

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії

_____ Ірина ЖУРАВСЬКА

«___» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

СИСТЕМА ДОПОМОГИ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРИ

ДЛЯ СЛІПИХ

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач



_____ Владислава РЕМІННА

«___» _____ 2024 р.

Керівник канд. техн. наук, доцент

_____ Ярослав КРАЙНИК

«___» _____ 2024 р.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Комп'ютерної інженерії
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Освітній ступінь	Магістр
Спеціальність	123 Комп'ютерна інженерія
Освітня програма	Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерної інженерії
_____Ірина ЖУРАВСЬКА
«___»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувача

Ремінної Владислави Андріївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи
__Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих__

Затверджена наказом ректора ЧНУ ім. Петра Могили від «___»_____2024 р.
№_____

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «___»_____2024 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані якщо такі потрібні

Очікуваним результатом роботи є: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих , а також для людей з вадами зору, яка покращить їх автономність та безпечність пересування.

4. Перелік питань, що підлягають розробці:

- 1) Аналітичний огляд систем допомоги орієнтації в просторі ;
- 2) Аналіз переваг та недоліків існуючих систем; _____
- 3) Розробка апаратної частини;
- 4) Розробка програмної частини

5. Перелік графічних матеріалів

- 1) Блок-схема принципу роботи системи допомоги орієнтації в просторі.
- 2) Схема підключення пристрою.
- 3) Дизайн друкованої плати.

6. Завдання до спеціальної частини

- проаналізувати предметну сферу та існуючі системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих та описати їх функції;
- розглянути можливості використання даних систем для сліпих в Україні та адаптацію їх до умов та потреб місцевого населення;
- змодельовати та розробити власний пристрій для орієнтації в просторі, який буде відповідати основним вимогам та виконувати головні функції.
- протестувати та розробити рекомендації щодо ефективного використання систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих з метою поліпшення якості життя людей з обмеженими можливостями.

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи

Керівник роботи

Особистий підпис

Ярослав КРАЙНИК
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Здобувач

Особистий підпис

Владислава РЕМІННА
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Дата видачі завдання « _____ » _____ 20____ р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної магістерської роботи

Тема: Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих

№ з/п	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	01.09.2024	07.09.2024	Виконала
2.	Огляд літератури за темою роботи	08.09.2024	17.09.2024	Виконала
3.	Складання календарного плану КМР	18.09.2024	19.09.2024	Виконала
4.	Аналіз предметної області	20.09.2024	26.09.2024	Виконала
5.	Розробка проектних рішень	27.09.2024	14.10.2024	Виконала
6.	Моделювання та конструювання АПЗ	15.10.2024	26.10.2024	Виконала
7.	Перевірка працездатності, тестування та апробація розробленого АПЗ, аналіз результатів тестування, розробка керівництва користувача	27.10.2024	19.11.2024	Виконала
8.	Відгук керівника КМР	21.11.2024	21.11.2024	Виконала
9.	Оформлення КМР та презентації	22.11.2024	27.11.2024	Виконала
10.	Попередній захист	28.11.2024	28.11.2024	Виконала
11.	Рецензування	10.12.2024	12.12.2024	Виконала
12.	Завершення оформлення КМР та презентації	13.12.2024	14.12.2024	Виконала
13.	Захист кваліфікаційної роботи	19.12.2024	19.12.2024	

Керівник роботи

Особистий підпис

Здобувач

Особистий підпис

Ярослав КРАЙНИК
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Владислава РЕМІННА
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної магістерської роботи

«Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих»

Здобувачка гр. 605м: Ремінна Владислава Андріївна

Керівник: канд. техн. наук, доц. Крайник Я. М.

Ця робота присвячена розробці системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих людей, головною метою якої є забезпечення їх безпечного пересування та покращення мобільності в навколишньому середовищі. Розроблений пристрій виконує кілька основних функцій, зокрема розпізнавання перешкод, GPS-трекінг, реагування на погодні умови (зокрема дощ) та орієнтування за звуком. Система використовує ультразвукові датчики для виявлення перешкод і попереджає користувача за допомогою звукових і тактильних сигналів. GPS-модуль збирає дані про місцезнаходження користувача та передає їх на центральний сервер, що дозволяє відстежувати маршрут і забезпечувати додаткову безпеку. Для виявлення дощу передбачено датчик вологості, що активує відповідне сповіщення. Крім того, інтеграція масиву мікрофонів Pmod PDM дозволяє системі визначати напрямок джерела звуку, що полегшує орієнтацію в міських умовах або складних ситуаціях. Усі компоненти системи були об'єднані за допомогою мікроконтролера Arduino Nano R3, а програмний код написаний на мові програмування Arduino (C++).

У першому розділі роботи проведено аналіз існуючих аналогів систем орієнтації для людей із порушеннями зору. У другому розділі описано вибір елементів, обґрунтовано технічні характеристики та визначено основні вимоги до розроблюваної системи. Третій розділ присвячено етапам розробки пристрою, опису апаратної та програмної частин, включаючи підключення датчиків, GPS-модуля та інших компонентів. У четвертому розділі представлено результати тестування системи, зокрема перевірку її функціональності в різних умовах та аналіз точності роботи модулів.

Результатом роботи став функціональний прототип, який покращує якість життя людей з порушеннями зору, допомагаючи їм орієнтуватися в просторі та забезпечуючи більшу незалежність.

Загальний обсяг пояснювальної записки становить 93 сторінок і включає 30 рисунків, 10 таблиць, 32 джерела інформації та 4 додатки.

Ключові слова: *Arduino, C++, GPS, орієнтація в просторі, сліні, ультразвукові датчики, Pmod PDM.*

ABSTRACT

of the Master's Thesis

“ Spatial orientation assistance system for the blind ”

Applicant gr. 605m: Reminna Vladyslava Andriivna

Supervisor: Cand. Sci. (Techn.), Docent Krainyk Ya. M.

This work is dedicated to the development of a spatial orientation assistance system for blind people, with the primary goal of ensuring their safe movement and enhancing mobility in the surrounding environment. The developed device performs several key functions, including obstacle detection, GPS tracking, weather condition response (specifically rain detection), and sound-based orientation. The system uses ultrasonic sensors to detect obstacles, alerting the user through sound and tactile signals. A GPS module collects the user's location data and transmits it to a central server, enabling route tracking and ensuring additional safety. A rain detection sensor is included to notify the user of weather conditions. Furthermore, the integration of the Pmod PDM microphone array allows the system to determine the direction of a sound source, facilitating orientation in urban settings or complex situations. All components of the system are integrated using an Arduino Nano R3 microcontroller, and the software is written in Arduino programming language (C++).

The first chapter of the thesis provides an analysis of existing analogs of orientation systems for visually impaired individuals. The second chapter describes the selection of components, justifies their technical specifications, and outlines the main requirements for the developed system. The third chapter focuses on the development stages of the device, including the description of hardware and software, the integration of sensors, the GPS module, and other components. The fourth chapter presents the results of system testing, including its functionality under various conditions and an analysis of module accuracy.

The outcome of the work is a functional prototype that improves the quality of life for visually impaired individuals by helping them orient themselves in space and providing greater independence. The explanatory note comprises 93 pages, including 30 figures, 10 tables, 32 references, and 4 appendices.

Keywords: *Arduino, C++, GPS, spatial orientation, blind, ultrasonic sensors, Pmod PDM.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	1
ВСТУП.....	2
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМИ ДОПОМОГИ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРИ ДЛЯ СЛІПИХ.....	5
1.1 Системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих у сучасному світі, їх значимість та використання	5
1.2 Використання системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих в Україні	7
1.3 Аналіз систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих	10
1.4 Основні вимоги до систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих.....	20
Висновки до розділу 1	24
2 ВИМОГИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	26
2.1 Основні елементи системи орієнтації в просторі для сліпих	26
2.2 Вибір елементів	28
Висновки до розділу 2	49
3 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	51
3.1 Розробка апаратного забезпечення.....	51
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	60
3.3 Додатковий девайс «Браслет з розпізнаванням перешкод»	64
Висновки до розділу 3	69
4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	70
4.1 Моделювання в MATLAB.....	70
4.2 Моделювання впливу перешкоди.....	78
Висновки до розділу 4	80
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	84
ДОДАТОК А АПРОБАЦІЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	87

ДОДАТОК Б КОД ДЛЯ ARDUINO	89
ДОДАТОК В MATLAB	92

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВООЗ	–	Всесвітня організація охорони здоров'я
ОЗП	–	Оперативна Запам'ятовуюча Програма
ПЗ	–	Програмне Забезпечення
УЗ	–	Ультразвук
ШІМ	–	широотно-імпульсивна модуляція
EEPROM	–	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPS	–	Global Positioning System
PWM	–	Pulse Width Modulation
GSM	–	Global System for Mobile Communications
LIDAR	–	Light Detection and Ranging
AR	–	Augmented Reality
IoT	–	Internet of Things

ВСТУП

Люди з вадами зору зазнають багатьох труднощів у повсякденному житті, особливо коли йдеться про пересування та орієнтування в незнайомих місцях. Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може стати надійним помічником у цьому процесі, забезпечуючи зручну і надійну опору під час ходьби та надаючи користувачам необхідну інформацію про навколишнє середовище за допомогою звукових та вібраційних сигналів.

У світі зріс попит систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих, які забезпечують ще більше функцій та можливостей для користувачів. Дана кваліфікаційна магістерська робота присвячена дослідженню можливостей систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих та їх впливу на якість життя людей з обмеженими можливостями. Робота містить аналіз існуючих систем орієнтації, їхніх функцій та можливостей, опис нових технологій та розробок у цій галузі, а також розглядає перспективи розвитку систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих у майбутньому.

Ця кваліфікаційна магістерська робота має на меті допомогти розуміти важливість систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих та їх вплив на покращення якості життя людей з обмеженими можливостями. Вона може бути корисною для інженерів, дослідників, спеціалістів з розробки програмного забезпечення та всіх, хто цікавиться технологіями, спрямованими на покращення життя людей з обмеженими можливостями.

У кваліфікаційній магістерській роботі буде проаналізовано існуючі системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих, їхні переваги та недоліки, а також описано нові технології та розробки у цій галузі. Будуть проаналізовані варіанти систем орієнтації, які пропонують різноманітні функції, такі як розпізнавання облич, ідентифікація кольорів, вимірювання відстаней та інше.

Отже, ця кваліфікаційна магістерська робота має на меті розкрити можливості та перспективи використання систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих, дослідити їх вплив на якість життя людей з обмеженими можливостями та допомогти розробити ефективні технології для поліпшення їхнього життя.

Тема кваліфікаційної магістерської роботи: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих.

Об'єкт: процес просторової орієнтації сліпих людей за допомогою спеціалізованих технологічних рішень.

Предмет дослідження: Технології, які використовуються для створення системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих, їхні функції, можливості та переваги.

Мета дослідження: Розробити систему допомоги орієнтації в просторі для сліпих, а також для людей з вадами зору, яка покращить їх автономність та безпечність пересування.

Завдання дослідження:

- проаналізувати предметну сферу та існуючі системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих та описати їх функції;
- розглянути можливості використання даних систем для сліпих в Україні та адаптацію їх до умов та потреб місцевого населення;
- змодельювати та розробити власний пристрій для орієнтації в просторі, який буде відповідати основним вимогам та виконувати головні функції.
- протестувати та розробити рекомендації щодо ефективного використання систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих з метою поліпшення якості життя людей з обмеженими можливостями.

Практичне значення: практичне значення полягає у розробці та вдосконаленні технологічних рішень, які сприяють полегшенню просторової орієнтації для людей з порушеннями зору. Результати роботи можуть бути використані для створення нових або поліпшення існуючих систем допомоги орієнтації, що підвищить рівень мобільності, самостійності та безпеки сліпих людей у повсякденному житті.

Наукове значення: наукове значення полягає в тому, що отримані результати доповнюють існуючі знання про технології допомоги людям з порушеннями зору, розширюючи можливості їх використання в умовах швидкої урбанізації та зростаючої складності просторового середовища.

Отже, дослідження система допомоги орієнтації в просторі для сліпих є важливою галуззю інженерної розробки, яка може внести значний вклад у покращення якості життя людей з обмеженими можливостями.

Одним з головних викликів розробки системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих є забезпечення високої якості та надійності, що є критичним для забезпечення безпеки та здоров'я користувачів. Для досягнення цієї мети необхідно використовувати сучасні технології, тести та перевірки для забезпечення високої якості продукту.

Окрім цього, важливою задачею є забезпечення доступності систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих для широкого кола користувачів. На жаль, в даний час такі системи орієнтації мають досить високу вартість, що робить їх недоступними для більшості користувачів. Тому, однією з головних метою дослідження є розробка ефективних технологій, які дозволять знизити вартість систем орієнтації.

У цілому, дослідження систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих є важливим кроком у поліпшенні якості життя людей з обмеженими можливостями. Розробка високоякісних та доступних систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих може допомогти різним категоріям людей зі зниженим зором, від повної сліпоти до недостатнього зору, дати можливість бути більш самостійними та зменшити ризик нещасних випадків.

Дана кваліфікаційна робота була апробована на XXI Міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум – 2024: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі». Матеріали доповіді були опубліковані у збірнику конференції [9].

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМИ ДОПОМОГИ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРИ ДЛЯ СЛІПИХ

1.1 Системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих у сучасному світі, їх значимість та використання

У сучасному світі системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих стають важливим інструментом для підвищення якості життя людей із зоровими обмеженнями, забезпечуючи їх незалежність, автономію та безпеку під час пересування. Завдяки використанню передових технологій ці пристрої допомагають людям орієнтуватися у просторі, надаючи їм додаткову інформацію про навколишнє середовище та перешкоди. Сучасні системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих оснащені низкою технологічних рішень, що роблять їх незамінними в повсякденному житті користувачів. Вбудовані сенсори, включаючи ультразвукові та лазерні датчики, допомагають визначати відстань до перешкод на різних рівнях, попереджаючи користувача про небезпеку зіткнення. Це особливо важливо під час пересування в незнайомих місцях, де ризик травм може бути підвищеним.

Голосові асистенти та штучний інтелект, інтегровані в системи орієнтації, інтерпретують звуки навколишнього середовища та допомагають користувачеві приймати рішення під час руху. Штучний інтелект аналізує навколишні звуки, а також голосові команди користувача, роблячи пересування безпечнішим і простішим. Вбудований GPS забезпечує точне визначення місцезнаходження користувача та надання інформації про найближчі об'єкти, що значно полегшує пересування як у містах, так і в сільській місцевості.

Інтеграція з мобільними додатками відкриває нові можливості для персоналізації та розширення функцій систем орієнтації. Користувачі можуть отримувати детальну інформацію про навколишні об'єкти, такі як банкомати, лікарні, транспортні зупинки, а також визначати безпечні маршрути. Мобільні застосунки дозволяють налаштовувати параметри системи орієнтації відповідно до індивідуальних потреб користувача, а також отримувати оновлення програмного

забезпечення для покращення функціоналу. Соціальна взаємодія також стає більш доступною завдяки можливості ділитися своїм місцезнаходженням з близькими людьми або отримувати допомогу в разі надзвичайних ситуацій.

Завдяки постійному розвитку технологій системи орієнтації стають більш функціональними та забезпечують нові можливості для користувачів. Вбудовані камери та алгоритми штучного інтелекту дозволяють тростині ідентифікувати знайомих людей або визначати інші важливі об'єкти у просторі. Інтеграція з технологіями доповненої реальності (англ. Augmented Reality – AR) дозволяє створювати більш деталізовані зображення навколишнього середовища та надавати точну інформацію про простір. Деякі моделі обладнані сенсорами для моніторингу стану здоров'я користувача, наприклад, вимірювання пульсу або рівня стресу, що є корисним для збереження загального фізичного стану користувача. Енергозберігаючі рішення, такі як використання сонячних панелей або енергоефективних батарей, забезпечують тривалу роботу пристрою без потреби в частій підзарядці.

Соціальний вплив систем орієнтації виходить за межі індивідуального користувача, маючи значний вплив на суспільство в цілому. Взаємодія тростин з інфраструктурою сучасних міст, зокрема з розумними транспортними системами, дозволяє створювати більш безпечні та доступні умови для зорovo обмежених людей. Використання таких систем підвищує загальну обізнаність суспільства про проблеми та потреби людей із зоровими обмеженнями, сприяючи розвитку інклюзивних рішень у різних сферах життя. Це, в свою чергу, стимулює створення інклюзивної архітектури та інфраструктури, що враховує потреби всіх учасників суспільства.

Перспективи розвитку систем орієнтації є обширними завдяки подальшій інтеграції з Інтернетом речей (англ. Internet of Things – IoT), що дозволить створювати комплексні рішення для підтримки зорovo обмежених людей. Інтеграція з іншими розумними пристроями, такими як розумні годинники або домашні системи, забезпечить більш глибоку та ефективну підтримку користувачів. Зниження вартості виробництва є важливим аспектом, який

дозволить зробити системи орієнтації доступними для більшої кількості користувачів, тим самим сприяючи більш широкому впровадженню цих технологій у суспільство.

Системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих є невід'ємною частиною сучасного світу. Вони забезпечують зорово обмежених людей незалежністю, безпекою та можливістю активної участі в житті суспільства. Постійне вдосконалення технологій дозволяє розширювати функціональність цих пристроїв, відкриваючи нові можливості для користувачів і сприяючи створенню інклюзивного середовища. Завдяки цим інноваціям, зорово обмежені люди можуть більш ефективно взаємодіяти зі своїм оточенням, що значно покращує їхню якість життя та соціальну інтеграцію.

1.2 Використання системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих в Україні

Використання системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих в Україні є важливим аспектом сучасних технологій для людей з вадами зору, адже вони значно полегшують життя та сприяють їх незалежності. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), у світі близько 285 млн людей мають проблеми із зором, з яких 39 млн – сліпі. Більшість цих людей проживають у країнах з низьким і середнім рівнем доходу, де доступ до медичної допомоги й інноваційних технологій обмежений. В Україні системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих є новим технологічним рішенням, яке поступово набирає популярності. Однак, їхнє широке впровадження ще попереду.

Одним із відомих проєктів у цій сфері є «Слухаюча система орієнтації», розроблена компанією «Ecoisme». Цей інноваційний пристрій спрямований на допомогу людям із вадами зору, зокрема тим, хто страждає на діабетичну ретинопатію. Система орієнтації має вбудовані датчики, що фіксують нерівності дороги та інші перешкоди, попереджаючи користувача про можливі небезпеки за допомогою звукових сигналів. Це значно підвищує рівень безпеки та комфорту під час пересування.

Інший приклад використання систем орієнтації – це спільний проєкт Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та компанії «Майстерня Світла». Їхня розробка передбачає тростину з вбудованим екраном, який допомагає користувачеві визначати відстань до перешкод. Пристрій також обладнаний GPS-модулем, що дозволяє відстежувати місцезнаходження користувача та надсилати інформацію близьким людям у разі екстреної ситуації.

Актуальним проєктом є ініціатива «Навігатор», започаткована у 2023 році. Цей проєкт поєднує використання технологій (англ. Global Positioning System – GPS), ультразвукових сенсорів та мобільного застосунку для надання користувачам інформації про навколишнє середовище в режимі реального часу. Проєкт співпрацює з організаціями, що підтримують людей із вадами зору, для тестування та вдосконалення функціоналу тростин у різних регіонах України. Інший перспективний стартап «SmartVision UA», заснований у 2022 році, активно працює над зниженням вартості виробництва систем орієнтації, використовуючи 3D-друк і відкриті технології.

Незважаючи на ці успіхи, в Україні залишається низка перешкод для широкого впровадження систем орієнтації. Зокрема, відсутність чітких стандартів для розробки та тестування таких пристроїв, а також висока вартість, роблять їх недоступними для більшості потенційних користувачів. Для розв'язання цієї проблеми уряд України у 2023 році почав розробляти програми підтримки технологій для людей з обмеженими можливостями, пропонуючи гранти та субсидії для стимулювання розвитку таких ініціатив. Важливо також забезпечити користувачів навчанням для правильного використання систем орієнтації та надавати їм технічну підтримку.

Інтерес до систем орієнтації серед українців з вадами зору зростає, оскільки ці пристрої не тільки забезпечують безпеку під час пересування, а й надають доступ до цифрових сервісів, що підвищує рівень незалежності користувачів. Проте, сьогодні системи орієнтації залишаються недоступними для більшості через високу вартість та недостатній розвиток інфраструктури для їхнього застосування.

Тому одним із ключових завдань є адаптація технологій та виробництво тростин з урахуванням українських реалій, що дозволить знизити їхню вартість і зробити доступними для більшої кількості людей.

Зростаюча міжнародна співпраця України з Європейським Союзом і міжнародними технологічними компаніями у 2023 році також сприяє розвитку рішень для підтримки людей із вадами зору. Спільні проєкти та фінансування допомагають реалізовувати нові ідеї та впроваджувати інноваційні рішення на національному рівні. Громадські організації, такі як «Асоціація сліпих України», проводять активну просвітницьку діяльність та організують тренінги для користувачів систем орієнтації, підвищуючи рівень обізнаності суспільства щодо проблем, з якими стикаються люди з вадами зору.

Попри виклики, пов'язані з широким впровадженням систем орієнтації в Україні, ці технології мають великий потенціал для покращення життя людини з вадами зору. Попри перспективність цих рішень, в Україні все ще бракує чітких стандартів для використання та випробування систем орієнтації, що може ускладнювати їх широке впровадження. Вартість таких пристроїв залишається високою, що робить їх недоступними для більшості людей із вадами зору. Тому для того, щоб системи орієнтації стали більш поширеними в Україні, потрібні зусилля як з боку держави, так і бізнесу, а також громадських організацій. Необхідно впроваджувати програми навчання користувачів правильному використанню таких пристроїв, а також забезпечити технічну підтримку. Важливу роль у цьому відіграє залучення фахівців із вадами зору до розробки програмного забезпечення та функцій тростин, щоб вони максимально відповідали потребам користувачів.

Загальний інтерес до систем орієнтації в Україні зростає, що свідчить про потенціал цієї технології для вирішення важливих проблем людей із зоровими обмеженнями. Системи орієнтації можуть значно полегшити орієнтацію у просторі, забезпечити безпеку під час пересування та підвищити доступність інформації та послуг. Важливою перспективою є адаптація таких технологій до українських реалій, що включає зниження їх вартості та створення відповідної інфраструктури для їх використання. Зокрема, важливо розробляти більш доступні

моделі, які б могли стати масовими та забезпечити більшу кількість людей з вадами зору необхідними інструментами для комфортного життя.

Поки що системи орієнтації залишаються технологією, що не є широко розповсюдженою в Україні через високу вартість і недостатній розвиток інфраструктури для їх підтримки. Однак, з огляду на тенденції, у майбутньому можливе значне розширення використання таких тростин завдяки здешевленню виробництва, розвитку нових технологій і підтримці з боку держави та громадських організацій. Розвиток інновацій у сфері допоміжних технологій для людей із вадами зору в Україні має велике значення для створення інклюзивного суспільства та покращення якості життя цих людей.

1.3 Аналіз систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих

Одним з відомих проєктів є MWC 2021: смарт-тростина, що підключається до смартфона. На виставці мобільної електроніки Mobile World Congress 2021 було представлено незвичайний стартап, який отримав винагороду за найкращу ідею, що змінює світ. Його засновник – сліпий турок, розробив смарт-тростину з метою допомогти тисячам людей з обмеженими можливостями у всьому світі. Ця система орієнтації підключається до смартфона та здатна надавати голосові навігаційні підказки. Проєкт належить до числа відомих на Mobile World Congress 2021 [5].

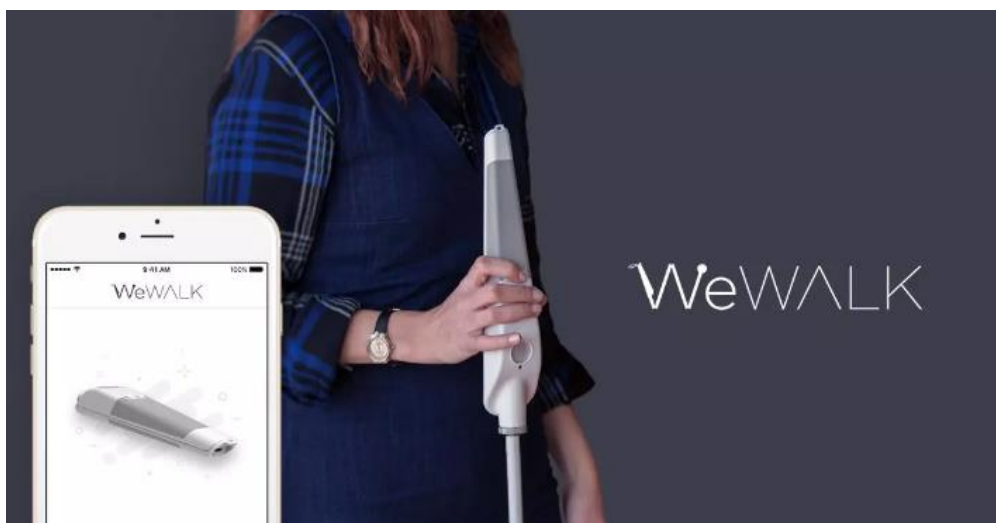


Рисунок 1.1 – Система орієнтації WeWalk [10]

Технічні характеристики WeWalk:

- 1) дистанція визначення перешкод: 80–170 см;
- 2) роздільна здатність: визначення перешкод більше 5 см;
- 3) ультразвуковий сенсор: 40 кГц, кут охоплення – 55 градусів;
- 4) тачпад: підтримка мультитач Вібромотори: два мотори зліва та справа у клавiшах;
- 5) батарея: 1000 мА·год;
- 6) звукова система: підсилювач звуку класу D, динамік – 0,5 Вт Мікрофон: цифровий MEMS;
- 7) навігація: 3–осьовий гіроскоп, 3–осьовий акселерометр, 3–осьовий компас;
- 8) роз'єм заряджання USB Micro–B;
- 9) захист від бруду та вологи: IP20 (немає захисту від води);
- 10) розміри: 25 мм × 289 мм × 44 мм;
- 11) вага: 280 г;
- 12) мобільний Застосунок WeWALK працює на смартфонах Android 5.0 та iOS 10 або новіше.

Вартість WeWalk складає 599 доларів, і вона доступна у 59 країнах.

Другим відомим проектом є система орієнтації для сліпих розроблена Стенфордським університетом, який називається «Augmented Cane» (рис. 1.2) . Дослідники Стенфордського університету розробили високотехнологічну білу тростину, яка відштовхує користувачів від перешкод [6].



Рисунок 1.2 – Система орієнтації Augmented Cane [11]

Патрік Слейд, аспірант робототехніки в Стенфорді, був зосереджений на способах покращення мобільності за допомогою екзоскелетів або протезів. Але під час роботи в Стенфордській лабораторії інтелектуальних систем він почав дізнаватися про нові розробки в удосконаленні автономних транспортних засобів. Це змусило його задуматися, чи можна застосувати частину цієї роботи для вдосконалення класичної системи орієнтації та зробити її більш придатною для використання в різноманітних середовищах.

«Augmented Cane», яка описана в новому дослідженні опублікований у Science Robotics, має дві основні відмінності від звичайної білої системи орієнтації. Поруч із базою є пристрій, наповнений різними датчиками, включаючи камеру, які збирають інформацію про навколишнє середовище навколо людини, включаючи дані (англ. Global Positioning System –GPS) і (англ. Light Identification, Detection and Ranging –LIDAR) LIDAR використовує відбите лазерне світло, щоб оцінити, наскільки далеко знаходяться інші об'єкти). У підніжжі системи орієнтації є все направлене колесо, яке має налаштування для налаштування швидкості ходьби людини та тактильний зворотний зв'язок, щоб спонукати користувача повертати ліворуч або праворуч за потреби (та сама основна концепція спостерігається в контролерах відеоігор, які вібрувати у відповідь на ігрові дії). Теоретично, пристрій

має вловлювати потенційні перешкоди попереду та допомагати орієнтуватися в незнайомих місцях.

Електронна тростина RAY



Рисунок 1.3 – Електронна тростина RAY [12]

Вона має зручну особливість – додатковий режим роботи «Escape», в якому користувач зможе знаходити дверні отвори, або проходи . Пристрій носить у руці, перешкоди виявляються шляхом направлення датчика до імовірного об'єкта [4].

Основні характеристики:

- 1) чутливий елемент – УЗ–локатор;
- 2) дальність виявлення перешкод – до 2,85 м;
- 3) живлення від двох батарейок типу ААА, по 1,5 В;
- 4) вага – 50 г (включно з батареями);
- 5) наявний порт Mini–Jack;
- 6) спосіб сповіщення користувача – тональний звуковий сигнал (через навушники), або тактильно – через вібрацію (вмонтованим віброіндикатором);
- 7) ціна – 360 доларів (приблизно 9680 грн).

Недоліки: висока ціна; необдуманий спосіб заміни елементів живлення (потрібно зняти кришку з батарейного відсіку, яка ніяк не прикріплена до корпусу і може випасти з рук та загубитися); детектування перешкод лише одним видом чутливого сенсора.

Система орієнтації «Робін»

Розроблений на основі штучного інтелекту інтелектуальний пристрій «Робін» здатен розпізнавати обличчя, попереджувати про перешкоди і допомагати людям з порушеннями зору, таким як сліпі та сліпоглухі, орієнтуватися як у приміщенні, так і на вулиці (рис. 1.4). «Робін» може співпрацювати з дисплеями Брайля та виводити інформацію про об'єкти, які зберігаються в його пам'яті, на цифрові носії. Крім того, пристрій можна підключити до телефону за допомогою інтерфейсу Bluetooth і використовувати для його пошуку в радіусі 10 м.



Рисунок 1.4 – Система орієнтації «Робін» [13]

Основні характеристики:

- 1) чутливі елементи – дві камери, УЗ – локатор;
- 2) дальність виявлення перешкод – до 10 м;
- 3) живлення від вмонтованого акумулятора протягом 3 годин;
- 4) розпізнавання і озвучування речей;
- 5) обчислення відстані до предметів, чи об'єктів;
- 6) вага – 480 г;
- 7) наявний порт Mini-Jack, Mini-USB;
- 8) спосіб сповіщення користувача – тональний звуковий сигнал (через навушники), тактильно – через вібрацію (вмонтованим віброіндикатором), голосом (через навушники);
- 9) ціна – 2320 доларів США (приблизно 63 тис. грн).

Недоліки: висока ціна; світловий індикатор заряду батареї; власне для

детектування перешкод використовується всього один УЗ-давач; довгий час зарядки (6 годин).

Розумна тростина «mySmartCane»

Тростина відрізняється від класичної системи орієнтації наявністю в нижній частині кулі, в якій вбудований ультразвуковий давач. Принцип роботи схожий на автомобільний парктронік: чим ближче давач до перешкоди, тим вища частота звукових сигналів, що передаються в навушники користувача. Шляхом маніпуляції тростиною в просторі можна побудувати відносно безпечний маршрут у приміщенні [7].

Даний проєкт знаходиться на стадії ранньої розробки, а розробник планує модернізувати пристрій шляхом збільшення кількості давачів, що дадуть більш об'ємну інформацію про оточуючий світ.

Однак, проєкт має деякі недоліки. Перше, детектування перешкод здійснюється лише одним видом чутливого сенсора – ультразвуковим давачем. Це означає, що система орієнтації не може виявляти одночасно різні види перешкод, такі як шлагбаум і сходинка. Крім того, вона обмежена у своїй функціональності і можливостях у порівнянні з більш сучасними розумними системами орієнтації, які можуть мати розширений набір сенсорів та функцій

Незважаючи на ці недоліки, проєкт розумної системи орієнтації з ультразвуковим давачем відстані є першим кроком у розробці більш удосконалених та функціональних рішень для полегшення мобільності та безпеки людей з обмеженими можливостями. І з подальшою модернізацією пристрою, включаючи більше типів сенсорів та розширені можливості, така система орієнтації може стати більш універсальним та функціональним інструментом для користувачів. Можливість збільшити кількість давачів і отримати більш детальну інформацію про оточуюче середовище відкриває широкі перспективи для подальшого розвитку розумної системи орієнтації.

Smart Cane Pro

Розробник: Venture Inc.

Це технологічна компанія, що спеціалізується на інноваціях у сфері пристроїв для людей з обмеженими можливостями. Вони активно використовують штучний інтелект і сучасні сенсорні технології для створення допоміжних засобів, які покращують якість життя. Smart Cane Pro – це система орієнтації, що використовує AI-алгоритми для поліпшення навігації та виявлення об'єктів. Вона забезпечує користувачів корисними підказками та інформацією, що робить пересування безпечнішим і зручнішим.

Технічні характеристики:

- 1) Тип датчику: Ультразвукові (УЗ), камера, LiDAR;
- 2) Діапазон відстаней: до 5 м;
- 3) Додаткові функції:
 - a) Голосовий асистент, який надає інформацію про навколишнє середовище;
 - b) Інтеграція з мобільним застосунком для управління налаштуваннями та отримання оновлень;
 - c) Можливість навчання та налаштування алгоритмів відповідно до стилю пересування користувача;
- 4) Живлення: Літій-іонний акумулятор, 10 годин роботи;
- 5) Ціна: 800 доларів.

Переваги:

- Висока точність у визначенні відстані до перешкод завдяки використанню LiDAR.
- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс мобільного застосунку.
- Можливість персоналізації налаштувань.

Недоліки:

- Висока вартість.
- Можливість швидкого розрядження акумулятора при використанні всіх функцій.

Можливі застосування:

– Для сліпих та слабозорих людей, які потребують допомоги при навігації в незнайомих місцях.

– У навчальних закладах для студентів з порушеннями зору.

CaneMate

Розробник: Assistive Technologies Ltd.

Ця компанія зосереджена на розробці пристроїв, що полегшують життя людям з порушеннями зору. CaneMate була створена як інструмент для навчання, завдяки інтерактивним функціям, що допомагають користувачам краще орієнтуватися в оточенні.

CaneMate – це система орієнтації, що поєднує в собі традиційний функціонал з інтерактивним навчанням. Вона розроблена для полегшення процесу навчання користувачів з порушеннями зору, допомагаючи їм адаптуватися до нових умов.

Технічні характеристики:

- 1) Тип датчику: УЗ, інфрачервоний сенсор;
- 2) Діапазон відстаней: до 4 м;
- 3) Додаткові функції:
 - a. Звукові підказки, які сповіщають про виявлені перешкоди;
 - b. Віброіндикація, що забезпечує тактильний зворотний зв'язок;
 - c. Інтерактивний режим навчання, що дозволяє користувачам відпрацьовувати навички орієнтації;
- 4) Живлення: Батарея AA, 12 годин роботи;
- 5) Ціна: 450 доларів.

Переваги:

- Доступна ціна;
- Легкість у використанні, що робить її ідеальною для нових користувачів;
- Вбудовані навчальні функції для покращення навичок.

Недоліки:

- Менша дальність виявлення порівняно з конкурентами;
- Обмежений функціонал в порівнянні з більш просунутими моделями.

Можливі застосування:

- Ідеальна для користувачів, які тільки починають використовувати смарт-технології;
- Використання у навчальних програмах для осіб з обмеженими можливостями.

Vision Cane

Розробник: TechVision Solutions

Ця компанія спеціалізується на розробці смарт-пристроїв для поліпшення навігації та орієнтації. Vision Cane поєднує в собі технології, такі як GPS і сенсори, для створення інтуїтивно зрозумілого досвіду користувача, надаючи можливість інтеграції з мобільними застосунками.

Vision Cane – це високотехнологічна система орієнтації, яка поєднує в собі кілька сенсорів і можливість підключення до смарт-додатків. Вона призначена для поліпшення навігації і забезпечення користувачів актуальною інформацією про їх оточення.

Технічні характеристики:

- 1) Тип датчику: УЗ, камери;
- 2) Діапазон відстаней: до 6 м;
- 3) Додаткові функції:
 - a. GPS для навігації;
 - b. Bluetooth для підключення до мобільних пристроїв;
 - c. Відстеження навколишніх об'єктів у реальному часі;
- 4) Живлення: Літій-іонний акумулятор, 8 годин роботи
- 5) Ціна: 700 доларів.

Переваги:

- Висока дальність виявлення об'єктів;
- Наявність GPS для прокладання маршрутів;
- Інтуїтивно зрозуміле управління через мобільний застосунок.

Недоліки:

- Потребує регулярної зарядки через велику кількість активних функцій;

- Вартість може бути вищою для бюджетних користувачів.

Можливі застосування:

- Для активних користувачів, які часто пересуваються в незнайомих місцях.

- У туристичних програмах для осіб з обмеженими можливостями.

Незважаючи на обмеження, тростина з ультразвуковим давачем відстані є значним кроком вперед у покращенні якості життя людей з обмеженими можливостями. Вона дозволяє користувачам отримувати реальний час інформацію про перешкоди, що допомагає уникнути потенційних небезпек і забезпечує більшу незалежність та мобільність.

За допомогою подальших досліджень та розвитку, тростина може стати ще більш ефективною та універсальною. Впровадження додаткових типів сенсорів, таких як зумер для акустичного сприйняття або вбудований компас для навігації, може розширити можливості системи орієнтації і забезпечити ще більшу підтримку користувачів у різних ситуаціях.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних характеристик описаних пристроїв

Назва	Тип датчику	Діапазон відстаней, м	Наявність дод. функцій	Живлення	Ціна, долари/грн
WeWalk	УЗ	0,8– 1,7	+	1000 мА·год	599/ 22129
Augmented Cane	УЗ, камера	1–4	+	Акумулятор (4 год. роботи)	650/ 24013
RAY	УЗ	3 см – 2,85	–	2 х ААА (3В)	9680
Робін	УЗ, дві камери	0,03– 10	+	Акумулятор (3 год. роботи)	63000
mySmart Cane	УЗ	2	–	2 х АА (3В)	12000
Smart Cane Pro	УЗ, камера, LiDAR	до 5	+	Літій-іонний, 10 год	800
CaneMate	УЗ, ІЧ	до 4	+	АА, 12 год	450
Vision Cane	УЗ, камери	до 6	+	Літій-іонний, 8 год	700

На даний час комерційних пристроїв для покращення орієнтації в просторі сліпих людей дуже мало. Некомерційні розробки, як правило, на порядок дешевші, але і менш функціональні. Основна їх частина реалізована на базі Arduino, де чутливими елементами обрані УЗ-давачі. Також існує багато розробок, що знаходяться на стадії стартап проєкту.

1.4 Основні вимоги до систем допомоги орієнтації в просторі для сліпих

Вимоги до системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих:

- сенсори здатні виявляти перешкоди: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих повинна бути оснащена сенсорами, які здатні виявляти перешкоди на шляху користувача, включаючи стіни, сходи, меблі тощо. Це дозволить тростині розпізнавати небезпеку та надавати користувачеві відповідні попередження або підказки;

- навігаційна система: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих повинна мати вбудовану навігаційну систему, яка дозволяє визначати місцезнаходження користувача і надавати детальні вказівки щодо маршруту. Це може включати голосові інструкції або сигнали, які допоможуть користувачу орієнтуватися в просторі;

- голосове керування: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може мати вбудовану систему голосового керування, яка дозволяє користувачеві взаємодіяти з тростиною за допомогою голосових команд. Це дасть можливість зручного управління функціями системи орієнтації, без необхідності використання рук;

- повідомлення та нагадування: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може мати можливість надсилати повідомлення або нагадування користувачеві, наприклад, про прийдешні зустрічі, прийом ліків або важливі події. Це сприятиме покращенню організації розкладу користувача та допоможе уникнути пропусків важливих подій;

– аварійні системи: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може мати вбудовані аварійні системи, які надсилають сигнали про небезпеку або аварійні ситуації. Наприклад, система орієнтації може мати вбудований акселерометр, який виявляє різке падіння або рухи, що можуть свідчити про потенційну аварію. У таких випадках система орієнтації може надіслати аварійне повідомлення з деталями про місцезнаходження користувача до зазначених контактів чи до служби екстреної допомоги;

– стильний та комфортний дизайн: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих повинна мати стильний і комфортний дизайн, що дозволяє користувачеві відчувати себе комфортно та довіряти пристрою. Важливо, щоб система орієнтації була легкою, зручною у використанні та можливо надавала можливості для персоналізації зовнішнього вигляду.

Вимоги до обладнання:

– компактність та портативність: Обладнання, що використовується разом з розумною тростиною, повинно бути компактним і портативним. Наприклад, це може бути смартфон або носимий пристрій, який забезпечує зв'язок і взаємодію з розумною тростиною;

– безпека та захист даних: Обладнання повинно мати вбудовані заходи безпеки для захисту важливих даних користувача, таких як медична інформація або особисті дані. Крім того, зв'язок між обладнанням та розумною тростиною повинен бути шифрованим для запобігання несанкціонованому доступу до інформації;

– надійність та довговічність: Обладнання повинно бути високоякісним і надійним, забезпечуючи стабільну роботу протягом тривалого часу. Воно повинно витримувати повсякденне використання, удари, вологу та інші негативні фактори. Надійне обладнання зменшує ризик відмови і забезпечує безперебійну роботу розумної системи орієнтації;

– сумісність із розумною тростиною: Обладнання повинно бути сумісним з розумною тростиною та взаємодіяти з нею безперешкодно. Це може включати бездротові технології зв'язку, такі як Bluetooth або Wi-Fi, а також

стандарти комунікації, щоб обмінюватися даними та командами між тростиною і обладнанням;

– енергоефективність: Обладнання повинно бути енергоефективним, щоб забезпечувати тривалий час автономної роботи без необхідності часто заряджати або замінювати батареї. Енергозбереження дозволяє забезпечити тривалу витривалість розумної системи орієнтації під час використання;

– простота використання: Обладнання повинно бути простим у використанні та інтуїтивно зрозумілим для користувача. Це означає, що інтерфейси та контролі повинні бути зрозумілими та легкими у використанні, навіть для людей з обмеженими можливостями;

– легкість обслуговування: Обладнання повинно бути легким у обслуговуванні і оновленні. Це може включати простий спосіб оновлення програмного забезпечення, можливість заміни окремих компонентів або батарей, а також надання користувачам доступу до додаткових ресурсів, таких як онлайн-документація або підтримка;

– сумісність з іншими платформами: Обладнання повинно бути сумісним з різними платформами, операційними системами і пристроями, що дозволяє користувачеві використовувати його з різними пристроями та отримувати доступ до функціональності без обмежень;

– цінова доступність: Обладнання повинно бути доступним з точки зору ціни, щоб більш широкий коло користувачів могло мати можливість отримати розумну тростину та відповідне обладнання. Це сприятиме забезпеченню рівного доступу до технологій для всіх користувачів, незалежно від їх фінансових можливостей;

– довгий час роботи від одного заряду: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих та обладнання повинні мати ефективні енергозберігаючі функції, щоб тривалий час працювати від одного заряду батареї. Це забезпечить користувачеві незалежність та упевненість в тому, що система орієнтації буде готовою до використання протягом тривалого періоду;

- зручний інтерфейс користувача: Обладнання повинно мати зрозумілий та зручний інтерфейс, що дозволяє користувачеві легко взаємодіяти з пристроєм. Це можуть бути сенсорні екрани, кнопки з позначеннями або голосове керування. Важливо забезпечити, щоб користувачі з різними рівнями моторних та когнітивних навичок могли легко користуватися обладнанням;
- висока якість звуку та сприйняття: Якщо обладнання використовує аудіоінтерфейс для комунікації з користувачем, воно повинно мати високу якість звуку та забезпечувати зрозумілість мовлення. Це дозволить користувачеві чітко розуміти інструкції та повідомлення, які надходять від розумної системи орієнтації;
- надійність зв'язку: Якщо обладнання передбачає бездротову комунікацію з розумною тростиною, воно повинно мати стабільний і надійний зв'язок. Забезпечення міцного сигналу і низької латентності допоможе уникнути втрати зв'язку та забезпечить швидку та ефективну взаємодію з обладнанням;
- легкість налаштування та підключення: Обладнання повинно мати простий процес налаштування та підключення до розумної системи орієнтації. Це забезпечить зручність і швидкість використання, а також зменшить необхідність додаткової технічної підтримки для користувачів;
- підтримка оновлень програмного забезпечення: Обладнання повинно мати можливість оновлювати програмне забезпечення для отримання нових функцій, виправлення помилок та забезпечення безпеки. Регулярні оновлення програмного забезпечення дозволять тримати обладнання у сучасному стані та надавати користувачам доступ до нових функцій та покращень;
- інструкції та підтримка користувача: Обладнання повинно надавати зрозумілі інструкції щодо використання, налаштування та догляду. Крім того, користувачам слід мати доступ до підтримки, яка може включати документацію, онлайн-ресурси та можливість звернутися до фахівців для отримання допомоги та відповідей на запитання.

Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих повинна бути оснащена сенсорами для виявлення перешкод, навігаційною системою для визначення маршруту, а також можливістю голосового керування. Важливими аспектами є

аварійні системи, компактність, енергоефективність, надійність та зручність використання обладнання. Це обладнання має забезпечувати безпеку даних, стабільний зв'язок і підтримку оновлень, а також бути доступним за ціною. Важливою є також підтримка користувача через зрозумілі інструкції та легкість обслуговування.

Висновки до розділу 1

Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих є інноваційним пристроєм, призначеним для підтримки та полегшення мобільності осіб з обмеженими можливостями. Вона надає користувачам широкий спектр функцій, що сприяють їхній безпеці, комфорту та незалежності. Основні функції розумної системи орієнтації включають:

1) сигналізація та безпека: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може бути обладнана системою сигналізації, яка попереджає про небезпеку або небезпечні ситуації, наприклад, наближення до перешкоди або небезпечного дорожнього руху. Це допомагає зменшити ризик травм та підвищує рівень безпеки користувача;

2) додаткова підтримка при ходьбі: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може мати вбудовану технологію стабілізації та адаптації до ходьби користувача. Вона допомагає утримувати рівновагу, забезпечує стабільність та розподіляє вагу, зменшуючи навантаження на ноги та суглоби;

3) навігація та маршрутизація: система допомоги орієнтації в просторі для сліпих може мати вбудовану навігаційну систему, яка допомагає користувачеві зорієнтуватися у просторі та знаходити оптимальні маршрути. Вона може надавати вказівки щодо напрямку руху, виявляти перешкоди та небезпеки на шляху користувача;

4) нажаль, через свою високу вартість не кожен має змогу придбати собі таку систему допомоги орієнтації в просторі для сліпих. Тому в даній дипломній розроблено просту тростину на базі Arduino з системою, яка буде виконувати основну функцію – розпізнавання перешкод та сповіщення звуковим сигналом.

Собівартість системи орієнтації буде невелика, а отже більше людей з вадами зору отримають змогу придбати її та полегшити собі життя.

Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих повинна забезпечувати безпеку користувача, попереджаючи про можливі небезпеки, і надавати додаткову підтримку при ходьбі, допомагаючи підтримувати рівновагу.

2 ВИМОГИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

2.1 Основні елементи системи орієнтації в просторі для сліпих

Система орієнтації в просторі для сліпих – це передовий пристрій, створений для покращення мобільності та незалежності людей з обмеженими можливостями. Однією з головних характеристик цієї системи є її адаптивність: вона не має жорстко визначеного складу компонентів, що дозволяє налаштовувати її відповідно до індивідуальних потреб користувача.

Кожна така система може бути унікальною, включаючи різні технології й елементи, які найкраще відповідають вимогам конкретної особи. До складу системи можуть входити сенсори руху, ультразвукові датчики, GPS-навігація, вбудовані мікропроцесори, акумулятори, а також аудіо- і візуальні сигнали, що дозволяють отримувати інформацію про навколишнє середовище.

Ця система призначена для підтримки осіб з різними видами обмежень, зокрема проблемами зі зором, слухом, координацією рухів. Вона пропонує функції для безпечної навігації, сповіщення про перешкоди та потенційні небезпеки, а також може включати додаткові можливості для взаємодії з оточуючими.

Гнучкість в налаштуванні дозволяє системі адаптуватися до потреб користувачів і вдосконалюватися з часом, що є важливим аспектом у створенні персоналізованих рішень. Наприклад, користувачі можуть інтегрувати додаткові сенсори для виявлення об'єктів, голосове управління або навіть функції для моніторингу фізичного стану, такі як пульсометр і крокомір.

Система орієнтації в просторі може змінюватися й модернізуватися відповідно до нових технологічних досягнень або зміни обставин, що дозволяє її власникам залишатися на крок попереду у світі постійних змін.

Основна мета системи полягає у створенні унікального рішення, яке задовольняє специфічні потреби кожного користувача. Це передбачає використання різноманітних технологій та функцій, які відповідають індивідуальним уподобанням.

Наприклад, одні користувачі можуть віддавати перевагу функціям, які допомагають виявляти перешкоди, тоді як інші можуть бути зацікавлені у системах навігації, що пропонують голосові підказки. Додаткові функції, такі як інтеграція з мобільними додатками або соціальними мережами, можуть також зробити систему більш універсальною і корисною.

Таким чином, система орієнтації в просторі для сліпих не має суворо визначеного набору компонентів, а надає широкий спектр можливостей, враховуючи потреби та особливості користувачів. Завдяки своїй адаптивності та індивідуальному підходу, ця система може значно полегшити повсякденне життя, забезпечуючи комфорт, підтримку та безпеку для людей з обмеженими можливостями.

Отже, якщо порівняти з традиційною тростиною, основна функція якої полягає в розпізнаванні перешкод, система орієнтації в просторі відкриває нові горизонти можливостей для користувачів, надаючи їм більше свободи та впевненості під час пересування.

Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих складається з кількох ключових елементів, які забезпечують її функціональність:

1. **Датчик відстані:** Цей компонент відповідає за вимірювання відстані між системою та навколишніми об'єктами чи перешкодами. Він може використовувати різні технології, такі як ультразвук, інфрачервоне випромінювання або лазер, щоб точно визначати відстань і попереджати про наближення до небезпечних об'єктів.

2. **Зумер:** Цей елемент, або динамік, відіграє важливу роль у комунікації з користувачем. Він може відтворювати звукові сигнали, попереджати про небезпеку або надавати усні інструкції. Зумер дозволяє системі взаємодіяти з користувачем, використовуючи звукові сигнали, голосові повідомлення чи навіть музику.

3. **Мікропроцесор або мікроконтролер:** Цей компонент здійснює обробку даних і керує всіма функціями системи. Він аналізує інформацію,

отриману від датчиків, приймає рішення щодо реакцій системи на навколишнє середовище та координує роботу інших елементів.

4. **Вібромотор:** Вібромотор створює вібраційні сигнали, які служать важливими індикаторами для користувача. Він може вібрувати з різною інтенсивністю, надаючи інформацію про стан системи через тактильні відчуття.

5. **Світлові індикатори:** Світлодіоди (LED) або світлочутливі діоди використовуються для візуального сигналізування. Вони можуть світитися різними кольорами, щоб повідомляти про різні стани або події. Наприклад, червоний світлодіод може сигналізувати про небезпеку, зелений – про безпечний маршрут, а жовтий – про необхідність бути обережним.

6. **Бездротовий модуль зв'язку:** Цей модуль, такий як Bluetooth або Wi-Fi, забезпечує передачу даних між системою та іншими пристроями, наприклад, смартфонами чи комп'ютерами. Це відкриває нові можливості, такі як віддалене керування, оновлення програмного забезпечення та обмін даними з медичними пристроями.

2.2 Вибір елементів

Датчик відстані

Вибір правильного датчика відстані для Проекту на базі Arduino є критично важливим етапом. Існує безліч різних типів датчиків, які відрізняються своїми характеристиками та принципами роботи. Ось деякі з найбільш популярних варіантів:

- **Ультразвукові датчики відстані:** Ці датчики використовують ультразвукові хвилі для вимірювання відстані до об'єкта. Вони забезпечують високу точність і широкий діапазон вимірювання. Наприклад, **HC-SR04** є одним із найпоширеніших ультразвукових датчиків, що легко інтегрується з Arduino. Цей датчик генерує звукові хвилі з частотою 40 кГц і вимірює час, за який сигнал повертається після відбиття від об'єкта.

- **Інфрачервоні датчики відстані:** Використовуючи інфрачервоне випромінювання, ці датчики здатні вимірювати відстань до об'єктів. Хоча вони

часто менш точні, ніж ультразвукові, їх компактність робить їх придатними для різних Проєктів. Наприклад, **SHARP GP2Y0A41SK0F** є популярним інфрачервоним датчиком, який широко використовується в робототехніці.

- **Лазерні датчики відстані:** Ці датчики використовують лазер для точного вимірювання відстані до об'єкта. Вони забезпечують високу швидкість та точність, але зазвичай мають вищу ціну. Одним із прикладів є **VL53L0X**, який часто застосовується в Проєктах, де потрібна максимальна точність.

- **Капацитивні датчики відстані:** Ці датчики вимірюють зміну ємності між сенсором та об'єктом. Вони корисні для виявлення об'єктів без прямого контакту або для вимірювання відстані до провідних матеріалів. Наприклад, **MPR121** може виявляти наявність об'єктів у визначених зонах, що робить його цінним в різних Проєктах.

- **Індуктивні датчики відстані:** Вони використовують зміну індуктивності для вимірювання відстані до об'єкта, зазвичай металевого. Одним із прикладів є **LJ12A3-4-Z/BX**, який часто застосовується в автоматизації та промислових системах.

Основні характеристики датчиків

При виборі датчика відстані варто звернути увагу на кілька важливих характеристик:

1. **Діапазон вимірювання:** Максимальна та мінімальна відстань, яку може вимірювати датчик.
2. **Точність:** Відхилення вимірювань, що може бути виражене у відсотках або в абсолютних одиницях.
3. **Інтерфейс зв'язку:** Спосіб взаємодії датчика з Arduino (аналоговий або цифровий).
4. **Швидкість вимірювання:** Кількість вимірювань, які може здійснити датчик за одиницю часу.
5. **Напруга живлення:** Необхідна робоча напруга для живлення датчика.
6. **Розміри і монтаж:** Фізичні параметри датчика і спосіб його установки (модуль або платка).

Приклади датчиків

Ультразвуковий дальномір HC-SR04



Рисунок 2.1 – Ультразвуковий дальномір HC-SR04 [14]

Датчик HC-SR04 працює на основі принципу ехолокації. Він складається з випромінювача, що генерує ультразвукові хвилі, та приймача, який детектує відбиті сигнали. Процес роботи датчика можна описати так: дальномір генерує ультразвукові хвилі, а після їх відбиття від об'єкта приймач фіксує повернення сигналу. На основі часу, необхідного для проходження звуку від датчика до об'єкта і назад, розраховується відстань.

HC-SR04 популярний завдяки своїй доступності, простоті налаштування та використанню. Він часто застосовується в робототехніці та навчальних Проєктах. Однак, слід враховувати, що похибка вимірювання може досягати ± 3 см при дистанціях понад 3-3,5 метри, а також можливі неточності за поганих погодних умов, таких як висока вологість чи низька температура. Для покращення точності можна інтегрувати датчик температури і вологості, наприклад, **DHT11**, що дозволяє коригувати результати вимірювань, враховуючи зовнішні умови.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики HC-SR04

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий

Характеристика	Значення
Похибка	± 3 мм
Діапазон вимірювання	Від 2 до 400 см
Тип сигналу на виході	Цифровий

Ультразвуковий дальномір URM37 v5.0



Рисунок 2.2 – Ультразвуковий дальномір URM37 v5.0 [15]

URM37 v5.0 є високоточним вимірювачем відстані з вбудованою температурною компенсацією. Цей датчик забезпечує точні вимірювання, навіть у змінних температурних умовах, завдяки модулю для вимірювання температури з роздільною здатністю 0,1 °С. Крім того, URM37 v5.0 оснащений функцією управління сервоприводом, що дозволяє сканувати навколишнє середовище під кутом до 180 °.

URM37 v5.0 підтримує різні інтерфейси, такі як RS232, TTL, PWM, а також здатен передавати аналогові сигнали, пропорційні відстані. Це забезпечує легке підключення до платформи Arduino та інших мікроконтролерів.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики URM37

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Похибка	± 3 %

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання	Від 2 до 800 см
Тип сигналу на виході	Аналоговий

Основний недолік цього вимірювача полягає у його відносно високій ціні.

Ультразвуковий дальномір US-100



Рисунок 2.3 – Ультразвуковий дальномір US-100 [16]

US-100 також використовує принцип ехолокації для вимірювання відстані. Цей датчик має перевагу, оскільки підтримує обчислення відстані як на стороні датчика, так і на стороні мікроконтролера. Це дозволяє використовувати US-100 у схемах, розроблених для традиційних датчиків, таких як HC-SR04, або звільнити мікроконтролер від виконання складних обчислень.

Завдяки вбудованій термокомпенсації, US-100 надає точні результати, що дозволяє одночасно вимірювати відстань та температуру навколишнього середовища. Це робить його універсальним рішенням для різних застосувань, включаючи корекцію вимірювань інших датчиків.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики US-100

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Похибка	$\pm 3 \%$

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання	Від 2 до 450 см
Тип сигналу на виході	Цифровий

Інфрачервоний датчик SHARP GP2Y0A41SK0F



Рисунок 2.4 – Інфрачервоний датчик SHARP GP2Y0A41SK0F [17]

Інфрачервоний датчик SHARP GP2Y0A41SK0F є відомим представником інфрачервоних вимірювачів відстані. Цей датчик працює за принципом відбиття інфрачервоного світла від об'єкта. Його головна перевага полягає в компактності та легкості використання.

Датчик має аналігій вихід, що дозволяє отримувати дані в реальному часі, і може бути використаний для вимірювання відстані до 40 см. Однією з основних обмежень є те, що точність вимірювання зменшується з відстанню, особливо якщо об'єкт має темну або матову поверхню.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики SHARP GP2Y0A41SK0F

Характеристика	Значення
Тип	Інфрачервоний
Похибка	± 2 см
Діапазон вимірювання	Від 10 до 40 см
Тип сигналу на виході	Аналоговий

Лазерний датчик VL53L0X

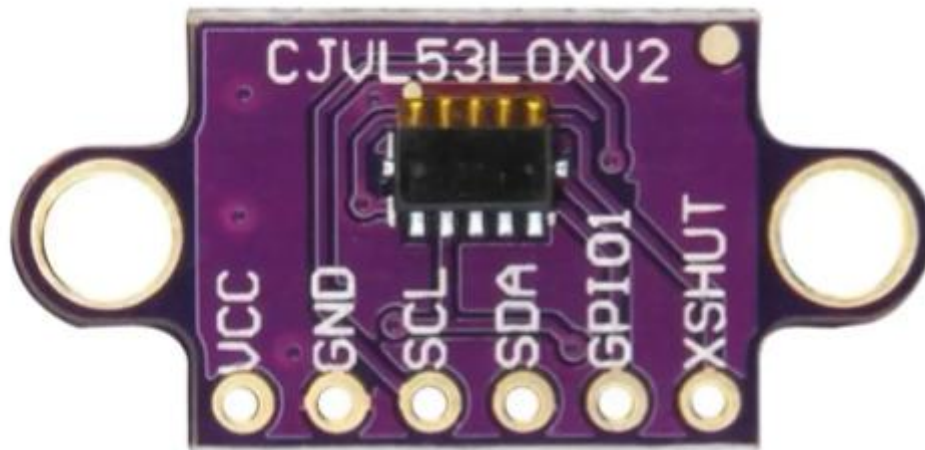


Рисунок 2.5 – Лазерний датчик VL53L0X [18]

VL53L0X є малим, високоточним лазерним датчиком відстані, розробленим компанією STMicroelectronics. Цей датчик працює на основі технології Time-of-Flight, яка вимірює час, що проходить від випромінювання лазерного імпульсу до його відбиття від об'єкта і повернення до датчика.

Основні переваги VL53L0X:

- **Висока точність:** Датчик здатний забезпечити точність вимірювання до ± 3 мм на відстані до 2 метрів.
- **Швидкість:** VL53L0X може здійснювати до 50 вимірювань на секунду.

- **Компактність:** Малий розмір робить його ідеальним для вбудованих рішень та Проєктів з обмеженим простором.
- **Інтерфейси:** Підтримує I2C для легкого підключення до мікроконтролерів.

Таблиця 2.5 – Основні характеристики VL53L0X

Характеристика	Значення
Тип	Лазерний
Похибка	± 3 мм
Діапазон вимірювання	Від 30 до 2000 см
Тип сигналу на виході	I2C

Капацитивний датчик MPR121

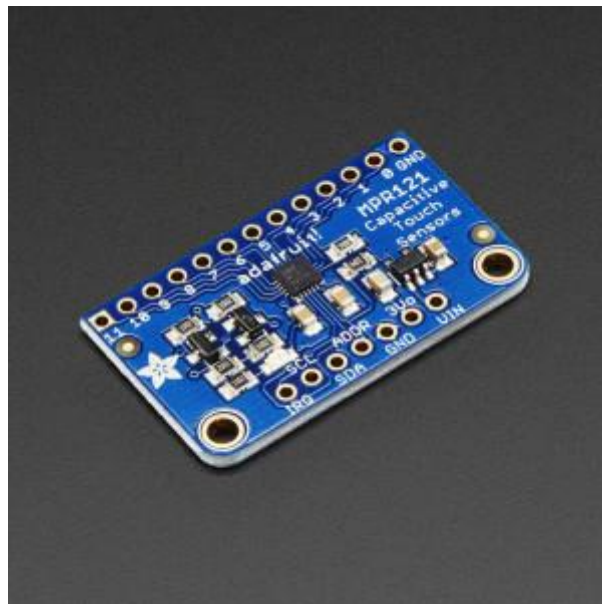


Рисунок 2.6 – Капацитивний датчик MPR121 [19]

MPR121 є універсальним капацитивним сенсором, який може виявляти присутність об'єктів у визначених зонах. Датчик має вбудовані можливості для аналізу ємності, що робить його корисним для різних Проєктів, де потрібна безконтактна детекція.

Таблиця 2.6 – Основні характеристики MPR121

Характеристика	Значення
Тип	Капацитивний
Діапазон вимірювання	Від 0 до 10 см
Тип сигналу на виході	I2C

Індуктивний датчик LJ12A3-4-Z/BX



Рисунок 2.7 – Індуктивний датчик LJ12A3-4-Z/BX [20]

LJ12A3-4-Z/BX є індуктивним датчиком, що здатен виявляти металеві об'єкти на відстані. Він працює на основі зміни індуктивності в електромагнітному полі, що виникає при наближенні металевого об'єкта.

Таблиця 2.7 – Основні характеристики LJ12A3-4-Z/BX

Характеристика	Значення
Тип	Індуктивний
Діапазон вимірювання	0 до 4 см
Тип сигналу на виході	Нормалізований вихід

Аргументи на користь вибору датчика HC-SR04

- Доступність та вартість: HC-SR04 є одним з найпопулярніших ультразвукових датчиків на ринку. Його ціна зазвичай нижча в порівнянні з лазерними датчиками, що робить його економічно вигідним вибором для Проєктів з обмеженим бюджетом.
- Висока точність в межах діапазону: Датчик HC-SR04 має хорошу точність у межах 2-3 метрів, що підходить для більшості застосувань. У поєднанні з можливістю корекції вимірювань за допомогою температурних і вологостійких датчиків (наприклад, DHT11) його точність може бути значно підвищена.
- Простота використання: HC-SR04 має простий інтерфейс, що дозволяє швидко налаштувати його з Arduino. Це особливо важливо для студентських Проєктів, де важливо зосередитися на реалізації, а не на складних налаштуваннях.
- Гнучкість у застосуванні: Ультразвукові датчики, такі як HC-SR04, добре підходять для різних умов середовища, що робить їх універсальними для використання в робототехніці, системах безпеки, автономних транспортних засобах і навіть для домашніх проєктів.
- Досвід спільноти: HC-SR04 має велику спільноту користувачів, що означає наявність численних ресурсів, документації, прикладів коду та готових проєктів. Це може значно спростити процес розробки та усунення несправностей.

Зумери (п'єзоелектричні динаміки)

Зумери – це пристрої, які створюють звук завдяки п'єзоелектричному ефекту. Їх часто використовують в електроніці для сигналів або мелодій.

Типи зумерів

Існують два основних типи зумерів:

Активні зумери мають вбудований осцилятор. Це дозволяє їм генерувати звук самостійно, якщо їх підключити до джерела живлення. Вони прості у використанні – достатньо підключити до електрики.

Пасивні зумери не можуть генерувати звук самостійно. Вони реагують на зміни напруги, що до них подається. Для роботи пасивного зумера необхідно

підключити його до мікроконтролера, наприклад, Arduino, який може створювати сигнали з різними частотами.

При виборі пасивного зумера для Arduino слід врахувати кілька факторів:

- Напруга живлення. Важливо, щоб напруга зумера відповідала напрузі, яку може забезпечити Arduino, зазвичай 5 В.
- Частотний діапазон. Деякі зумери можуть генерувати лише одну фіксовану частоту, тоді як інші мають ширший діапазон.
- Гучність. Вимірюється в децибелах (dB). Для потужного звукового сигналу вибирають зумер з високою гучністю.
- Розмір і форма. Важливо, щоб зумер вміщувався в Проекті.
- Вартість. На ринку є широкий вибір зумерів за різними цінами, тому варто знайти оптимальний варіант.

Для управління зумером з Arduino використовують бібліотеку Tone, яка дозволяє генерувати різні частоти звуку.

Окрім активних і пасивних зумерів, існують й інші варіанти:

- Магнітний зумер. Використовує електромагніт для генерації звуку. Його можна контролювати, змінюючи частоту або напругу.
- Резонатор зумер. Має п'єзоелектричний матеріал, який забезпечує кращу чіткість звуку.
- Активний зумер з генератором. Має вбудований генератор, що дозволяє генерувати звук без зовнішнього сигналу.
- Акустичний зумер. Використовує динамік для генерації звуку. Зазвичай має більший розмір і високу якість звуку.
- Активний п'єзоелектричний генератор. Має вбудований генератор, що дозволяє налаштовувати частоту та амплітуду сигналу.

Мікроконтролер Arduino

Плати Arduino є надзвичайно популярними у світі електроніки та робототехніки через свою простоту використання, широкий спектр можливостей та активну спільноту розробників. Вони використовуються в різних сферах, від

навчання електроніці до прототипування та створення повноцінних проєктів. Ось декілька способів, які можна використовувати плати Arduino:

1) Навчання електроніки та програмування: Arduino є ідеальним інструментом для вступу до світу електроніки. Завдяки простоті програмування та дружньому інтерфейсу, новачки можуть швидко оволодіти основами програмування та електроніки, створюючи прості Проєкти з використанням світлодіодів, датчиків, кнопок та інших компонентів.

2) Прототипування: Arduino ідеально підходить для швидкого створення прототипів різноманітних пристроїв. Ви можете підключати різні сенсори, актуатори та модулі до плати Arduino, щоб створювати прототипи систем автоматизації, домашніх Проєктів, інтерактивних іграшок, пристроїв "розумного дому" та багато іншого.

3) Робототехніка: Arduino може бути використана для створення різноманітних роботів, від маленьких автономних машинок до складних роботів зі штучним інтелектом. Завдяки багатому набору додаткових модулів та датчиків, які можна підключити до плати Arduino, можна створювати роботів з різними функціями, такими як детектування відстані, слідування за лінією, управління жестикуляціями та багато іншого.

4) Інтернет речей (IoT): За допомогою плат Arduino можна створювати Проєкти, пов'язані з Інтернетом речей. Ви можете підключити плату Arduino до Інтернету за допомогою модулів Wi-Fi, Ethernet або навіть SIM-карти. Це дозволить збирати дані з сенсорів, керувати пристроями на віддаленій основі, створювати моніторингові системи та багато іншого.

5) Автоматизація домашнього середовища: Arduino може бути використана для створення систем автоматизації в домашньому середовищі. Ви можете підключати різні датчики та пристрої до плати Arduino, щоб контролювати освітлення, температуру, безпеку та інші аспекти вашого дому. Використовуючи Arduino, можна створити розумну систему управління домом з можливістю дистанційного керування за допомогою смартфона або комп'ютера.

6) Музичні Проєкти: Arduino може бути використана для створення музичних Проєктів, таких як MIDI-контролери, синтезатори та звукові ефекти. Ви можете використовувати плату Arduino для генерації звуків, керування музичними інструментами та створення власних музичних експериментів.

7) Вивчення робототехніки та програмування: Arduino широко використовується в освітніх програмах для вивчення робототехніки та програмування. Він дозволяє учням експериментувати з різними компонентами та програмувати їх для створення роботів та інших інтерактивних Проєктів. Arduino має велику спільноту користувачів, де можна знайти безліч навчальних матеріалів та Проєктів для початківців.

Це лише кілька прикладів того, як можна використовувати плати Arduino. Фактично, їх потенціал є безмежним, і обмежується лише вашою уявою та творчістю. Деякі додаткові застосування включають:

– Моніторинг та збір даних: Arduino може використовуватись для збору даних з різних датчиків, наприклад, температури, вологості, рівня освітлення тощо. Ці дані можуть бути використані для аналізу, контролю або візуалізації.

– Розширення функціональності існуючих пристроїв: Ви можете використовувати Arduino для розширення можливостей існуючих пристроїв або систем. Наприклад, додавши Arduino до “Робочого столу”, ви можете створити автоматичний розпорядок дня з функціями, такими як автоматичне включення світла, контроль температури тощо.

– Роботи зі штучним інтелектом: Arduino може бути використана як основа для створення систем зі штучним інтелектом. Ви можете поєднувати плату Arduino з додатковими модулями, такими як камери, датчики руху або голосові модулі, для розробки інтелектуальних систем, які реагують на світове оточення.

– Розробка ігор: Arduino може бути використана для створення простих ігор або ігрових контролерів. Ви можете створити свій власний ігровий пристрій, керуючи відтворенням звуку, світлодіодними ефектами або рухом фізичних об'єктів.

Необхідно також зазначити, що Arduino має широкую спільноту розробників, яка активно ділиться Проєктами, кодом та досвідом. Це робить Arduino ще більш привабливим для використання.

Для прикладу ми розглянемо та порівняємо три найпопулярніші плати Arduino – це Arduino UNO(рис. 2.8), Arduino Nano та Arduino Mega.



Рисунок 2.8 – Плата Arduino UNO [21]

Arduino Uno є однією з найпопулярніших і поширених плат Arduino. Вона є базовою моделлю плати Arduino та вважається добре підходящою для початківців і досвідчених розробників. Ось основні характеристики та особливості Arduino Uno:

1) Мікроконтролер ATmega328P: Arduino Uno використовує мікроконтролер ATmega328P, що забезпечує високу швидкість та надійність. Цей мікроконтролер має 32 кБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду, 2 кБ оперативної пам'яті та 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть бути використані для широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) та 6 аналогових входів.

2) Вбудований USB-інтерфейс: Arduino Uno має вбудований USB-інтерфейс, що дозволяє легко програмувати плату та взаємодіяти з комп'ютером. Це означає, що вам не потрібен додатковий програматор для завантаження коду на плату.

3) Велика кількість цифрових та аналогових входів/виходів: Arduino Uno має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть бути налаштовані як ШИМ-

виходи. Крім того, є 6 аналогових входів, які дозволяють зчитувати аналогові дані від датчиків або контролювати аналогові пристрої.

4) Підтримка розширювальних модулів: Arduino Uno має роз'єми для підключення додаткових модулів (штатних або сторонніх), таких як модулі зв'язку (наприклад, Wi-Fi або Bluetooth), сенсори, дисплеї, реле, моторні шилди та інші. Це дозволяє значно розширити функціональні можливості плати Arduino Uno, додавши до неї потрібні модулі і компоненти.

5) Легкість використання та програмування: Arduino Uno має простий і зрозумілий інтерфейс, що робить його дуже доступним для початківців. Ви можете програмувати Arduino Uno за допомогою Arduino IDE (інтегроване середовище розробки), яке надає зручні інструменти для написання, завантаження та відлагодження коду. Arduino IDE базується на мові програмування C/C++, але має спрощений синтаксис, що полегшує розробку.

6) Широке застосування: Arduino Uno може бути використана в різних Проєктах, від простих електронних пристроїв і роботів до складніших систем автоматизації, моніторингу та керування. Ви можете створювати ігри, інтерактивні інсталяції, прототипи пристроїв, системи "розумний дім" та багато іншого.

Arduino Uno є надійною, легкою у використанні та розширюваною платою, яка відкриває безліч можливостей для вашого творчого процесу. Вона є відмінним вибором як для початківців, так і для досвідчених розробників, які бажають експериментувати з електронікою та програмуванням.

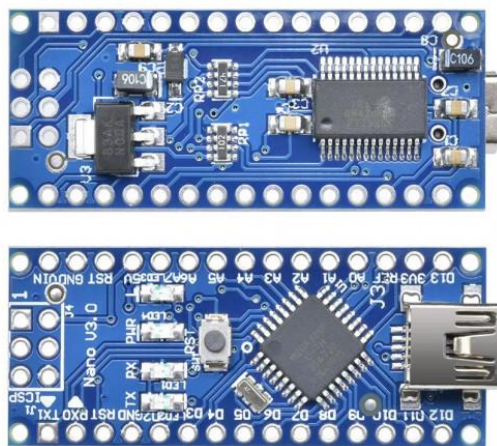


Рисунок 2.9 – Плата Arduino Nano [22]

Arduino Nano є компактною і маленькою платою Arduino, яка зберігає багато з можливостей та функціональності Arduino Uno. Ось деякі ключові характеристики та особливості Arduino Nano:

1) Мікроконтролер ATmega328P: Arduino Nano також використовує мікроконтролер ATmega328P, так само як Arduino Uno. Це означає, що вона має такі ж можливості щодо обробки сигналів, керування вхідними/вихідними портами та виконання програмного коду.

2) Компактний розмір: Одним з відмінних переваг Arduino Nano є його маленький розмір. Він має форм-фактор, що дуже зручний для вбудовування в Проєкти з обмеженим простором, де просторові обмеження є фактором. Це робить його ідеальним вибором для мобільних пристроїв, датчиків, дронів та багатьох інших застосувань.

3) Вбудований USB-інтерфейс: Як і Arduino Uno, Arduino Nano має вбудований USB-інтерфейс, що полегшує підключення до комп'ютера для програмування та комунікації з Arduino. Ви можете використовувати стандартний micro-USB кабель для підключення до комп'ютера.

4) Цифрові та аналогові входи/виходи: Arduino Nano має 14 цифрових входів/виходів та 8 аналогових входів, що дозволяє підключати різні сенсори, пристрої введення/виведення та інші компоненти. Вона також підтримує ШІМ-виходи для керування рівнем сигналу та здатна зчитувати аналогові дані з датчиків.

5) Розширювальність: Arduino Nano має піни для підключення додаткових модулів та розширень, таких як модулі зв'язку (наприклад, Wi-Fi або Bluetooth), дисплеї, сенсори, реле та інші. Це дає вам можливість розширити функціональність вашого Проєкту та пристосувати його до ваших потреб.

6) Напруга живлення: Arduino Nano працює з напругою живлення від 7 до 12 вольт, що дозволяє підключати його до різних джерел енергії, включаючи батареї, адаптери живлення та сонячні панелі. Це робить його зручним для портативних та мобільних Проєктів.

7) Легкість використання: Arduino Nano зручно використовувати завдяки своїй сумісності з Arduino IDE та легкій програмуваності. Ви можете

використовувати Arduino IDE для написання, завантаження та відлагодження програмного коду на плату Arduino Nano.

Arduino Nano є чудовим вибором для Проєктів, де простір та портативність мають значення. Вона забезпечує всі основні можливості Arduino в компактному та зручному форм-факторі. Arduino Nano є популярною серед студентів, хобістів та професіоналів, які шукають компактну та потужну плату для своїх Проєктів.



Рисунок 2.10 – Плата Arduino Mega [23]

Arduino Mega є однією з найпотужніших та найбільш функціональних плат Arduino. Вона надає значно більше ресурсів та можливостей порівняно з Arduino Uno та Arduino Nano. Ось основні характеристики та особливості Arduino Mega:

1) Мікроконтролер ATmega2560: Arduino Mega використовує мікроконтролер ATmega2560, який має великий обсяг флеш-пам'яті (256 кбайт) для зберігання програмного коду, 8 кбайт оперативної пам'яті та більшу кількість цифрових входів/виходів та аналогових входів порівняно з іншими платами Arduino.

2) Більша кількість цифрових та аналогових входів/виходів: Arduino Mega має 54 цифрових входи/виходи, з яких 15 можуть бути налаштовані як ШІМ-виходи. Крім того, вона має 16 аналогових входів, що дозволяє підключати багато сенсорів, пристроїв введення/виведення та інших компонентів.

3) Розширена пам'ять: Завдяки більшому обсягу флеш-пам'яті, Arduino Mega дозволяє зберігати більші програми та дані. Це особливо корисно для Проєктів, які вимагають багато коду або обробки даних.

4) Більша потужність та швидкодія: Arduino Mega працює на вищій тактовій частоті (16 МГц) та має більше ресурсів, що дозволяє виконувати більш складні завдання та обробку даних з більшою швидкістю.

5) Додаткові функції та інтерфейси: Arduino Mega має додаткові функції та інтерфейси, такі як 4 серійних порти, 16 таймерів/лічильників, пам'ять EEPROM для збереження даних після вимкнення живлення, розширення (шляхом використання шини I2C, SPI та інших). Це дозволяє підключати додаткові модулі, сенсори, дисплеї, мотори, зовнішню пам'ять та інші пристрої.

6) Багатофункціональність: Arduino Mega має широкий спектр застосувань, від розробки складних роботів та автоматизованих систем до створення великих інтерактивних Проєктів та систем керування. Її потужність та розширені можливості дозволяють реалізувати складні завдання та Проєкти, що вимагають великої обробки даних, високої швидкодії та багатофункціональності.

7) Розширюваність: Arduino Mega має роз'єми для підключення плат розширення, таких як Ethernet Shield, Wi-Fi модулі, Bluetooth модулі та інші, що дозволяють розширювати її функціональність та забезпечувати комунікацію з мережами, бездротовими пристроями та іншими зовнішніми пристроями.

Arduino Mega є потужною та розширюваною платою, яка надає додаткові можливості та ресурси для реалізації складних Проєктів. Вона підходить для досвідчених користувачів та професіоналів, які потребують більшої потужності та функціональності в своїх Проєктах.

Таблиця 2.8 – Порівняльна таблиця плат Arduino

Характеристика	Arduino UNO	Arduino Nano	Arduino Mega
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560
Вхідні/вихідні піни	14 цифрових	14 цифрових	54 цифрових
	6 PWM	8 PWM	15 PWM
	6 аналогових	8 аналогових	16 аналогових
ОЗП	2 кбайт	2 кбайт	8 кбайт

Характеристика	Arduino UNO	Arduino Nano	Arduino Mega
EEPROM	1 кбайт	1 кбайт	4 кбайт
Вхідна напруга	7-12 В	7-12 В	7-12 В
Розмір	Стандартний	Малий	Великий
	69 x 54 мм	18 x 45 мм	102 × 54 мм
USB порт	1	1 (mini-USB)	1 (тип B)
Серійний порт	1	1	4
Кристал	16 МГц	16 МГц	16 МГц

ОЗП (Оперативна Запам'ятовуюча Програма) або RAM (Random Access Memory) є одним з типів пам'яті, яка використовується в комп'ютерах і мікроконтролерах, включаючи плати Arduino. ОЗП є тимчасовим сховищем для даних і команд, які оброблюються в реальному часі.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) є типом неволатильної пам'яті, яка використовується для збереження даних навіть при вимкненні живлення. EEPROM забезпечує зручний спосіб зберігання та зчитування даних на платах Arduino.

Додавання Pmod PDM мікрофонного масиву для визначення напрямку надходження звукового сигналу

Для вдосконалення системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих можна інтегрувати Pmod PDM мікрофонний масив. Використання масиву дозволяє реалізувати алгоритм визначення напрямку надходження звуку. Така інтеграція сприятиме точнішій навігації, розширивши можливості системи через орієнтацію на основі звукових сигналів з різних джерел.

Мікрофонний масив дозволяє збирати аудіосигнали з кількох мікрофонів одночасно та використовувати алгоритм обробки звукових сигналів для обчислення напрямку джерела звуку. Це досягається шляхом визначення різниці у часі приходу звукового сигналу до кожного мікрофона.

Основні етапи обробки сигналу:

Збір даних з мікрофонів: Масив Pmod PDM мікрофонів встановлюється на фіксованій відстані між мікрофонами. Це забезпечує основу для обчислення часу затримки, що дозволяє алгоритму визначати напрям звукового сигналу.

Обробка сигналів: За допомогою методів крос-кореляції або алгоритму обчислення часу затримки визначається різниця у часі між сигналами, отриманими кожним з мікрофонів.

Розрахунок напрямку: Використання тригонометричних розрахунків на основі часу затримки дозволяє визначити кут прибуття звукової хвилі. Цей алгоритм також може бути підсилений додатковими методами обробки фазового зсуву для отримання більш точного результату.

Необхідні компоненти:

Масив Pmod PDM мікрофонів: для збору аудіосигналів.

Контролер Arduino Nano: збір і обробка базових даних з масиву мікрофонів, а також обчислення часу затримки.

Для точного визначення напрямку звукового сигналу в системі орієнтації в просторі для сліпих обрано цифрові мікрофони IM69D130. Завдяки своїм технічним характеристикам, вони забезпечують високу точність зчитування й обробки звукових сигналів, що є критично важливим для правильного функціонування системи.

Основні переваги мікрофонів IM69D130:

Висока чутливість і низький рівень шуму. Ці характеристики роблять IM69D130 особливо придатними для умов із низьким рівнем звукових сигналів і покращують здатність системи ідентифікувати напрямок джерела звуку.

Цифровий інтерфейс PDM. Цей інтерфейс спрощує інтеграцію з мікроконтролерами, зокрема Arduino, та дозволяє швидко й ефективно обробляти звукові сигнали без втрати якості.

Широкий частотний діапазон. Це дозволяє мікрофонам розпізнавати різні типи звуків, від низькочастотних до високочастотних, що є важливим для коректного визначення напрямку звуку в умовах навколишнього середовища.

Використання IM69D130 у поєднанні з алгоритмом визначення напрямку звуку забезпечує систему з високою точністю й дозволяє орієнтуватися в просторі на основі обробки звукових сигналів. Це вдосконалення значно покращить зручність та функціональність системи допомоги орієнтації для сліпих.

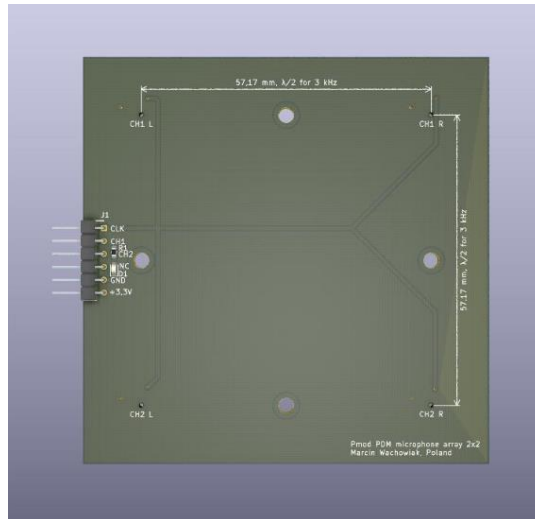


Рисунок 2.11 – Pmod PDM [24]

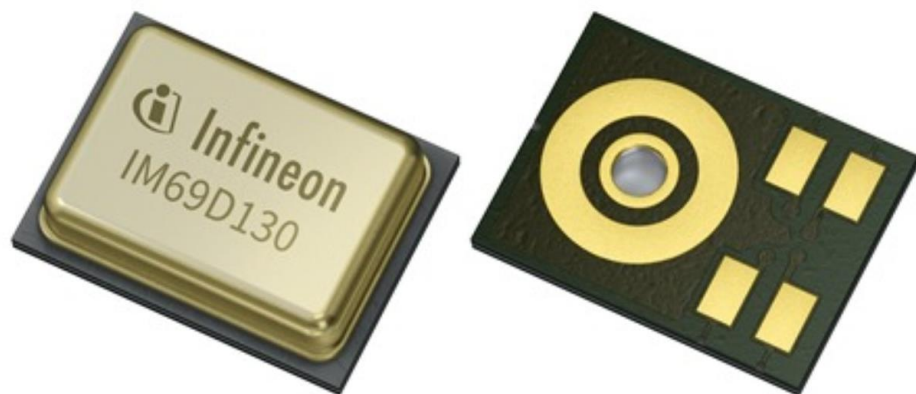


Рисунок 2.12 – Мікрофони IM69D130 [25]

Переваги застосування Pmod PDM масиву:

Інтеграція масиву мікрофонів дозволяє системі орієнтації для сліпих орієнтуватися на основі звукових сигналів, що значно підвищує її точність.

Висновки до розділу 2

У цьому дослідженні ми обрали плату Arduino Nano, датчик відстані, вібромотор та зумер для створення системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих. Цей вибір був обґрунтований кількома факторами, зокрема бюджетністю та зручністю цих компонентів для нашої розробки.

Arduino Nano була обрана через свою компактність, невисоку вартість та широкий спектр можливостей. Вона забезпечує всі основні функції Arduino UNO, але має менший розмір, що робить її ідеальним варіантом для використання в нашій системі допомоги орієнтації в просторі.

Датчик відстані був обраний для надання системі здатності реагувати на перешкоди та передавати користувачеві необхідну інформацію. Він дозволяє вимірювати відстань до об'єктів у своєму оточенні та використовується для виявлення перешкод і попередження користувача про їх наявність.

Вібромотор і зумер були вибрані як засоби комунікації з користувачем. Вібромотор може генерувати вібрацію, що служить сигналом для користувача про наявність перешкоди або інші події. Зумер дозволяє відтворювати звукові сигнали, які також використовуються для сповіщення користувача про певні події або стан системи.

У ході розвитку нашої системи було додано Rmod PDM мікрофонний масив, який дозволяє визначати напрям надходження звукового сигналу. Завдяки цій можливості система здатна орієнтуватися на звукові сигнали в оточенні, що забезпечує додатковий рівень підтримки користувача, дозволяючи визначати джерела звуків, такі як автомобільні сигнали або людські голоси. Додавання Rmod PDM мікрофонного масиву також відкриває перспективи для використання алгоритмів обробки звуку, які можуть поліпшити точність виявлення та ідентифікації джерел звуку, що особливо важливо в умовах міського середовища.

Завдяки своїй доступності, бюджетності та підходящості до поставленої задачі, обрані компоненти (плата Arduino Nano, датчик відстані, вібромотор, зумер та Rmod PDM мікрофонний масив) є оптимальним варіантом для реалізації системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих. Вони дозволять створити пристрій, який

допомагатиме людям з обмеженими можливостями орієнтуватися у своєму оточенні та надавати їм додаткову безпеку та незалежність.

Крім того, обрані компоненти мають підтримку відкритого програмного забезпечення та велику спільноту користувачів, що забезпечує наявність розширених ресурсів, прикладів коду та підтримки для розробки. Це спрощує процес розробки та впровадження системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих.

У результаті нашого дослідження та вибору плати Arduino Nano, датчика відстані, вібромотора, зумера та Pmod PDM мікрофонного масиву ми отримали надійну, доступну та функціональну систему, яка може бути використана для розробки системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих. Цей пристрій може значно поліпшити життя людей з обмеженими можливостями, допомагаючи їм незалежно пересуватися та отримувати інформацію про своє оточення.

При подальшому розвитку цього проекту можна розширити функціональність системи допомоги орієнтації в просторі, додавши додаткові сенсори, модулі комунікації або забезпечивши зв'язок з мобільними пристроями для більш широких можливостей і використання. Крім того, можна розглянути можливість інтеграції інших технологій, таких як штучний інтелект або машинне навчання, для поліпшення функціональності та точності системи.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Розробка апаратного забезпечення

Метою дипломної роботи є розробка системи орієнтації в просторі для сліпих, яка буде розпізнавати перешкоди а також надавати місцезнаходження людини, яка є користувачем. Основними елементами є плата Arduino Nano, ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, вібратор, зумер, модуль GPS Neo-6m, модуль GSM Sim800l, 16x2 LCD Display, Модуль I2C, датчик вологості. За допомогою цих деталей та додаткових елементів було створено систему. Функціональна схема системи представлена на рис. 3.1.

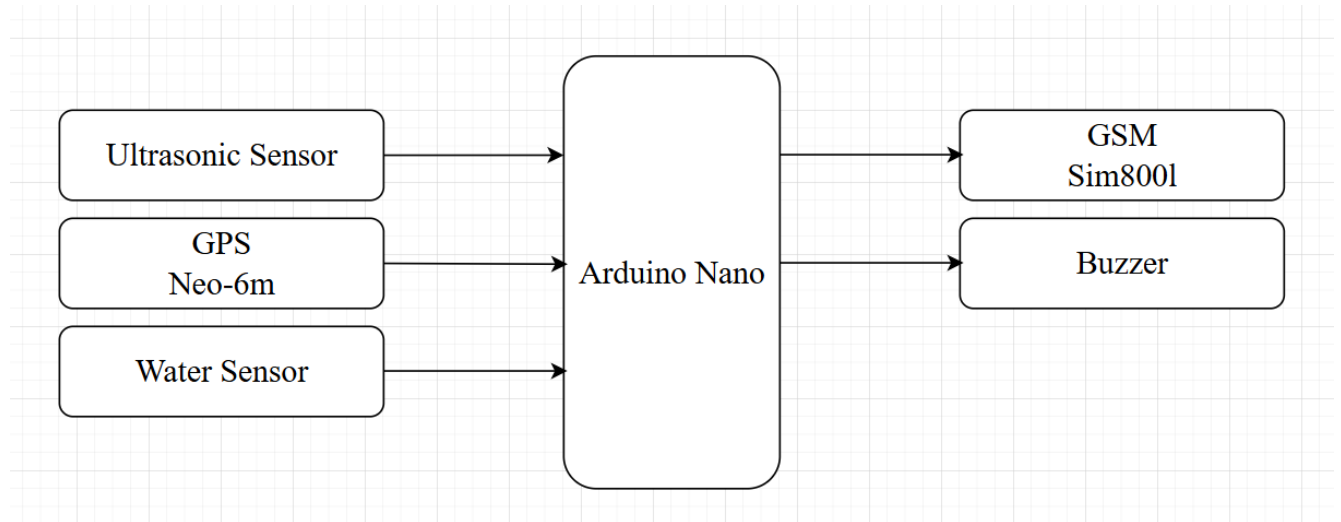


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи орієнтації

Простіше кажучи, всі елементи (датчики) підключаються до «мозку» майбутнього пристрою, в даному випадку до мікроконтролера Arduino Nano.

Система допомоги орієнтації в просторі, що складається з зумера, плати Arduino Nano, батарейки, датчика відстані, вібратора, GPS та GSM модулів та вимикача, розроблена для надання підтримки та безпеки людям з обмеженими можливостями, зокрема для сліпих. Основний принцип роботи такої системи орієнтації полягає в виявленні перешкод у навколишньому середовищі та сповіщенні користувача за допомогою звукових та вібраційних сигналів, а також відслідковуванням користувача та наданням опікуну місцезнаходження.

Пристрій працює наступним чином:

– Датчик відстані: Датчик відстані, як правило, розташований на верхній частині системи орієнтації. Він використовується для вимірювання відстані до об'єктів у своєму оточенні. Він може використовувати ультразвукові хвилі або інфрачервоне випромінювання для визначення відстані.

– Arduino Nano: Плата Arduino Nano використовується як мозок системи. Вона отримує виміряні дані від датчика відстані і приймає рішення щодо подальших дій. Arduino програмується таким чином, щоб реагувати на різні ситуації, які можуть виникнути в процесі пересування користувача.

– Зумер: Зумер використовується для відтворення звукових сигналів. Залежно від програмування Arduino, зумер може видавати різні звуки або мелодії для сповіщення користувача про наявність перешкод або інші важливі події.

– Вібромотор: Вібромотор використовується для створення вібраційних сигналів, які передаються через тростину до користувача. Вібрація служить додатковим способом комунікації та попередження про небезпеку у випадку до мікроконтролера Arduino Nano. або інші важливі події. Вібрація може бути використана для передачі різних сигналів, наприклад, сигнал про наближення перешкоди або зміну напрямку руху.

– Батерейка: Батерейка або джерело живлення використовується для живлення всіх компонентів розумної системи орієнтації. Зазвичай використовуються невеликі та переносні батерейки, що забезпечують енергію протягом тривалого часу використання.

– GPS-модуль: прилад, який приймає сигнали з супутників і визначає таким чином ваші координати.

– GSM-модуль: пристрій, що працює як мобільний телефон або модем, який використовується для зв'язку будь-якого пристрою мережею. GSM-модулю для роботи потрібна SIM-карта і він працює в діапазоні мережі, яку підтримує він сам і мобільний оператор.

– Датчик води: датчик є невеликим пристроєм, завдання якого виявити протікання і передати інформацію на блок управління (хаб або централь).

– **Вимикач:** Вимикач використовується для управління живленням розумної системи орієнтації. Він дозволяє користувачу ввімкнути або вимкнути пристрій за необхідності.

Загалом, принцип роботи розумної системи орієнтації полягає в зчитуванні відстані до об'єктів за допомогою датчика відстані, обробці цих даних за допомогою плати Arduino Nano, і відтворенні звукових сигналів за допомогою зумера та вібраційних сигналів за допомогою вібратора. Другою функцією є відслідковування користувача та надання посилання з місцезорієнтуванням опікунові (корисно при виникненні складних ситуацій, коли людині знадобиться допомога). Це дозволяє користувачу отримувати інформацію про своє оточення та перешкоди, що допомагає йому безпечно пересуватися та навігувати у невідомих середовищах.

Схема підключення виглядає наступним чином (рис. 3.2).

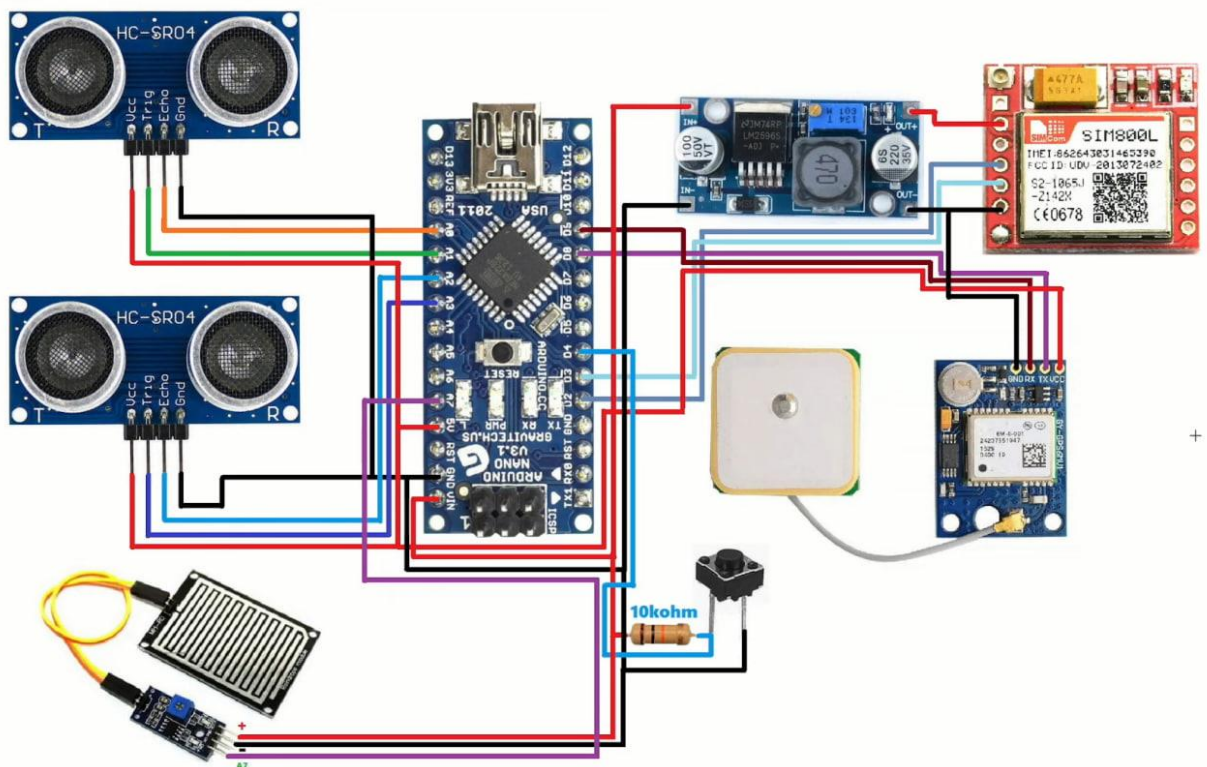


Рисунок 3.2 – Схема підключення пристрою [26]

Arduino Nano виступає як центральний обчислювальний блок, що обробляє сигнали з підключених датчиків та модулів.

Кожен датчик використовується для вимірювання відстані до об'єктів.

Датчик 1 (верхній лівий):

- VCC – Підключений до піну 5V на Arduino.
- GND – Підключений до GND.
- Trig – Підключений до цифрового піну D2.
- Echo – Підключений до цифрового піну D3.

Датчик 2 (нижній лівий):

- VCC – до 5V.
- GND – до GND.
- Trig – до D4.
- Echo – до D5.

Датчик 3 (нижній правий):

- VCC – до 5V.
- GND – до GND.
- Trig – до D6.
- Echo – до D7.

GSM-модуль SIM800L:М модуль використовується для надсилання/отримання SMS або здійснення дзвінків.

- VCC – Підключений до виходу OUT+ DC-DC перетворювача (забезпечує стабільні 5V).
- GND – до загального GND.
- RX – Підключений до D8 через резистор (знижує напругу для безпеки).
- TX – до D9.

GPS-модуль відповідає за отримання координат місцезнаходження.

- VCC – Підключений до 5V Arduino.
- GND – до GND.
- RX – до TX1 Arduino (через SoftwareSerial).
- TX – до RX1 Arduino.

Модуль вимірювання вологості: Цей модуль використовується для визначення рівня вологості (наприклад, дощу).

- Позитивний контакт (+) – Підключений до аналогового піну A7.

- Мінусовий контакт (–) – Підключений до GND.

Кнопка (з pull-down резистором): Кнопка використовується для взаємодії з системою (наприклад, для активації функцій).

- Один контакт кнопки – до D10.
- Інший контакт – до GND через резистор 10 кОм.

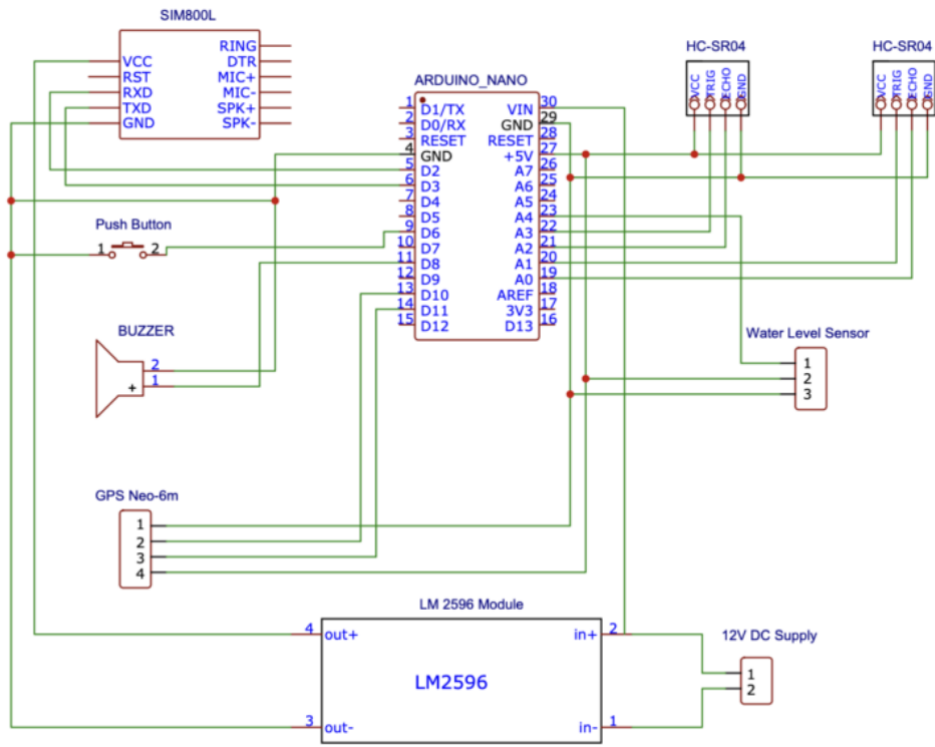
DC-DC понижуючий перетворювач: Цей компонент стабілізує напругу живлення для GSM-модуля.

- IN+ і IN– – Підключені до живлення (наприклад, акумулятора чи павербанка).
- OUT+ – Забезпечує стабільні 5V для GSM.
- OUT– – до GND.

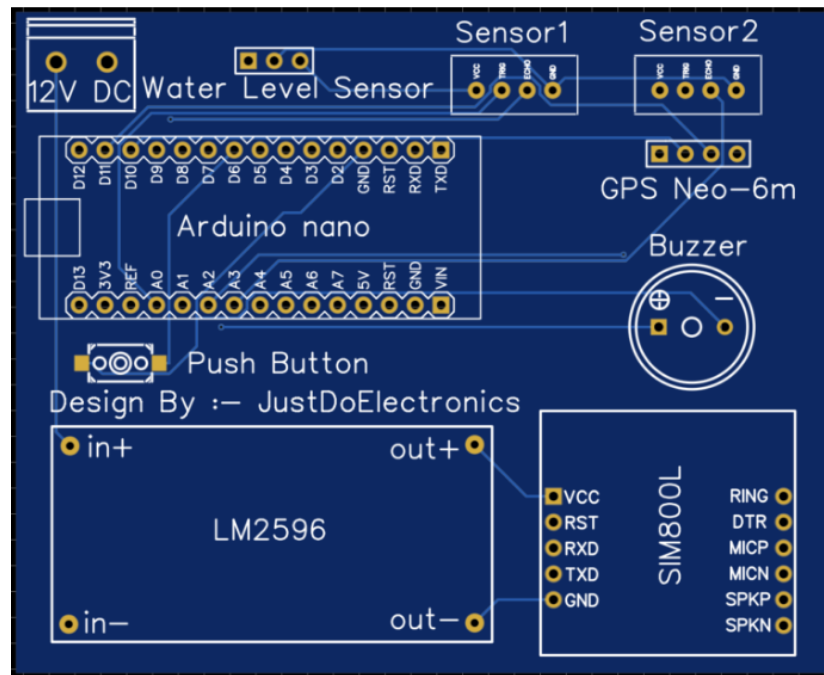
Arduino Nano живиться через USB-кабель, який можна підключити до павербанка.

Таблиця 3.1 – Системи допомоги орієнтації

№ з/п	Назва компонента	Кількість
1	Ультразвуковий датчик HC-SR04	2
2	Модуль Arduino Nano	1
3	GSM-модуль SIM800L	1
4	GPS-модуль	1
5	Модуль живлення (LM2596)	1
6	Датчик дощу	1
7	Резистор 10 кОм	1
8	Кнопка	1



a)



б)

Рисунок 3.7 – Дизайн друкованої плати: а – схема електрична принципова;
б – розміщення компонентів на друкованій платі

Алгоритм роботи системи:

1. Ультразвукові датчики вимірюють відстань до перешкод у трьох напрямках і передають дані на Arduino.
2. GPS-модуль визначає місце розташування пристрою та передає координати.
3. GSM-модуль надсилає або отримує повідомлення (наприклад, для передачі координат у разі потреби).
4. Модуль вологості визначає рівень вологості (наприклад, сигналізує про дощ).
5. Кнопка дозволяє користувачеві активувати певні функції системи.
6. Arduino обробляє всю отриману інформацію і виконує відповідні дії (включає сигналізацію, надсилає дані тощо).

GPS-трекінг (Global Positioning System tracking) – це технологія, яка дозволяє визначати місцезнаходження об'єкта за допомогою сигналів від GPS-супутників. В контексті розумної системи орієнтації для сліпих GPS-трекінг може бути використаний для надання інформації про місцезнаходження користувача та навігації.

Основний принцип роботи полягає в тому, що розумна система орієнтації має вбудований GPS-приймач, який отримує сигнали від супутників і розраховує точне місцезнаходження. За допомогою спеціального програмного забезпечення на смартфоні або іншій пристрої, користувач може отримувати інформацію про своє місцезнаходження.

GPS-трекінг у системі допомоги орієнтації в просторі для сліпих може значно полегшити навігацію та забезпечити більшу незалежність і безпеку для користувачів з візуальними обмеженнями. Вони зможуть легше орієнтуватися в незнайомих місцях та зручно дістатися до потрібних місць.

Після підключення залишається лише завантажити бібліотеки та код. Потрібно лише звернути увагу, що в коді необхідно вказати номер телефону опікуна, якому будуть приходити сповіщення про місцезнаходження підопічного.

```
1 char phone_no[] = "+91xxxxxxxxxx";
```

Рисунок 3.3 – Рядок, який необхідно змінити при підключенні

В додатку А надано код, для підключення GPS-трекеру. Суть цього трекінгу в тому, що на телефон опікуна буде приходити СМС з посиланням на GoogleMap з розташуванням особи.

Для інтеграції PMOD PDM Microphone Array в існуючу схему на основі Arduino Nano необхідно виконати кілька етапів підключення та налаштування. Це додасть до системи можливість отримувати та обробляти звукові дані, що стане корисним для визначення напрямку звуку та покращення орієнтації в просторі.

Підключення PMOD PDM Microphone Array

Модуль використовує стандартний 12-контактний інтерфейс PMOD, з якого задіяні наступні сигнали:

VCC – живлення мікрофона, яке підключається до піну 3.3V або 5V на Arduino Nano (залежно від модуля, може знадобитися стабілізатор напруги для адаптації до 3.3V).

GND – загальний провід, підключається до будь-якого піну GND на Arduino.

PDM_CLK – сигнал тактового генератора, який синхронізує роботу мікрофонів. Підключається до одного з PWM-виходів Arduino, наприклад, D9.

PDM_DATA – цифровий вихідний сигнал із мікрофонів, підключається до аналогового або цифрового входу (наприклад, A5) для подальшої обробки.

Принцип роботи

Функція мікрофона Мікрофонний масив приймає звукові хвилі та перетворює їх у цифровий сигнал у форматі PDM (Pulse Density Modulation). Цей формат кодує амплітуду звуку через частоту імпульсів.

Генерація тактового сигналу Arduino Nano відповідає за подачу синхронізуючого тактового сигналу (PDM_CLK) на потрібній частоті. Для цього використовується PWM-сигнал, який генерується через внутрішній таймер:

```
void setup() {  
  pinMode(9, OUTPUT); // Вивід для PDM_CLK  
  TCCR1A = 0b01000000; // Режим Clear Timer on Compare Match (CTC)  
  TCCR1B = 0b00011001; // Преддільник 1, режим CTC
```

```
OCR1A = 15;          // Частота близько 2 МГц  
}
```

Обробка сигналу: Отриманий сигнал PDM (DATA) обробляється в Arduino для перетворення в PCM (звичайний звуковий сигнал). Це включає декодування та виділення корисного сигналу. Для цього можна використовувати спеціалізовані алгоритми обробки, які виконуються в реальному часі.

Визначення напрямку звуку: У разі використання кількох мікрофонів можна реалізувати алгоритм визначення напрямку джерела звуку. Метод заснований на аналізі різниці часу приходу звукових хвиль до кожного мікрофона (TDOA – Time Difference of Arrival).

Інтеграція в існуючу схему

PMOD PDM Microphone Array доповнює функціонал ультразвукових датчиків та GPS/GSM модулів:

- Звукова орієнтація: Інтеграція мікрофонів дозволить системі визначати джерела звуку, що корисно для попередження перешкод або знаходження об'єктів у просторі.
- Комбінована обробка: Можна об'єднати дані з мікрофонів та ультразвукових сенсорів для підвищення точності системи.
- Аварійні сигнали: У разі виявлення незвичайного звукового сигналу можна передавати його координати через GSM.

Зміни в схемі

- Для додавання мікрофонного масиву необхідно врахувати:
- Використання додаткових виводів Arduino (D9 для PDM_CLK та A5 для PDM_DATA).
- Налаштування живлення модуля (перевірити сумісність із 3.3V або 5V).
- Додаткове програмне забезпечення для декодування PDM у PCM.

3.2 Розробка програмного забезпечення

Arduino – це проста й зручна платформа, яка об'єднує апаратну й програмну частини для створення різноманітних електронних проєктів. Вона чудово підходить як для новачків, які тільки починають свій шлях у програмуванні та електроніці, так і для досвідчених розробників. Програми для Arduino пишуться на мові програмування, яку називають Arduino Language або Arduino Sketch. Ця мова базується на C/C++, але має свої особливості та набір бібліотек, які значно полегшують роботу з мікроконтролерами.

Arduino Language дуже схожа на C/C++, тож тим, хто вже знайомий із цією мовою, буде легко освоїти нову платформу. Основна структура будь-якої програми складається з двох функцій: *setup()* і *loop()*. Функція *setup()* виконується лише раз під час запуску програми – у ній задаються початкові налаштування, наприклад, встановлюються значення змінних або конфігуруються входи й виходи. Далі функція *loop()* працює в безкінечному циклі, виконуючи основну логіку програми. Наприклад, саме тут зчитуються дані з датчиків, аналізується їх стан і надсилаються відповідні команди на інші пристрої.

Arduino IDE, офіційне середовище для написання програм, робить цей процес ще простішим. У ньому можна писати код, компілювати його та завантажувати безпосередньо на плату. IDE також має багато інструментів для налагодження та взаємодії з пристроєм, що особливо важливо для складних проєктів.

Окрема перевага платформи – величезна кількість готових бібліотек, які дозволяють працювати з датчиками, дисплеями, звуком, мережами й багатьма іншими компонентами без потреби детально розбиратися в їхній внутрішній роботі. Наприклад, замість того щоб писати код для роботи з датчиком з нуля, можна просто підключити бібліотеку, яка вже містить усі необхідні функції.

Arduino популярна серед початківців не лише через свою простоту, а й завдяки великій спільноті. У мережі є безліч ресурсів, прикладів і навчальних матеріалів, які допомагають швидко розібратися в основах. Якщо виникають запитання, їх завжди можна вирішити, звернувшись до форумів або готових проєктів, які вже реалізували інші розробники.

Досвідчені користувачі також високо цінують Arduino за її гнучкість. Можливість використовувати C/C++ дозволяє реалізовувати складні алгоритми та інтегрувати сторонні бібліотеки для розширення функціоналу. Таким чином, платформа однаково добре підходить для простих домашніх експериментів і для створення серйозних розробок, наприклад, у сфері автоматизації чи робототехніки.

Arduino – це приклад того, як складні речі можна зробити доступними. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу, підтримці бібліотек і широким можливостям для навчання та розвитку, ця платформа залишається одним із найкращих виборів для тих, хто хоче навчитися працювати з електронікою й втілювати власні ідеї в життя (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Ярлик Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) – це офіційне середовище розробки для програмування платформи Arduino, яке забезпечує всі необхідні інструменти для написання, компіляції та завантаження програм безпосередньо на мікроконтролери. Воно кросплатформне, що дозволяє використовувати його на Windows, macOS та Linux. Arduino IDE виділяється простотою у використанні, але водночас пропонує широкий спектр функцій. Однією з головних переваг є зручний редактор коду з підсвічуванням синтаксису та автодоповненням, які суттєво полегшують процес написання програм. Середовище автоматично підтримує компіляцію програм і їх завантаження на пристрій, дозволяючи розробникам перевіряти свій код і виправляти помилки ще до запуску.

Arduino IDE також надає можливість моніторингу даних через серійний порт, що дає змогу виводити значення змінних, відображати повідомлення або взаємодіяти з програмою під час її роботи на мікроконтролері. Система керування

бібліотеками вбудована безпосередньо в середовище, завдяки чому додавати нові функції чи підключати зовнішні модулі стало простіше простого. Спільнота Arduino вже створила величезну кількість бібліотек, які можна встановити та використовувати буквально за кілька кліків. До того ж, середовище містить численні приклади програм, що демонструють основні можливості платформи, а також велику кількість документації для кращого розуміння роботи з Arduino.

Для налагодження програм Arduino IDE пропонує зручний інтерфейс і функції, які дозволяють крок за кроком перевіряти виконання коду, відстежувати помилки та аналізувати його поведінку. Завантаження готової програми на платформу відбувається через USB або інші засоби підключення, а процес завантаження настільки інтуїтивний, що навіть новачок не зустрине труднощів.

Щоб система орієнтації в просторі для сліпих почала працювати, необхідно запрограмувати плату Arduino Nano, яка буде відповідати за керування всіма її функціями та діями. Спершу потрібно завантажити Arduino IDE з офіційного сайту. Це безкоштовне середовище для написання коду та програмування платформи Arduino. Далі, потрібно підключити Arduino Nano до комп'ютера за допомогою USB-кабелю, та переконатися, що пристрій розпізнано, а драйвери встановлено коректно. У середовищі Arduino IDE необхідно обрати правильну плату, в нашому випадку це «Arduino Nano», а також відповідний порт, до якого підключено пристрій. Ці налаштування знаходяться в меню «Інструменти» (Tools).

Після цього можна перейти до написання коду. Програма для плати повинна забезпечувати зчитування даних із сенсорів, таких як акселерометри або гіроскопи, обробку цих даних, прийняття рішень та керування відповідними елементами, як-от вібромоторчики чи звукові сигнали. Перед завантаженням програми на Arduino Nano варто перевірити її на помилки. У цьому допоможе функція перевірки синтаксису в Arduino IDE. Якщо код успішно скомпільовано, натискаємо «Завантажити», щоб передати його на плату.

Після цього підключіть усі необхідні сенсори та виконавчі елементи до Arduino Nano згідно зі схемою проєкту (рис. 3.5). Наступний крок – перевірка, чи система орієнтації в просторі для сліпих працює правильно: чи зчитуються дані із

сенсорів, чи виконується потрібна обробка і чи відбувається правильна взаємодія із зовнішніми пристроями.

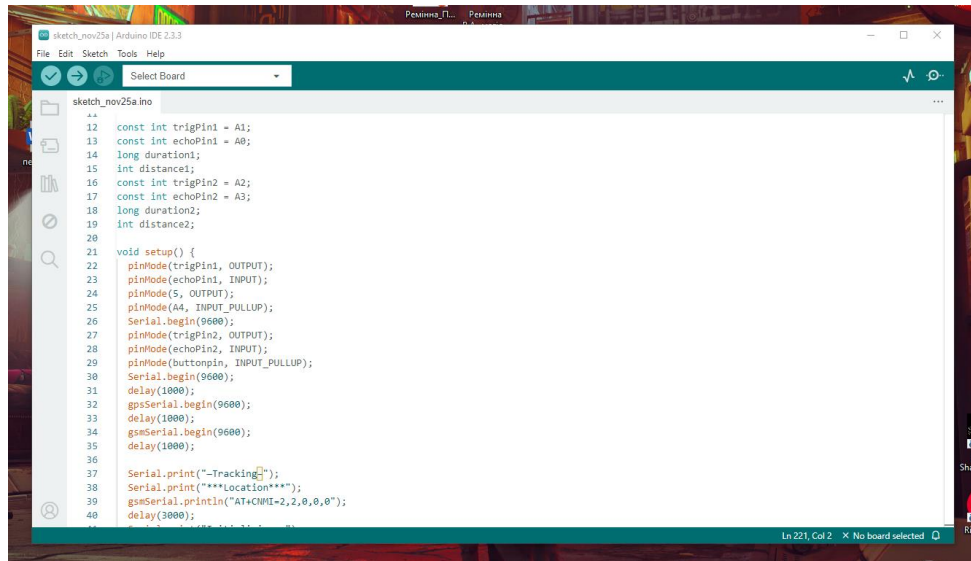


Рисунок 3.5 – Процес програмування плати Arduino Nano за допомогою застосунку Arduino IDE

Цей код призначений для створення інтегрованої системи на основі Arduino, яка виконує кілька функцій: виявлення перешкод, визначення координат через GPS і надсилання повідомлень за допомогою GSM. Для цього використовуються ультразвукові датчики, GPS-модуль, GSM-модуль, а також кнопка й сенсор дощу для додаткових функцій. Розглянемо його роботу детальніше.

У функції `setup()` відбувається ініціалізація всіх пінів і модулів. Зокрема, `pinMode()` налаштовує піни для ультразвукових датчиків як вихідні та входні, а також задає функціональність кнопки та індикаторів. Усі серійні з'єднання – `Serial`, `gpsSerial` (для GPS) і `gsmSerial` (для GSM) – запускаються зі швидкістю 9600 біт/с, що є стандартною швидкістю передачі даних. Перед початком роботи система виводить кілька діагностичних повідомлень, які сигналізують про готовність до роботи.

У функції `loop()` відбувається основна логіка програми. Спочатку ультразвукові датчики визначають відстань до перешкод. Для цього спочатку подається короткий імпульс на `trigPin1` і `trigPin2`, а потім за допомогою функції `pulseIn()` вимірюється тривалість сигналу, що повертається на відповідні

echoPin. На основі цього значення розраховується відстань до об'єкта. Якщо об'єкт виявляється на відстані менше 20 або 15 см, активується сигнал тривоги на піні 5. Частота та тривалість сигналу залежать від відстані.

Також система реагує на вхідні дані з сенсора дощу, підключеного до А4. Якщо сенсор виявляє вологу, виводиться попередження "Rain Alert", а сигнал тривоги активується для додаткового повідомлення.

Ще одним важливим компонентом є кнопка, підключена до buttonpin. Якщо вона натиснута, викликається функція SendMessage(), яка надсилає екстрене повідомлення через GSM-модуль. У повідомленні також вказуються координати, отримані з GPS. Для цього використовується функція get_gps(), яка читає дані з модуля GPS через програмний послідовний порт. Якщо GPS оновлює свої координати, їх зберігають у змінних latitude і longitude та використовують для повідомлень.

Функція get_gsm() також пов'язана з GSM-модулем. Вона відправляє координати місцезнаходження у відповідь на команду "Track", яку може отримати модуль. Команда передається через серійне з'єднання, а координати знову отримуються через get_gps().

Функція SendMessage() надсилає фіксоване повідомлення «I Am In Problem Plz Help Me» разом із поточними координатами. Це реалізовано через команди GSM, такі як AT+CMGF=1 (увімкнення текстового режиму) та AT+CMGS (відправлення повідомлення на вказаний номер). Повідомлення завершується спеціальним символом (char)26, який вказує модулю завершити передачу.

3.3 Додатковий девайс «Браслет з розпізнаванням перешкод»

У випадку, якщо тростину буде пошкоджено, або у випадку з розрядженням акумулятора, є додатковий девайс, який дозволить людині продовжити рух, розпізнаючи перешкоди.

Навігаційна система з відкритим вихідним кодом та 3D-друкованими компонентами корпусу була розроблена у вигляді двох моделей браслетів з одним та двома вібраційними двигунами відповідно, щоб допомогти людям з вадами зору

у вимірюванні відстані та уникненні перешкод. Система базується на 5-вольтовому ультразвуковому датчику HC-SR04, який використовує технологію SONAR (аббревіатура від англ. sound navigation ranging - звукова навігація) для визначення відстані до об'єкта в діапазоні 0,02 – 4 м з кутом вимірювання 15 градусів. Він виявляє перешкоди перед тілом користувача від землі до голови і вище, і забезпечує тактильний зворотний зв'язок за допомогою 10-міліметрового плоского вібраційного двигуна, який генерує коливання зі змінною частотою і амплітудою в залежності від відстані до перешкоди.

Мікроконтролерний блок дозволяє координувати роботу двигуна і датчика на основі розробленого алгоритму, завантаженого у вигляді С-коду в Arduino.

Пристрій можна розмістити на правій або лівій руці, і він не заважає використовувати руку для інших завдань. Він передає інформацію про відстань між точками і може бути використаний як частина допоміжних пристроїв або як доповнення до звичайної системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих. Таким чином було використано підхід активного зондування, коли людина постійно сканує навколишнє середовище.

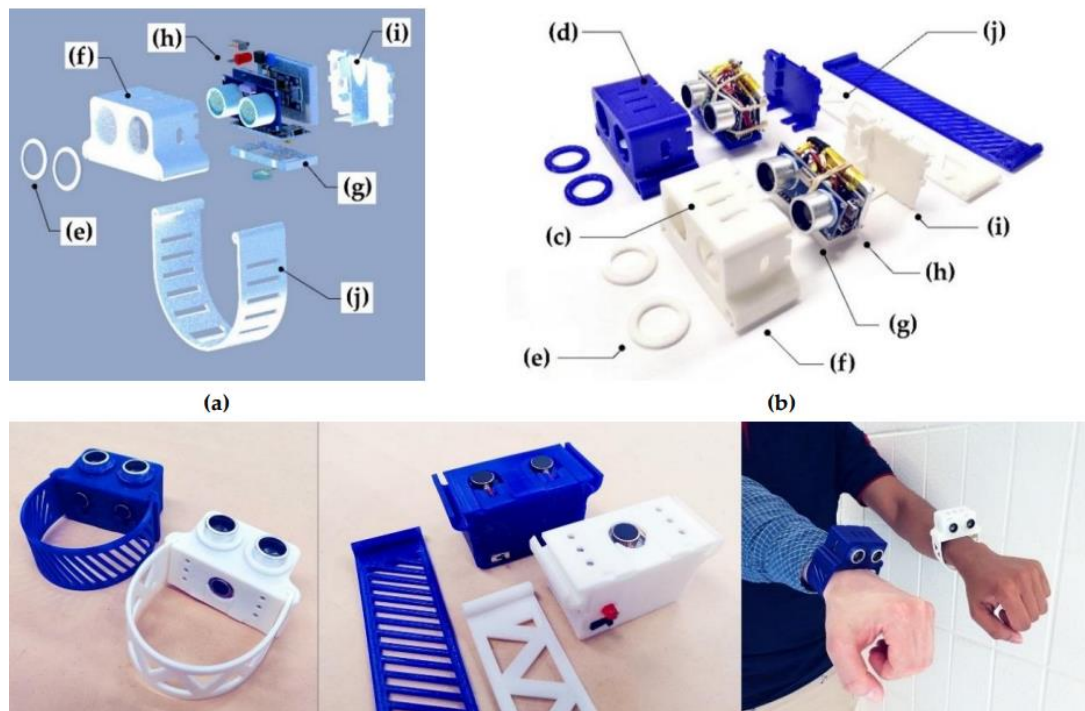


Рисунок 3.4 – Браслет з навігаційною підтримкою [27]

Компоненти: (a) 3D-прототип; (b) Компоненти; (c) Модель 1 з одним вібраційним двигуном; (d) Модель 2 з двома вібраційними двигунами; (e) стопорні кільця; (f) Справа; (g) вібраційна накладка; (h) серцевина датчика; (i) Задня кришка; (j) браслет; (k) Збірка.

Модуль підвищення напруги 5В DC-DC можна розглядати як додатковий компонент, який може бути використаний для подовження терміну служби батареї.

Ультразвуковий датчик випромінює акустичні хвилі на частоті 40 кГц, які поширюються в повітрі та відбиваються від об'єктів у робочій зоні. Кожен цикл вимірювання він посилає вхідний імпульс тригера тривалістю 10 мкс вхідний імпульс тривалістю 10 мкс і 8-циклову звукову хвилю зі швидкістю звуку, віддзеркалення якої від об'єкта приймає ехолот. Він отримує вихідний луна-імпульс тривалістю 150 мкс - 25 мс (38 мс у разі відсутності перешкоди), луна-сигнал, ширина якого лінійно залежить від відстані до виявленої перешкоди.

$$\frac{T_{echo}}{k} = D, \quad (3.1)$$

де T_{echo} – тривалість вихідного луна-імпульсу, мкс;

D - виміряна відстань до перешкоди, см;

k – коефіцієнт перерахунку, вказаний у паспорті датчика, $k = 58$ мкс/см.

Цикл вимірювання, $T_{measure}$, задається в програмі Arduino і являє собою постійну тривалість часу, заявлену розробником, але згідно з паспортними даними датчика, ця тривалість повинна бути не менше 60 мс. Відстань до об'єкта вимірюється за часовою затримкою між надсиланням та отриманням звукових імпульсів у програмі Arduino.

Для згладжування зашумлених вимірювань датчика використовувався один експоненціальний фільтр. Він обробляє сигнал з потрібним коефіцієнтом згладжування без використання значного обсягу пам'яті. Кожного разу, коли надається нове вимірне значення y_t , експоненціальний фільтр оновлює згладжене спостереження:

$$S_t = \alpha \times y_t + (1 - \alpha) \times S_{t-1}, 0 < \alpha < 1, \quad (3.2)$$

де S_{t-1} – попереднє вихідне значення фільтра;

y_t – нове вимірне значення;

$a = 0.5$ – константа згладжування.

Загальний час вимірювання складається з часу проходження, спричиненого кінцевою швидкістю звуку, і затримки, необхідної для вимірювання. Час затримки, спричинений кінцевою швидкістю звуку, становить $T_{max\ travel}$:

$$T_{maxtravel} = \frac{D_{Max}}{V_{sound}} = \frac{2 \times 4}{340} = \frac{8}{340} = 24(\text{мс}), \quad (3.3)$$

де D_{max} – максимальна виміряна відстань до перешкоди;

V_{sound} – швидкість звуку в повітрі.

Виміряна відстань модулюється амплітудою вібрації і транслюється в реальному часі як параметр робочого циклу з плати Arduino. Відстані до 35 см характеризуються поодинокими вібраційними імпульсами з відносно високою періодичністю. Відстані від 150 до 250 см характеризуються поодинокими імпульсами з низькою періодичністю, а відстані понад 250 см модулюються двоїмпульсними ударами.

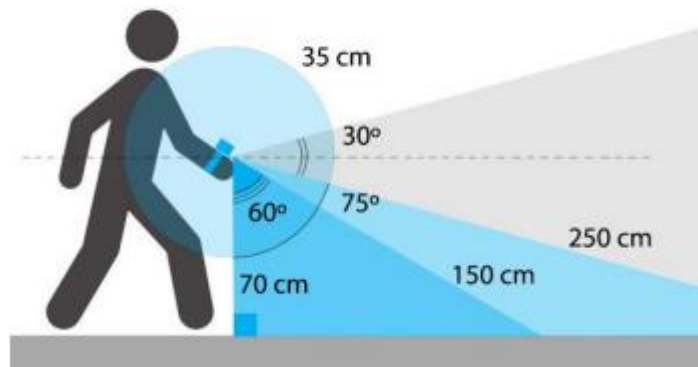


Рисунок 3.5 – Основні відстані

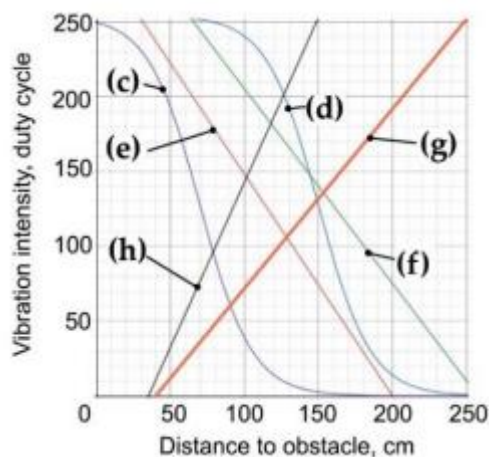


Рисунок 3.6 – Калібрування оптимального робочого циклу

$$(c) \quad M_{DC} = 127 + 127 \times \tanh\left(-\frac{D-70}{35}\right), \quad (3.4)$$

$$(d) \quad M_{DC} = 127 + 127 \times \tanh\left(-\frac{D-150}{35}\right), \quad (3.5)$$

$$(e) \quad M_{DC} = 296 - 1,5 \times D, \quad (3.6)$$

$$(f) \quad M_{DC} = 335 - 1,3 \times D, \quad (3.7)$$

$$(g) \quad M_{DC} = -77 + 22 \times D, \quad (3.8)$$

$$(h) \quad M_{DC} = -48 + 1,2 \times D, \quad (3.9)$$

Під час експериментів і калібрувань було знайдено оптимальне рівняння робочого циклу для найпоширенішого діапазону відстаней 35–150 см. Згенерований робочий цикл для виходу Arduino, M_{DC} становить:

$$M_{DC} = m + m \times \tanh\left(-\frac{D-k}{b}\right) = 127 + 127 \times \tanh\left(-\frac{D-70}{35}\right), \quad (3.10)$$

$$0 < M_{DC} < 255,$$

де $m = 127$;

$k = 70$;

$b = 35$ – калібровані параметри;

D – виміряна відстань в діапазоні від 35 см до 150 см.

Цей закон модуляції базується на гіперболічній дотичній функції, \tanh .

Розробка дозволяє людям з вадами зору вирішувати основні завдання навігації, орієнтації та виявлення перешкод ($>0,5 \text{ м}^2$ нерухомих в діапазоні відстані до 4 м та рухомих зі швидкістю до 0,5 м/с в діапазоні відстані до 1 м) для забезпечення їхньої безпеки та мобільності. Пристрої продемонстрували інтуїтивно зрозумілий тактильний зворотній зв'язок, який стає простішим у використанні після короткої практики. Він може бути виготовлений переважно цифровим способом як самостійний пристрій або як доповнення до наявних засобів сенсорної аугментації (наприклад, білої тростини). Пристрій працює на тих самих

відстанях, що й більшість комерційних продуктів, які було розглянуто в другому розділі.

Висновки до розділу 3

У цій роботі було створено систему, яка допомагає людям із порушенням зору орієнтуватися в просторі. Основна ідея полягала в тому, щоб забезпечити безпечне пересування і дати можливість користувачу отримувати інформацію про навколишнє середовище в реальному часі.

Система складається з декількох компонентів, які працюють разом: ультразвукові датчики, GPS, GSM-модуль, вібромотор, звуковий сигналізатор і невеликий дисплей. Усі ці пристрої підключені до мікроконтролера Arduino Nano, який виступає «мозком» системи. Наприклад, якщо попереду з'являється перешкода, датчики це «бачать» і передають сигнал користувачеві у вигляді вібрації або звуку. Це дозволяє людині швидко реагувати та уникати небезпеки.

Крім цього, GPS і GSM-модулі дають можливість передавати координати користувача його близьким. Це може бути важливо в екстрених ситуаціях, коли потрібна допомога. Також система реагує на погодні умови – наприклад, якщо на вулиці дуже волого, пристрій попередить про це, щоб користувач міг підготуватися.

Ми також додали мікрофонний масив, який дозволяє визначати, з якого боку надходять звуки. Це стало ще одним кроком до створення більш зручного і «розумного» пристрою.

Ця розробка вже може використовуватися як корисний помічник у повсякденному житті людей із порушенням зору.

4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Моделювання в MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) – це високорівнева інтегрована платформа для чисельних обчислень, моделювання та візуалізації даних. Вона широко використовується в наукових дослідженнях, інженерних розрахунках і розробці алгоритмів завдяки своїй зручності, потужним вбудованим функціям і підтримці роботи з матрицями, сигналами та графічними інтерфейсами.

MATLAB був обраний для цієї дипломної роботи з кількох причин:

- **Обробка сигналів:** MATLAB пропонує вбудовані функції для генерації, обробки та аналізу сигналів, що є ключовим для системи визначення напрямку звуку (DOA).
- **Математичні обчислення:** Завдяки підтримці матричних операцій і чисельних методів MATLAB дозволяє легко реалізувати складні математичні моделі, включаючи обчислення затримок сигналів та кутів прибуття.
- **Візуалізація даних:** MATLAB підтримує створення графіків, діаграм і анімацій, що дає змогу візуалізувати результати розрахунків і підтвердити коректність роботи алгоритмів.
- **Широка бібліотека функцій:** MATLAB пропонує безліч готових функцій для обчислення кореляції, синтезу сигналів, оцінки параметрів сигналів тощо.

У межах цієї дипломної роботи MATLAB використовувався для розробки та тестування алгоритму визначення напрямку прибуття звуку (DOA). Основні етапи використання платформи включали:

1. Моделювання акустичної системи:

Ми визначили розташування датчиків у просторі та змоделювали прибуття звукового сигналу. Два датчики були розташовані на відстані $d = 0,05$ м один від одного, що задається так:

$d = 0.05$; % Відстань між датчиками у метрах

2. Генерація звукових сигналів:

За допомогою MATLAB було згенеровано тестові звукові сигнали синусоїдальної форми:

```
signal1 = sin(2 * pi * f * t); % Сигнал на першому датчику  
signal2 = delayseq(signal1', tau)'; % Сигнал на другому датчику з  
затримкою
```

Це дозволило змодельовати вплив різниці часу прибуття звуку до двох датчиків залежно від кута прибуття сигналу.

3. Оцінка затримки сигналу:

Для оцінки затримки між сигналами було використано метод перехресної кореляції:

```
[xcorr_val, lag] = xcorr(signal2, signal1);  
[~, idx] = max(abs(xcorr_val)); % Знаходження максимальної кореляції  
estimated_tau = lag(idx) / Fs; % Оцінка затримки
```

Це дозволило знайти максимальне значення кореляції, що відповідає затримці між сигналами.

4. Обчислення кута прибуття сигналу:

Визначений кут обчислювався за формулою:

```
estimated_theta = asind((estimated_tau * c) / d);
```

Таким чином, MATLAB використовувався для реалізації ключових математичних розрахунків, необхідних для визначення напрямку джерела звуку.

5. Візуалізація результатів:

Для наочного відображення розташування датчиків і напрямку сигналу було створено графічну діаграму:

```
plot([0 d], [0 0], 'ro', 'MarkerSize', 10, 'LineWidth', 2);  
quiver(0, 0, cosd(theta), sind(theta), 0.5, 'b', 'LineWidth', 2);  
xlabel('Відстань (м)');  
ylabel('Відстань (м)');  
title('Розташування датчиків та напрямок звуку');  
grid on;
```

Це допомогло візуалізувати роботу системи та продемонструвати правильність обчислень (рис. 4.1).

```

1  % Параметри системи
2  c = 343; % Швидкість звуку (м/с)
3  f = 40e3; % Частота ультразвукового сигналу (Гц)
4  lambda = c / f; % Довжина хвилі (м)
5  d = 0.05; % Відстань між датчиками (м)
6  theta = 30; % Кут прибуття сигналу (градуси)
7  fs = 1e6; % Частота дискретизації (Гц)
8
9  % Створення масиву датчиків
10 array = phased.ULA('NumElements', 2, 'ElementSpacing', d);
11
12 % Візуалізація геометрії масиву
13 figure;
14 viewArray(array, 'ShowNormals', true);
15 title('Розташування датчиків');
16
17 % Генерація сигналу
18 t = (0:1/fs:1e-3)'; % Час (с)
19 signal = sin(2 * pi * f * t); % Ультразвуковий сигнал
20
21 % Розрахунок затримки сигналу для кожного датчика
22 tau = (d * sind(theta)) / c; % Затримка (с)
23 samples_delay = round(tau * fs); % Затримка у кількості відліків
24
25 % Генерація сигналів для двох датчиків
26 received_signal = zeros(length(t), 2); % Ініціалізація
27 received_signal(:, 1) = signal; % Сигнал на першому датчику
28 received_signal(:, 2) = [zeros(samples_delay, 1); signal(1:end-samples_delay)]; % Сигнал на другому датчику
29
30 % Додавання шуму
31 noise = 0.01 * randn(size(received_signal)); % Білий шум
32 received_signal = received_signal + noise;
33
34 % Оцінка кута прибуття (DOA) за допомогою MUSIC
35 doa_estimator = phased.MUSICEstimator('SensorArray', array, ...
36   'OperatingFrequency', f, 'NumSignalsSource', 'Property', ...
37   'NumSignals', 1, 'ScanAngles', -90:0.1:90);
38
39 % Оцінений кут
40 angles = doa_estimator(received_signal);
41 %disp(['Оцінений кут прибуття: ' num2str(angles) ' градуса(ів)']);

```

Рисунок 4.1 – Моделювання в MATLAB

Система визначення напрямку джерела звуку є важливим елементом сучасних пристроїв підтримки орієнтації для людей із порушенням зору. Завдяки таким системам можна створювати навігаційні пристрої, які допомагають визначити положення об'єктів, уникати перешкод та орієнтуватися в просторі. Основою таких систем є здатність визначити кут прибуття звукового сигналу за допомогою масиву датчиків, які фіксують різницю часу приходу звуку.

Уявімо, що звуковий сигнал надходить під певним кутом до лінійного масиву з двох датчиків. Оскільки звук поширюється з кінцевою швидкістю, він досягає одного датчика трохи раніше, ніж іншого. Ця різниця у часі приходу сигналу дозволяє визначити напрямок, з якого звук надходить. Якщо ми знаємо швидкість звуку, відстань між датчиками та можемо виміряти цю різницю у часі, то обчислення кута прибуття стає простою задачею.

Різниця часу приходу сигналу Δt між двома датчиками обчислюється за формулою:

$$\Delta t = \frac{d \times \sin(\theta)}{c}, \quad (4.1)$$

де d – відстань між датчиками;

θ – кут прибуття сигналу;

c – швидкість звуку (343 м/с у повітрі за нормальних умов).

Основним алгоритмом визначення різниці часу прибуття сигналу є крос-кореляція, яка обчислює міру схожості між двома сигналами, зсунутими відносно один одного. Максимальне значення крос-кореляції відповідає затримці, що дозволяє оцінити кут прибуття сигналу.

Щоб знайти цю різницю часу, використовується метод крос-кореляції. Він дозволяє порівняти сигнали, які надходять на обидва датчики, визначити їх схожість та знайти зсув у часі. Це працює так: один сигнал зсувається відносно іншого, поки не буде знайдено максимальну схожість. Часовий зсув, за якого це стається, і є різницею часу приходу сигналу.

Для моделювання такої системи у MATLAB ми визначили основні параметри:

- Швидкість звуку $c = 343$ м/с,
- Частота сигналу $f = 40$ кГц,
- Відстань між датчиками $d = 0,05$ м,
- Частота дискретизації $fs = 1$ МГц,
- Кут прибуття сигналу $\theta = 30^\circ$.

Потім створили синусоїдальний сигнал, який імітує звукову хвилю:

```
t = (0:1/fs:1e-3)'; % часовий вектор
signal = sin(2 * pi * f * t); % синусоїдальний сигнал
```

Щоб врахувати затримку сигналу на другому датчику, ми обчислили її за формулою:

```
tau = d * sind(theta) / c; % затримка у секундах
samples_delay = round(tau * fs); % затримка у відліках
received_signal(:, 2) = [zeros(samples_delay, 1); signal(1:end-
samples_delay)];
```

Таким чином, отримали сигнал на другому датчику (рис. 4.2), який приходить із затримкою, пропорційною куту приходу звуку. Далі використали функцію *xcorr*, яка обчислює крос-кореляцію:

```
[cross_corr, lags] = xcorr(signal, received_signal(:, 2));  
[~, max_idx] = max(cross_corr);  
time_delay_est = lags(max_idx) / fs; % оцінка затримки  
theta_est = asind(time_delay_est * c / d); % обчислений кут  
disp(['Оцінений кут прибуття: ', num2str(theta_est), ' градусів']);
```

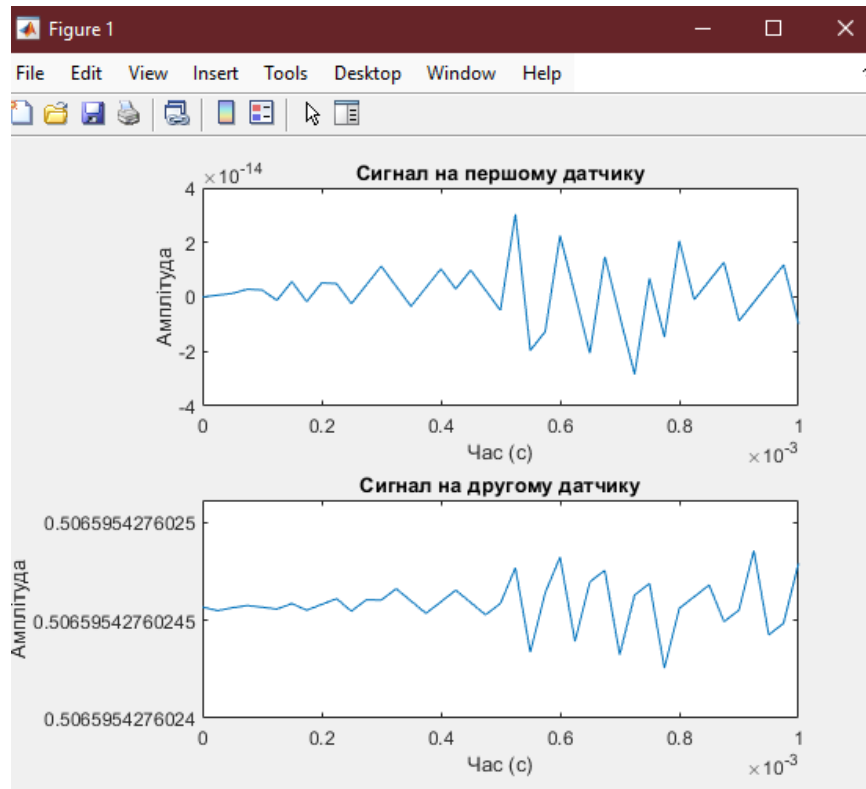


Рисунок 4.2 – Амплітуда сигналів на датчиках

Результати показали, що система правильно обчислює кут прибуття сигналу. Щоб зробити дані наочнішими, створили графіки прийнятих сигналів:

```
subplot(2,1,1);  
plot(t, signal);  
title('Сигнал на першому датчику');  
subplot(2,1,2);  
plot(t, received_signal(:, 2));  
title('Сигнал на другому датчику з затримкою');
```

Це дало змогу побачити, як саме виглядають сигнали, коли один із них приходить із затримкою.

Отримані результати підтверджують, що навіть з використанням лише двох датчиків можна точно визначити кут прибуття звукового сигналу. У майбутньому можливе вдосконалення системи шляхом збільшення кількості датчиків або використання більш складних алгоритмів, таких як MUSIC або ESPRIT. Крім того, можна створити реальний пристрій на базі цього алгоритму та перевірити його роботу з використанням справжніх звукових сигналів. Таким чином, система визначення напрямку джерела звуку має великий потенціал для використання в пристроях підтримки орієнтації для людей із вадами зору.

Для наочного зображення системи визначення напрямку джерела звуку було створено графічну діаграму (рис. 4.3), яка демонструє розташування датчиків та напрямок прибуття звукового сигналу. У моделі передбачено два датчики, розташовані на горизонтальній осі на відстані 5 см один від одного, що відповідає значенню $d = 0,05$ м.

Два датчики позначені червоними кругами. Перший датчик знаходиться в точці (0,0), а другий – у точці (0,05, 0). Відстань між ними визначена наступним рядком коду:

```
d = 0.05; % Відстань між датчиками у метрах
```

Графічне відображення розташування датчиків виконується командою:

```
plot([0 d], [0 0], 'ro', 'MarkerSize', 10, 'Linewidth', 2);
```

Щоб вказати напрямок надходження звукового сигналу, на діаграмі зображено синій вектор, який починається з точки (0, 0) і спрямований під кутом θ , визначеним раніше:

```
quiver(0, 0, cosd(theta), sind(theta), 0.5, 'b', 'Linewidth', 2);
```

Поруч із вектором підписано значення кута:

```
text(cosd(theta)/2, sind(theta)/2, ['\theta = ', num2str(theta), '°'],
```

...

```
'FontSize', 12, 'Color', 'b');
```

Щоб діаграма виглядала більш професійно, було додано сітку, підписи осей і заголовков:

```
xlabel('Відстань (м)');  
ylabel('Відстань (м)');  
title('Розташування датчиків та напрямок звуку');  
axis equal;  
grid on;
```

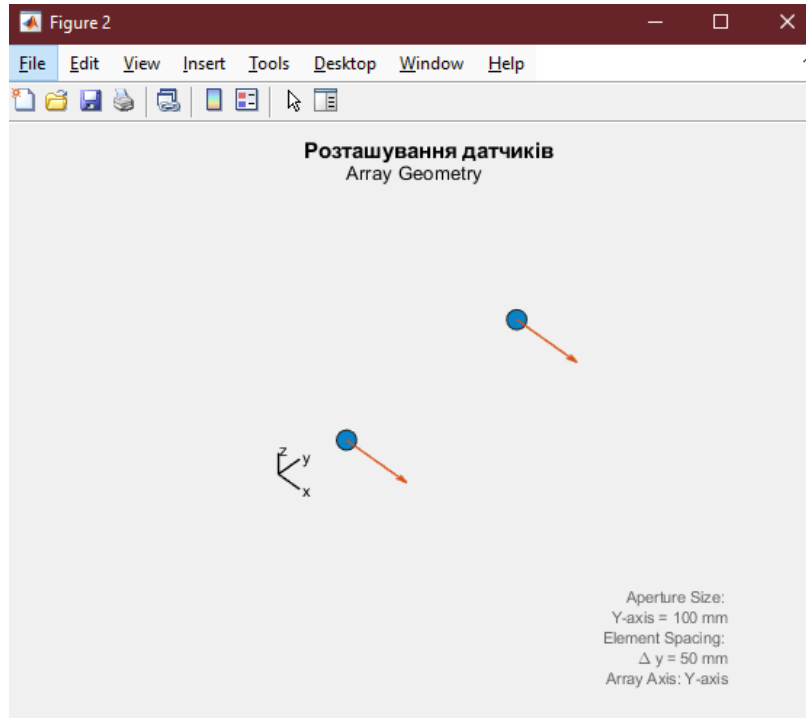


Рисунок 4.3 – Діаграма розташування датчиків

Ця діаграма дозволяє наочно уявити розташування датчиків і напрямок звуку, що надходить під заданим кутом. Відстань між датчиками, яка дорівнює 5 см, є важливим параметром для точного визначення кута прибуття звуку, оскільки більша чи менша відстань впливає на чутливість системи.

Оцінка напрямку прибуття звукового сигналу (Direction of Arrival, DOA) (рис. 4.4) є одним із ключових аспектів роботи системи просторової орієнтації. Вона базується на визначенні кута, під яким звукова хвиля досягає масиву акустичних датчиків. Це завдання виконується шляхом аналізу різниці часу прибуття сигналу (Time Difference of Arrival, TDOA), що виникає через різне розташування датчиків у просторі.

У моделі системи оцінка DOA відбувається шляхом генерування двох сигналів, які імітують прийнятий звук на обох датчиках. Для створення затримки

використовується команда *delayseq*, яка моделює часову різницю відповідно до кута θ .

```
% Генерація сигналів з урахуванням різниці часу  
signal1 = sin(2 * pi * f * t); % Сигнал на першому датчику  
signal2 = delayseq(signal1', tau)'; % Сигнал на другому датчику з  
затримкою
```

- signal1 – базовий сигнал на першому датчику.
- signal2 – сигнал на другому датчику з затримкою $\tau = \Delta t$

Далі оцінка затримки виконується через кореляційний аналіз:

```
[xcorr_val, lag] = xcorr(signal2, signal1);  
[~, idx] = max(abs(xcorr_val)); % Знаходження максимальної кореляції  
estimated_tau = lag(idx) / Fs; % Оцінка затримки
```

Цей фрагмент знаходить максимальне значення кореляції між двома сигналами та визначає відповідну затримку τ (tau). Після цього обчислюється оцінений кут прибуття сигналу:

```
estimated_theta = asind((estimated_tau * c) / d);
```

Оцінений кут θ виводиться та порівнюється з теоретичним значенням:

```
fprintf('Теоретичний кут: %.2f°, Оцінений кут: %.2f°\n', theta,  
estimated_theta);
```

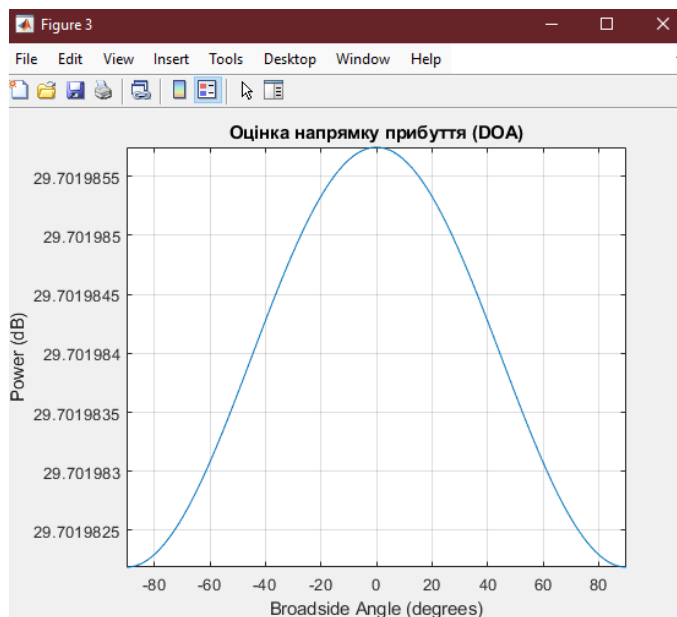


Рисунок 4.4 – Оцінка напрямку прибуття (DOA)

Цей результат дозволяє оцінити точність системи та можливі похибки, які можуть виникати через вплив оточуючих шумів або обмежену дискретизацію сигналів. Точність залежить від таких параметрів, як відстань між датчиками, частота сигналу, швидкість звуку та частота дискретизації системи.

4.2 Моделювання впливу перешкоди

У межах цієї дипломної роботи було змодельовано вплив перешкоди на сигнал для визначення його напрямку прибуття (DOA) за допомогою програмного середовища MATLAB. Дослідження спрямоване на вивчення того, як зміна розташування перешкоди впливає на якість отриманого сигналу та точність оцінки кута його прибуття.

Для моделювання було задано два акустичні датчики, розташовані на відстані 0,05 м один від одного. Перешкода переміщувалася в межах від -0,2 м до 0,2 м уздовж осі між датчиками. Основна ідея полягала в тому, щоб змодельовати зміну амплітуди отриманого сигналу залежно від положення перешкоди. Вважалося, що перешкода частково заглушує звуковий сигнал, коли знаходиться поблизу датчиків, що впливає на коректність визначення напрямку джерела звуку.

Було згенеровано синусоїдальний тестовий сигнал частотою 1000 Гц з дискретизацією 10 кГц. Сигнал на першому датчику генерувався безпосередньо, тоді як сигнал на другому датчику моделювався з урахуванням затримки, спричиненої різницею відстаней від джерела до кожного датчика. Часова затримка обчислювалася за формулою:

$$t = d \times \frac{\sin(\theta)}{c}, \quad (4.2)$$

де t – часова затримка, d – відстань між датчиками, θ – кут прибуття сигналу, а c – швидкість звуку в повітрі (343 м/с).

Моделювання впливу перешкоди здійснювалося через зміну коефіцієнта загасання сигналу залежно від відстані перешкоди від датчиків. Якщо перешкода знаходилася поблизу центральної точки між датчиками, коефіцієнт загасання знижував амплітуду сигналу. Це дозволило симулювати ефект перешкоди на шляху звукової хвилі.

Для визначення напрямку сигналу використовувався метод перехресної кореляції. Сигнали з двох датчиків оброблялися функцією MATLAB *xcorr*, яка дозволяла знайти максимальне значення кореляції та відповідний йому часовий зсув.

Візуалізація результатів здійснювалася у двох проекціях (рис. 4.5). На першому графіку відображалася максимальна амплітуда кореляційного сигналу залежно від положення перешкоди. Це дало змогу проаналізувати, як перешкода впливає на потужність отриманого сигналу. На другому графіку показано оцінений кут прибуття звукового сигналу в залежності від переміщення перешкоди. Завдяки цьому вдалося візуалізувати вплив перешкоди на точність визначення напрямку джерела звуку.

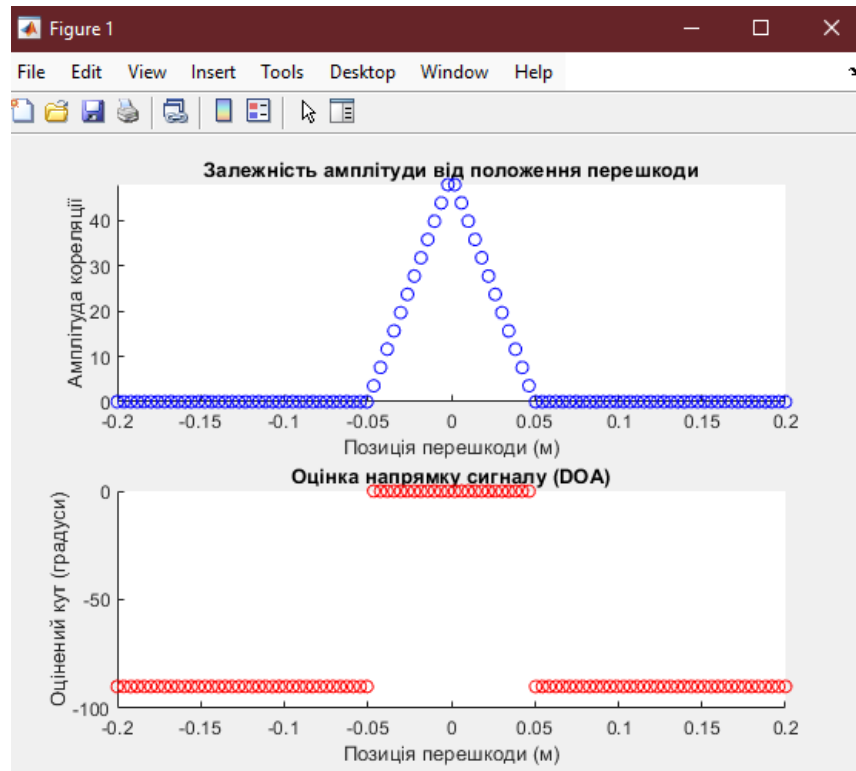


Рисунок 4.5 – Графік впливу перешкоди

Результати моделювання підтвердили, що присутність перешкоди поблизу датчиків значно знижує амплітуду кореляційного сигналу та може призводити до помилок в оцінці кута прибуття звуку. Водночас, коли перешкода віддаляється від датчиків, точність оцінки сигналу покращується. Отримані результати доводять

важливість урахування можливих перешкод у реальних акустичних системах, що підтримують орієнтацію в просторі.

Для коду симуляції було використано наступні ключові елементи. Спочатку задаються основні параметри сигналу: частота звуку, частота дискретизації, швидкість звуку та відстань між датчиками. Тестовий сигнал генерується як синусоїда з використанням функції *sin*. Переміщення перешкоди моделюється через змінну, яка описує її позицію.

Затримка між сигналами обчислюється за допомогою функції *delayseq*, яка враховує час прибуття сигналу до кожного датчика. Для оцінки кута прибуття використовується функція *xcorr*, що знаходить максимальну кореляцію між сигналами з двох датчиків. Відповідний часовий зсув перетворюється на кут прибуття за допомогою тригонометричної функції *asind*.

Візуалізація реалізується через функцію *plot*, де на першому графіку відображається амплітуда кореляції залежно від положення перешкоди, а на другому – оцінений кут прибуття сигналу. Ці графіки дозволяють оцінити вплив перешкоди на точність визначення напрямку звуку.

Висновки до розділу 4

У ході роботи з MATLAB було успішно змодельовано процес визначення напрямку прибуття звукового сигналу в умовах присутності перешкоди. Проведені симуляції підтвердили, що зміна розташування перешкоди суттєво впливає на амплітуду отриманого сигналу та точність оцінки кута його прибуття.

Використання функцій MATLAB, таких як *xcorr* для обчислення кореляції та *delayseq* для моделювання часової затримки, дозволило точно симулювати поведінку акустичної системи. Візуалізація результатів за допомогою графіків показала, як зміна положення перешкоди впливає на потужність сигналу та точність визначення кута прибуття джерела звуку.

Отримані результати підтвердили ефективність використаних алгоритмів обчислення та оцінки. Це доводить, що запропонований підхід може бути корисним для розробки реальних систем просторової орієнтації, здатних

працювати навіть за наявності акустичних перешкод. Такий підхід забезпечує підвищення точності та надійності систем, що використовуються для підтримки орієнтації у складних умовах.

ВИСНОВКИ

Система допомоги орієнтації в просторі для сліпих – це інноваційне рішення, яке покликане значно полегшити життя людей з вадами зору, забезпечуючи їм більшу мобільність і безпеку під час пересування. Ця система поєднує в собі сучасні технології, здатні не лише допомогти користувачеві орієнтуватися в навколишньому середовищі, але й надавати точні навігаційні підказки для безпечного руху.

Основним компонентом системи є спеціальні датчики, що дають змогу виявляти перешкоди на шляху, а також визначати перепади рівня, що є важливим для людей з вадами зору. Завдяки інтеграції технології GPS, система дозволяє точно визначати місцезнаходження користувача та надавати рекомендації щодо маршруту. Також важливим є використання звукових сигналів та голосових повідомлень, що повідомляють про потенційні перешкоди чи зміни в навколишньому середовищі.

У процесі розробки системи допомоги орієнтації в просторі для сліпих було також проведено тестування та моделювання за допомогою MATLAB. Зокрема, з його допомогою було реалізовано математичні моделі для визначення напрямку звуку та аналізу відстаней до перешкод. MATLAB став ключовим інструментом для симуляції та перевірки алгоритмів обробки даних з датчиків, що використовуються в системі.

Були розроблені алгоритми для точної обробки сигналів, отриманих від датчиків відстані, а також для визначення ефективності різних типів звукових сигналів та їх здатності попереджати користувача про перешкоди. Ці алгоритми дозволяють покращити точність роботи системи та забезпечити зручність у реальних умовах експлуатації.

Тестування з MATLAB допомогло оптимізувати алгоритми навігації та зробити систему більш адаптивною до різних ситуацій, що виникають у процесі руху. Результати тестів також підтвердили ефективність запропонованих рішень у вирішенні основних задач системи, таких як виявлення перешкод та навігація в

просторі. Таким чином, MATLAB став важливим інструментом для валідації концепції та покращення її функціональності на етапі розробки.

У рамках магістерської роботи було здійснено глибоке дослідження потреб цільової аудиторії – людей з вадами зору. Проведений аналіз існуючих рішень на ринку дозволив виявити основні проблеми, такі як висока ціна та обмежена доступність технологій. Це стало основою для розробки концепції системи орієнтації.

Завдяки зручному поєднанню апаратного та програмного забезпечення було створено доступний варіант системи, яка здатна виконувати основні функції – розпізнавання перешкод та забезпечення необхідної орієнтації в просторі. Така система є доступною для більшості користувачів і відповідає базовим потребам. Крім того, вона має властивості адаптивності та персоналізації, що дозволяє пристосовувати її до індивідуальних вимог кожного користувача.

Загалом, система допомоги орієнтації в просторі для сліпих, розроблена в рамках магістерської роботи, є прогресивним і доступним рішенням, яке може значно покращити мобільність та безпеку користувачів. Вона дає можливість людям з вадами зору самостійно рухатися, орієнтуватися в навколишньому середовищі і адаптувати систему під свої індивідуальні потреби, що робить її важливим кроком на шляху до більш рівних умов для всіх.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гречмак Д. В. Використання платформи arduino uno для управління інтелектуальними мобільними об'єктами : thesis. 2020. URL: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/12225> (дата звернення: 13.12.2024).
2. Мобільні роботи на базі Arduino: thesis / Михайло Момот 2018. URL: <https://monster-book.com/reader/28803> (дата звернення: 13.12.2024).
3. MWC 2021: смарт-система орієнтації, що підключається до смартфона : thesis. 2021. URL: <https://www.vodafone.ua/shop/ua/blog/mwc-2021-smart-trost-podkljuchaemaja-k-smartfonu.html> (дата звернення: 13.12.2024).
4. Augmented Cane : thesis. 2021. URL: <https://gizmodo.com/stanford-researchers-design-a-high-tech-white-cane-that-1847862570> (дата звернення: 10.06.2023).
5. Blind Walking Stick Using Arduino : thesis. 2021. URL: <https://www.pantechsolutions.net/blind-walking-stick-using-arduino> (дата звернення: 13.12.2024).
6. Hapsari G. I., Mutiara G. A., Kusumah D. T. Smart cane location guide for blind using GPS. *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoIC7)*, Melaka, Malaysia, 17–19 May 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/icoict.2017.8074697> (Last accessed: 13.12.2024).
7. Husin M. H., Lim Y. K. InWalker: smart white cane for the blind. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2019. Vol. 15, no. 6. P. 701–707. URL: <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1615999> (Last accessed: 13.12.2024).
8. Petri Pulli B. C. Smart Cane Outdoor Navigation System for Visually Impaired Deaf-blind and Blind Persons. *Journal of Communication Disorders, Deaf Studies & Hearing Aids*. 2014. Vol. 02, no. 04. URL: <https://doi.org/10.4172/2375-4427.1000125> (Last accessed: 13.12.2024).
9. Ремінна В. А., Система орієнтації для сліпих. *Ольвійський форум-2024: стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі*. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. С. 192–194.

10. WeWalk смарт-система орієнтації, що підключається до смартфона
URL: <https://www.vodafone.ua/shop/ua/blog/mwc-2021-smart-trost-podkljuchaemaja-k-smartfonu.html> (дата звернення: 13.12.2024).
11. Система орієнтації Augmented Cane URL:
<https://greenpost.ua/news/studentka-lvivskoyi-politehniky-stvoryla-pershu-rozumnu-trostynu-dlya-nezryachyh-i62647>
12. https://www.istok-audio.com/catalog/product/elektronnaya_trost_ray/
(дата звернення: 13.12.2024).
13. Система орієнтації Робін URL: <https://wish.org.qa/innovation/smart-assistant-for-the-blind-robin/> (дата звернення: 13.12.2024).
14. Ультразвуковий дальномір HC-SR04 URL: <https://arduino.ua/ru/art21-ultrazvukovoi-dalnomer-hc-sr04> (дата звернення: 13.12.2024).
15. Ультразвуковий дальномір URM37 v5.0 URL:
<https://m.robotscience.kr/goods/view?no=8073> (дата звернення: 13.12.2024).
16. Ультразвуковий дальномір US-100 URL: <https://arduino.ua/prod3710-ultrazvukovoi-datchik-rasstoyaniya-us-025> (дата звернення: 13.12.2024).
17. Інфрачервоний датчик SHARP GP2Y0A41SK0F URL:
<https://robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/sensory-datchiki-i-moduli/ir-datchik-rasstoyaniya-sharp-gp2y0a41sk0f-4-30-sm/> (дата звернення: 13.12.2024).
18. Лазерний датчик VL53L0X URL:
<https://www.indiamart.com/proddetail/gyv153l0x-vl53l0x-v2-laser-tof-flight-time-ranging-sensor-module-2852578878991.html> (дата звернення: 13.12.2024).
19. Капацитивний датчик MPR121 URL: <https://raspberry.com.ua/p/adafruit-12-key-capacitive-touch-sensor-breakout-mp121/> (дата звернення: 13.12.2024).
20. Індуктивний датчик LJ12A3-4-Z/BX URL:
<https://rozetka.com.ua/ua/118530607/p118530607/> (дата звернення: 13.12.2024).
21. Плата Arduino UNO URL: <https://prom.ua/ua/p1656705161-arduino-uno-atmega328.html> (дата звернення: 13.12.2024).
22. Плата Arduino Nano URL: <https://detalipro.in.ua/kontroler-arduino-nano-v30-atmega328p-au-5v-diymore-diymore> (дата звернення: 13.12.2024).

23. Плата Arduino Mega URL: <https://arduino.ua/prod176-arduino-mega-2560-rev3-a000067> (дата звернення: 13.12.2024).
24. Pmod PDM URL: <https://github.com/MarcinWachowiak/pmod-pdm-microphone-array> (дата звернення: 13.12.2024).
25. Мікрофони IM69D130 URL: <https://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/market-news/2021/INFATV202104-057.html> (дата звернення: 13.12.2024).
26. Схема підключення пристрою URL: <https://justdoelectronics.com/arduino-based-blind-stick-with-gps-and-gsm/> (дата звернення: 13.12.2024).
27. Браслет з навігаційною підтримкою URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6749373/pdf/sensors-19-03783.pdf> (дата звернення: 13.12.2024).
28. Laser Sensing and Vision Sensing Smart Blind Cane: A Review URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9864660/pdf/sensors-23-00869.pdf> (Last accessed: 13.12.2024).
29. Visible Light Communications-Based Assistance System for the Blind and Visually Impaired: Design, Implementation, and Intensive Experimental Evaluation in a Real-Life Situation URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10708642/pdf/sensors-23-09406.pdf> (Last accessed: 13.12.2024).
30. Design and Implementation of a Walking Stick Aid for Visually Challenged People URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6339061/pdf/sensors-19-00130.pdf> (Last accessed: 13.12.2024).
31. Ultrasound Sensor Array with Arduino and Python URL: <https://github.com/Veilkrand/UltrasoundSensorArray> (Last accessed: 13.12.2024).
32. Smart cane URL: <https://projecthub.arduino.cc/saurabhrobotic/smart-cane-36dcdd> (Last accessed: 13.12.2024).

ДОДАТОК А

Апробація кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Національна академія наук України
Південний науковий центр НАН і МОН України
Інститут української археографії та джерелознавства
ім. М.С. Грушевського НАН України
Державний архів Миколаївської області
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України»
Донецький національний медичний університет
Technical University of Moldova (Moldova)
Jan Dlugosz University in Czestochowa (Poland)
Adam Mickiewicz University (Poland)
Leipzig University of Applied Sciences (Germany)
Rzeszow University of Technology (Poland)
Ca' Foscari University (Italy)



ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2024: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі

XXI Міжнародна наукова конференція

ТЕЗИ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ІНЖЕНЕРІЯ

20–23 червня 2024 р., м. Миколаїв, Україна

Миколаїв – 2024

Список використаних джерел

1. Мапа тривоги України. Карта повітряних тривог України. URL: <https://alerts.in.ua/> (дата звернення: 25.04.2024).
2. Espressif ESP32 Development Board - Developer Edition. Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits. URL: <https://www.adafruit.com/product/3269> (Last accessed: 24.04.2024).
3. Lady Ada. Adafruit MAX98357 I2S Class-D Mono Amp. Adafruit Learning System. URL: <https://learn.adafruit.com/adafruit-max98357-i2s-class-d-mono-amp/overview> (Last accessed: 01.05.2024).

УДК 004.58

Ремінна В. А.,
магістрантка

кафедри комп'ютерної інженерії,
ЧНУ імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

РОЗУМНА ТРОСТИНА ДЛЯ СЛІПИХ

Ця робота присвячена розробці розумної тростини для сліпих людей. Головною метою проекту є створення пристрою, який допоможе сліпим людям безпечно рухатися в навколишньому середовищі та уникати перешкод.

Розумна тростина включає в себе датчики відстані, які вимірюють відстань до перешкод та інформують користувача за допомогою звукового сигналу та вібрації. Для розробки розумної тростини було використано мікроконтролер Arduino Nano R3, датчик відстані HC-SR04, вібратор Prestigio MultiPhone 5453, активний п'єзодинамік (buzzer).

Програмний код був написаний на мові програмування Arduino.

В процесі написання роботи також було досліджено вже існуючі аналоги та їх порівняння. На основі отриманої інформації було виділено кілька проблем, таких як вартість та недостатній розвиток інфраструктури для їх використання. В подальшому, цю інформацію буде використано, для покращення пристрою.

Також дослідивши цю тему, було детально розписані умови до самої тростини та її обладнання.

Згодом було здійснено вибір елементів та порівняння самого обладнання. На основі основних характеристик, таких як: діапазон вимірювання, точність, інтерфейс зв'язку, швидкість вимірювання,

192

- Медвінський С. В.** Аналіз методів відслідковування напрямку погляду під час використання комп'ютерних систем..... 178
- Молочков В. М., Войтов В. М., Жеребкін С. Є., Лаврухін В. В., Ситніков В. С.** Застосування методів комп'ютерної інженерії при моделюванні та розробці алгоритмів розширеного пошуку груп користувачів у соціальних мережах..... 184
- Онацький В. В., Савінов В. Ю.** Розробка методу вирішення складності в децентралізованих комп'ютерних системах за допомогою смарт-контракту..... 187
- Петіков В. В., Салтовський Б.** Інтерактивне табло на адресних світлодіодах..... 190
- Ремінна В. А., Крайник Я. М.** Розумна тростина для сліпих..... 192
- Семенов В. В.** Сучасні САІР для проєктування друкованих плат..... 195
- Старченко В. В.** Система відеомоніторингу з низьким с поживанням електроенергії на базі мікропроцесорного модуля DFRobot FireBeetle 197
- Стрельбицький А. А., Журавська І. М.** Розвиток систем Інтернету речей для інтеграції з індустрією 4.0 та виробничими процесами..... 203
- Тогоєв О. Р.** Засоби LTE-сніфінгу 206
- Ухань Є. О.** Математична модель позиціонування WiFi-джаммерів для формування контрольованої зони у сегменті локальної мережі..... 209
- Євсюков Є. А., Дарнарук Є. С.** Використання системи «Розумний дім» на базі ESP8266 як частини системи безпеки оселі 212
- Жуланов М. О., Крайник Я. М.** Комплекс для моніторингу інтенсивності землетрусів та оцінки наслідків на базі сенсорів IoT..... 215
- Ісаєв Т. С., Кузьмін А. А.** Застосування комп'ютерного зору для раннього виявлення пожеж на сміттєзвалищах 218
- Павлова О. О., Рудик І. В.** Застосування машинного зору для обробки похибок сигналів тривоги отриманих відеозображень 221

247

ДОДАТОК Б

Код для Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS++.h>

int buttonpin = 6;
float lattitude, longitude;
float a[2];
float *p;
SoftwareSerial gpsSerial(2, 3); // GPS module RX, TX
SoftwareSerial gsmSerial(10, 11); // GSM module RX, TX
TinyGPSPlus gps;

const int trigPin1 = A1;
const int echoPin1 = A0;
long duration1;
int distance1;
const int trigPin2 = A2;
const int echoPin2 = A3;
long duration2;
int distance2;

unsigned long lastGpsUpdate = 0; // Last GPS update timestamp
unsigned long gpsInterval = 1000; // GPS update interval (ms)
unsigned long lastMessageSent = 0;
unsigned long messageInterval = 30000; // Message send interval (ms)

void setup() {
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(A4, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin2, OUTPUT);
  pinMode(echoPin2, INPUT);
  pinMode(buttonpin, INPUT_PULLUP);
  gpsSerial.begin(9600);
  gsmSerial.begin(9600);

  Serial.println("Tracking System Initialized...");
  gsmSerial.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0");
  delay(3000); // Allow GSM module to initialize
}

void loop() {
  // Distance sensors
  checkDistanceSensors();

  // Rain detection
  checkRainSensor();

  // Button press for emergency message
  if (digitalRead(buttonpin) == LOW) {
    Serial.println("Button Pressed");
    delay(2000);
    SendMessage();
  }

  // GPS data fetch and GSM communication every interval
```

```
if (millis() - lastGpsUpdate >= gpsInterval) {
  p = get_gps();
  lastGpsUpdate = millis();
}

// Handle incoming GSM commands
handleGsmCommands();
}

void checkDistanceSensors() {
  // Distance sensor 1
  long duration1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  distance1 = duration1 * 0.034 / 2;
  Serial.print("Distance1: ");
  Serial.println(distance1);

  // Distance sensor 2
  long duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
  distance2 = duration2 * 0.034 / 2;
  Serial.print("Distance2: ");
  Serial.println(distance2);

  // Handle obstacle detection
  if (distance1 <= 20 || distance2 <= 20) {
    activateAlert(1000);
  } else if (distance1 <= 15 || distance2 <= 15) {
    activateAlert(500);
  } else {
    digitalWrite(5, LOW); // Turn off the alert
  }
}

void activateAlert(int delayTime) {
  digitalWrite(5, HIGH);
  delay(delayTime);
  digitalWrite(5, LOW);
  delay(delayTime);
}

void checkRainSensor() {
  int sensorValue = digitalRead(A4);
  if (sensorValue == 1) {
    digitalWrite(5, HIGH);
    Serial.println("Rain Alert");
    delay(1500);
    digitalWrite(5, LOW);
  } else {
    digitalWrite(5, LOW);
  }
}

float* get_gps() {
  gpsSerial.listen();
  while (gpsSerial.available() > 0) {
    gps.encode(gpsSerial.read());
  }
  if (gps.location.isUpdated()) {
    lattitude = gps.location.lat();
    longitude = gps.location.lng();
    Serial.print("LAT=");
    Serial.println(lattitude, 6);
    Serial.print("LONG=");
  }
}
```

```
        Serial.println(longitude, 6);
        a[0] = latitude;
        a[1] = longitude;
    }
    return a;
}

void handleGsmCommands() {
    if (gsmSerial.available() > 0) {
        String command = gsmSerial.readStringUntil('\n');
        if (command.indexOf("Track") >= 0) {
            sendGsmLocation();
        }
    }
}

void sendGsmLocation() {
    if (millis() - lastMessageSent >= messageInterval) {
        gsmSerial.println("AT+CMGF=1");
        delay(1000);
        gsmSerial.println("AT+CMGS=\"+3809xxxxx\""); // Replace with your number
        delay(1000);
        p = get_gps();
        gsmSerial.print("Your Car Location: ");
        gsmSerial.print("LATITUDE=");
        gsmSerial.print(*p, 6);
        gsmSerial.print(",");
        gsmSerial.print("LONGITUDE=");
        gsmSerial.print(*(p + 1), 6);
        gsmSerial.println((char)26); // Send message
        delay(1000);
        lastMessageSent = millis();
    }
}

void SendMessage() {
    gsmSerial.println("AT+CMGF=1");
    delay(1000);
    gsmSerial.println("AT+CMGS=\"+3809xxxxxx\""); // Replace with your number
    delay(1000);
    gsmSerial.println("I Am In Problem, Please Help Me");
    delay(1000);
    p = get_gps();
    gsmSerial.print("Position is: LATITUDE=");
    gsmSerial.print(*p, 6);
    gsmSerial.print(",");
    gsmSerial.print("LONGITUDE=");
    gsmSerial.print(*(p + 1), 6);
    gsmSerial.println((char)26); // Send message
    delay(1000);
}
```

ДОДАТОК В

MATLAB

Розташування датчиків, оцінка напрямку прибуття (DOA)

```
% Параметри системи
c = 343; % Швидкість звуку (м/с)
f = 40e3; % Частота ультразвукового сигналу (Гц)
lambda = c / f; % Довжина хвилі (м)
d = 0.05; % Відстань між датчиками (м)
theta = 30; % Кут прибуття сигналу (градуси)
fs = 1e6; % Частота дискретизації (Гц)

% Створення масиву датчиків
array = phased.ULA('NumElements', 2, 'ElementSpacing', d);

% Візуалізація геометрії масиву
figure;
viewArray(array, 'ShowNormals', true);
title('Розташування датчиків');

% Генерація сигналу
t = (0:1/fs:1e-3)'; % Час (с)
signal = sin(2 * pi * f * t); % Ультразвуковий сигнал

% Розрахунок затримки сигналу для кожного датчика
tau = (d * sind(theta)) / c; % Затримка (с)
samples_delay = round(tau * fs); % Затримка у кількості відліків

% Генерація сигналів для двох датчиків
received_signal = zeros(length(t), 2); % Ініціалізація
received_signal(:, 1) = signal; % Сигнал на першому датчику
received_signal(:, 2) = [zeros(samples_delay, 1); signal(1:end-samples_delay)]; % Сигнал
на другому датчику

% Додавання шуму
noise = 0.01 * randn(size(received_signal)); % Білий шум
received_signal = received_signal + noise;

% Оцінка кута прибуття (DOA) за допомогою MUSIC
doa_estimator = phased.MUSICEstimator('SensorArray', array, ...
    'OperatingFrequency', f, 'NumSignalsSource', 'Property', ...
    'NumSignals', 1, 'ScanAngles', -90:0.1:90);

% Оцінений кут
angles = doa_estimator(received_signal);
%disp(['Оцінений кут прибуття: ', num2str(angles), ' градусів']);

% Візуалізація
figure;
plotSpectrum(doa_estimator);
title('Оцінка напрямку прибуття (DOA)');
```

Сигнали на датчиках

```
% Параметри системи
c = 343; % Швидкість звуку (м/с)
f = 40e3; % Частота ультразвукового сигналу (Гц)
lambda = c / f; % Довжина хвилі (м)
```

```
d = 0.05; % Відстань між датчиками (м)
theta = 30; % Кут прибуття сигналу (градуси)

% Обчислення різниці часу приходу
tau = d * sind(theta) / c;

% Генерація сигналу
t = 0:1/f:1e-3; % Час (с)
signal = sin(2 * pi * f * t); % Ультразвуковий сигнал
delayed_signal = sin(2 * pi * f * (t - tau)); % Затриманий сигнал

% Візуалізація сигналів
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t, signal);
title('Сигнал на першому датчику');
xlabel('Час (с)');
ylabel('Амплітуда');

subplot(2,1,2);
plot(t, delayed_signal);
title('Сигнал на другому датчику');
xlabel('Час (с)');
ylabel('Амплітуда');

% Оцінка кута прибуття (DOA)
fs = f; % Частота дискретизації
cross_corr = xcorr(signal, delayed_signal); % Крос-кореляція
[~, lag] = max(cross_corr);
time_delay_est = lag / fs; % Оцінена затримка
theta_est = asind(time_delay_est * c / d); % Оцінений кут

disp(['Оцінений кут прибуття: ', num2str(theta_est), ' градусів']);
```

Залежність амплітуди від положення перешкоди

```
% Параметри сигналу
f = 1000; % Частота сигналу в Гц
Fs = 10000; % Частота дискретизації
t = 0:1/Fs:0.01; % Часова шкала
c = 343; % Швидкість звуку в повітрі, м/с
d = 0.05; % Відстань між датчиками
theta = 30; % Початковий кут прибуття сигналу

% Генерація чистого сигналу
signal1 = sin(2 * pi * f * t);

% Переміщення перешкоди
obstacle_positions = linspace(-0.2, 0.2, 100);

% Підготовка графіків
figure;
subplot(2,1,1);
hold on;
xlabel('Позиція перешкоди (м)');
ylabel('Амплітуда кореляції');
title('Залежність амплітуди від положення перешкоди');

subplot(2,1,2);
hold on;
xlabel('Позиція перешкоди (м)');
```

```
ylabel('Оцінений кут (градуси)');  
title('Оцінка напрямку сигналу (DOA)');  
  
% Симуляція переміщення перешкоди  
for pos = obstacle_positions  
  
    % Обчислення затримки  
    tau = (d * sind(theta)) / c;  
  
    % Моделювання перешкоди як функції відстані  
    distance_factor = max(0, 1 - abs(pos) / d);  
  
    % Генерація сигналу з урахуванням перешкоди  
    signal2 = distance_factor * delayseq(signal1', tau)';  
  
    % Перехресна кореляція  
    [xcorr_val, lag] = xcorr(signal2, signal1);  
    [~, idx] = max(abs(xcorr_val));  
    estimated_tau = lag(idx) / Fs;  
  
    % Обчислення оціненого кута  
    estimated_theta = asind((estimated_tau * c) / d);  
  
    % Оновлення графіків  
    subplot(2,1,1);  
    plot(pos, max(abs(xcorr_val)), 'bo');  
  
    subplot(2,1,2);  
    plot(pos, estimated_theta, 'ro');  
  
    drawnow;  
end
```