачі можуть працювати з широким спектром апаратного забезпечення, вибираючи плату, яка найкраще відповідає потребам конкретного проєкту. Наприклад, для простих задач можна використовувати Arduino Uno, а для більш складних систем із багатьма входами та виходами підійде Arduino Mega.

Однією з ключових функцій Arduino IDE є автоматична компіляція та завантаження коду. Користувачеві достатньо натиснути кнопку "Upload", і середовище автоматично скомпілює програму, перевірить її на наявність помилок і завантажить на плату. Це значно спрощує процес розробки, оскільки виключає необхідність вручну конвертувати код у форму, зрозумілу для мікроконтролера. Наприклад, після написання програми для керування світлодіодом код можна швидко протестувати, завантаживши його на плату, і одразу побачити результати.

Редактор коду в Arduino IDE забезпечує комфортну роботу завдяки підтримці підсвічування синтаксису, автозавершення та базових функцій редагування тексту. Це дозволяє зосередитися на логіці програми, не витрачаючи час на пошук синтаксичних помилок. Наприклад, підсвічування коду допомагає легко

ідентифікувати ключові слова, змінні та функції, а автозавершення сприяє швидкому написанню часто використовуваних конструкцій.

Arduino IDE також включає такий важливий інструмент, як монітор послідовного порту (Serial Monitor). Цей інструмент дозволяє налагоджувати програми, обмінюючись даними між мікроконтролером і комп'ютером у режимі реального часу. Наприклад, користувач може відстежувати значення, які зчитуються із датчика температури, або аналізувати сигнали, що надходять із кнопки. Serial Monitor є незамінним інструментом для налагодження складних програм, оскільки дозволяє отримувати точну інформацію про роботу пристрою.

Вбудований менеджер бібліотек в Arduino IDE робить процес розширення функціональності надзвичайно простим. Користувачі можуть швидко знаходити, встановлювати та інтегрувати нові бібліотеки для роботи з додатковими модулями чи компонентами. Наприклад, якщо проєкт вимагає інтеграції Bluetooth—модуля, достатньо знайти відповідну бібліотеку в менеджері, встановити її, і всі необхідні функції стануть доступними для використання. Це значно економить час і зусилля розробників.

Ще однією перевагою Arduino IDE є підтримка розширень і додаткових ядер, що дозволяє використовувати її для програмування не тільки стандартних плат Arduino, але й інших мікроконтролерів, таких як ESP8266 або ESP32. Це відкриває нові можливості для створення проєктів у галузі IoT, наприклад, розумних пристроїв, які можуть підключатися до мережі Wi—Fi або обмінюватися даними через Bluetooth. Завдяки такій гнучкості Arduino IDE стає універсальним інструментом для розробників.

Таким чином, Arduino IDE — це не просто середовище для програмування, а повноцінний інструмент для розробки, налагодження та впровадження проєктів на основі мікроконтролерів. Її простота, універсальність, підтримка широкого спектру пристроїв і компонентів, а також доступність для користувачів будь—якого рівня роблять її одним із найкращих виборів для розробки у світі електроніки та IoT.

Для написання Python коду для візуалізаційної частини використовувалась Pycharm. Це інтегроване середовище розробки (IDE) для програмування на мові

Python, розроблене компанією JetBrains. Воно є одним із найбільш популярних інструментів для Python—розробників і надає потужний набір інструментів для написання, тестування, налагодження та розгортання програмного забезпечення. PyCharm підтримує сучасні функції, що роблять розробку ефективнішою та зручнішою як для початківців, так і для досвідчених програмістів.

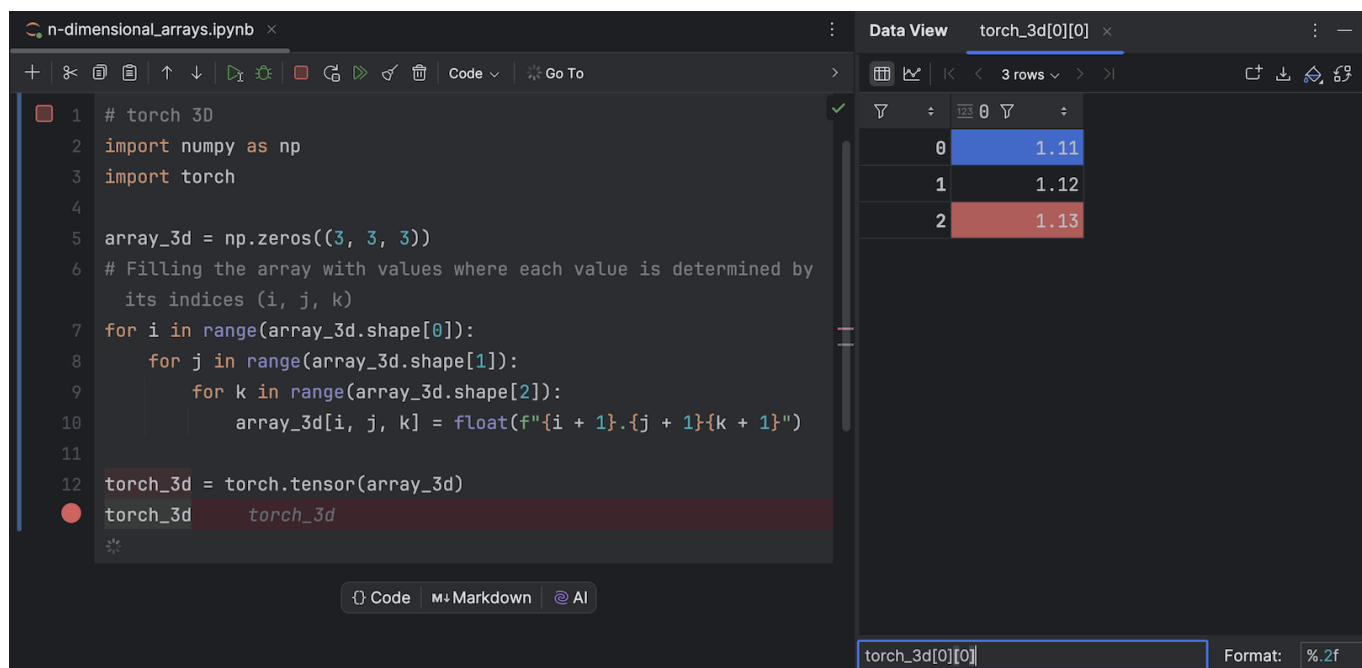


Рис. 3.5 Pycharm IDE

PyCharm — це інтегроване середовище розробки (IDE), спеціально створене для роботи з Python. Його основною характеристикою є висока оптимізація для написання, налагодження та тестування Python—коду. PyCharm підтримує як Python 2.x, так і Python 3.x, що робить його ідеальним інструментом для роботи з різними проектами, незалежно від того, чи це нові додатки, чи підтримка застарілих систем. Крім того, PyCharm інтегрується з багатьма популярними бібліотеками та інструментами Python, що дозволяє створювати проекти будь—якої складності.

Однією з ключових особливостей PyCharm є підсвічування синтаксису та інтелектуальне автодоповнення коду. Завдяки підтримці контекстного аналізу PyCharm пропонує релевантні варіанти автодоповнення, що значно прискорює процес написання коду та зменшує кількість помилок. Наприклад, під час роботи з

великими бібліотеками, такими як NumPy або Pandas, розробник може швидко знаходити потрібні методи чи атрибути без необхідності запам'ятовувати їхні точні назви. Крім того, підсвічування синтаксису робить код більш читабельним, дозволяючи легко ідентифікувати помилки або важливі елементи коду.

PyCharm має потужний вбудований налагоджувач, який дозволяє запускати програми по кроках, встановлювати точки зупинки, відстежувати значення змінних і навіть виконувати окремі частини коду для виявлення проблем. Цей інструмент є невід'ємною частиною процесу розробки, оскільки він дозволяє розробникам глибше розуміти поведінку програми та швидко вирішувати проблеми. Наприклад, під час налагодження складних додатків, таких як веб—сервіси або аналітичні інструменти, PyCharm допомагає виявляти неочевидні помилки, такі як неправильна логіка чи проблеми з типами даних.

Іншою важливою особливістю PyCharm є підтримка фреймворків тестування, таких як unittest, pytest та nose. Це дозволяє писати, запускати та аналізувати тести безпосередньо в IDE. Завдяки цьому розробники можуть швидко перевіряти працездатність коду, знаходити помилки та забезпечувати високу якість своїх додатків. Наприклад, у великих проектах, де важливо підтримувати модульне тестування, PyCharm надає зручний інтерфейс для роботи з тестами, що зменшує час на виявлення та виправлення помилок.

PyCharm підтримує інтеграцію з системами контролю версій, такими як Git, SVN, Mercurial та іншими, що дозволяє розробникам ефективно керувати своїми проектами. Завдяки цьому інтегрованому інструменту користувачі можуть створювати коміти, працювати з гілками, здійснювати злиття та відслідковувати зміни в коді, не покидаючи середовища розробки. Наприклад, під час роботи в команді розробники можуть легко синхронізувати свої зміни з віддаленим репозиторієм, вирішувати конфлікти та підтримувати структурованість проекту.

PyCharm пропонує також широкий набір інструментів для роботи з базами даних. Ця функція дозволяє розробникам підключатися до різних баз даних, таких як MySQL, PostgreSQL, Oracle, SQLite та інших, безпосередньо з IDE. Розробники можуть переглядати структуру баз даних, виконувати SQL—запити, аналізувати

дані та навіть редагувати їх. Це дуже зручно для створення додатків, які активно працюють з даними, оскільки всі необхідні інструменти доступні в одному місці.

Для розробників веб—додатків PyCharm є ідеальним вибором, оскільки він підтримує популярні веб—фреймворки, такі як Django, Flask і Pyramid. IDE пропонує спеціалізовані функції для цих фреймворків, включаючи автодоповнення для шаблонів, інтеграцію з ORM (Object—Relational Mapping) та підтримку запуску серверів розробки. Наприклад, під час створення веб—додатку на Django, PyCharm може автоматично генерувати файли моделей, маршрутів або форм, що значно прискорює процес розробки.

Однією з ключових функцій PyCharm є його інтеграція з Jupyter Notebook, що дозволяє розробникам використовувати інструменти Jupyter безпосередньо в середовищі IDE. Це особливо корисно для аналітиків даних та науковців, які використовують Jupyter для проведення експериментів, візуалізації даних та створення інтерактивних звітів. Завдяки PyCharm користувачі можуть поєднувати написання традиційного коду з інтерактивним аналізом, що робить процес дослідження даних більш зручним.

Підтримка віртуальних середовищ є ще однією важливою перевагою PyCharm. IDE дозволяє створювати, налаштовувати та керувати віртуальними середовищами Python, що забезпечує ізоляцію залежностей для кожного проекту. Це знижує ймовірність конфліктів між бібліотеками, особливо в проектах, які використовують різні версії одних і тих самих залежностей. Наприклад, розробник може працювати над кількома проектами, де один використовує Django 2.x, а інший — Django 3.x, без ризику порушення роботи обох додатків.

PyCharm пропонує потужний редактор коду, який включає підтримку рефакторингу. Користувачі можуть швидко перейменовувати змінні, методи або класи, змінювати підписи функцій та здійснювати інші зміни в коді без ризику порушення логіки програми. Рефакторинг є незамінним інструментом для підтримки чистоти та читабельності коду, особливо у великих проектах. Наприклад, якщо у проекті потрібно перейменувати ключову змінну, PyCharm автоматично оновить її в усіх частинах коду.

Інтеграція з Docker дозволяє розробникам запускати програми в контейнерах безпосередньо з середовища розробки. Це особливо корисно для створення мікросервісів або тестування додатків у різних середовищах. Крім того, PyCharm підтримує інструменти CI/CD (безперервної інтеграції та доставки), які дозволяють автоматизувати процес тестування, збірки та розгортання додатків.

PyCharm забезпечує користувачів вбудованим терміналом, що дозволяє виконувати команди безпосередньо з IDE. Це зручно для запуску скриптів, роботи з системами контролю версій або управління середовищами Python. Наприклад, під час налагодження проекту розробник може одночасно виконувати SQL—запити або оновлювати залежності без необхідності переходу в інші програми.

Таким чином, PyCharm є надзвичайно потужним і гнучким середовищем розробки, яке забезпечує широкий набір інструментів для створення, тестування та налагодження додатків на Python. Його функціональність робить його ідеальним вибором для програмістів, які працюють у різних галузях — від веб—розробки та аналізу даних до роботи з базами даних і автоматизації процесів.

3.3 Опис структури проекту

Структура даного проекту для розробки методу сканування місцевості та візуалізації даних ультразвукового сенсора на основі ехолокації та ультразвукового датчика включає як фізичну(апаратну частину) так і програмну

Апаратна частина складається з кількох основних компонентів, які забезпечують функціональність системи сканування місцевості. Кожен із цих компонентів виконує важливу роль у зборі даних, їх обробці та виведенні інформації для користувача.

Arduino Uno R3 є центральним контролером системи, що відповідає за обробку сигналів від датчиків і управління периферійними пристроями. Ця платформа була обрана завдяки своїй доступності, легкій інтеграції з іншими компонентами та достатній потужності для виконання всіх необхідних обчислень. Arduino приймає дані з датчиків, аналізує їх і передає команди сервоприводам для

зміни положення ультразвукового датчика. Така конфігурація дозволяє проводити сканування місцевості з високою ефективністю.

Ультразвуковий датчик HC—SR04 використовується для точного вимірювання відстані до об'єктів. Він працює за принципом аналізу часу, необхідного для повернення відбитого сигналу до датчика після випромінювання ультразвукових імпульсів. Завдяки можливості змінювати положення датчика у двох площинах (горизонтальній та вертикальній), система охоплює велику площу під час сканування. Датчик закріплений на механічній конструкції з двома сервоприводами, що дозволяє виконувати тривимірне сканування місцевості.

Система включає два сервоприводи: один відповідає за горизонтальне переміщення датчика, інший — за вертикальне. Така конфігурація дозволяє ультразвуковому датчику змінювати своє положення в просторі, що забезпечує можливість тривимірного картографування. Управління сервоприводами здійснюється Arduino, яка обчислює потрібні кути повороту на основі поточних даних з ультразвукового датчика.

Потенціометр використовується для ручного налаштування параметрів сканування, наприклад, кута нахилу ультразвукового датчика. Він підключений до аналогового входу Arduino, що дозволяє контролеру зчитувати значення потенціометра в реальному часі. Це дає змогу користувачеві оперативно змінювати налаштування системи відповідно до умов роботи або поточних потреб.

LCD дисплей служить для відображення інформації про стан системи. На екрані відображаються поточні значення кутів сервоприводів, результати вимірювань відстані з ультразвукового датчика, а також інші важливі дані. Це забезпечує користувачу можливість спостерігати за процесом сканування та отримувати оперативну інформацію про стан системи.

Температурний датчик використовується для підвищення точності вимірювань, враховуючи вплив температури на швидкість звуку. Arduino зчитує значення температури з цього датчика і коригує розрахунки відстані. Такий підхід значно підвищує достовірність даних, особливо в умовах значних змін температури навколишнього середовища.

Кнопка використовується для зручного керування системою, дозволяючи запускати або зупиняти процес сканування. Вона підключена до цифрового входу Arduino і забезпечує інтуїтивно зрозумілий спосіб взаємодії з пристроєм. Одне натискання кнопки запускає сканування, а повторне натискання його зупиняє.

Резистори використовуються для обмеження струму через певні компоненти системи, такі як кнопка та LCD дисплей. Це забезпечує захист компонентів від перевантаження і стабільну роботу всіх елементів схеми. Вони відіграють важливу роль у забезпеченні надійності та безпеки електронної системи.

Усі перелічені компоненти працюють у тісній взаємодії, утворюючи комплексну систему для сканування місцевості. Arduino координує їхню роботу, забезпечуючи обмін даними між датчиками, сервоприводами та іншими елементами. Такий підхід дозволяє створювати точні тривимірні моделі місцевості, які можуть використовуватися для досліджень, автоматизації або інших задач, пов'язаних із аналізом простору.

Усі компоненти системи інтегровані з мікроконтролером Arduino Uno R3, який забезпечує їхню взаємодію та координацію. Для роботи системи використовуються як цифрові, так і аналогові входи та виходи контролера, що дозволяє підключати різноманітні сенсори та виконавчі пристрої.

Зокрема, ультразвуковий датчик, який відповідає за вимірювання відстаней, підключається до цифрових пінів Arduino, що дозволяє отримувати точні дані про відстань до об'єктів у просторі. Кнопка, яка використовується для ініціації роботи системи, також підключена до цифрового входу, забезпечуючи просте управління процесом сканування. Потенціометр, який служить для ручного налаштування параметрів, таких як кути або швидкість сканування, підключений до аналогового входу, дозволяючи зчитувати безперервні значення. Температурний датчик, що використовується для компенсації температурних змін у роботі ультразвукового датчика, також підключений до аналогового входу.

LCD—дисплей підключений до Arduino через інтерфейс I2C, що значно зменшує кількість необхідних пінів для його роботи. Це забезпечує ефективне використання ресурсів контролера та дозволяє зручно відображати інформацію,

таку як поточні параметри чи результати вимірювань.

Сервоприводи, які відповідають за переміщення ультразвукового датчика для сканування простору, підключені до цифрових виходів. Завдяки цьому Arduino може точно керувати їхнім положенням, забезпечуючи високу точність сканування у вертикальній та горизонтальній площинах.

Для захисту компонентів від можливих перевантажень струму в системі використовуються резистори, які обмежують струм у колі та забезпечують безпечну роботу кожного пристрою.

Загальна схема підключення всіх компонентів системи наведена на рис. 3.6. Ця схема наочно демонструє розташування та взаємозв'язок кожного елемента системи, забезпечуючи чітке розуміння її структури та принципу роботи.

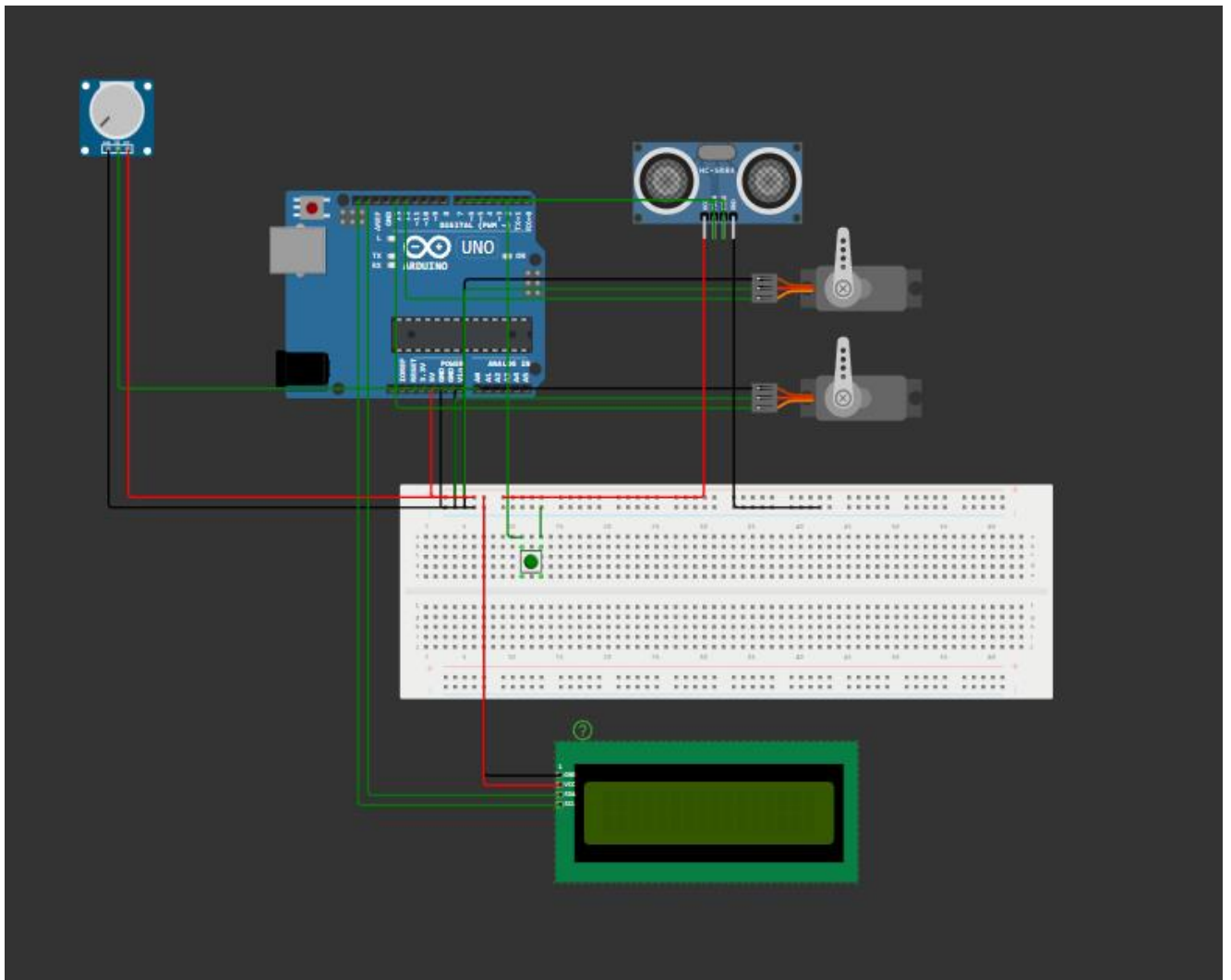


Рис. 3.6 Схема підключення ультразвукового сканера місцевості

Структура програмної частини включає в себе:

1. директорія DataGen – тут зберігається файл с даними отриманими з ультразвукового сенсор підключеного та обробленого на мікроконтроллері Arduino, файли у цій директорії знаходяться у .txt форматі;
2. скрипт echo Proccess.py – сам скрипт який обробляє та візуалізує данні які знаходяться у папці DataGen.

3.4 Опис роботи апарату сканування та візуальної частини методу візуалізації даних ультразвукового сенсора

Після того як сконструйований апарат було увімкнено та запущено процес роботи, 2 сервоприводи починають штовхати ультразвуковий датчик під кожним кутом по вертикалі та горизонталі, при кожній зміні кута датчик випускає ультразвукові хвилі та заміряє температуру та вимірює відстань до точки у просторі за допомогою зчитування відбитої хвилі та розрахунку с урахуванням температури, по закінченню роботи апарата отримуємо великий текстовий файл де дані знаходяться у форматі (1, 20, 50), де 1 – кут по вертикалі, 20 – кут по горизонталі, 50 – дистанція у метрах.

Після формування файлу запускається Python скрипт який обробляє дані. Шляхом математичних обчислень будується матриця координат так відображається за допомогою бібліотек візуалізації мови Python.

Спочатку будується двовимірне зображення яке можна побачити на рис 3.7

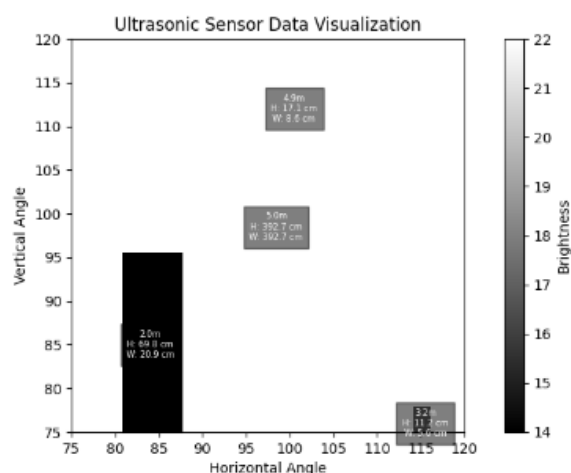


Рис 3.7 результат сканування апаратом ультразвукового сканування у 2д

На рис 3.7. зображений результат роботи збудованого апарату який було поставлено перед фанерою та невеликою тумбочкою, на двовимірній візуалізації відображається контур об'єкту, його висота та ширина та дистанція до нього, чим об'єкт ближче тим більш він темний.

Після того як відобразився результат двовимірного сканування починається обчислення та видача результату сканування у тривимірній візуалізації. Результат відображається у стандартному браузері користувача. Результат того ж самого сканування у тривимірній візуалізації можна побачити на рис 3.8.

3D Visualization of Ultrasonic Sensor Data

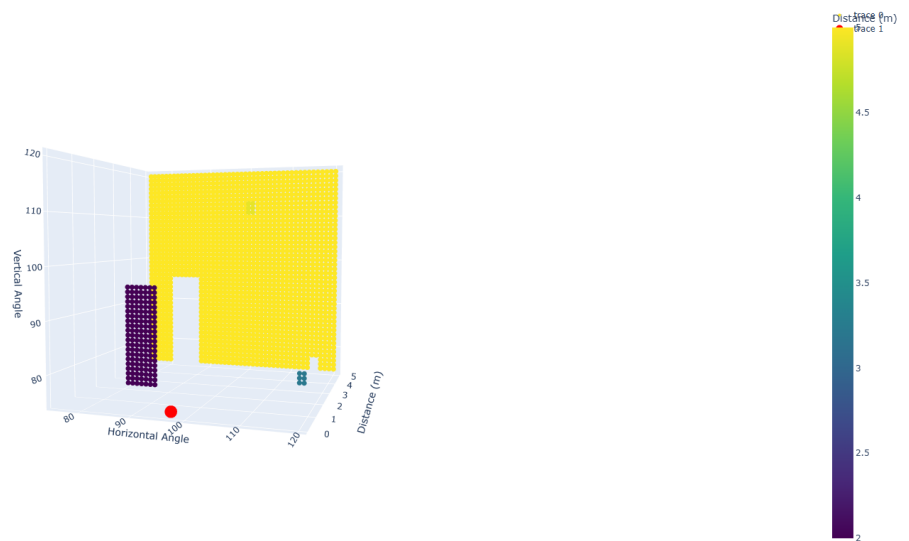


Рис 3.8 результат сканування апаратом ультразвукового сканування 3д

Як можна побачити на рис. 3.8, було створено тривимірну візуалізацію, яка демонструє отримані дані у вигляді просторової моделі. Ця модель має детальне позначення кутів та дистанцій, що дає змогу легко орієнтуватися у зображеному просторі. Кольорове кодування дозволяє швидко визначити відстань до об'єктів: чим ближче об'єкт, тим більш насиченим фіолетовим кольором він позначений. Центральна точка, що відповідає апарату сканування, виділена яскравим червоним кольором для акцентування уваги на його місцезнаходженні у просторі.

Одна з ключових особливостей цієї тривимірної моделі це можливість її інтерактивного перегляду. Користувач має змогу змінювати ракурс, обертати модель та аналізувати об'єкти з різних сторін. Наприклад, на рис. 3.9 зображено вид

збоку, який дозволяє оцінити висоту та вертикальне розташування об'єктів. На рис. 3.10 представлено вид зверху, що допомагає побачити просторову структуру у горизонтальній площині. Ці види забезпечують повне розуміння розташування об'єктів у тривимірному просторі.

Крім того, ця 3D—модель підтримує функцію експорту, що дає змогу переносити її у спеціалізовані програми для роботи з тривимірною графікою. Це відкриває широкі можливості для подальшої обробки, модифікації та інтеграції моделі у складніші системи. Експортована модель може бути використана, наприклад, у програмах для створення анімації, проведення технічного аналізу або підготовки презентацій. Завдяки цьому візуалізація не тільки полегшує розуміння даних, але й служить основою для подальших етапів роботи.

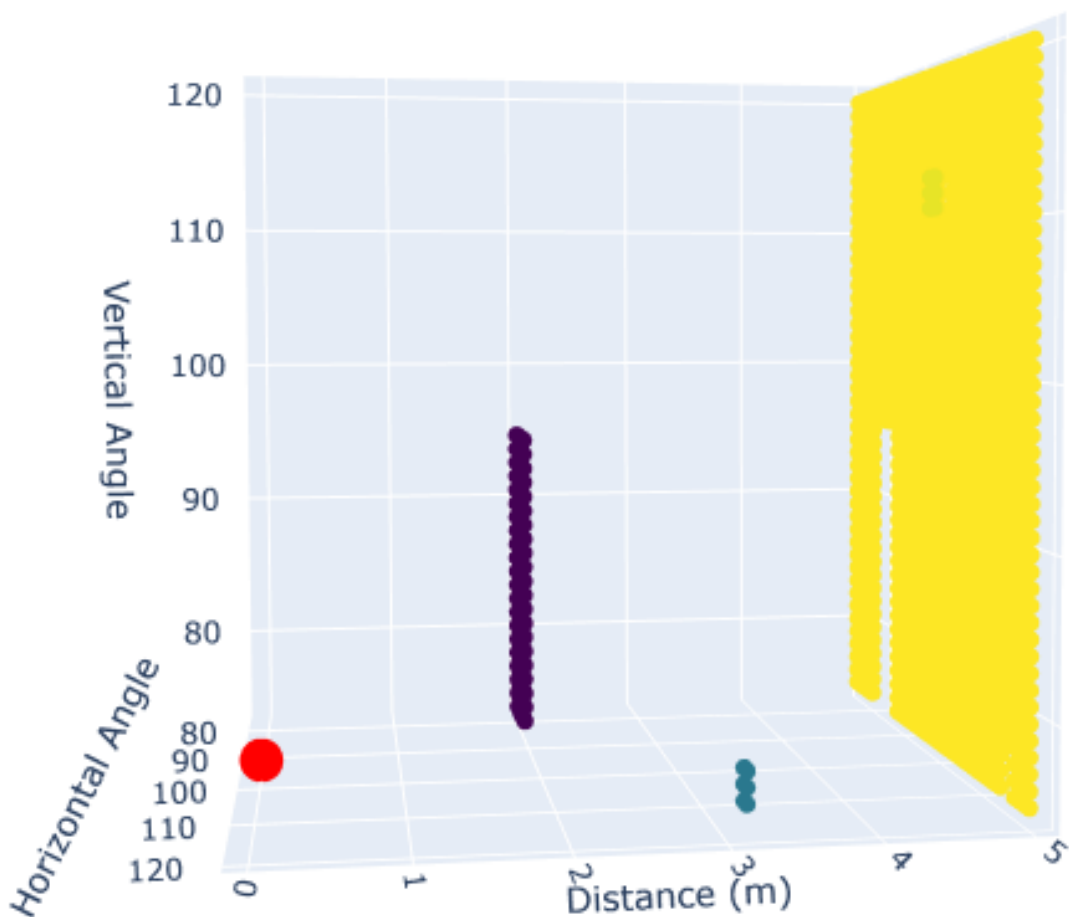


Рис 3.9 результат сканування апаратом ультразвукового сканування 3д у профіль

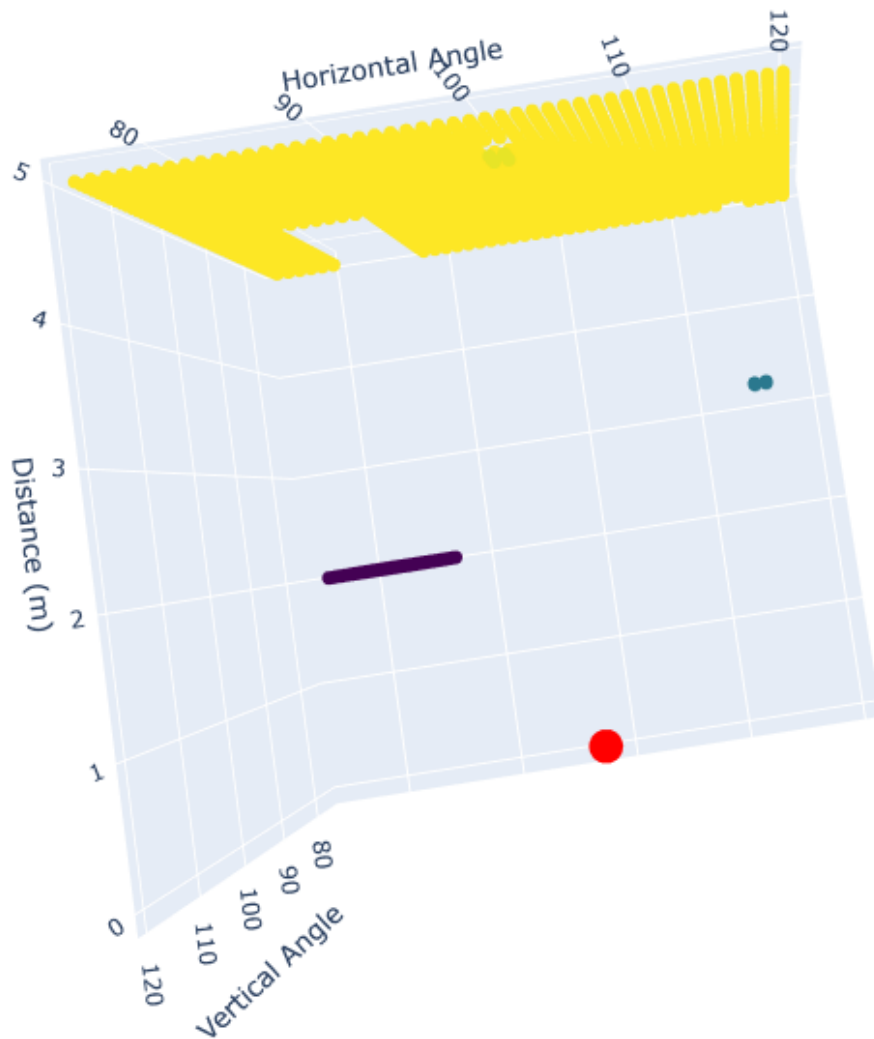


Рис 3.10 результат сканування апаратом ультразвукового сканування 3д зверху

Таким чином, візуальна частина отриманих результатів може бути збережена у різних форматах залежно від потреб дослідника. Зокрема, результат двовимірної візуалізації може бути експортований у вигляді зображення, що дозволяє швидко проаналізувати дані на площині та представити їх у зручному для перегляду вигляді. У той же час, результат тривимірної візуалізації може бути збережений як 3D—модель, що відкриває можливості для подальших досліджень, модифікацій або інтеграції у більш складні системи. Такий підхід забезпечує універсальність використання отриманих даних у різних контекстах.

Для кращого розуміння роботи системи на рис. 3.11 наведена діаграма зовнішнього алгоритму, який відповідає за процес сканування. Ця діаграма демонструє ключові етапи збору даних, починаючи з визначення початкових

параметрів і закінчуючи отриманням сирих даних про кути та відстані. У свою чергу, внутрішній алгоритм, який відповідає за процес візуалізації, показано на рис. 3.12. Ця діаграма ілюструє обробку зібраних даних, створення матриць кольорів і відстаней, а також етапи побудови двовимірного та тривимірного зображення.

Наведені діаграми забезпечують чітке уявлення про структуру та логіку роботи системи, дозволяючи зрозуміти як основні, так і допоміжні процеси, які забезпечують точність та ефективність візуалізації. Це дає змогу легко адаптувати алгоритми або інтегрувати їх у нові проекти.

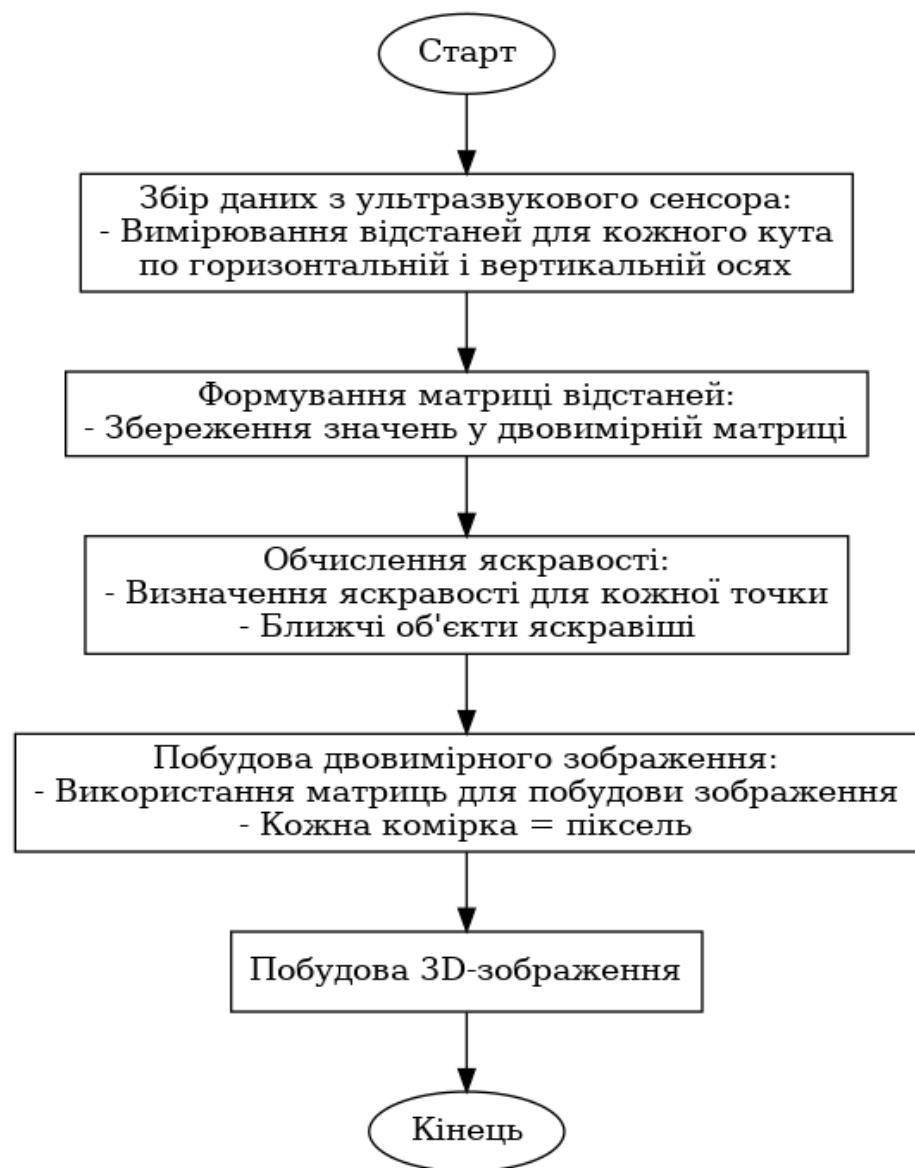


Рис 3.11 Схема зовнішнього алгоритму

Сканер проводить вимірювання відстаней для кожного кута, як по вертикалі, так і по горизонталі, створюючи точну мапу простору. Під час цього процесу дані вимірювань записуються в матрицю, яка відображає відстані до кожної точки у просторі. На основі отриманих значень формується кольорова матриця, яка використовується для візуалізації. У цій матриці кожна точка набуває кольору, що залежить від її віддаленості: чим ближче об'єкт до сканера, тим яскравішим буде його зображення; і, навпаки, об'єкти, що знаходяться на більшій відстані, відображаються у менш яскравих тонах.

Після обробки даних формується двовимірне зображення, яке дозволяє користувачу оцінити розташування об'єктів у просторі з перспективи зверху. На наступному етапі, використовуючи принципи просторової реконструкції, ці дані трансформуються у тривимірне зображення, яке відображає об'єкти у їх реальних пропорціях та взаємному розташуванні. Це дозволяє створити повноцінну модель навколишнього середовища, яка може бути використана для аналізу, візуалізації чи навіть інтерактивного дослідження.

Таким чином, сканер забезпечує багатогранний підхід до збору та обробки даних, що дозволяє з високою точністю відтворювати як двовимірні, так і тривимірні зображення навколишнього середовища. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як лазерна, або ультразвукова скануюча апаратура, а також методів аналізу частоти, або часу проходження сигналу, сканери здатні створювати детальні карти навіть у складних умовах. Це включає зйомку у реальному часі, роботу в умовах низької видимості чи значної кількості перешкод, таких як густий ліс або міське середовище з безліччю будівель.

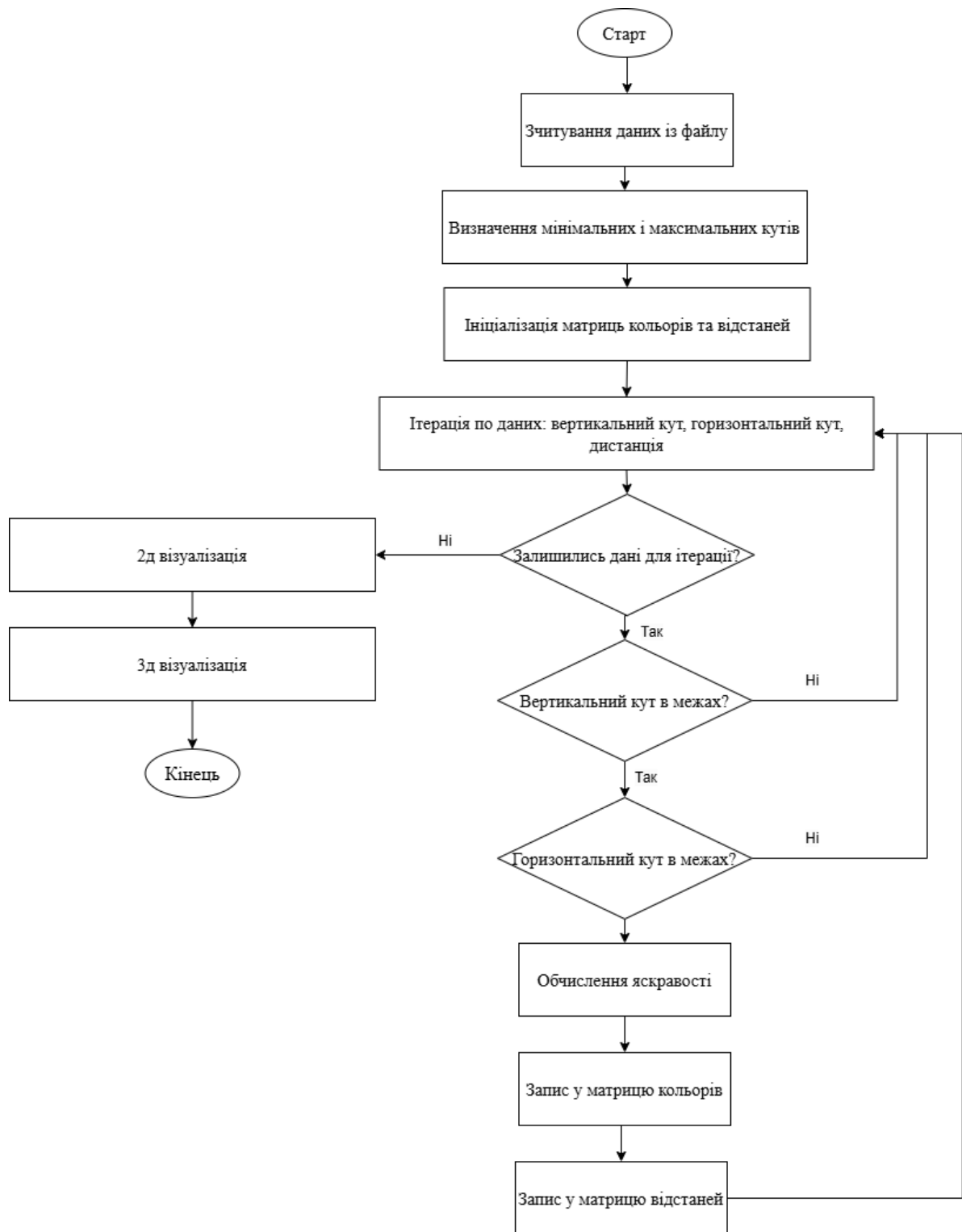


Рис 3.12 Схема внутрішнього алгоритму

Спочатку скрипт візуалізації починає свою роботу з читання даних, які містять інформацію про кути нахилу сканера (горизонтальні та вертикальні) і виміряні відстані до об'єктів. Ці дані є ключовими для подальшого створення матриць та побудови візуальних моделей. На першому етапі аналізуються всі

отримані дані для визначення мінімальних і максимальних значень кутів, що дозволяє встановити межі простору, який буде візуалізовано. Це дає змогу точно визначити розмірність матриць кольорів і відстаней, які будуть ініціалізовані для зберігання відповідних значень.

Далі відбувається етап створення матриць. Матриця відстаней слугує основою для зберігання числових значень, які відповідають відстаням до кожної точки простору, тоді як матриця кольорів відображає візуальне представлення цих даних у вигляді градації яскравості. Обидві матриці ініціалізуються значеннями за замовчуванням, що дозволяє ефективно працювати з даними під час їх обробки.

На наступному етапі починається ітеративна обробка даних. Скрипт проходить через кожен запис у вхідному наборі даних. Для кожного кроку виконується перевірка, чи поточні кути знаходяться в межах визначених границь матриці. Якщо кути відповідають цим умовам, дані про точку використовуються для подальшого розрахунку. Визначається яскравість точки на основі відстані: чим ближча точка до сканера, тим вищою буде її яскравість. Це значення записується у відповідну позицію матриці кольорів. Паралельно у матрицю відстаней записується значення, яке відображає фактичну відстань до цієї точки.

Процес ітерації триває доти, доки всі записи у вхідному наборі даних не будуть оброблені. Якщо для обробки більше не залишається даних, скрипт переходить до етапу візуалізації. На цьому етапі дані з матриць використовуються для побудови двовимірного зображення, яке представляє горизонтальний переріз простору. Потім, застосовуючи методи тривимірної реконструкції, скрипт створює тривимірну модель, яка дозволяє візуалізувати просторове розташування об'єктів з урахуванням їх глибини, форми та віддаленості.

Таким чином, скрипт виконує складний, але структурований алгоритм обробки, який включає кілька етапів: аналіз даних, ініціалізацію структур, ітеративну обробку інформації та створення дво— і тривимірних моделей. Це забезпечує можливість створення високоточних візуалізацій, які є основою для подальших досліджень, аналізу або використання в прикладних завданнях.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано існуючі методи сканування місцевості з використанням ультразвукових сенсорів та ехолокації. Виявлено, що поєднання різних підходів дозволяє покращити точність вимірювань та зменшити вплив шумів, що особливо важливо при роботі у складних умовах середовища.

2. Проведено детальний аналіз методів візуалізації даних, отриманих з ультразвукових сенсорів. Запропоновано оптимізаційні підходи для підвищення точності та якості отриманих зображень, що дозволяє покращити сприйняття просторових даних та полегшує їх подальшу обробку.

3. Розроблено доступний та ефективний метод сканування місцевості з використанням ультразвукових сенсорів, який дозволяє отримувати високоякісні дані з мінімальними затратами. Ефективність методу обумовлена його здатністю забезпечувати високу точність вимірювань завдяки покроковому скануванню під різними кутами як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах, що дозволяє створювати повну матрицю вимірювань відстаней. Використання цієї матриці для подальшої візуалізації у дво- та тривимірному форматах забезпечує детальне покриття досліджуваної території. Сервоприводи дозволяють точно контролювати кут сканування, що сприяє отриманню даних з різних напрямків, а застосування Python та бібліотеки Plotly забезпечує якісну візуалізацію отриманих даних. Таким чином, розроблений метод поєднує точність, зручність реалізації та низьку вартість компонентів, що робить його ефективним для широкого спектру завдань. Метод вдосконалено шляхом оптимізації процесу збору даних та візуалізації, де замість складних методів триангуляції застосовано алгоритми, що базуються на побудові матриць яскравості та відстаней для створення двовимірного зображення досліджуваної території. Це забезпечує простоту використання, зниження вартості обладнання та привабливість для різних дослідницьких цілей та сфер застосування.

4. Розроблено та реалізовано алгоритми для візуалізації даних у двох та трьох вимірах, що дозволило створювати детальні представлення досліджуваної території. Цей підхід базується на зборі даних з різних кутів, використовуючи ультразвуковий датчик, і дозволяє зображати просторові характеристики об'єктів у вигляді 3D візуалізацій.

5. Запропонований метод сканування місцевості та візуалізації даних ультразвукового сенсора на основі ехолокації продемонстрував свою ефективність для задач моніторингу, картографування та аналізу середовища. Використання недорогого обладнання та простих алгоритмів дозволило створити доступний інструмент для широкого кола досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Dümьbgen F., Hoffet A., Kolundžija M., Scholefield A., Vetterli M. Blind as a Bat: Audible Echolocation on Small Robots // arXiv. 2023. Доступ.: <https://arxiv.org/abs/2301.08327>
2. Levy S. Inside Google's 7—Year Mission to Give AI a Robot Body // WIRED. 2024. Доступ.: <https://www.wired.com/story/inside—google—mission—to—give—ai—robot—body/>
3. Shekhawat G. S., Dravid V. P. Scanning Near—Field Ultrasound Holography // Wikipedia. 2005. Доступ.: https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_near—field_ultrasound_holography
4. Silk M. G., Lidington B. H. Time—of—Flight Diffraction Ultrasonics // Wikipedia. 1975. Доступ.: https://en.wikipedia.org/wiki/Time—of—flight_diffraction_ultrasonics
5. Monchalin J.—P. Laser Ultrasonics: Principles and Industrial Applications // Wikipedia. 2004. Доступ.: https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_ultrasonics
6. Комітет Американського коледжу акушерів та гінекологів. Показання для амбулаторного антенатального спостереження за плодом. 2021. Доступ.: <https://www.acog.org/clinical/clinical—guidance/committee—opinion/articles/2021/06/Indications—for—outpatient—antenatal—fetal—surveillance>
7. Lang R. M., et al. Ехокардіографія в діагностичній оцінці та фенотипуванні серцевої недостатності зі збереженою фракцією викиду. 2021. Доступ.: [https://www.journal—of—cardiology.com/article/S0914—5087\(21\)00313—0/fulltext](https://www.journal—of—cardiology.com/article/S0914—5087(21)00313—0/fulltext)
8. Строуструп Б. Мова програмування C++. 4—те вид. Бостон: Addison—Wesley, 2013. 1360 с.
9. Меєрс С. Effective C++: 55 Specific Ways to Improve Your Programs and Designs. 3—те вид. Бостон: Addison—Wesley, 2005. 320 с.
10. Йозутіс Н. Стандартна бібліотека C++: Посібник і довідник. 2—ге вид. Бостон: Addison—Wesley, 2012. 1120 с
11. Лутц М. Вивчення Python. 5—те вид. Сан—Франциско: O'Reilly Media,

2013. 1648 с.

12. Бізлі Д. Книга рецептів Python. 3—те вид. Сан—Франциско: O'Reilly Media, 2013. 706 с.

13. Свейгарт А. Автоматизація рутинних завдань з Python. 2—ге вид. Сан—Франциско: No Starch Press, 2019. 592 с.

14. Банзі М., Шилох М. Початок роботи з Arduino. 3—те вид. Сан—Франциско: Maker Media, 2014. 256 с.

15. Блюм Дж. Дослідження Arduino: інструменти та техніки для інженерної магії. 2—ге вид. Нью—Йорк: Wiley, 2019. 400 с.

16. Монк С. Програмування Arduino: початок роботи зі скетчами. 2—ге вид. Нью—Йорк: McGraw—Hill Education, 2016. 192 с.

17. Кінслер Л., Фрей А., Коппенс А., Сандерс Дж. Основи акустики. 4—те вид. Нью—Йорк: Wiley, 1999. 560 с.

18. Гарріс Ч. Довідник з акустичних вимірювань і контролю шуму. 3—те вид. Нью—Йорк: McGraw—Hill, 1991. 880 с.

19. Накамура К. Ультразвукові перетворювачі: матеріали та конструкція для сенсорів, актуаторів і медичних застосувань. 2—ге вид. Кембридж: Woodhead Publishing, 2012. 500 с.

20. Морс П., Інгард К. Теоретична акустика. Принстон: Princeton University Press, 1986. 784 с.

21. Пірс А. Акустика: введення у фізичні принципи та застосування. 3—те вид. Нью—Йорк: Acoustical Society of America, 2019. 656 с.

22. Россінг Т. Наука звуку. 3—те вид. Бостон: Addison—Wesley, 2001. 816 с.

23. Ulrich F. Ultrasonic Measurement Systems: Practical Ultrasonic Applications in Process Control. Springer—Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 300 p.

24. Галанін С. Основи ультразвукових технологій. К.: Наукова думка, 2008. 456 с.

25. Arduino — Ultrasonic Sensor. ArduinoGetStarted. Доступ.: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino—ultrasonic—sensor>

26. Ulrich F. Ultrasonic Radar with Arduino. Arduino Project Hub. Доступно:

<https://projecthub.arduino.cc/nimishac/ultrasonic—radar—with—arduino—19baa3>

27. Nakamura K. "Ultrasonic Sensor HC—SR04 and Arduino – Complete Guide." HowToMechatronics. Доступ.:

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic—sensor—hc—sr04>

28. "Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку, довжина і частота звукової хвилі, гучність і висота тону, інфразвук і ультразвук." Всеосвіта. Доступ.:

<https://vseosvita.ua/lesson/zvukovi—khvyli—shvydkist—poshyrennia—zvuku—dovzhyna—i—chastota—zvukovoi—khvyli—huchnist—i—vysota—tonu—infrazvuk—i—ultrazvuk—73724.html>

29. Бар'яхтар В.Г. Звукові хвилі. Інфразвук і ультразвук. Фізика. 9 клас. К.: Ранок, 2017. Доступ.: <https://uahistory.co/pidruchniki/baryahtar—physics—9—class—2017/25.php>

30. Бар'яхтар В.Г. Звукові хвилі. Фізика. Рівень стандарту. 10 клас. К.: Ранок, 2023. Доступ.: <https://uahistory.co/pidruchniki/baryahtar—physics—10—class—2023—standard—level—reissue/30.php>

31. "Звукові хвилі. Гучність звуку та висота тону. Вібрації і шуми та їх вплив на живі організми. Інфразвук і ультразвук." Всеосвіта. Доступно:

<https://vseosvita.ua/lesson/zvukovi—khvyli—huchnist—zvuku—ta—vysota—tonu—vibratsii—i—shumy—ta—ikh—vplyv—na—zhyvi—orhanizmy—infrazvuk—i—ultrazvuk—325075.html>

32. Засекіна О. Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку. Фізика (поглиблений рівень). 9 клас. К.: Ранок, 2017. Доступно:

<https://uahistory.co/pidruchniki/zasekina—physics—9—class—2017—deep—level/45.php>

33. "Звукові хвилі. Презентація. Фізика." Всеосвіта. Доступно: [https://vseosvita.ua/library/10—klas—zvukovi—khvyli—759100.html`](https://vseosvita.ua/library/10—klas—zvukovi—khvyli—759100.html)

34. Сиротюк Г. Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку, довжина і частота звукової хвилі. Фізика. 9 клас. К.: Освіта, 2017. Доступно:

<https://uahistory.co/pidruchniki/sirotuk—physics—9—class—2017/34.php>

35. Троян С. Сканування місцевості ультразвуковими методами. К.: Техніка, 2016. 380 с.

ДОДАТОК А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО -
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ



Магістерська робота

«МЕТОД СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ ЕХОЛОКАЦІЇ ТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА»

Виконав: студент групи ПДМ-61 Чернявський Ждан Анатолійович

Керівник: к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри ТЦР Поперешняк С.В.

Київ - 2025

МЕТА, ОБ'ЄКТА ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: підвищення точності сканування місцевості та візуалізації даних за допомогою ультразвукового сенсора на основі ехолокації.

Об'єкт дослідження: процес сканування місцевості та візуалізація даних у тривимірному та двовимірних просторах.

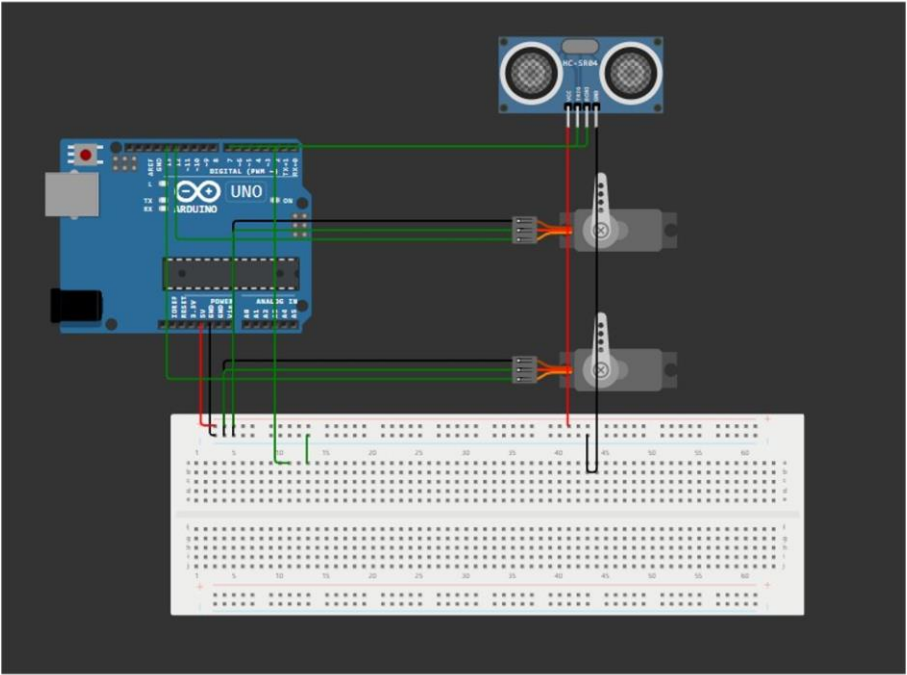
Предмет дослідження: метод сканування місцевості та обробка даних ультразвукових сенсорів для їхньої візуалізації у тривимірному просторі.

Порівняльна характеристика

Параметр/Метод	Складність збору даних	Алгоритми обробки даних	Вартість обладнання	Вимоги до технічного обслуговування	Застосування в малобюджетних проектах	Гнучкість використання
Триангуляція	Висока – потребує множини сенсорів та їх фіксованого розташування	Складні, потребують високих обчислювальних ресурсів	Висока – в три рази дорожче	Високі – налаштування та підтримка множини сенсорів	Обмежене через високу вартість	Обмежена фіксованим розташуванням сенсорів
Метод фазового зсуву	Низька – один сенсор	Складні, але зазвичай швидкі для обчислень	Висока – потребує спеціалізованих датчиків	Низькі – потребує мінімального технічного обслуговування	Обмежене через високу вартість	Висока – може бути адаптоване для різних застосувань
Метод резонансу	Висока – потребує складних апаратних засобів	Складні, вимагають високої точності	Висока – потребує спеціальних матеріалів та обладнання	Високі – потрібно регулярно калібрувати обладнання	Обмежене через вартість матеріалів та обладнання	Обмежена специфічними умовами роботи
Метод (матриці яскравості та відстані)	Низька – один сенсор, просте налаштування	Прості обчислення, мінімальні вимоги до ресурсів	Низька – потребує 1 сенсор	Низькі – мінімальні технічні обслуговування	Висока доступність для малобюджетних проектів	Висока – можна змінювати розташування сенсора в залежності від потреб

3

СХЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНЕРА



4

Математична модель та блок-схема загального алгоритму методу сканування

Основна формула вимірювання відстані

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

d — відстань до об'єкта (метри).

v — швидкість поширення звуку в середовищі (м/с). Залежить від температури $v = 331.4 + 0.6 \cdot T$, де T = температура повітря (°C).

t — час руху звукового сигналу у дві сторони (секунди)



Математична модель та блок-схема алгоритму візуалізації даних

Формули обчислення розміру об'єктів

$$\text{Висота} = (\max.\text{vert} - \min.\text{vert}) * d * \frac{\pi}{180} * 100$$

$$\text{Ширина} = (\max.\text{hor} - \min.\text{hor}) * d * \frac{\pi}{180} * 100$$

$\max.\text{vert}$, $\min.\text{vert}$ — максимальні та мінімальні кути точок об'єкту по вертикалі.

$\max.\text{hor}$, $\min.\text{hor}$ — максимальні та мінімальні кути точок об'єкту по горизонталі.

d — відстань до об'єкта у метрах

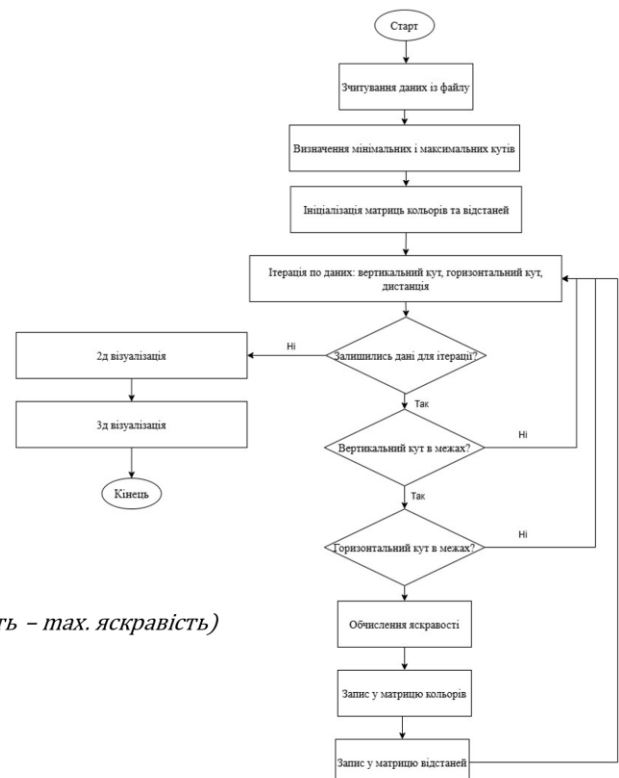
Запис значень у матриці

$$\text{image/color_matrix}[i_v, i_h,] = \text{distance}$$

i_v, i_h , - кут по вертикалі та по горизонталі

Обчислення яскравості пікселя

$$\text{Яскравість} = \text{мін. яскравість} + \frac{\text{дистанція}}{100} * (\text{мін. яскравість} - \text{тах. яскравість})$$



Модель вхідних даних які генерує сенсор

```

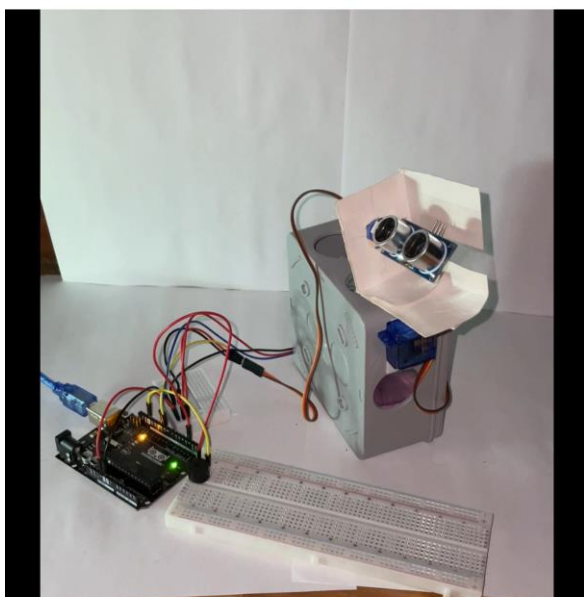
80 75 5
80 76 5
80 77 5
80 78 5
80 79 5
80 80 5
80 81 2
80 82 2
80 83 2
80 84 2
80 85 2
80 86 2
80 87 2
80 88 5
80 89 5
80 90 5

```

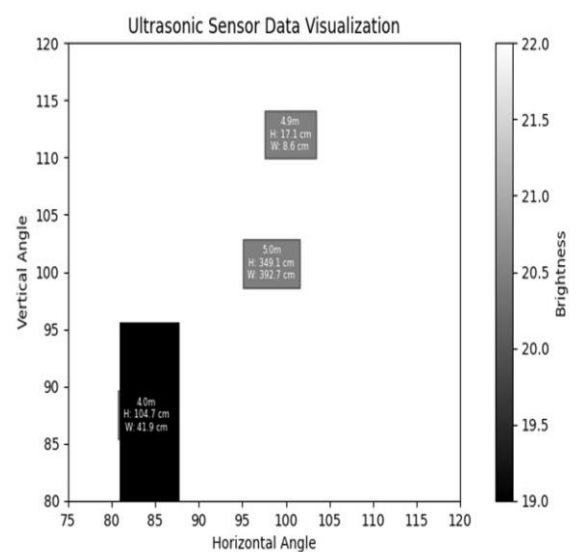
Ультразвуковий сканер вимірює дистанцію для кожного кута по вертикалі та горизонталі у підсумку утворюється масив даних у форматі двовимірної матриці $n * m$, де $n = 3$ а m = кількість кутів по вертикалі + кількість кутів по горизонталі, кожен рядок представляє собою набір даних $a \ b \ c$, де a – кут по вертикалі, b – кут по горизонталі, c – відстань у метрах

7

Екранні форми – робота сканеру



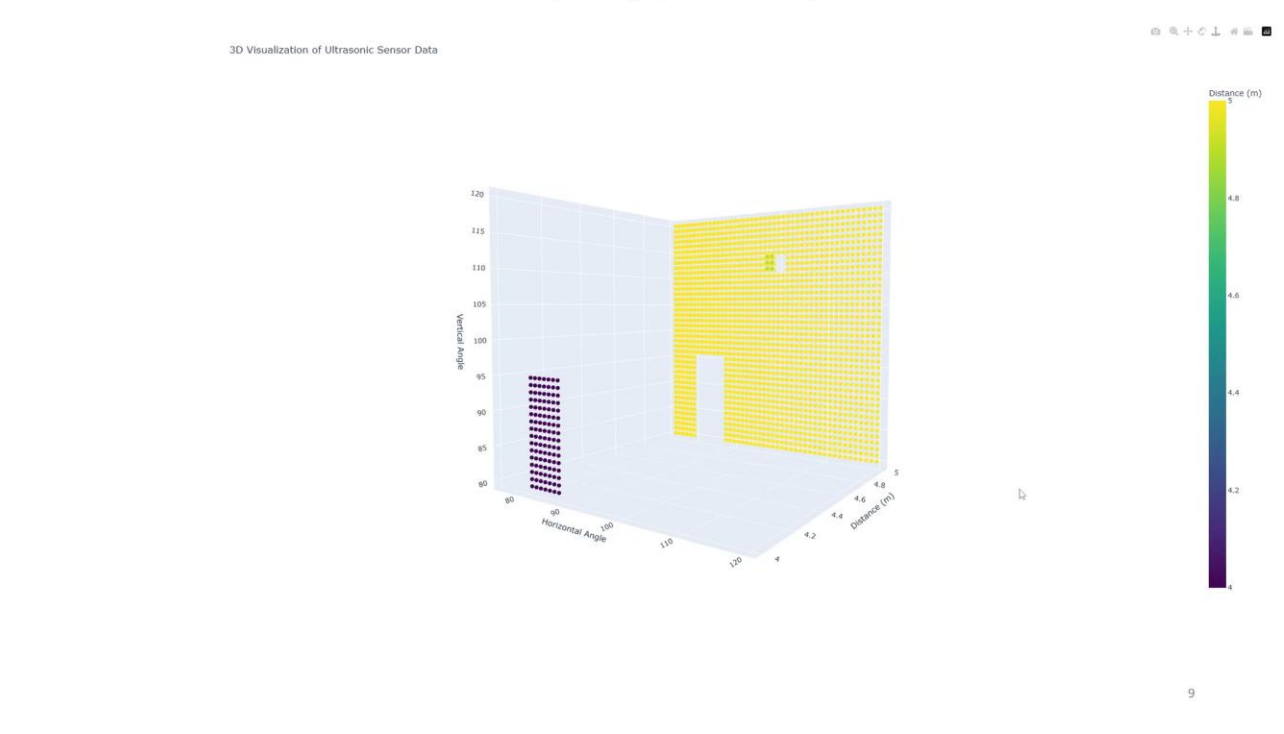
Робота ультразвукового сканеру



2д візуалізація отриманих зі сканеру даних

8

Екранні форми – 3д візуалізація



ПОРІВНЯЛЬНИЙ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
СКАНУВАННЯ У РІЗНИХ ПОГОДНИХ УМОВАХ

Погодні умови	Нормальні умови	Висока вологість	Низька температура	Сильний вітер	Висока температура	Сильний дощ
Точність (% від нормальної)	100%	90%	95%	85%	98%	80%
Швидкість (від нормальної)	100%	85%	95%	80%	102%	75%
Примітки	Сканування займає 1 хвилину і 7 секунд	Волога може впливати на точність, час може бути довшим (78.82 секунд)	Може трохи знижувати швидкість, але точність не сильно змінюється (70.53 секунд)	Ветер може вплинути на точність і швидкість сигналу (83.75 секунд)	Швидкість звуку може трохи збільшитись при високій температурі(65.69 секунд)	Вологість і дощ знижують точність і зменшують швидкість(89.33 секунд)

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано існуючі методи сканування місцевості з використанням ультразвукових сенсорів та ехолокації. Виявлено, що поєднання різних підходів дозволяє покращити точність вимірювань та зменшити вплив шумів, що особливо важливо при роботі у складних умовах середовища.
2. Проведено детальний аналіз методів візуалізації даних, отриманих з ультразвукових сенсорів. Запропоновано оптимізаційні підходи для підвищення точності та якості отриманих зображень, що дозволяє покращити сприйняття просторових даних та полегшує їх подальшу обробку.
3. Розроблено доступний та ефективний метод сканування місцевості з використанням ультразвукових сенсорів, який дозволяє отримувати високоякісні дані з мінімальними затратами. Метод вдосконалено шляхом оптимізації процесу збору даних та візуалізації, де замість складних методів триангуляції застосовано алгоритми, що базуються на побудові матриць яскравості та відстаней для створення двовимірного зображення досліджуваної території. Це забезпечує простоту використання, зниження вартості обладнання та привабливість для різних дослідницьких цілей та сфер застосування.
4. Розроблено та реалізовано алгоритми для візуалізації даних у двох та трьох вимірах, що дозволило створювати детальні представлення досліджуваної території. Цей підхід базується на зборі даних з різних кутів, використовуючи ультразвуковий датчик, і дозволяє зображати просторові характеристики об'єктів у вигляді 3D візуалізацій.
5. Запропонований метод сканування місцевості та візуалізації даних ультразвукового сенсора на основі ехолокації продемонстрував свою ефективність для задач моніторингу, картографування та аналізу середовища. Використання недорогого обладнання та простих алгоритмів дозволило створити доступний інструмент для широкого кола досліджень.

11

ПУБЛІКАЦІЇ ТА АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

Статті:

1. Чернявський Ж. А. МЕТОД СКАНУВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ЕХОЛОКАЦІЇ ARDUINO // ТІТ. Подано до друку.

Тези доповідей:

1. Чернявський Ж.А. РОЗРОБКА МЕТОДІВ СКАНУВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ. // II всеукраїнська науково-технічна конференція «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу». – Київ: ДУТ, 2024. – подано до друку

Чернявський Ж.А. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ ЕХОЛОКАЦІЇ. // II всеукраїнська науково-технічна конференція «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу». – Київ: ДУТ, 2024. – подано до друку

12