

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПрАТ «ПРИВАТНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД «ЗАПОРІЗЬКИЙ  
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

Кафедра Інформаційних технологій

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНА

Зав.кафедрою \_\_\_\_\_

д.е.н., доцент Левицький С.І.

МАГІСТЕРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА  
РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРИ  
ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ

Виконав  
ст. гр. КІ-111м

\_\_\_\_\_

(підпис)

А.М. Земляной

Керівник  
к.т.н.

\_\_\_\_\_

(підпис)

О.А. Хараджян

Запоріжжя  
2023

ПРАТ «ПВНЗ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

Кафедра Інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедрою  
д.е.н., доцент Левицький С.І.

ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Студенту гр. КІ – 111м, спеціальності «Комп'ютерна інженерія»

Земляной Артем Михайлович

1.Тема: Розробка системи орієнтування у просторі людей з вадами зору.

затверджена наказом по інституту «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р № \_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р

3. Перелік питань, що підлягають розробці:

1. Визначення категорії осіб з порушеннями зору.
2. Аналіз орієнтації та мобільності.
3. Відмінності і подібності навігації за допомогою зору і без нього.
4. Просторове сприйняття людей з вадами зору.
5. Аналіз системи для допомоги орієнтування у просторі людей з вадами зору.

6. Ультразвукові датчики, як один із способів допомоги орієнтування у просторі.
7. Розробка алгоритму роботи системи.
8. Розробка програми для мікроконтролера.
9. Тестування системи.

Дата видачі завдання: 03.09.2022 р.

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

А.М. Земляной

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

О.А. Хараджян

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 81 стор., 9 рис., 4 таблиці, 1 додаток, 15 використаних джерел.

Об'єкт роботи: системи орієнтації в просторі.

Предмет роботи: системи орієнтації в просторі на основі ультразвукових датчиків.

Мета роботи: розробка системи на основі ультразвукових датчиків для допомоги при орієнтації в просторі людей з вадами зору.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання: визначення категорії осіб з порушеннями зору; аналіз орієнтації та мобільності; відмінності і подібності навігації за допомогою зору і без нього; просторове сприйняття людей з вадами зору; аналіз системи для допомоги орієнтування у просторі людей з вадами зору; ультразвукові датчики, як один із способів допомоги орієнтування у просторі; розробка алгоритму роботи системи; розробка програми для мікроконтролера; тестування системи.

В результаті дослідження запропонований нами пристрій показав хороші результати при скануванні простору в русі в лабораторних умовах, але найбільш ефективним було б використовувати кілька типів вихідного сигналу водночас. Додатковим інформаційним каналом для людей з вадами зору при пересуванні може бути джерело вібрації в рукоятці тростини. У компонуванні системи допомоги людям з вадами зору в нашому випадку використовуються два ультразвукових датчика HC-SR04, які забезпечують працездатність системи при виявленні перешкод, таких, наприклад, як сходи угору або униз.

ВАДИ ЗОРУ, ВІБРАЦІЙНІ ДАТЧИКИ, МОБІЛЬНІСТЬ, НАВІГАЦІЯ, ОРІЄНТАЦІЯ, ПРОСТОРОВЕ СПРИЙНЯТТЯ, СЕНСОР, СКАНУВАННЯ, УЛЬТРАЗВУКОВІ ДАТЧИКИ

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП.....	7
Розділ 1 КАТЕГОРІЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ ТА ЇХ ПРОСТОРОВЕ СПРИЙНЯТТЯ.....	9
1.1. Визначення категорії осіб з порушеннями зору.....	9
1.2. Орієнтація та мобільність.....	14
1.3. Моделі просторових здібностей людей з вадами зору.....	15
1.4. Відмінності і подібності навігації за допомогою зору і без нього...18	
1.5. Просторове сприйняття людей з вадами зору.....	21
Розділ 2 ЗАСОБИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРІ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ.....	28
2.1. Технологія доступу до інформації для поліпшення просторового сприйняття.....	28
2.2. Системи для допомоги орієнтування у просторі людей з вадами зору.....	30
2.3. Ультразвукові датчики як один із способів допомоги орієнтування у просторі.....	45
Розділ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРІ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ.....	50
3.1. Інтегроване середовище розробки Arduino.....	50
3.2. Апаратні компоненти системи.....	52
3.3. Програмна та фізична реалізація пристрою.....	64
ВИСНОВКИ.....	70
РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	72
Перелік ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Слово / словосполучення	Скорочення	Умови використання
E		
Електронні засоби орієнтації	ЕЗО	
I		
Інфрачервоний	ІЧ	
G		
Geographic Information System	GIS	
Global Navigation Satellite System	GNSS	
Global Positioning System	GPS	
Global System for Mobile Communications	GSM	
I		
Integrated Development Environment	IDE	
Inertial measurement unit	IMU	
R		
Radio frequency identification	RFID	
S		
Simultaneous localization and mapping	SLAM	
U		
Universal asynchronous receiver/transmitter	UART	

## ВСТУП

Актуальність даної теми полягає в тому, що на даний момент часу відсутній оптимальний, збалансований з точки зору співвідношення ціни до якості прилад, яких би зміг допомогти людям з вадами зору ліпше орієнтуватись у просторі. Найпростішими і найдоступнішими навігаційними інструментами зараз, як і чимало десятиліть тому, залишаються навчені собаки або тростина. Хоча ці інструменти дуже популярні, вони не можуть забезпечити сліпих людей всією інформацією та можливостями для безпечного пересування, які доступні людям із зором. Враховуючи загальну тенденцію до погіршення зору в будь-якому віці в наш час, як повідомляє ВОЗ, існує нагальна необхідність приділення уваги як до теоретичних досліджень відносно створення системи для допомоги орієнтування у просторі людей з вадами зору, так і звичайно до практичних розробок.

Об'єкт роботи: системи орієнтації в просторі.

Предмет роботи: системи орієнтації в просторі на основі ультразвукових датчиків.

Мета роботи: розробка системи на основі ультразвукових датчиків для допомоги при орієнтації в просторі людей з вадами зору.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- визначення категорії осіб з порушеннями зору;
- аналіз орієнтації та мобільності;
- відмінності і подібності навігації за допомогою зору і без нього;
- просторове сприйняття людей з вадами зору;
- аналіз системи для допомоги орієнтування у просторі людей з вадами зору;
- ультразвукові датчики, як один із способів допомоги орієнтування у просторі;
- розробка алгоритму роботи системи;

- розробка прогграми для мікроконтролеру;
- тестування системи.



## РОЗДІЛ 1

### КАТЕГОРІЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ ТА ЇХ ПРОСТОРОВЕ СПРИЙНЯТТЯ

#### 1.1. Визначення категорії осіб з порушеннями зору

Для більшості людей в нашому суспільстві незалежна мобільність - це те, без чого вони не можуть уявити своє життя, як особисте, так і професійне. В результаті ми асоціюємо незалежну мобільність з орієнтацією в просторі, яка дуже часто залежить від наших органів чуття. Як тільки один з них слабшає або навіть повністю відключається, виникають труднощі, і це почуття повинно бути компенсовано як іншими почуттями, так і компенсаторними засобами. Особи з важкими порушеннями зору представляють одну з груп, чиє просторове сприйняття за допомогою зору обмежено або відключено. Тому в наступних підрозділах ми опишемо не тільки категорії осіб з важкими порушеннями зору, а й розвиток самостійної мобільності та просторової орієнтації в осіб з важкими порушеннями зору.

У цій роботі термін «порушення зору» включає будь-який стан, який перешкоджає здатності людини виконувати типові повсякденні дії через втрату зору. Оскільки метою цієї роботи є представлення загального огляду допоміжних технологій навігації та орієнтації для людей з порушеннями зору, слабозорість не відділяється від повної сліпоти, і тому ці терміни використовуються синонімічно.

Особи з порушеннями зору являють собою широку категорію осіб зі станом, яке навіть після максимально можливої корекції (фармакологічної, хірургічної або оптичної) викликає труднощі в їх повсякденній діяльності.

В класичному розумінні особи з важкими порушеннями зору класифікуються на основі наступних критеріїв - час виникнення порушення або сліпоти (пренатальний, перинатальний, післяпологовий час виникнення); тривалість (короткострокове, довгострокове, рецидивуюче захворювання або

порушення); вік людей з порушенням зору (ранній вік, дошкільний вік, шкільний вік, доросле життя, літній вік); причини порушення зору (орган або функціональний дефект); тип дефекту зору (втрата гостроти зору, втрата поля зору, втрата здатності сприймати весь колірний спектр, втрата рівня здатності обробляти візуальну інформацію, окорухові труднощі); рівень порушення зору (сліпі, з загальними порушеннями зору; особи з порушенням бінокулярного зору).

Індивідуальні категорії осіб з порушеннями зору визначені таким чином, щоб кожній з певних груп могла бути надана оптимальна підтримка і адекватна мережа послуг, спрямованих на максимально можливий рівень включення індивіда в усі сфери професійного, соціального і культурного життя, в залежності від їх індивідуальних потреб і здібностей. Офтальмологічний погляд на категоризацію осіб з порушеннями зору не відображає деякі з особливостей і спеціалізується на визначеннях, заснованих на критеріях рівнів порушення центральної гостроти зору і рівня втрати поля зору, або представляє детальну класифікацію захворювань ока і зорової системи, які не обов'язково досягають рівня порушення зору як такого.

Для більшості зрячих людей переміщення з місця на місце є фундаментальним компонентом повсякденного життя, виконуваним без особливих свідомих роздумів або активної уваги [9, с. 62]. Якщо запитати людей, як вони орієнтуються, яку інформацію вони використовують для підтримки своєї поведінки, або наслідки того, що станеться, якщо цю здатність відібрати, переважна більшість ніколи не замислювалася про подібні проблеми і не мають безпосередньої відповіді.

При когнітивному роздумі більшість людей вказують на залежність від візуального сприйняття, хоча вони рідко визначають, які візуальні сигнали вони використовують. Зір є настільки невід'ємним компонентом того, як більшість людей сприймають навколишній світ і пересуваються по ньому, що, якщо ми не обговорюємо конкретні ситуації, наприклад, навігацію в печерах або вночі, або зір конкретних тварин, наприклад, кажана або крота, процес навігації є

синонімом візуальної навігації. Ця наївна думка відповідає домінуючому напрямку досліджень, оскільки переважна більшість досліджень просторового пізнання мають справу з баченням як засобом доступу, уявного відображення і дії в світі. Цей візуоцентричний фокус не позбавлений достоїнств, враховуючи тонке налаштування зорової системи для забезпечення периферичного доступу до великої ділянки навколишнього середовища через широкосмуговий «канал» до мозку.

Зрештою, важливо пам'ятати, що навігація без зору (або з ослабленим) не тільки можлива, але й ефективно виконується мільйонами незрячих людей щодня. Дійсно, є безліч прикладів сліпих людей або людей з вадами зору, які роблять дивовижні просторові «подвиги»; наприклад, сходження на Еверест (Вейхенмайер в 2001 році), самостійний похід по Аппалачській стежці (Ірвін і Маккасланд в 1992 році), змагання зі швидкісного катання на лижах (Курсон в 2007 році) і безліч інших видів діяльності, в яких навіть більшість зрячих людей ніколи не беруть участь.

У літературі було багато суперечок щодо того, чи є деякі просторові моделі поведінки більш складними та менш точними для сліпих навігаторів у порівнянні з їх зрячими однолітками. Хоча часто зустрічаються думки про те, що інші органи чуття сліпих людей загострюються, що призводить до надлюдського слуху або дотику, але це в значній мірі хибно, і переважає думка про погіршення просторових характеристик, заснована на невізуальному сприйнятті. Фундаментальний аргумент, висунутий тут, полягає в тому, що значні «відмінності» в просторових здібностях, часто приписувані цій демографічній групі, помилково приписуються втраті зору, а не реальним проблемам: недостатньому доступу до інформації, критично важливої для навігації, поганому навчанню просторовим навичкам і надмірному захисту культурних цінностей.

Центральна теза цього розділу полягає в тому, що для того, щоб вийти за рамки більшої частини останніх 70 років досліджень просторового пізнання сліпих людей або людей з вадами зору, нам необхідно прийняти зміну

парадигми. Замість того, щоб концептуалізувати сліпоту як втрату зору, нам потрібно думати про втрату зору як про використання іншого простору станів невізуальної (або погіршеної візуальної) інформації.

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) повідомляє, що, за оцінками, 285 мільйонів людей у всьому світі страждають порушеннями зору: 39 мільйонів - сліпі і 246 мільйонів страждають від слабкого зору. Із загальної чисельності населення з порушеннями зору близько 90% таких людей в світі проживають в країнах, що розвиваються, а 82% людей, що живуть зі сліпотою - це люди у віці 50 років і старше. На жаль, очікується, що в найближчі десятиліття цей відсоток збільшиться. Порушення зору має значний вплив на якість життя людей, включаючи їх здатність працювати і розвивати особисті відносини. Майже половина (48%) людей з вадами зору відчувають себе «помірно» або «повністю» відрізненими від оточуючих їх людей і речей [5, с. 513].

Згідно з міжнародною класифікацією хвороб (ICD -10, Update and Revision 2006) існує чотири рівні зорової функції: нормальний зір, помірне порушення зору, тяжке порушення зору та сліпота. Помірне порушення зору в поєднанні з важким порушенням зору може бути згруповано під терміном «слабозорість»; слабозорість в поєднанні зі сліпотою являє собою всі форми порушення зору.

Щоб подолати або зменшити труднощі, пов'язані з порушеннями зору, було проведено чимало досліджень по створенню допоміжних систем. Потреба в допоміжних технологіях вже давно є постійною в повсякденному житті людей з порушеннями зору і залишиться такою в наступні роки. Існують різні визначення допоміжних технологій в цілому. Однак загальним для всіх них є концепція предмета або частини обладнання, яка дозволяє людям з обмеженими можливостями насолоджуватися повним включенням та інтеграцією в суспільство.

Традиційні допоміжні технології для сліпих включають білі тростини, собак-поводирів, програми читання з екрану і так далі. Однак дальність

виявлення білих тростин дуже мала (не більше 1,5 метра), і, отже, люди з порушеннями зору можуть відразу виявити довколишні перешкоди тільки на рівні землі. Собаки-поводирі також використовуються для навігації до місця призначення, уникаючи небезпек, з якими такі люди можуть зіткнутися на своєму шляху. Однак важко забезпечити достатню кількість собак-поводирів через тривалі періоди часу, необхідні для їх навчання, а також високі витрати, пов'язані з їх навчанням. Крім того, людям з порушеннями зору також досить важко належним чином піклуватися про живих собак [14, с. 741].

Сучасні мобільні допоміжні технології стають все більш дискретними і включають (або поставляються за допомогою) широкий спектр мобільних комп'ютеризованих пристроїв, включаючи всюдиущі технології, такі як мобільні телефони. Такі дискретні технології можуть допомогти пом'якшити культурну стигматизацію, пов'язану з більш традиційними (і помітними) допоміжними пристроями.

Порушення зору накладає безліч обмежень і специфічних вимог на мобільність людини. Загальна мета цієї роботи полягає в тому, щоб розглянути допоміжні технології, які були запропоновані дослідниками в останні роки для усунення обмежень мобільності користувачів, що виникають в результаті порушення зору. Ця робота не фокусується на аналізі та описі окремих систем. Замість цього, ми розглянемо, як технологія використовувалася в останні роки для індивідуального вирішення різних завдань, пов'язаних з допоміжною навігацією людини, і як компоненти традиційних навігаційних систем можуть бути адаптовані з урахуванням обмежень і вимог користувачів з порушеннями зору. Навігація людини, як правило, вимагає оцінки місця розташування користувача, зв'язку з його контекстом і знаходження шляху до певного пункту призначення.

## 1.2. Орієнтація та мобільність

Більшість зрячих людей ніколи не замислювалися про те, як вони уникають перешкод, ходять по прямій або розпізнають орієнтири. Це не те, чого вони свідомо навчилися, це просто те, що вони роблять. Різниця між орієнтацією і мобільністю, що відноситься до навігаційної поведінки, в літературі не зафіксовано, але, в цілому, мобільність відноситься до виявлення і уникнення перешкод на шляху руху. Навчання мобільності також включає в себе навчання таким речам, як знаходження бордюру і визначення відповідного місця для переходу вулиці, а також знання геометрії перехрестя, стану червоного та зеленого сигналу на основі аналізу транспортного потоку і обізнаності про довколишні орієнтири. Таким чином, доступ до повної інформації про мобільність включатиме знання, що стосуються прямого шляху пересування людини, а також виявлення та інтерпретацію егоцентричної інформації, що відноситься до її безпосереднього оточення під час подорожі.

Людина може володіти хорошими навичками мобільності, але вона також повинна бути в змозі знати своє поточне становище і напрямок в навколишньому середовищі щодо своєї мети і ефективно оновлювати цю інформацію під час подорожі. Це називається навичками орієнтації, і їх оволодіння дозволяє навігатору виконувати більш складні просторові дії, такі як інтеграція місцевої інформації в глобальне розуміння конфігурації розташування (наприклад, когнітивна карта), визначення обхідних шляхів або коротких шляхів і переорієнтація в тому разі, якщо людина заблукала. Ці навички також мають вирішальне значення для точного визначення руху, який включає в себе планування та визначення маршрутів у навколишньому середовищі, навіть якщо ці маршрути раніше не були пройдені.

Завдання мобільності для сліпих людей, такі як обхід перешкод, можуть бути виконані дуже ефективно з використанням традиційних засобів пересування, таких як довга тростина або собака-поводир. Однак ці допоміжні засоби передають інформацію тільки про об'єкти на прямому шляху руху і не

надають користувачеві значущої інформації про навколишнє середовище. Це в деякій мірі аналогічно тому, що міг би сприйняти зрячий індивід, якби він йшов в густому тумані, де видимість була зменшена до пари метрів в радіусі. У той час як довга тростина або собака-поводир надзвичайно ефективні для виявлення, наприклад, відкритих дверей, що ведуть в хол, ці допоміжні засоби не допомагають виявити або прочитати табличку з назвою приміщення, описати розмір приміщення і геометрію планування або відстежувати власне положення до конкретного об'єкту під час руху. Дійсно, отримати доступ до цього типу інформації про навколишнє середовище часто дуже важко без зору, однак її доступність надзвичайно важлива для ефективного прийняття рішень, вивчення навколишнього середовища в цілому, оновлення простору і розробки когнітивних карт.

### 1.3. Моделі просторових здібностей людей з вадами зору

Більшість моделей просторового розвитку сліпих людей або людей з тими чи іншими порушеннями зору виходять з припущення, що, принаймні на початковому етапі, наявність зору дає зрячим людям перевагу. Де моделі розходяться, так це в тривалості цієї переваги, ролі досвіду і в тому, чи може невізуальне або зменшене візуальне сприйняття в кінцевому підсумку призвести до того ж рівня просторової поведінки, який можливий при візуальному доступі до навколишнього середовища. Первісне формулювання цих моделей було розроблене Флетчером в його роботі 1980 року і лежить в основі (явно або неявно) більшості досліджень просторового пізнання незрячих людей. Дослідник виділяє теорії дефіциту, неефективності та відмінності [6, с. 296]. Нещодавно ці теорії були розширені та зараз включають також кумулятивну, стійку та конвергентну моделі.

Відповідно до дефіцитної (або кумулятивної) моделі стверджується, що візуальний досвід відіграє вирішальну роль для точного просторового навчання, для розвитку просторових уявлень і для керівництва просторовою

поведінкою. Крайня інтерпретація цієї точки зору, висунута в роботі Фон Сендена в 1932 році, який стверджує, що в цьому процесі необхідний зір і що навіть базові просторові поняття неможливі у людей, які були сліпі від народження. Як буде обговорюватися протягом всієї цієї глави, існує безліч досліджень, в яких демонструється точне складання когнітивних карт та інша складна просторова поведінка у людей з порушеннями зору, у тому числі сліпих від народження, що робить цю теорію цікавою, але однозначно не точною.

Існують і інші інтерпретації подібної точки зору. Деякі вчені стверджують, що накопичення просторових знань відбувається повільніше і менш точно у сліпих людей в порівнянні зі зрячими через відсутність візуального досвіду. Таким чином, з точки зору дефіцитної теорії, хоча сліпі люди можуть з часом набувати просторові знання завдяки невізуальному сприйняттю, це відбувається значно повільніше та такий досвід приносить їм менше користі, ніж зрячим людям. Як результат, нерівність між сліпими та зрячими людьми повинна збільшуватися з часом залежно від більшого досвіду. Докази, що підтверджують цю точку зору, повинні були б показати, що просторове навчання і досвід мають різний вплив на сліпих і зрячих людей, що не підтверджується загальними фактами.

З точки зору моделі неефективності (або стійкості) будь-який початковий дефіцит досвіду або можливостей, викликаний відсутністю (або зниженням) зору, зберігається протягом усього життя постійним чином, оскільки досвід, заснований на невізуальному сприйнятті, за своєю суттю менш точний і ефективний для підтримки просторового навчання і поведінки, ніж це можливо при візуальному сприйнятті. Як результат, ця точка зору передбачає, що люди з вродженою сліпотою завжди будуть мати дефіцит досвіду або можливостей у порівнянні з людьми з набутою сліпотою або зрячими індивідуумами [6, с. 297].

Підтримка цієї теорії і критична роль візуального досвіду в розвитку просторових знань використовувалася для пояснення результатів вродженої і ранньої сліпоти людей, які, як група, як правило, демонструють гірші



результати в рішенні просторових завдань, в порівнянні з людьми з пізньою сліпотою [6, с. 298]. Хоча ця точка зору визнає, що сліпі люди можуть виконувати просторові завдання досить точно, досвід показує, що їх продуктивність завжди буде гіршою, ніж у їхніх зрячих однолітків при виконанні тих же завдань. Більше того, ця нерівність буде зберігатися протягом усього життя, навіть із збільшенням досвіду. Відзначається, що більшість доказів, що використовуються для підтримки цієї теорії, є помилковими, оскільки вони використовують відмінності в продуктивності, виявлені в даний момент часу, наприклад коли проводився експеримент, але потім «припускається» без емпіричної перевірки, що будь-які спостережувані відмінності постійні в часі. На жаль, це припущення не перевіряється в різні часові епохи.

Результати, що показують еквівалентну або переважну продуктивність сліпих від народження людей у порівнянні з зрячими людьми при виконанні одних і тих же просторових завдань, стали б найбільш переконливим доказом проти цієї теорії. Цей результат спостерігався в дослідженні Джудіса, Бетті та Луміса в їх роботі 2011 року, де було виявлено оновлену функціонально еквівалентну продуктивність між зрячими та сліпими від народження людьми після вивчення карт маршрутів на дотик [6, с. 298].

Дійсно, навіть деякі дослідження, які використовувалися для підтримки цієї точки зору, включали учасників з вродженою або ранньою сліпотою, які демонстрували чудову просторову поведінку в порівнянні з учасниками з пізньою сліпотою або порушеннями зору [6, с. 299]. Хоча вроджена, повна сліпота або сліпота, що виникає в ранньому віці, можуть призвести до великих труднощів при виконанні певних просторових завдань, той факт, що це не категоричний результат і що ця група може демонструвати відмінні просторові навички, свідчить не на користь моделі неефективності [6, с. 299].

Модель відмінності (або конвергентна) полягає в тому, що, хоча люди з порушенням зору знаходяться в більш складному становищі в порівнянні зі зрячими людьми, будь-яка спостережувана нерівність зменшується в

залежності від збільшення досвіду [6, с. 299]. Ця точка зору передбачає, що такі люди можуть в кінцевому рахунку придбати аналогічні просторові компетенції і досягти аналогічного рівня продуктивності, що і зрячі, хоча і повільніше і з різних джерел інформації. Ключовим фактором тут є роль досвіду, а не втрата зору, але як це проявляється або вимірюється, висловити досить складно.

Деякі вчені описують «досвід» осягнення різних сценаріїв, включаючи повторне відкриття відомого середовища, повторення певної діяльності або поведінки і загальний розвиток просторових здібностей, які відбуваються в залежності від віку [6, с. 300]. Важко стверджувати, що існує остаточна підтримка теорії відмінностей або точно охарактеризувати роль досвіду в просторових здібностях, оскільки на теперішній момент не було проведено точних та довгострокових досліджень відносно даної теорії [6, с. 301].

#### 1.4. Відмінності і подібності навігації за допомогою зору і без нього

Якщо інші просторові вхідні дані можуть передавати ту ж просторову інформацію, що і зір, то складно сказати чому до цих пір так багато суперечок про точність просторової поведінки сліпих людей в порівнянні зі зрячими. Відповідь полягає в типі і характері просторової інформації, яка важлива для невізуального сприйняття, і в тому, як ця інформація використовується і представляється для підтримки просторової поведінки. У цьому розділі будуть розглянуті дві основні відмінності в просторовому сприйнятті між зрячими та, відповідно сліпими людьми (або людьми з порушеннями зору):

- використання інформації про навколишнє середовище, яка відрізняється своєю доступністю, надійністю і узгодженістю між візуальним і невізуальним сприйняттям;
- додаткова вимога використання когнітивних ресурсів, що вимагають зусиль і опосередкованих увагою, необхідних для навігації наосліп, в

порівнянні з несвідомими і автоматичними процесами сприйняття, що лежать в основі навігації із зором [8, с. 142].

Щоб повною мірою оцінити навігацію сліпих індивідів або розробити ефективну технологію невізуального доступу до інформації, що підтримує це починання, необхідно ретельно враховувати обидва ці фактори.

Хоча зрячі люди та люди з зоровими обмеженнями можуть мати однакові навігаційні цілі, і багато з них можуть виконувати ті ж завдання так само швидко і точно, як і зрячі, сенсорні сигнали та методи обробки інформації, що використовуються для виконання цих завдань, ймовірно, сильно відрізняються між двома групами. Як згадувалося на початку глави, більшість зрячих людей не займаються самоаналізом процесу навігації, вони просто покладаються на точний візуально керований сенсомоторний зв'язок для переміщення в просторі.

Хоча люди також використовують внутрішні сигнали прискорення, наприклад інтеграцію шляхів, а також доступ до їх когнітивних карт для планування маршрутів, оновлення місця розташування в більш невидимому середовищі та орієнтації в місцях, недоступних з їх поточного огляду. Основна інформація, що підтримує ці завдання, отримана через візуальний доступ до навколишнього середовища [8, с. 143]. Причина проста: зір забезпечує одночасний і швидкий доступ до високоточної інформації про відстань і напрямок щодо 3D-положення і взаєморозташування як найближчих, так і віддалених видимих орієнтирів, дозволяє сприймати геометричну інформацію про просторову структуру, забезпечує легке розпізнавання об'єктів у великому полі зору і забезпечує доступ до точних сигналів руху про зміну відносин «я - об'єкт» і «об'єкт - об'єкт», що виникають під час навігації. В принципі, багато з цих сигналів можуть бути передані за допомогою інших органів чуття, але насправді велика частина цієї важливої для навігації інформації неоднозначна, ненадійно вказана або просто недоступна з невізуальних джерел доступу до навколишнього середовища. Наприклад, слух і дотик передають набагато

менше інформації ніж зір про рух, відстань і напрямок від себе до об'єкта, міжоб'єктні відносини і глобальну просторову структуру.

У порівнянні із зором, тактильне сприйняття забезпечує доступ тільки до найближчої інформації в невеликому полі зору. Воно обмежене тим, що можна відчутти на відстані витягнутої руки (можливо, трішки розширюється за допомогою довгої тростини), а кодування інформації засноване на обмеженій кількості точок дотику. В результаті багато об'єктів уздовж траєкторії руху занадто великі, занадто віддалені від траєкторії або занадто небезпечні для дотику. Для порівняння меж обробки тактильної інформації було оцінено, що сенсорна пропускна здатність зору в 500 разів більше, ніж у дотику [8, с. 133].

Слухове сприйняття забезпечує більш дистальний доступ до інформації про навколишнє середовище, ніж дотик, і він спрямований в різні боки, що дає переваги в якості «попереджувального» почуття, але ця інформація часто минула і забезпечує меншу просторову точність у визначенні відстані і напрямку об'єктів в порівнянні із зором.

З огляду на ненадійність і недостатню деталізацію джерел невізуального зондування, які люди з порушеннями зору використовують в якості основного способу доступу до навколишнього середовища, в поєднанні з великими зусиллями, необхідними для інтеграції цієї інформації зі складними сенсомоторними ситуаціями, що лежать в основі ефективної навігації, не дивно, що сліпі люди часто демонструють більш низькі і непостійні характеристики, аніж зрячі. Незалежно від ступеня цієї мінливості, відомі відмінності в доступності просторової інформації між зором і спорідненими йому органами чуття говорять про нагальну необхідність подальших досліджень і розробок технологій мультимодального доступу до інформації, які забезпечують додаткові та цілісні сигнали навколишнього середовища для допомоги людям з обмеженим зором [8, с. 134].

Ще однією важливою відмінністю між навігацією сліпих та зрячих людей є використання когнітивних стратегій у порівнянні з інформацією сприйняття. У той час як сенсомоторний зв'язок бачення перешкоди на шляху руху і

уникнення його, як правило, є неусвідомленим процесом для зрячого навігатора, сприйняття сліпою людиною тієї ж перешкоди відбувається на багатовеличчій відстані, вимагає активного виявлення і уникнення і, як правило, включає в себе більш обдуманий і необхідний зусиль когнітивний процес. Ця когнітивно-перцептивна відмінність особливо очевидна при оновленні простору. Наприклад, зрячий навігатор може безпосередньо відстежувати свій рух щодо об'єктів навколишнього середовища в автоматичному режимі і може використовувати віддалені орієнтири в якості орієнтира для керівництва діями. На відміну від цього, сліпі індивіди більше залежать від ближніх сигналів та щохвилинного моніторингу саморуху, що означає, що оновлення простору без зору вимагає значно більше ресурсів уваги та когнітивних зусиль, ніж при виконанні за допомогою зору.

Це додаткове когнітивне зусилля неминуче сприяє посиленню стресу, пов'язаного з рухом в цілому, і зниженню незалежності [1, с. 787]. Замість того, щоб думати про прогулянку як про приємний спосіб дозвілля, для сліпої людини прогулянка вимагає постійного усвідомлення навколишнього середовища, контролю уваги і вирішення просторових проблем.

### 1.5. Просторове сприйняття людей з вадами зору

Існує ряд досить послідовних висновків, які слід виділити з літератури про просторове пізнання і навігацію, в яких беруть участь люди з порушеннями зору. В цілому, якщо ця демографічна група стикається з проблемами, вони пов'язані з просторовим висновком (наприклад, визначення найкоротших шляхів, обхідних шляхів, відстаней по прямій між орієнтирами поза маршрутом і т.д.) або вивченням глобальної структури і конфігурації розташування в навколишньому середовищі (наприклад, інформація, необхідна для розробки точної когнітивної карти). Цей результат має інтуїтивний сенс: якщо ви не можете бачити взаємозв'язки між об'єктами або орієнтирами, або як ваше місце

розташування на маршруті співвідноситься з іншим місцем розташування, важко зробити надійні просторові висновки або створити точне глобальне уявлення простору [15, с. 22]. Поєднання проксимальних, послідовних і невизначених просторових сигналів від невізуальних вхідних даних з підвищеною залежністю від зусиль просторово-когнітивних процесів, також призвели до того, що велика кількість сліпих людей погано розуміє деякі ключові просторові концепції, включаючи просторовий масштаб і системи відліку, а також зазнають труднощів у вивченні незнайомого навколишнього середовища.

Просторовий масштаб часто обговорюється як обмежений для сліпих людей, що, принаймні, частково пов'язано з тим, що невізуальне сприйняття обмежується найближчими та просторово неточними способами доступу до навколишнього середовища [15, с. 24]. За минулі роки було розроблено безліч концепцій просторового масштабу. Однак загальноприйнята класифікація розділяє простір на чотири типи:

- фігуральний простір, який менше людського тіла і сприймається без руху (наприклад, картинки або 3D-об'єкти на столі);
- простір перспективи, який більше людського тіла, але також сприймається з однієї точки зору, що допускає поворот голови (наприклад, закрита кімната або футбольне поле);
- навколишній простір, який має більший масштаб і вимагає руху в часі для сприйняття (наприклад великий критий торговий центр або місто);
- географічний простір, який має найбільший просторовий масштаб, не може бути сприйнятий через рух у часі, а повинен сприйматися через символічні моделі, такі як географічні карти [11, с. 314].

Ця характеристика схожа на часткову модель простору Зубіна, запропоновану вченим в його роботі 1989 року, за винятком того, що Зубін описує категорії, засновані на абсолютному розмірі. В моделі психологічного

простору Монтелло підкреслюється класифікація з використанням функціональних властивостей, заснованих на проективному розмірі.

Хоча вивчення маршруту без зору може вимагати зусиль для вивчення відповідних сигналів по шляху, успіх в основному базується на здатності сприймати і запам'ятовувати правильні відстані між сегментами та місця або кути повороту, а також здатність виконувати точне коригування положення в просторі під час подорожі. Багато досліджень показали, що сліпі люди не відчують особливих проблем з вивченням маршруту або навігацією, але завдання, що вимагають знання конфігурації оточення, більш складні і, в таких випадках сліпі люди схильні до помилок. Результати великої кількості експериментів привели до поширеної думки, що люди з вадами зору оперують недостатньо розвиненими, заснованими на маршрутах, егоцентричними просторовими уявленнями, а не традиційним поняттям, пов'язаним з когнітивними картами на основі аллоцентричних даних [10 с. 69].

Деякі сліпі люди, навіть ті, хто повністю сліпий від народження, володіють чудовими просторовими здібностями. На сьогоднішній день зростає число досліджень, які не показують достовірних відмінностей між сліпими і зрячими людьми у виконанні завдань з оновлення простору, логічного висновку, пошуку шляху і когнітивного картографування [10, с. 74].

Як очевидно з різноманітності суперечливих теорій про сліпоту, не існує єдиної думки про вплив втрати зору на просторові здібності. Хоча, роль досвіду, підкреслена в моделі відмінностей, найкращим чином відображає всю повноту сліпого просторового пізнання, в ній упускаються кілька ключових елементів. По-перше, невізуальний досвід людини в світі залежить від її здатності отримувати доступ до відповідної інформації зі свого оточення. Це говорить про важливість використання альтернативних сенсорних входів для збору та кодування інформації та ефективних когнітивних стратегій для синтезу цієї інформації.

Що стосується кодування, сліпі люди повинні навчитися точно і ефективно досліджувати своє оточення, щоб витягувати відповідну

інформацію. Цей процес надзвичайно важливий як етап розвитку у сліпих дітей, але основна ідея застосування точних дослідницьких методів для збору інформації також повинна бути підкреслена для людей похилого віку, які втрачають зір або мають погані просторові здібності [10, с. 77]. З когнітивної точки зору, пов'язаної з обробкою просторової інформації, представленням і ментальними маніпуляціями, необхідно розробити більше стратегій, які навчать сліпих людей точно вирішувати просторові завдання.

Незважаючи на те, що ефективне вивчення та навігація у великих, невідомих середовищах є, мабуть, найважчим завданням, з яким стикаються люди з порушенням зору, використання внутрішніх моделей багатьох штучних середовищ може значно знизити стрес і когнітивні зусилля, пов'язані з навігацією [10, с. 80].

Ще одним методом, яким дослідники та інструктори в питаннях орієнтування і мобільності повинні приділяти більше уваги, - це використання стратегій дослідження, які чітко підкреслюють взаємозв'язки між орієнтирами, незалежно від функціонального зв'язку між цими точками (тобто навігація по маршруту). Імовірно, процес вивчення міжоб'єктних відносин і осмислення простору зі структурного рівня в порівнянні з чисто маршрутною перспективою піде на користь розробці більш точних когнітивних карт сліпими людьми.

Точні результати у вирішенні складних просторових завдань і схожість результатів між сліпими і зрячими учасниками, підтверджують гіпотезу про те, що сліпі люди можуть розвивати точні просторові уявлення при використанні відповідних стратегій пошуку і за підтримки достатньої інформації про навколишнє середовище. Це також підкреслює необхідність приділяти більше уваги вивченню того, як сліпі індивіди взаємодіють з навколишнім середовищем, і визначення того, які стратегії пересування та дослідницькі моделі вони використовують для вивчення незнайомих місць.

Люди мають здатність отримувати і використовувати інформацію з навколишнього середовища, за допомогою своїх природних датчиків. Вони



розробили ряд еволюційних механізмів, які дозволяють розрізняти різні об'єкти і запускати події і складні процеси, засновані на їх сприйнятті реальності.

Пізнання відноситься до знання та осмислення в розумних сутностях, особливо людей, а також тварин та синтетичних обчислювальних сутностях, таких як роботи [11, с. 314]. Пізнання включає в себе ментальні структури і процеси, що беруть участь в сприйнятті, увазі, мисленні і міркуваннях, навчанні, пам'яті, лінгвістичній і немовній комунікації. Воно також включає зовнішні символічні структури і процеси, такі як карти або письмові процедури для проведення формального просторового аналізу, які допомагають внутрішньому пізнанню. Аналогічним чином, пізнання часто пов'язане з простором, місцем або навколишнім середовищем, тому когнітивні акти досить часто носять географічний характер [11, с. 315].

Когнітивне картографування (або ж графічне уявлення сприйняття) має надзвичайне значення для індивідів з точки зору створення концептуальної моделі навколишнього простору і об'єктів навколо них, тим самим підтримуючи їх взаємодію з фізичним середовищем [7, с. 290]. У нових умовах пошук шляху може зайняти багато часу і вимагати значної уваги. У таких сценаріях погіршення зору є основним обмеженням мобільності користувача [7, с. 293]. З одного боку, люди з порушеннями зору часто потребують допомоги зрячих людей для навігації і когнітивного відображення нового середовища, що забирає багато часу, не є завжди доступним і призводить до зниження мобільності [7, с. 293]. З іншого боку, люди з когнітивними порушеннями можуть зазнавати труднощів в освоєнні нового середовища і дотриманні вказівок.

Допоміжні системи для навігації людини, як правило, спрямовані на те, щоб дозволити своїм користувачам безпечно і ефективно орієнтуватися в незнайомому середовищі, не губитись, шляхом динамічного планування шляху на основі місця розташування користувача з урахуванням обмежень, пов'язаних з їх особливими потребами. Збір конкретних потреб або особливостей будь-

якого порушення є ключовим моментом для розробки будь-якої допоміжної системи.

Використовуючи методи прямого спостереження і отримання знань на основі інтерв'ю, дослідники, які займаються вивченням тактильного зору спробували краще зрозуміти поведінку людини з порушеннями зору при ходьбі в приміщенні і інформацію, необхідну їй для самостійної ходьби. Вони виявили, що люди з вадами зору повинні знати про своє поточне місцезнаходження, напрямок, в якому вони рухаються, напрямок, в якому вони повинні йти, і шлях до місця призначення. Тільки після того, як дослідницька група визначила ці параметри, вони розробили додаток на базі портативних пристроїв. Іншими словами, користувачі з порушеннями зору повинні знати про своє фізичне місцезнаходження, їх ставлення до навколишнього середовища (контексту) і маршрут, якому вони повинні слідувати, щоб дістатися до бажаного пункту призначення. При проектуванні допоміжної системи для навігації людини, окремі блоки обробки (або модулі) можуть вирішувати ці певні завдання, а саме: місце розташування, орієнтація, навігація та інтерфейс.

У цій роботі розглядаються різні способи, за допомогою яких різні дослідники розглядали використання технологій для заповнення прогалін і потреб, пов'язаних з порушеннями зору. Як і при проектуванні будь-якої допоміжної системи, інтерфейс користувача повинен відповідати обмеженням користувача.

У цьому розділі розглядається, що означає вивчати світ і орієнтуватися в ньому з обмеженим баченням або взагалі без нього. У ньому досліджуються обмеження досліджень сліпоти, обговорюються традиційні теорії просторових здібностей сліпих людей або ж людей з вадами зору і дається альтернативний погляд на багато часто згадуваних проблем, що лежать в основі просторового пізнання сліпих людей.

Також в розділі висунуто кілька тверджень щодо порушень зору та просторових здібностей сліпих індивідів, які допомагають краще зрозуміти

навігацію без зору, забезпечують більшу кількість пояснень, що стосуються багатьох поточних розбіжностей, і пропонують деякі необхідні рекомендації щодо розробки нових стратегій просторового навчання та технологічних рішень, які в кінцевому підсумку матимуть значний позитивний вплив на незалежність та якість життя такої демографічної групи, як сліпі люди. Основна тема розділу підкреслює важливість «простору» в дослідженнях просторового пізнання, а не бачення як його основного механізму.

Немає сумнівів у тому, що зір є дивовижним провідником просторової інформації, але також важливо пам'ятати, що він не має монополії на простір. Дійсно, всі наші органи чуття в тій чи іншій мірі кодують просторову інформацію, і, як вже було описано, ця спільність дозволяє однаково ефективно виконувати багато з одних і тих же просторових дій, незалежно від того, чи є вони результатом візуального або невізуального сприйняття.

## РОЗДІЛ 2

### ЗАСОБИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРИ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ

#### 2.1. Технологія доступу до інформації для поліпшення просторового сприйняття

Сучасні розробки та технології дозволяють сліпим людям і людям з ушкодженнями зорової системи покращувати розпізнавання об'єктів і орієнтацію в просторі, що призводить до загального поліпшення якості їх життя.

Навігаційні рішення, які спрямовані на розширення досяжності стандартних мобільних пристроїв шляхом інформування користувача про інформацію, що виходить за рамки його безпосереднього маршруту подорожі, а також спрямовані на допомогу в задачах «орієнтації», являють собою найбільш багатообіцяючі досягнення в технології доступу до інформації для людей з вадами зору.

Вже досить довгий час окремі люди та компанії розробляють технологію доступу до інформації для сліпих осіб, і також є чимала кількість нових пристроїв, які здаються перспективними, але на поверхневому рівні. На жаль, більшість продуктів ніколи не виходять за рамки оригінальної цікавості і фактично не досягають кінцевих користувачів, для яких вони були розроблені, тобто сліпих людей. Відсутність комерційного успіху і визнання ринком в значній мірі пояснюється трьома проблемами:

- інженерна пастка;
- недостатні знання;
- недостатня специфічність.

Інженерна пастка відноситься до випадків, коли пристрої розробляються на основі наївної інтуїції дизайнера або спрямовані на забезпечення вирішення

неіснуючої проблеми. Хорошим прикладом є безліч пристроїв, розроблених з початку 1960-х років для виявлення перешкод на шляху руху і обходу їх. Проблема в тому, що більша частина подібних розробок не забезпечує суттєвих переваг доступу до інформації в порівнянні з звичайними і досить довго використовуваними способами, такими як довга тростина або собака-поводир, а також такі розробки є дорогими в придбанні і вимагають тривалого навчання для освоєння. Таким чином, ці пристрої, як правило, в кінцевому підсумку доставляють більше клопоту, ніж користі. Впровадження дизайну, орієнтованого на людину, особливо важливо для розробки подібного оснащення, оскільки у зрячих дизайнерів часто виникає багато страхів і неправильних уявлень про сліпоту, які можуть мати мало спільного з реальним досвідом.

Деякі прості, орієнтовані на користувача вирішення інженерної пастки, які можуть забезпечити безцінний зворотній зв'язок, включають:

- проведення фокус-груп з потенційними користувачами на основі реалістичних сценаріїв для оцінки феноменологічного досвіду та вкладу в проектні рішення;
- проведення оцінок зручності використання з учасниками, взаємодіючими з прототипами;
- проведення тестування, після якого можна отримати інформацію від цих потенційних кінцевих користувачів про плюси і мінуси пристрою.

Що стосується другої проблеми, а саме недостатньої кількості знань, то при розробці більшості технологій доступу до інформації недостатньо враховуються знання перцептивних і когнітивних факторів, пов'язаних з обробкою невізуальної інформації. Рішення полягає в тому, щоб мати гарне розуміння кожної зі складових модальностей і правил сенсорного перекладу між ними недостатньо просто реалізувати алгоритм, який перетворює візуальну інформацію в деякий невізуальний висновок, цей висновок повинен бути природним і інтуїтивно зрозумілим, щоб бути значущим [4, с. 484].

Останньою, третьою проблемою є недостатня специфічність більшості із розробок. Більшу частину приладів розроблено для використання в якості пристрою загального призначення. Однак найкращий підхід полягає в розробці технології для вирішення конкретної потреби або проблеми, з якою стикаються люди з порушеннями зору. Як такий, він повинен бути зосереджений на передачі інформації про навколишнє середовище, що відноситься до конкретного завдання. Важливо відзначити, що технологія повинна бути впроваджена в повсякденне життя людини найшвидшим та найпростішим шляхом. Мова тут йде про її вартість, простоту навчання та здатність до удосконалення, при цьому така технологія не повинна порушувати інші види діяльності та технології [4, с. 490].

## 2.2. Системи для допомоги орієнтування у просторі людей з вадами зору

Всі системи навігації для людей з вадами зору повинні включати базову форму локалізації, тобто визначення місця розташування користувача. Оцінку місця розташування користувача іноді називають «позиціонуванням». Найбільш поширені методи локалізації можна згрупувати в чотири різні категорії: пряме зондування, точний розрахунок, триангуляція і розпізнавання образів.

Важливо розуміти, що в залежності від використовуваної технології місце розташування користувача може бути оцінено шляхом прямого застосування методів або з використанням обчислювальних методів для обробки даних, які можуть побічно сприяти оцінці місця розташування. Також важливо проводити відмінність між цими двома поняттями. Якщо, з одного боку, методи прямого зондування можуть майже безпосередньо вказувати місце розташування користувача, інші методи, такі як точний розрахунок, використовують компоненти пересування (напрямок, прискорення, швидкість і т.д.) для обчислювальної оцінки переміщення від відомого місця розташування. Те ж

саме відноситься до триангуляції і розпізнавання образів. У разі розпізнавання образів це не фактичне виявлення візуального шаблону, яке забезпечує оцінку місця розташування. Замість цього деякі показники та дані, що виводяться в результаті виявлення (такі як положення тіла і відстань від виявленого шаблону), можуть бути використані для обчислювальної оцінки.

Місце розташування може використовуватися як для планування шляху (навігації), так і для надання навколишньої (контекстуальної) інформації (орієнтації). Якщо місце розташування користувача відомо, система також може знайти новий шлях на випадок, якщо користувач заблукає, або обчислити альтернативний шлях, якщо це необхідно. Запланований шлях потім використовується для створення та надання напрямних вказівок до вказаного користувачем місця призначення.

Методи локалізації, засновані на прямому зондуванні, визначають місце розташування користувача за допомогою зчитування ідентифікаторів (або міток), які були встановлені в навколишньому середовищі.

Типові технології прямого зондування включають використання міток радіочастотної ідентифікації (RFID), які можуть бути або пасивними або активними (деякі системи використовують як активні, так і пасивні мітки), інфрачервоні (ІЧ) передавачі, які встановлюються у відомих місцях, де кожен передавач передає унікальний ідентифікатор, Bluetooth-маяки або візуальні штрих-коди [3, с. 225]. Всі ці технології вимагають від користувача наявності додаткового обладнання для визначення ідентифікаторів [3, с. 225].

У разі радіочастотної ідентифікації, хоча поодинокі RFID-мітки (мітки радіочастотної ідентифікації) досить недорогі, їх масова установка в великих приміщеннях може виявитися дорогою [3, с. 226]. Ще одним недоліком є дальність виявлення. У разі пасивних міток діапазон занадто малий. У разі активних міток дальність дії вище, але вони вимагають індивідуального джерела живлення (і відповідного обслуговування). Інфрачервоні випромінювачі вимагають, щоб користувач знаходився в прямій видимості, і навіть в цьому випадку на них сильно впливають перешкоди від сонячного

світла. Маяки Bluetooth, що використовуються для локалізації, вимагають, щоб користувач йшов повільніше, ніж при використанні інших методів визначення місця розташування, через затримку зв'язку або сполучення. Штрих-коди, в певному сенсі, дуже схожі на радіочастотну ідентифікацію. Такий підхід відрізняється низькою вартістю, простотою установки і обслуговування. Основне обмеження полягає в тому, що користувач повинен знаходити кожен штрих-код і сканувати його, що може викликати незручності та сповільнить навігацію. У випадку сліпих користувачів використання системи, яка шукає надруковані штрих-коди, які вони не можуть бачити, також є дуже вимогливою розробкою і схильною до збоїв при зчитуванні.

Люди підтримують та оновлюють своє відчуття орієнтації при переміщенні за допомогою комбінації двох процесів, тобто процесів, заснованих на орієнтирах, і процесів підрахунку часу. Оновлення на основі орієнтирів включає в себе розпізнавання конкретних особливостей у світі, які можуть бути пов'язані з відомими місцями. Оновлення точного розрахунку включає в себе відстеження компонентів пересування (включаючи напрямок, швидкість або прискорення) і тривалість подорожі. Точний розрахунок іноді називають «інтеграцією шляху» [3, с. 226].

У той час як користувач переміщається, система точного розрахунку визначає місце розташування користувача за допомогою комбінації показань одометрії, тобто показань вимірювання пройденної відстані. Показання одометрії можуть бути отримані за допомогою комбінації датчиків, таких як акселерометри, магнітометри, компаси і гіроскопи або з використанням конкретної моделі ходьби користувача (наприклад, середньої швидкості ходьби користувача).

Початкове розташування зазвичай визначається за допомогою глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS), такої як система глобального позиціонування (GPS), міток радіочастотної ідентифікації (RFID) або позиціонування мобільного телефону (мовні станції глобальної системи мобільного зв'язку GSM). Оскільки оцінка місця розташування є рекурсивним



процесом, неточність в оцінці місця розташування призводить до помилок, які накопичуються з плином часу. Накопичена помилка може бути виправлена з використанням знань про навколишнє середовище.

Місцезнаходження користувачів може бути синхронізовано з використанням періодичних оновлень за допомогою методів локалізації прямого зондування, таких як RFID-мітки (міток радіочастотної ідентифікації), або методів локалізації з зіставленням шаблонів, таких як використання даних, витягнутих з розпізнавання відомих візуальних орієнтирів. Перевагою обробки даних за допомогою зіставлення зі зразком в порівнянні з методами прямого зондування є більш низька вартість установки, оскільки необхідно встановити меншу кількість ідентифікаторів.

Хоча більшість методів прямого зондування намагаються визначити місцезнаходження особи за допомогою визначення одного унікального ідентифікатора, деякі системи використовують кілька ідентифікаторів і використовують обчислювальні методи триангуляції для визначення місця розташування людини. Ці методи визначають місцезнаходження шляхом триангуляції виявлених міток, встановлених у відомих місцях. Мітки, які часто використовуються для локалізації всередині або зовні приміщень, включають мітки радіочастотної ідентифікації, інфрачервоне випромінювання (ІЧ) і ультразвук.

Латерація використовує відстань між особою і щонайменше трьома відомими точками, в той час як ангуляція використовує кутові вимірювання щонайменше від трьох відомих точок до людини для визначення місця розташування осіб. Система глобального позиціонування є найбільш часто використовуваною системою для локалізації на відкритому повітрі і використовує обчислювальний метод трилатерації для визначення місця розташування людини на основі відомих супутникових позицій. GPS-приймачі аналізують періодичний сигнал, що надсилається кожним супутником, щоб обчислити широту, довготу та висоту в місці розташування особи. Для навігації на відкритому повітрі GPS став стандартом, оскільки він безкоштовний,

надійний і доступний в будь-якому місці на Землі при будь-яких погодних умовах. Основним недоліком локалізації GPS є те, що сигнал GPS сильно погіршується всередині будівель, між високими будівлями або в густих лісових масивах (таких як парки).

Існують два альтернативні методи, засновані на тріангуляції, які доступні в контекстах, де сигнали GPS не розпізнаються або недоступні. Позиціонування веж мобільного зв'язку використовує тріангуляцію відомих місць розташування веж мобільного зв'язку з наданим рівнем сигналу кожної вишки мобільного зв'язку, тоді як позиціонування бездротових локальних мереж WLAN тріангулює місце розташування бездротових базових станцій, використовуючи сигнал кожної випромінюючої станції. Обидва методи мають нижчу точність, ніж GPS, через проблеми з багатопронепроменним відображенням.

Іншим способом використання сигналу від бездротових випромінюючих станцій, таких як Wi-Fi, є зняття відбитків пальців з сигналу. Цей підхід заснований на спостереженнях за рівнем сигналу в раніше відомих місцях розташування. Оцінка місця розташування виходить на основі цих вимірювань і моделі поширення сигналу. Модель розповсюдження може бути отримана шляхом моделювання або за допомогою попередніх калібрувальних вимірювань в певних місцях. У цьому останньому випадку виміряні значення сили сигналу в певному місці порівнюються зі значеннями сили сигналу попередньо відкаліброваних точок, що зберігаються в базі даних. Цей підхід при належному калібруванні може забезпечити надзвичайно високу точність в порівнянні з підходами, заснованими на глобальній навігаційній супутниковій системі, та він був успішно застосований в області робототехніки і безпілотних транспортних засобів. Основним обмеженням в його застосуванні у випадку сліпого користувача є перевищення витрат. Необхідний час і дороге калібрування системи рівня сигналу спочатку дуже суттєві.

Нещодавно були розроблені системи, які використовують методи комп'ютерного зору, такі як зіставлення зі зразком, для сприйняття навколишнього середовища і виявлення візуальних орієнтирів. Хоча на перший

погляд може бути цілком очевидним, що розпізнавання образів саме по собі не може забезпечити вказівку місця розташування людини, оцінка може бути побічно отримана з використанням вихідних даних з виявлення образів, таких як положення і відстань до виявленого зразка.

Найбільш поширені системи штучного зору, розроблені для підтримки орієнтування сліпих користувачів, витягують цей тип інформації шляхом аналізу характеристик об'єктів, виявлених на захопленому зображенні, з використанням класичних методів обробки зображень. Деякі дослідники в розробці подібних систем йдуть ще далі, комбінуючи датчики зору з датчиками позиціонування або навіть комбінуючи кілька датчиків зору для отримання 3D-уявлення оточення (для отримання інформації про глибину).

Системи, які використовують комп'ютерний зір для оцінки місця розташування та орієнтації користувача, дозволяють йому або їй сприймати своє відносне положення щодо виявленого візуального орієнтира з географічною прив'язкою [13, с. 50]. Коли користувач несе камеру, положення і орієнтація якої відносно тіла користувача відомі, рух об'єктів, виявлених на захоплених зображеннях, може використовуватися для оцінки інформації про положення та рух носія. На візуальну інформацію про рух не впливають ті ж джерела помилок, що і на глобальні навігаційні супутникові системи або автономні датчики (наприклад, інерціальні датчики), і тому вона є додатковим джерелом інформації для підвищення точності вимірювань позиціонування [13, с. 69]. Дослідження, пов'язані з методами візуального позиціонування, були в основному зосереджені на автономній навігації транспортних засобів і рухливих роботів.

Перші статті, пов'язані з використанням системи комп'ютерного зору для навігації пішоходів, були опубліковані в кінці 90-х років. В них описувалося використання баз даних, попередньо завантажених зображеннями зразків, взятих з передбачуваного оточення, які були позначені інформацією про їх географічне розташування. Положення пішохода було вказано, коли було знайдено збіг між зображенням, зробленим пішоходом, і зображенням, що

зберігається в базі даних. База даних і обробка зображень можуть виконуватися локально або віддалено на сервері, в залежності від вимог до обчислювальної потужності.

Система візуальної навігації пішоходів, незалежна від сервера і вже існуючих баз даних, зазвичай потребує інтеграції з іншими датчиками позиціонування, щоб бути функціональною. У такій системі моніторинг руху об'єктів на послідовних зображеннях, зроблених пристроєм користувача, і інтеграція інформації з вимірами, отриманими за допомогою інших датчиків або приймача глобальної навігаційної супутникової системи GNSS, можуть використовуватися для отримання відносного положення користувача. Інформація про початкове абсолютне положення може бути використана для зменшення відхилень та інших помилок, оскільки без початкового положення візуальне сприйняття надає тільки інформацію про рух користувача.

Такі незалежні від сервера системи були запропоновані з використанням вимірювань візуально-автоматизованого інерціального вимірювального пристрою IMU [13, с. 107]. Інші методи, подібні до тих, що використовуються в системах одночасної локалізації та картографування SLAM, створюють карту невідомого середовища при одночасному визначенні місця розташування користувача. Традиційно картографування проводилося з використанням інерційних датчиків, хоча в останні роки були розроблені системи одночасної локалізації та картографування SLAM, які також інтегрують камеру (visual SLAM systems).

Величина руху фігури на зображенні залежить від відносної глибини об'єкта в межах захопленої сцени, тобто від відстані об'єкта від камери. Оскільки відстань об'єктів від камери в навколишньому середовищі зазвичай невідома, виникає проблема масштабу, і для її подолання використовувалися різні методи [13, с. 89]. Наприклад, інструменти для визначення відстані, такі як лазерні далекоміри, були інтегровані з камерою. Вимога наявності спеціального обладнання знижує застосовність цього методу для навігації пішоходів, особливо для незрячих користувачів. Інший підхід полягає у використанні

алгоритмів комп'ютерного зору для виявлення штучних орієнтирів з відомим місцем розташування всередині приміщення (орієнтири з географічною прив'язкою).

Нещодавно були запропоновані системи навігації всередині приміщень, які використовують комп'ютерне бачення для виявлення та декодування фідуціарних маркерів у режимі реального часу, використовуючи стандартні камери телефонів. Одним з найбільш часто використовуваних маркерів є двовимірні штрих-коди. Штрих-код надає унікальний ідентифікатор і шаблон фіксованого розміру, який може бути використаний для оцінки положення користувача [13, с. 28]. Використовуючи ці типи спеціальних маркерів, в такого роду системах можна використовувати стандартний смартфон без необхідності носити з собою будь-яке додаткове обладнання. Як тільки маркер потрапляє в поле зору камери, користувач може отримати попередження про своє відносне місце розташування до маркера, а також приблизну відстань.

Відстань є одним з найбільш важливих аспектів навігації, оскільки вона використовується для запобігання зіткнень або розпізнавання прилеглих об'єктів. Те, як людське бачення використовує різні кути тієї ж сцени в русі для створення тривимірного сприйняття світу, надихнуло дослідників на використання декількох камер для моделювання та розпізнавання світу в трьох вимірах. При використанні стереокамери відстань до об'єктів може бути оцінена за допомогою триангуляції. У разі стереобачення відстань між двома камерами, звана відправним пунктом, впливає на точність руху, одержуваного на зображеннях. Чим далі дві камери знаходяться одна від одної, тим вищою буде точність [13, с. 90].

Стереобачення може бути використано для отримання 3D-інформації про діапазон, а методи кореляції площ можуть бути використані для приблизної інформації про глибину. Ця інформація була успішно використана в поєднанні з моделями виявлення пішоходів. Методи, що використовують генетичні алгоритми, також використовувалися для виконання кореляції стереобачення і створення щільних карт невідповідностей. Ці карти невідповідностей, у свою

чергу, надають користувачеві приблизні оцінки відстані, дозволяючи їм орієнтуватися в навколишньому середовищі.

Простіші підходи використовують один відносний вигляд (права або ліва камера) і карту глибини (з обладнання стереобачення) для виконання сегментації сценарію на основі нечіткої кластеризації (групування) на кластери об'єктів. Після цього, знаючи місце розташування кластерів, можна виявляти ближні і далекі перешкоди і передавати цю інформацію користувачеві. Виявлення змін в 3D-просторі на основі даних діапазону злиття і даних зображення, захоплених камерами, також може бути використано для створення 3D-представлення навколишнього простору, яке може бути передано користувачеві через відповідний інтерфейс, а саме тактильний [13, с. 53].

Наявність короткочасної карти глибини, обчисленої щодо безпосереднього оточення користувача, може використовуватися для класифікації шляху або оточення відносно будь-яких безпосередніх перешкод, незалежно від того, наземні вони, повітряні або незалежно від їх відносного положення (зліва або справа).

Останнім часом датчики 3D-зору значно еволюціонували і стали застосовуватися в декількох популярних пристроях, таких як смартфони та ігрові консолі, що значно знизило їх вартість.

Стереобачення було успішно застосовано до мобільних пристроїв (смартфонів), що дозволяє оцінити структуру навколишнього середовища і виконати деяку класифікацію перешкод. Теоретично телефони з камерами стереобачення можуть працювати і використовуватися для отримання того ж типу інформації, що й інші стандартні системи стереобачення. У разі використання смартфонів основним обмеженням є їх низька обчислювальна потужність з точки зору виконання в реальному часі. В останні роки вона була значно збільшена.

У багатьох випадках стереоскопічний зір було замінено сенсором Microsoft Kinect. Це призвело до масового використання цих датчиків у наукових дослідженнях, які закінчилися до слова з хорошими результатами

[13, с. 87]. Датчик Kinect включає в себе датчик глибини і RGB-камеру (палітра «червоний, зелений, синій»). Датчик глибини складається з інфрачервоного лазерного джерела, яке проектує невидиме світло з кодованим малюнком у поєднанні з монохроматичним КМОП-датчиком зображення (комплементарний метало-оксидний напівпровідник), який вловлює відбите світло. Картинка, отримана датчиком RGB, являє собою деформовану версію вихідної картинки, спроектованої лазерним джерелом і деформованої об'єктами в оточенні. Алгоритм, який розшифровує світлове кодування, генерує зображення глибини, що представляє оточення.

Використання методів машинного навчання, таких як нейронні мережі, для аналізу зображень глибини, отриманих за допомогою датчика Microsoft Kinect, дозволяє розпізнавати заздалегідь визначені особливості шаблони навколишнього середовища. В цілому, з точки зору внеску, який дані, витягнуті з розпізнавання образів комп'ютерним зором, можуть внести в системи визначення місця розташування, незалежно від того, чи використовують вони стереобачення або інші датчики на основі зображень, такі як Kinect, відстань може бути оцінена і, в поєднанні з даними виявлення образів або об'єктів і відповідної географічної інформаційної системи, та сприяти оцінці місця розташування користувача.

У цьому контексті дані для локалізації на основі зору також повинні бути присутніми у використовуваній географічній інформаційній системі. Географічна інформаційна система є центральним елементом для надання будь-якого типу послуг, заснованих на місцезнаходженні, і її важливість досить істотна.

Люди з порушеннями зору часто хочуть більше, ніж просто інформацію про своє місцезнаходження, їм необхідно співвіднести своє поточне місце розташування з особливостями, існуючими в навколишньому середовищі.

Орієнтація та мобільність є необхідними навичками для виконання правильної навігації. У цьому процесі мобільність, або мікронавігація, відноситься до виявлення перешкод і їх обходу в безпосередньому фізичному

середовищі. Орієнтація, або макронавігація, перекладається як здатність створювати і підтримувати обізнаність про своє становище у фізичному просторі щодо як орієнтирів в навколишньому середовищі, будь то корисні місця або об'єкти (це місця, які могли б становити інтерес для користувача електронної карти або системи навігації: автостоянки, бензоколонки, пости ДАІ, банкомати, авторемонтні майстерні, лікарні тощо.) або перешкоди (з мікронавігації), так і бажаного пункту призначення користувача.

Наразі доступний широкий спектр систем та інструментів для підвищення мобільності людей з порушеннями зору. Найпопулярнішими є звісно ж біла тростина і собака-поводир. Біла тростина - це найпростіший, найдешевший, найнадійніший та найбільш розповсюджений спосіб полегшити життя для людини з порушенням зору. Однак вона не надає всю необхідну контекстну інформацію, таку як швидкість, обсяг і відстані. Очі зазвичай збирають цю інформацію, яка необхідна для сприйняття і контролю пересування [2, с. 26]. За останні десятиліття було проведено кілька підходів для вирішення проблем, пов'язаних з мобільністю сліпих і усвідомленням контексту. Їх можна розділити на дві основні категорії. «Електронні засоби пересування» (ЕЗП) призначені для поліпшення мобільності за рахунок виявлення перешкод в оточенні користувача. Щоб поліпшити автономію сліпого користувача, «електронні засоби орієнтації» забезпечують сліпим деяку ступінь ситуаційної обізнаності та орієнтування в невідомих умовах [2, с. 30].

Окрім кількох реалізацій, що використовують деякі методи визначення місцезнаходження, описані в попередньому абзаці, до теперішнього часу ЕЗО в основному базувалися на глобальній навігаційній супутниковій системі GNSS та службах на основі визначення місцезнаходження. Однак в останні роки методи машинного зору успішно використовуються для забезпечення контекстуальної обізнаності та вказівки орієнтації. В цілому, ці допоміжні системи орієнтації використовують методи машинного зору для надання інформації, починаючи від простої наявності перешкод або відмінності між нерухомими і рухомими перешкодами, до розпізнавання конкретних об'єктів на



захопленому зображенні. У деяких випадках користувачеві надається навіть відстань і відносне зміщення виявлених об'єктів з використанням інформації про глибину.

Незважаючи на свою простоту, системи, призначені для надання сліпому користувачеві інформації про існування об'єктів на його шляху (за допомогою датчиків штучного зору), використовують широкий спектр методів аналізу зображення. Традиційні методи обробки зображень можуть бути використані для виявлення контурів об'єктів в оточенні [2, с. 35]. Більш просунуті підходи використовують методи штучного інтелекту для виявлення перешкод на захопленому зображенні і навіть для класифікації оточення, представляючи основні форми характеристики або опису навколишнього середовища як дуже безладні або відносно великі. Інші методи класифікації можуть надавати інформацію про просторовий розподіл перешкод або об'єктів в оточенні, досягаючи спільної мети надання прямих конкретних інструкцій щодо орієнтації та простої контекстної обізнаності.

Більш просунуті системи, які застосовують алгоритми розпізнавання об'єктів для виявлення і розпізнавання конкретних об'єктів в оточенні, були розроблені ще досконалішими; в них дослідники намагаються скоротити розрив між зрячими і незрячими людьми. Використовуючи свої природні сенсори, зрячі індивіди не тільки виявляють наявність об'єктів і перешкод в найближчому оточенні, але і здатні розпізнавати їх і їх атрибути, такі як колір, форма і відносна просторова орієнтація. Найпростіші підходи використовують маркери, розміщені в певних корисних місцях або об'єктах. При виявленні ці маркери використовуються для оцінки місця розташування користувача і, згодом, об'єктів, які, як очікується, будуть виявлені в оточенні. Крім того, також можливо інформувати користувача про відстань і відносне положення до маркера. Однак найбільш поширеними є системи, що використовують розпізнавання об'єктів для надання контекстної інформації. Такі системи намагаються знаходити і розпізнавати природні об'єкти в оточенні без необхідності використання штучних маркерів, розміщених в інфраструктурі.

Як обговорювалося в попередніх підрозділах, розміщення маркерів або датчиків в інфраструктурі є дорогим задоволенням і вони звісно ж вимагають значного технічного обслуговування. З огляду на цей факт, багато допоміжних систем в даний час намагаються надати користувачеві інформацію про присутність і орієнтацію природних об'єктів в оточенні, таких як пішохідні переходи або текст, який зазвичай зустрічається в таких місцях, як автобуси або двері офісів. Навіть різниця між подібними об'єктами, що використовуються в повсякденному житті, такими як різні банкноти, контейнери для продуктів харчування або ліків, які можуть бути легко сплутані сліпими користувачами, може бути включена в системи просторової орієнтації, які використовують передові методи комп'ютерного (або машинного) зору для забезпечення просторової обізнаності за допомогою розпізнавання природних об'єктів. Хоча методи, що використовуються в цих прикладах, конкретно не пов'язані з просторовою орієнтацією, вони забезпечують обізнаність про присутність фізичних предметів в контексті користувача, і ті ж методи можуть бути розширені з метою просторової обізнаності.

Завдяки недавнім досягненням в області 3D-зору і датчиків глибини, в контексті допоміжних систем для людей з вадами зору може використовуватися абсолютно новий вид контекстуального введення: інформація про глибину. Використовуючи дескриптори ознак і методи машинного навчання, можна вилучити і класифікувати різні об'єкти [14, с. 742]. Ці типи систем можуть розпізнавати тривимірні об'єкти за даними глибини і інформувати користувачів з ослабленим зором не тільки про існування об'єктів, але і про їх клас, наприклад, сходи наверх або вниз, працюючи аналогічно звичайної білої тростини, але з розширеним діапазоном та можливостями [14, с. 743]. Деякі системи навіть об'єднують виявлення і розрізнення нерухомих і рухомих перешкод і розпізнавання об'єктів в одному глобальному рішенні, в основному для виявлення пішоходів і уникання зіткнення з ними [14, с. 744].

Термін «навігація» визначає поведінку при русі до місця призначення з усіма руховими, сенсорними і когнітивними процесами, які вона містить у собі.

Дослідники Доунс і Стеа визначають навігацію як процес вирішення одного класу просторових задач, переміщення людини з одного місця на поверхні землі в інше. Вони розділили процес на чотири завдання: орієнтуватися в навколишньому середовищі, вибирати маршрут, не збиватися зі шляху і визнавати, що пункт призначення досягнутий.

Навігація людини здійснюється з використанням комбінації мобільності та орієнтації. Як правило, навігація людини в приміщеннях і на відкритому повітрі здійснюється шляхом вимірювання відстані і відносної орієнтації до однієї або декількох опорних точок (контексту). Люди використовують або інтеграцію шляху, орієнтуючись відносно початкової позиції, або навігацію на основі орієнтирів, де вони покладаються на сигнали сприйняття разом із зовнішньою або когнітивною картою.

Люди також можуть використовувати комбінацію як інтеграції траєкторій, так і навігації на основі орієнтирів. Для визначення місця розташування можна використовувати ряд функцій в навколишньому середовищі. Щоб підтримувати відчуття того, де вони знаходяться в таких ситуаціях, люди покладаються на свої оцінки напрямку і швидкості руху, отримані від їх вестибулярних, пропріоцептивних (внутрішнє сприйняття) і кінестетичних (м'язових) почуттів, разом званих інтеграцією шляху.

У разі інтеграції траєкторії протягом всієї навігації використовується єдина контрольна точка, і місце розташування оцінюється на основі додавання всіх змін положення і орієнтації.

У разі навігації на основі орієнтирів люди переходять від контрольної точки орієнтирів до контрольної точки в міру навігації в навколишньому середовищі, враховуючи відносне положення орієнтирів. У цьому випадку використовується фізична або когнітивна карта навколишнього середовища. Періодично вимірюючи зміщення і зміни орієнтації (на основі курсу і руху) і комбінуючи їх з відстанню і орієнтацією щодо контрольної точки, такою як орієнтир, люди можуть оцінити своє нове місце розташування і орієнтацію під час навігації в навколишньому середовищі.

Потужний допоміжний пристрій для навігації поєднує в собі функції як мікронавігації (визначення найближчого оточення), так і макронавігації (досягнення віддаленого пункту призначення). Функції мікронавігації служать для відновлення набору сенсомоторних функцій на основі візуальної локалізації об'єкта (контексту). Функції макронавігації забезпечують користувачеві глобальну орієнтацію і навігаційні навички.

Всі навігаційні системи мають три функціональні компоненти: модуль введення для визначення місця розташування і орієнтації в просторі, просторову базу даних навколишнього середовища і інтерфейс, який доставляє інформацію користувачеві. Інформація про місцезнаходження зазвичай отримується за допомогою окремих технологій визначення місцезнаходження або шляхом об'єднання або комбінації різних вхідних даних, включаючи комп'ютерне бачення. Ці три компоненти також використовуються у випадку навігаційних систем, призначених для людей з вадами зору.

Місце розташування може використовуватися як для планування маршруту, так і для надання контекстної інформації. Перевага використання навігаційної системи для планування маршруту полягає в тому, що шлях може бути оптимізований на основі різних відповідних шляхів і конкретних вимог користувача, таких як найкоротший або безпечний шлях. У випадку людей з порушеннями зору шлях, який проходить уздовж стін, знижує ймовірність того, що користувач заблукає, а шлях, при якому людина уникає низьких стель, набагато безпечніший.

У цьому контексті географічна інформаційна система GIS, розроблена для забезпечення всіх цих допоміжних функцій, повинна забезпечувати способи зберігання та доставки даних набагато ширшого обсягу, ніж проста класифікація корисних місць або об'єктів. Відповідна географічна система є ключовим елементом будь-якої навігаційної системи. Алгоритми планування маршруту використовують графіки або сітки для представлення навколишнього середовища. Ці елементи також повинні зберігатися в географічній інформаційній системі.

Більшість сучасних навігаційних систем використовують або алгоритм Дейкстри, або алгоритм  $A^*$  для планування маршруту.

### 2.3. Ультразвукові датчики як один із способів допомоги орієнтування у просторі

Люди зі слабким зором або люди з тими чи іншими вадами зору зазвичай не так погано орієнтуються в просторі, але не помічають невеликих перешкод на своєму шляху, таких як бордюри, сходинки вгору або вниз, невеликі отвори. При використанні тростини або ж із собакою-поводарем, так чи інакше, вчасно не помічені перешкоди можуть травмувати людину.

На сьогоднішній день вже розроблені і представлені такі інструменти для допомоги людям з вадами зору, як тростина Mygo, тростина SmartCane, тростина для ходьби LaserCane та деякі інші, менш відомі [12, с. 19]. Ці тростини або використовують лазерні датчики і тоді не вимагають контакту з поверхнею, або в них використовуються ультразвукові датчики, але тоді на кінці тростини знаходиться колесо або сфера, що рухається по поверхні, по якій пересуваються люди. На кожній палиці встановлена пара датчиків: один для виявлення перешкод, таких як крок вгору, а інший для виявлення перешкод, таких як крок вниз. Істотним недоліком всіх пропонованих пристроїв є той факт, що вони підкреслюють проблеми із зором у своїх користувачів. Для людей зі слабким зором, сліпих або людей з порушеннями зору це зазвичай не є бажаним [12, с. 201]. Тому ми розглядаємо можливість вибору датчиків для системи в допомогу людям з порушеннями зору. Ці перетворювачі повинні бути такими, щоб їх розміри можна було інтегрувати в звичайну тростину для ходьби. Зовнішній діаметр цієї тростини зазвичай становить 22-30 міліметрів. Додатковою вимогою при цьому є те, що людині, яка рухається, не потрібно було б торкатися поверхні, по якій відбувається рух, кінцем палиці. Відстань, на якій пристрій виявляє перешкоду, має бути не менше 1,5-2,0 метри.

Зазвичай, в залежності від використовуваних при виготовленні матеріалів, тростина може мати вагу від 0,1 до 0,4 кілограма, але якщо, наприклад, використовується тростина з титану з регульованою довжиною, вага може становити до 0,8 кілограма відповідно. Звісно такий факт як вага також слід враховувати при виборі датчиків [12, с. 34].

Для вимірювання невеликих відстаней застосовуються інфрачервоні (ІЧ) лазерні та ультразвукові датчики відстані. Інфрачервоні датчики відстані містять світлодіод ІЧ-передавача і фотоприймач ІЧ-приймача. Інфрачервоний світлодіод випромінює інфрачервоний сигнал, а інфрачервоний фотодетектор виявляє відбитий сигнал [12, с. 41]. Амплітуда цього відбитого сигналу зазвичай обернено пропорційна відстані від об'єкта до інфрачервоного приймача. Максимальна відстань - це поріг для визначення присутності об'єкта. Прикладом такого датчика є датчик діапазону Sharp GP2Y0A02YK0F . Даний датчик є аналоговим інфрачервоним датчиком для визначення присутності об'єкта на відстані від 20 до 150 сантиметрів [12, с. 159].

Основним недоліком цього датчика є те, що для вимірювання відстані використовується метод триангуляції. З цієї причини результати вимірювань залежать від кута падіння ІЧ-випромінювання на контрольовану поверхню, що неприйнятно для даної задачі.

Істотним недоліком оптичного, в тому числі лазерного, датчика є погана стійкість до погодних умов. Наприклад, забруднення детектора призводить до неможливості виявлення об'єктів, в той час як ультразвукові датчики з тим же ступенем забруднення продовжують працювати, але з меншою чутливістю.

В наш час розробляються чимало систем для допомоги людям з вадами зору. Основною метою таких систем є надання інформації про характер перешкод. В якості вимірювальних датчиків в такій системі зазвичай використовується пара ультразвукових датчиків. Такий метод здається найбільш розумним, тим більше що існуючі ультразвукові датчики, такі, наприклад, які використовуються в паркувальних системах (так званий Parktronic), мають невеликі розміри, що дозволяють розмістити їх всередині

звичайної ортопедичної тростини. Ультразвукові датчики можуть мати як окремі передавачі і приймачі, так і комбіновані [2, с. 29].

Першим з подібних датчиків є датчик HC-SR04. Цей ультразвуковий датчик може вимірювати відстань до перешкод в діапазоні від 2 сантиметрів до 4 метрів. Він найкращий з точки зору співвідношення ціни до якості, але його розміри, складові елементи 40 x 20 x 15 міліметрів, не дозволяють розмістити його всередині звичайної тростини [2, с. 29].

Датчики паркування використовують комбінований випромінювач і приймач. Найбільш ефективними датчиками паркування на відстані від 25 сантиметрів до 1,8 метра є датчики, які відповідають бажаному діапазону відстаней [2, с. 31].

Існують окремі модулі ультразвукових датчиків (сонари), такі як LV-MAXSONAR-EZ1, що дозволяють виявляти об'єкти на відстанях до 6,45 метра. Цей сонар є одним з типових рішень на базі ультразвукових датчиків MaxSona-UT фірми Maxbotix. Вихідні сигнали модуля про відстань до об'єкта представлені в трьох формах: аналоговий сигнал, ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) і послідовні дані приймача та передавача. Існує також герметична конструкція даного модуля ультразвукового датчика LV-MAXSONAR-WRC1.

Найбільш доступним є датчик ParkMaster A. Діаметр самих датчиків майже однаковий і коливається від 16,4 міліметра для датчика, використовуваного з LV-MAXSONAR-EZ1, до 18,8 міліметра для датчика ParkMaster A. Проблема в тому, що розмір плати модуля LV-MAXSONAR-EZ1 становить 19,9 на 22,1 міліметри, що виключає розміщення плати в палиці для людей з вадами зору. Як вихід з цієї ситуації ми можемо запропонувати розміщення модуля LV-MAXSONAR-EZ1 в гумовому наконечнику тростини, діаметр якого досягає частіше за все 50 міліметрів, і використовувати цей модуль для виявлення перешкод, таких як сходинка або бордюр. Датчик для визначення перешкод знизу бажано розмістити на ручці тростини; при цьому в якості датчика слід використовувати датчик ParkMaster або датчик, обраний з модуля LV-MAXSONAR-EZ1.

Під поверхневим кріпленням датчика на корпусі тростини мається на увазі контакт з частинками пилу, водою і, можливо, деякими реагентами, які наносяться на дорожнє покриття, в результаті чого доречніше використовувати повністю закритий датчик. У більшість датчиків, які вбудовані в герметичну конструкцію, ступінь захисту внутрішньої структури відповідає ступеню IP67, що дозволяє повністю уникнути попадання пилу і вологи.

Звісно також бажано використовувати датчик з широким діапазоном температур, який буде витримувати температуру від мінус 40 до плюс 70 градусів по Цельсію. Іншим чинником, який слід враховувати, є ширина променя, інформація про яку зазвичай міститься в технічній документації на датчик або може бути визначена експериментально.

Після складання пристрою відбувається процес завантаження програмної пам'яті мікроконтролера і компонування всіх елементів в тростині, звісно після чого відбувається тестування вже скомпанованого зразка. Для цього використовуються звичайні лабораторні умови з перешкодами типу сходинок вниз і сходинок вгору.

Зазвичай програма подібного типу налаштована так, що при наближенні до певних перешкод використовується той же алгоритм, що і у датчиків паркування на автомобілях, тобто чим ближче перешкода, тим вище висота звуку, а чим далі від перешкод, тим, відповідно, висота звуку буде нижчою.

Принциповою відмінністю від інших конкуруючих пристроїв є сканування всіх об'єктів не тільки в горизонтальній площині, але і під нею, тобто наявність виступів, сходів, що ведуть вниз, а також колодязів і ям, вибоїн та інших подібних речей.

Запропонований пристрій показав хороші результати при скануванні простору в русі, в лабораторних умовах. При виході на вулицю відразу з'ясувалося, що одним з очевидних недоліків є вихідний пристрій. У типовому вуличному середовищі через шум, звук за допомогою звичайних п'єзоелектричних датчиків не чути при використанні навушників. Користувач також може відчувати певний дискомфорт через новизну пристрою. Людина



отримує компенсацію за нестачу зору в посилених слухових відчуттях, і людина не може перешкодити їм функціонувати краще, відповідно до цього сліпі люди або люди з вадами зору повинні пристосуватися до користування пристроєм та навчитися відповідно реагувати на сигнали від датчиків, навіть коли перешкода знаходиться досить далеко і сигнал від неї є доволі тихим.

Можна зробити висновок, що найбільш ефективним було б використовувати не тільки один тип вихідного сигналу (або ж сигналу небезпеки), але і кілька одночасно. Додатковим інформаційним каналом для людей з вадами зору може бути джерело вібрації в рукоятці тростини. В даному випадку використання вібраційного сигналу у вигляді періодичних пакетів імпульсів реалізується завдяки частоті вібраційного сигналу, що кодує тип перешкоди (крок вгору або крок вниз), і частоті послідовності імпульсів, яка буде використовуватися для кодування відстані до перешкоди, тобто чим ближче перешкода, тим вище частота послідовності імпульсів.

Для того щоб мати можливість використовувати таку тростину як звичайну тростину для ходьби, необхідно виділити моменти, коли вона займає фіксоване положення в просторі. Це може бути реалізовано, в тому числі, за допомогою системи обробки вимірювальної інформації двохосьових акселерометрів. У компонуванні системи допомоги людям з вадами зору в нашому випадку використовуються два ультразвукових датчика HC-SR04, які забезпечують працездатність системи при виявленні перешкоди (наприклад, крок вгору або крок вниз).

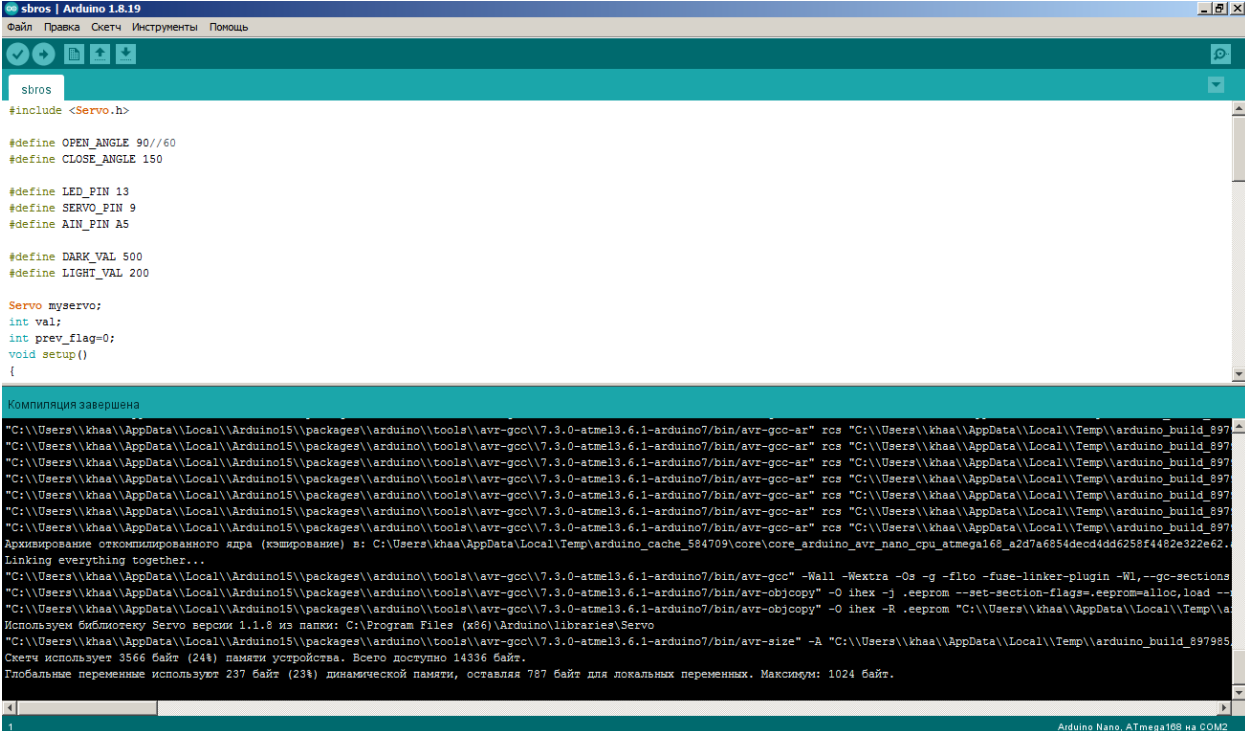
## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРИ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ

#### 3.1. Інтегроване середовище розробки Arduino

У якості обчислювальної платформи обрано платформу Arduino. Платформа забезпечує відкритий інтерфейс як програмної, так і апаратної частин системи.

Інтегроване середовище розробки Arduino (рис. 3.1) - містить текстовий редактор для написання коду, область повідомлень, текстову консоль, панель інструментів із кнопками для загальних функцій і ряд меню. Він підключається до апаратного забезпечення Arduino для завантаження програм і обміну даними з ними.



```

sbros | Arduino 1.8.19
Файл Правка Скетч Інструменти Помощь

sbros
#include <Servo.h>

#define OPEN_ANGLE 90//60
#define CLOSE_ANGLE 150

#define LED_PIN 13
#define SERVO_PIN 9
#define AIN_PIN A5

#define DARK_VAL 500
#define LIGHT_VAL 200

Servo myservo;
int val;
int prev_flag=0;
void setup()
{
Компиляция завершена
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc-as" row "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc-as" row "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc-as" row "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc-as" row "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc-as" row "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc-as" row "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897
Архивирование скомпилированного ядра (жширование) в: C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_cache_584709\core\core_arduino_avr_nano_cpu_atmega168_a2d7a6854decd4dd6259f4482e322e62.
Linking everything together...
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-gcc" -Wall -Wextra -Os -g -fno -fuse-linker-plugin -Wl,--gc-sections
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-objcopy" -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,load --
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-objcopy" -O ihex -R .eeprom "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\
Используем библиотеку Servo версии 1.1.8 из папки: C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\Servo
"C:\Users\khaa\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-atmel3.6.1-arduino7/bin/avr-size" -A "C:\Users\khaa\AppData\Local\Temp\arduino_build_897985
Скетч использует 3566 байт (24%) памяти устройства. Всего доступно 14336 байт.
Глобальные переменные используют 237 байт (23%) динамической памяти, оставляя 787 байт для локальных переменных. Максимум: 1024 байт.
  
```

Рис. 3.1 Інтегроване середовище розробки Arduino

Програми, написані за допомогою програмного забезпечення Arduino IDE, називаються sketches. Ці програми написані в текстовому редакторі та збережені з розширенням файлу .ino. Область повідомлень надає інформацію під час збереження та експорту, а також відображає помилки. На консолі відображається текстовий вихід програмного забезпечення Arduino IDE, включаючи повні повідомлення про помилки та іншу інформацію. У нижньому правому куті вікна відображається налаштована плата та послідовний порт.

Перш ніж завантажити програму, потрібно вибрати необхідні елементи в меню Tools->Board та Tools->Port. Вибравши правильний послідовний порт і плату, виконують завантаження Sketch->Upload. Поточні плати Arduino автоматично скинуться та розпочнеться завантаження. У старих платах, які не мають автоматичного скидання, потрібно натиснути кнопку скидання на платі безпосередньо перед початком завантаження. На більшості плат світлодіоди RX і TX блимають під час завантаження ескізу. Програмне забезпечення Arduino IDE відобразить повідомлення, коли завантаження завершиться, або покаже помилку.

Коли завантажується sketch, використовується завантажувач Arduino, невелика програма, яка завантажена на мікроконтролер на платі. Це дозволяє завантажувати код без використання додаткового обладнання. Завантажувач активний протягом кількох секунд, після перезавантаження плати; потім починається виконання завантаженої програми. Під час запуску завантажувач блимає вбудованим світлодіодом (контакт 13).

Бібліотеки надають додаткові функції для використання в програмах, наприклад, робота з обладнанням або маніпулювання даними. Щоб використати бібліотеку в програмі її необхідно додати Sketch->Import Library. Це додати один або кілька операторів #include на початку програми та компілює бібліотеку з програмою. Оскільки бібліотеки завантажуються на плату разом із програмою, вони збільшують обсяг місця, який займає програма. Якщо для програми більше не потрібна бібліотека, просто видаліть його оператори #include на початку програми.

Підтримку апаратного забезпечення сторонніх виробників можна додати до каталогу обладнання. Інсталювані там платформи можуть включати визначення плати (які відображаються в меню плат), основні бібліотеки, завантажувачі та визначення програміста.

Послідовний монітор відображає послідовні дані, надісланий з плати Arduino через USB або послідовний інтерфейс. Щоб надіслати дані на плату, введіть текст і натисніть кнопку «відправити» або натисніть enter. У розкритому меню обирається швидкість передачі даних, яка відповідає швидкості, переданій Serial.begin у програмі. Плата перезапускається, коли підключається до Serial Monitor. Serial Monitor не обробляє керуючі символи; якщо програма потребує повного керування послідовним зв'язком із символами керування, необхідно використати зовнішню термінальну програму та підключити її до COM-порту, призначеного платі Arduino.

Вибір плати в середовищі Arduino має два ефекти: він установлює параметри (наприклад, швидкість процесора та швидкість передачі даних), які використовуються під час компіляції та завантаження ескізів; і встановлює параметри файлу та налаштування процесора, які використовуються командою завантажувача.

Програмне забезпечення Arduino IDE містить вбудовану підтримку для плат, які базуються на AVR Core. Менеджер плат, що входить до стандартної інсталяції, дозволяє додати підтримку для зростаючої кількості нових плат на основі різних ядер, таких як Arduino Due, Arduino Zero, Edison, Galileo тощо.

### 3.2. Апаратні компоненти системи

В присторі будемо використовувати плату Arduino Nano, ультразвуковий модуль вимірювання дальності HC - SR04 та вібромотор.

Апаратна частина Arduino Nano (рис. 3.2) являє собою змонтовану друковану плату, що продається як офіційним виробником, так і сторонніми

виробниками. Повністю відкрита архітектура системи дозволяє вільно копіювати або доповнювати лінійку продукції Arduino.

Arduino може використовуватися як для створення автономних об'єктів автоматики, так і підключатися до програмного забезпечення на комп'ютері через різноманітні інтерфейси.

У концепцію Arduino не входить корпусний або монтажний конструктив. Розробник вибирає методи установки і механічного захисту плат самостійно. Сторонніми виробниками випускаються набори робототехнічної електромеханіки, орієнтованої на роботу спільно з платами Arduino.

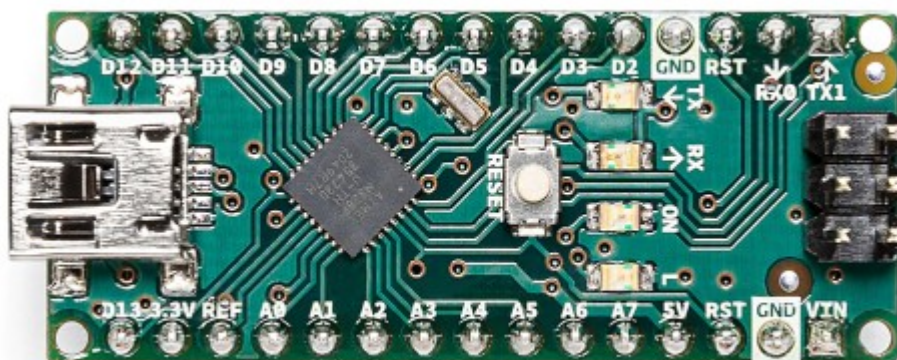


Рис. 3.2. Arduino® Nano

Arduino® Nano — це інтелектуальна плата розробки, призначена для створення швидких прототипів із найменшими розмірами. Arduino Nano, будучи найстарішим членом сімейства Nano, забезпечує достатньо інтерфейсів для зручного макетування. В основі плати лежить мікроконтролер ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц із такими ж функціями, як Arduino Duemilanove. Плата має 22 цифрових вхідні/вихідні контакти, 8 аналогових контактів і порт mini-USB.

Основні функціональні можливості платформи Arduino Nano наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

## Платформа Arduino Nano

Мікроконтролер	ATmega328 High-performance low-power 8-bit 16 MIPS
Пам'ять	32 kB FLASH of which 2 KB used by bootloader
	2 kB internal SRAM
	1 kB EEPROM
Живлення	
	Mini-B USB connection
	6-20V unregulated external power supply (pin 30)
	5V regulated external power supply (pin 27)
	Режими енергозбереження Sleep, Idle
Аналого-цифровий перетворювач	ADC Noise Reduction
Входи/виходи	22 дискретних входа/вихода
	8 аналогових входів
	6 PWM виходів
	інтерфейси USART, Master/Slave SPI, I2C

Arduino Nano — це вбудований мікроконтролер серії Nano з мінімальними функціями, розроблений для міні-проекти. Велика кількість вхідних/вихідних контактів дає перевагу використанню декілька послідовних комунікацій, таких як UART, SPI та I2C. Апаратне забезпечення сумісне з Arduino IDE, Arduino CLI і WEB-редактором.

Основним процесором на платі Arduino Nano v3.3 є високопродуктивний і малопотужний 8-розрядний ATmega328 мікроконтролер, який працює на тактовій частоті 16 МГц. Можливість інтерфейсу зовнішніх пристроїв через

послідовний ынтерфейс підтримується з UART TTL (5V), I2C (TWI) і SPI. Arduino Nano можна програмувати з програмним забезпеченням Arduino, що зменшує бар'єри входу для нових користувачів. Це робить вбудоване обладнання найменших розмірів ідеальний вибір для макетних проектів від спільноти розробників.

Arduino Nano можна живити через порт USB або через VIN. Вхідна напруга VIN зменшується регулятором LDO до 5 В для функціонування плати. Є й інший регулятор, який зменшує напругу до 3,3 В для живлення компонентів з низькою напругою (рис. 3.3).

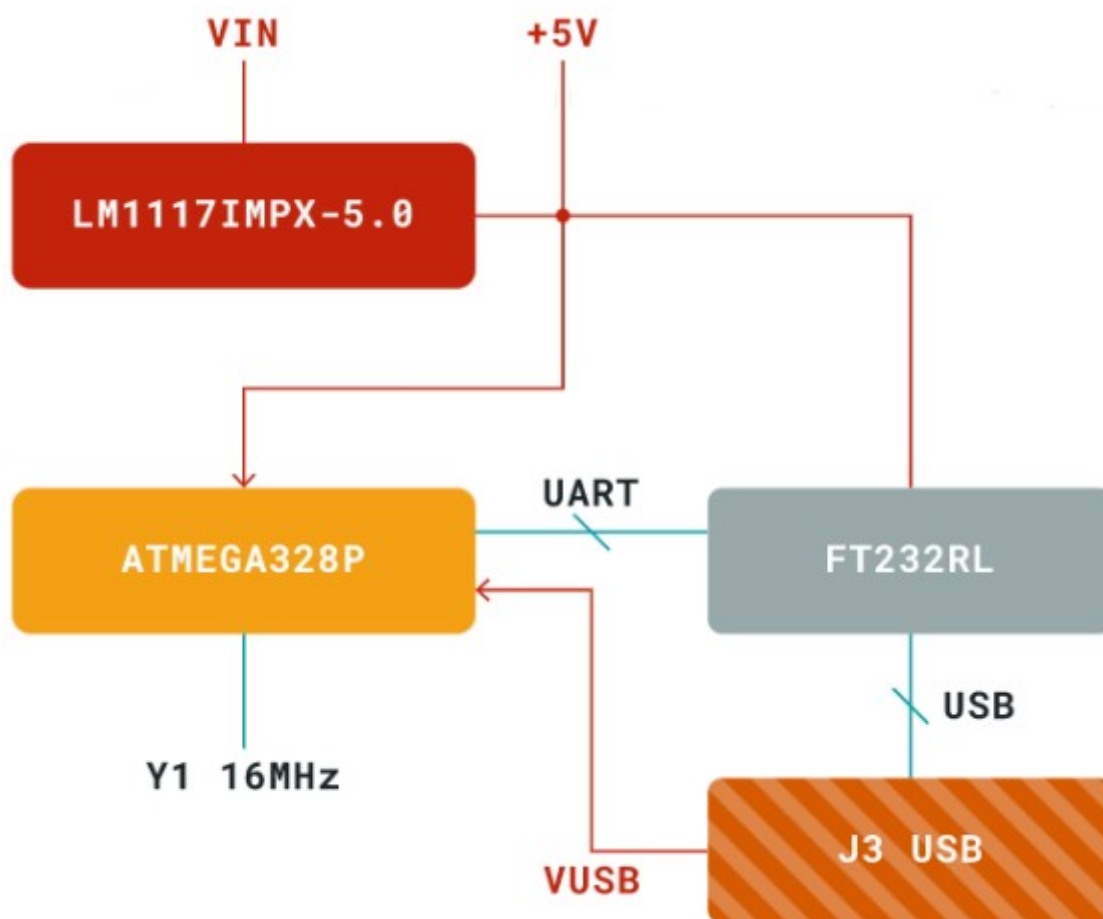


Рис. 3.3. Структура системи живлення Arduino Nano

Для незалежного програмування плати Arduino Nano потрібно встановити Arduino Desktop IDE. Щоб підключити Arduino Uno до комп'ютера необхідно

використовувати USB-кабель Micro-B. По цьому ж кабелю забезпечується живлення плати. Індикатором живлення є світлодіод на платі.

Також усі плати Arduino готові до роботи у веб-редакторі Arduino, просто встановивши простий плагін. Веб-редактор Arduino розміщено в Інтернеті, тому він завжди буде в актуальному стані функції та підтримка всіх плат.

Приклади програмування основних функцій для Arduino можна знайти в меню «Приклади» в Arduino IDE або в Розділ «Документація» веб-сайту Arduino

Усі плати Arduino мають вбудований bootloader, який дозволяє прошивати плату через USB. У випадку, якщо програма блокує процесор і плата не доступна через USB, можна увійти в режим bootloader, двічі натиснувши кнопку Reset скидання одразу після увімкнення.

Функціональне призначення виводів плати представлено на рис.3.4 та табл. 3.2, 3.3.

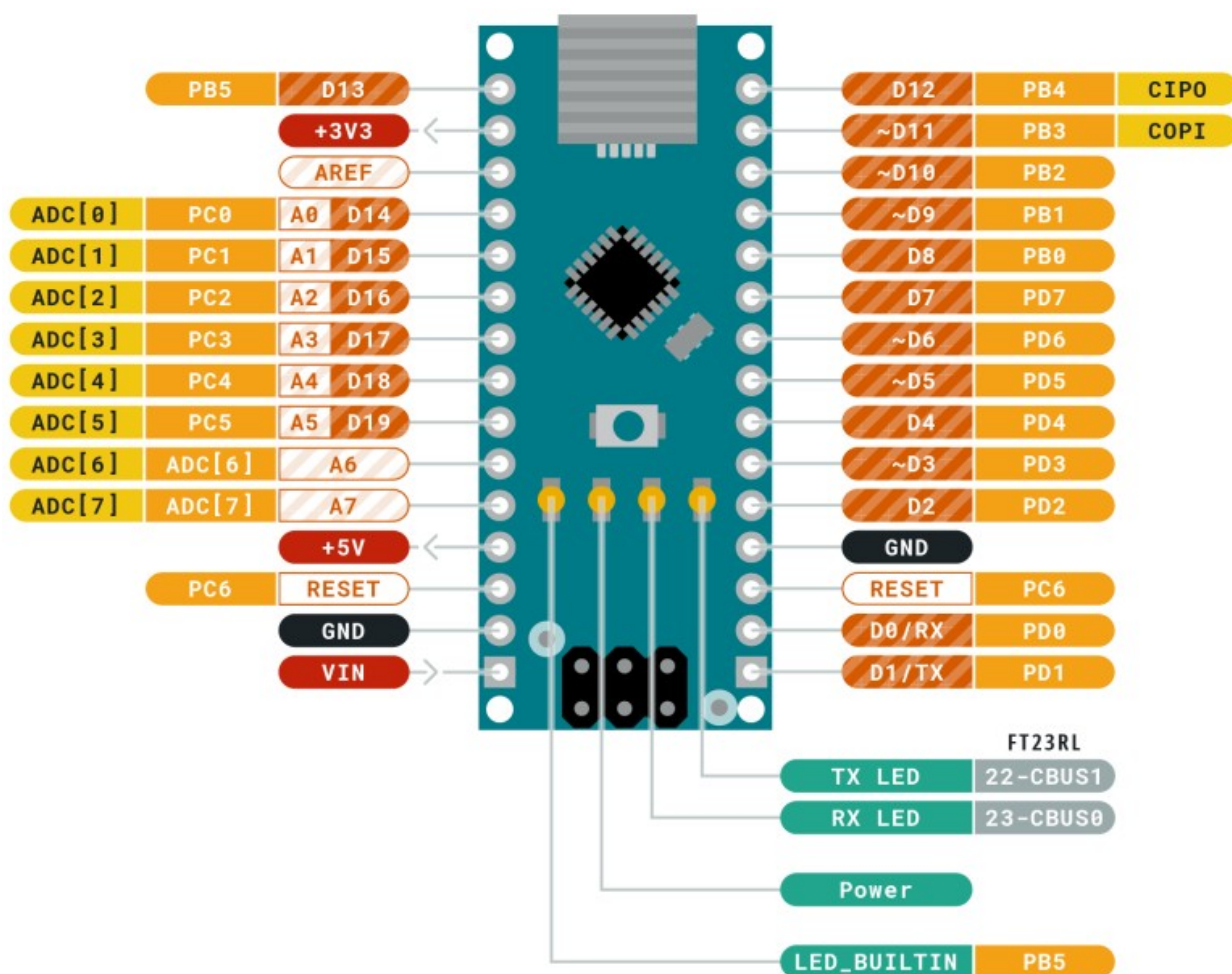


Рис.3.4 Функції виводів Arduino Nano



Таблиця 3.2.

## Функції аналогових виводів Arduino Nano

Вивід	Функція	Тип	Опис
1	+3V3	Power	Живлення від 5V USB
2	A0	Analog	Аналоговий вхід 0 /GPIO
3	A1	Analog	Аналоговий вхід 1 /GPIO
4	A2	Analog	Аналоговий вхід 2 /GPIO
5	A3	Analog	Аналоговий вхід 3 /GPIO
6	A4	Analog	Аналоговий вхід 4 /GPIO
7	A5	Analog	Аналоговий вхід 5 /GPIO
8	A6	Analog	Аналоговий вхід 6 /GPIO
9	A7	Analog	Аналоговий вхід 7 /GPIO
10	+5V	Power	Живлення +5V
12	GND	Power	Ground
12	VIN	Power	Вхідна напруга

Таблиця 3.3.

## Функції дискретних виводів Arduino Nano

Вивід	Функція	Тип	Опис
1	D1/TX1	Digital	Дискретний вхід/вихід 1 /GPIO
2	D0/RX0	Digital	Дискретний вхід/вихід 0 /GPIO
3	D2	Digital	Дискретний вхід/вихід 2 /GPIO
4	D3	Digital	Дискретний вхід/вихід 3 /GPIO
5	D4	Digital	Дискретний вхід/вихід 4 /GPIO
6	D5	Digital	Дискретний вхід/вихід 5 /GPIO
7	D6	Digital	Дискретний вхід/вихід 6 /GPIO
8	D7	Digital	Дискретний вхід/вихід 7 /GPIO
9	D8	Digital	Дискретний вхід/вихід 8 /GPIO
10	D9	Digital	Дискретний вхід/вихід 9 /GPIO

11	D10	Digital	Дискретний вхід/вихід 10 /GPIO
12	D11	Digital	Дискретний вхід/вихід 11 /GPIO
13	D12	Digital	Дискретний вхід/вихід 12 /GPIO
14	D13	Digital	Дискретний вхід/вихід 13 /GPIO
15	Reset	Reset	Reset
16	GND	Power	Ground

Ультразвуковий модуль вимірювання дальності HC - SR04 забезпечує безконтактну відстань від 2 см до 400 см. Точність вимірювання може досягати 3 мм.

Модуль включає ультразвукові передавачі, приймач і схему управління.

Ультразвуковий датчик (рис.2.2.) працює на основі часо-імпульсного методу вимірювання відстані. Ультразвукові сигнали, що генеруються, відбиваючись від перешкоди, повертаються до приймача через певний проміжок часу. Саме цей часовий інтервал пропорційний відстані до об'єкта.

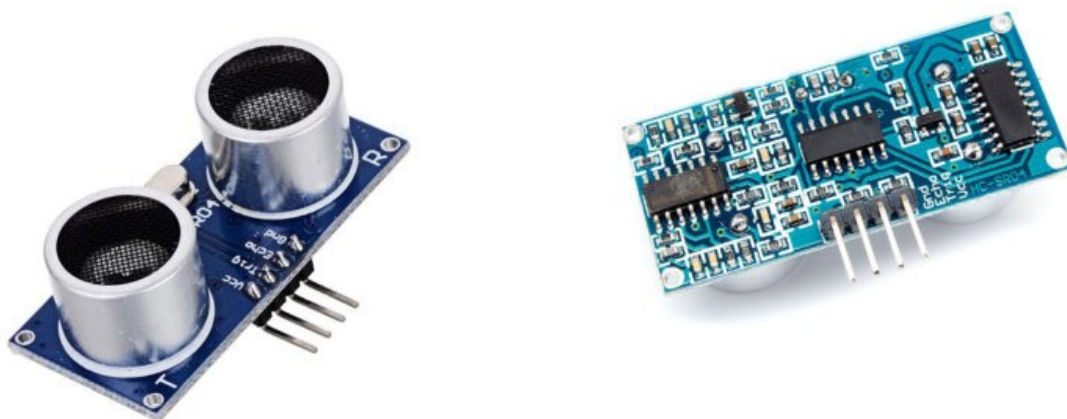


Рис. 3.5. Зовнішній вигляд ультразвукового датчика HC SR04

Ультразвуковий далекомір HC SR04 має такі технічні параметри, що наведені в таблиці 3.4.

Основні параметри ультразвукового датчика HC SR04

№	Назва	Параметр
1	Напруга живлення	5В
2	Сила струму живлення в активному режимі	15 мА
3	Сила струму живлення в пасивному стані	2 мА
4	Кут випромінювання	15°
5	Робоча частота	40 кГц
6	Максимальний радіус дії	4 м
7	Мінімальний діапазон	2 см
8	Тривалість імпульсу запуску	10 мкс

Датчик має чотири виводи (рис.3.5.):

- Vcc - живлення +5 В;
- Trig (T) – сигнал запуску;
- Echo (R) – сигналу Echo-імпульсу;
- GND – живлення 0В.

Для отримання даних з датчика, необхідно виконати таку послідовність дій (рис. 3.6):

- подати на вихід Trig імпульс запуску тривалістю 10 мікросекунд;
- модуль надсилає 8 ультразвукових імпульсів з частотою 40 кГц;
- якщо прийнято сигнал, то завершується цикл вимірювання, і формується імпульс на виході Echo;
- контролера вимірює тривалість сигналу Echo.

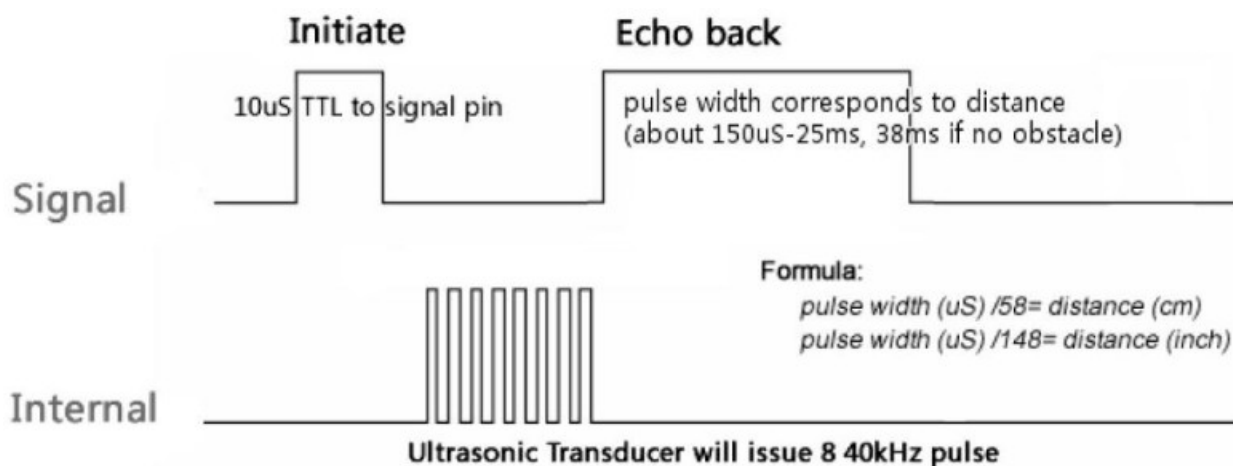


Рис. 3.6. Схема роботи ультразвукового датчика HC SR04

Для роботи з ультразвуковим датчиком HC SR04 використовується бібліотека NewPing. До особливостей бібліотеки можна віднести:

- можливість роботи з декількома ультразвуковими датчиками;
- можливість працювати з датчиком відстані всього через один вивід;
- відсутність відставання на 1 секунду при відсутності зворотнього сигналу.

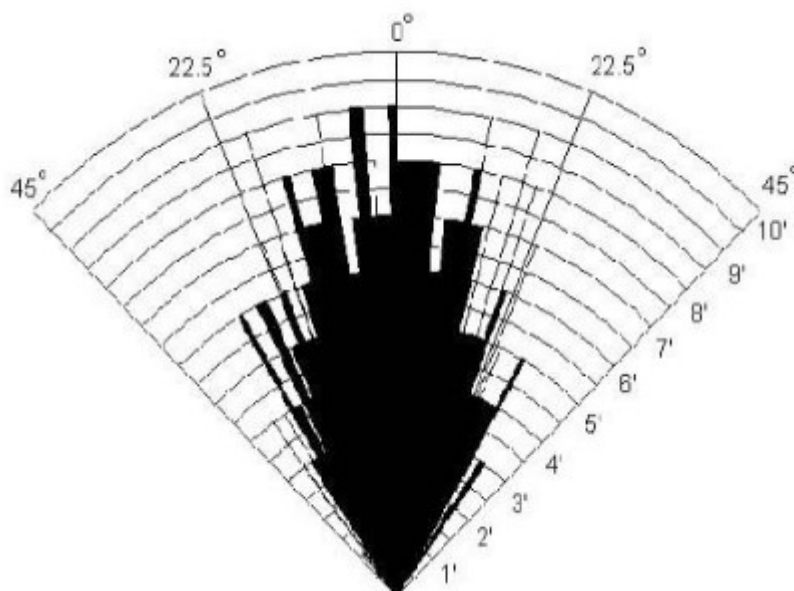


Рис.3.7. Діаграма направленості датчика

На роботу ультразвукового датчику відстані впливають наступні фактори:

- температура і вологість повітря;

- відстань до об'єкта;
- розташування об'єкта відносно датчика (згідно діаграми випромінювання (рис.3.7)).

При досліджуванні об'єктів в діапазоні площі не менше 50 см<sup>2</sup>, інакше це вплине на результати вимірювання.

Температура та вологість повітря впливають на швидкість звуку в повітрі. в діапазоні температур експлуатації пристрою похибка вимірювання може складати до 3%.

Фактор відстані до об'єкта важливий, тому що росте ймовірність відбиття від сусідніх предметів, до того ж і сам сигнал загасає з відстанню.

Також для підвищення точності треба правильно направити датчик: зробити так, щоб предмет був в рамках конуса діаграми спрямованості.

Для зменшення помилок і похибки вимірювань зазвичай виконуються наступні дії:

- обчислення середнього значення;
- за допомогою датчиків (наприклад, DHT11 або DHT22) визначається температура і коректується відстань;
- формування необхідної діаграми спрямованості за допомогою обертання одного датчика або розміщення декількох датчиків.

Базова структура програми для отримання значення відстані до предметів наведена нижче. Використання виводів контролеру наступне:

- Trig - 12 pin;
- Echo - 11 pin.

В програмі виконується така послідовність дій:

- запуск вимірювання;
- очікування відповіді;
- якщо відповідь отримано, то визначається тривалість імпульсу за допомогою функції pulseIn і виконується перетворення його тривалості у відстань в сантиметрах шляхом ділення значення на константу 58.2.

- відповідь відсутня, перервати очікування.

Якщо відстань становить понад 3 метрів, при якому HC SR04 починає погано працювати, час затримки краще виставляти більше 20 мс, тобто 25 або 30 мс.

```
#define PIN_TRIG 12
#define PIN_ECHO 11
long duration, cm;
void setup() {
```

Ініціалізуємо взаємодію по послідному порту

```
Serial.begin (9600);
```

```
//Визначаємо входи та виходи
```

```
pinMode(PIN_TRIG, OUTPUT);
pinMode(PIN_ECHO, INPUT);
```

```
}
void loop() {
```

```
//спочатку генеруємо короткий імпульс тривалістю 2-5 мікросекунд.
```

```
digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH);
```

//визначимо високий рівень сигналу, чекаємо 10 мікросекунд. В цей момент датчик буде посилати сигнали з частотою 40 КГц.

```
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
```

```
// час затримки акустичного сигналу на ехолотатору.  
  
duration = pulseIn(PIN_ECHO, HIGH);  
  
// перетворюємо час у відстань  
  
cm = (duration / 2) / 29.1;  
Serial.print("Відстань до об'єкту: ");  
Serial.print(cm);  
Serial.println(" см.");  
  
// затримка між вимірами для коректної роботи скетчу  
  
delay(250);  
}
```

До складу пристрою входять три плоских вібромотри (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Зовнішній вигляд вібромотору

Основні технічні параметри вібромотору:

- діаметр: 10 мм;
- висота: 3 мм;
- напруга живлення: 3 В;

Вібромотором можна управляти у режимі ON-OFF. Для отримання різної амплітуди вібрації можна використовувати ШІМ. Однак сприйняття вібрації різної амплітуди дуже ускладнюється зовнішніми факторами, тому в системі використовується тільки режим ON-OFF.

### 3.3. Програмна та фізична реалізація пристрою

В результаті етапу проектування отримано наступний зовнішній вигляд пристрою (рис. 3.9).

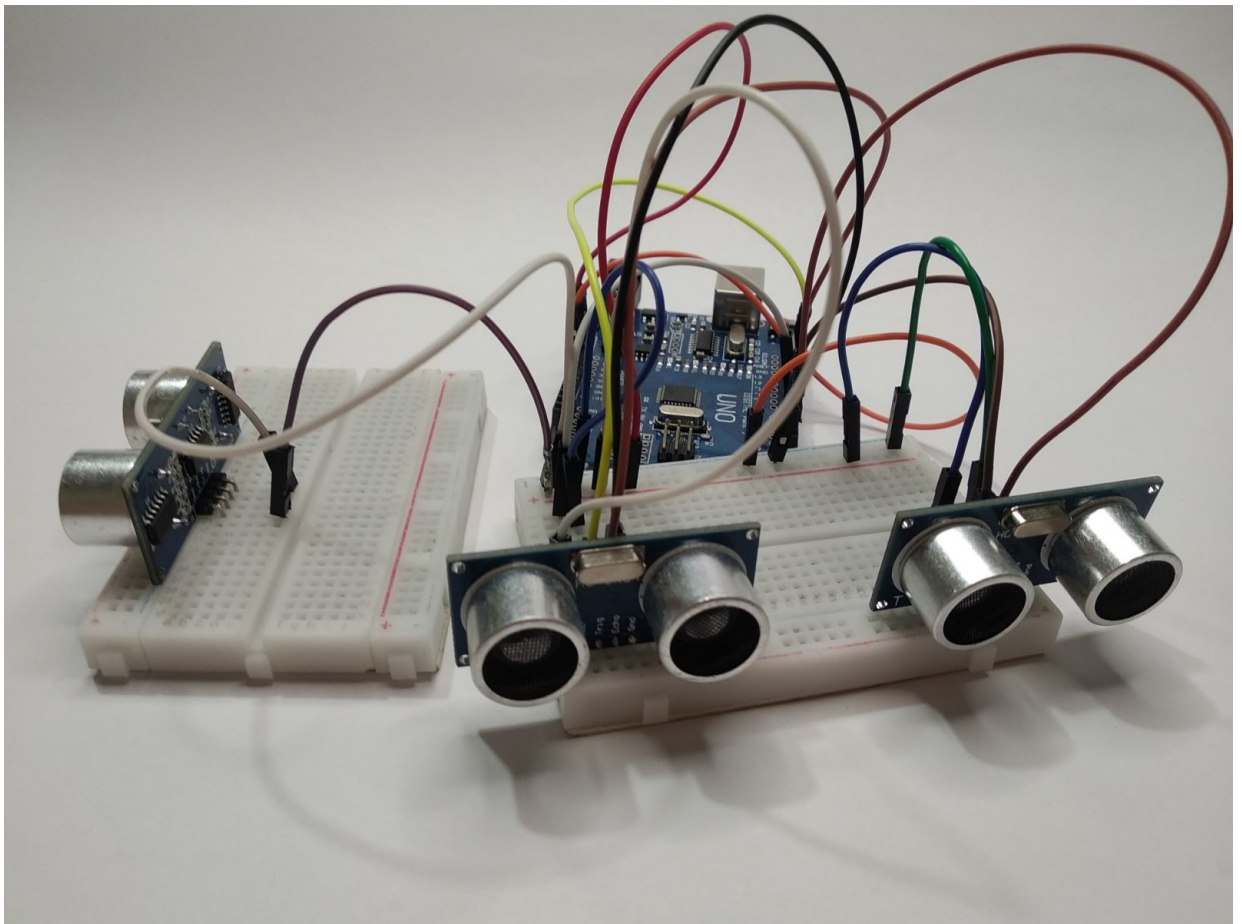


Рис. 3.9. Зовнішній вигляд пристрою на проміжному етапі

Після етапу проектування на етапі реалізації було написано програму для отримання вібросигналів при наближенні до предмету-перешкоди.



```

#define PIN_TRIG 12
#define PIN_ECHO 11
#define PIN_VIBRO 6
#define PIN_TRIGL 3
#define PIN_ECHOL 2
#define PIN_TRIGR 5
#define PIN_ECHOR 4
long duration, cm, durationL, cmL, durationL, cmL;
void setup() {
  Serial.begin (9600); // Відкриття порту
  pinMode(PIN_TRIG, OUTPUT);
  pinMode(PIN_ECHO, INPUT);
  pinMode(PIN_VIBRO, OUTPUT);
  pinMode(PIN_TRIGL, OUTPUT);
  pinMode(PIN_ECHOL, INPUT);
  pinMode(PIN_TRIGR, OUTPUT);
  pinMode(PIN_ECHOR, INPUT);
}
void loop() {

```

// Генеруємо короткий імпульс 2-5 мікросекунд.

```

digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH);

```

Встановивши високий рівень сигналу, чекаємо 10 мікросекунд.

У цей момент датчик відправляє сигнали з частотою 40 КГц.

```

delayMicroseconds(10);
digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);

```

Одержуємо час затримки сигналу з приймача.

```
duration = pulseIn(PIN_ECHO, HIGH);
```

Розраховуємо відстань ( $1 / \text{швидк.звук} = 1 / 0.03435 \text{ см/мс} = 29.1 \text{ мс/см}$ )

```
cm = (duration / 2) / 29.1;
Serial.print("Відстань до об'єкту: ");
Serial.print(cm);
Serial.println(" см.");
delay(250); // Пауза між вимірюваннями
```

Виконуємо аналогічні дії для лівого датчика

```
digitalWrite(PIN_TRIGL, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(PIN_TRIGL, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(PIN_TRIGL, LOW);
durationL = pulseIn(PIN_ECHOL, HIGH);
cmL = (durationL / 2) / 29.1;
Serial.print("Відстань до об'єкту: ");
Serial.print(cmL);
Serial.println(" см.");
delay(250); // Пауза між вимірюваннями
```

Виконуємо аналогічні дії для правого датчика

```
digitalWrite(PIN_TRIGR, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(PIN_TRIGR, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(PIN_TRIGR, LOW);
durationR = pulseIn(PIN_ECHOR, HIGH);
cmR = (durationR / 2) / 29.1;
Serial.print("Відстань до об'єкту: ");
```

```

Serial.print(cmL);
Serial.println(" см.");
delay(250); // Пауза між вимірюваннями
}

```

Версія програми з модифікованим керуванням вібромоторами, яке враховує особливості спийняття вібросигналів, наведено нижче.

Для генерації сигналів на вібромотори використовуються програмна широтно-імпульсна модуляція. Ініціалізація цього механізму наведено нижче

```

#define _TIMER_INTERRUPT_LOGLEVEL_      0
#define USE_TIMER_1      true
#include "TimerInterrupt.h"
#define TIMER1_INTERVAL_MS      200
int16_t Imp[3]={0,0,0};
int16_t Period_cnt[3]={0,0,0};
int16_t Period_max=20;
const   int16_t      MotorPort[3]={PIN_MOTOR1,      PIN_MOTOR2,
PIN_MOTOR3};

```

Вибір вібромоторів та формування управляючого сигналу виконується в обробнику переривань таймеру

```

void TimerHandler1(void)
{
  int16_t i, val;
  for(i=0; i<3; i++)
  {
    Period_cnt[i]++;
    if(Period_cnt[i] >= Period_max) Period_cnt[i]=0;
    if(Period_cnt[i]/2 < Imp[i])
    {
      //digitalWrite(LED_BUILTIN, Period_cnt[i]%2);
      val = (Period_cnt[i]%2)*((Imp[i]*250L)/10);
    }
  }
}

```

```

else
{ //digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
  val=0;
}
analogWrite(MotorPort[i], val);
}}

```

Для трьох ультразвукових датчиків створюємо об'єкти

```

HCSR04  ultrasonicSensor1(PIN_TRIG1, PIN_ECH01, TEMPERATURE,
MAX_DISTANCE);
HCSR04  ultrasonicSensor2(PIN_TRIG2, PIN_ECH02, TEMPERATURE,
MAX_DISTANCE);
HCSR04  ultrasonicSensor3(PIN_TRIG3, PIN_ECH03, TEMPERATURE,
MAX_DISTANCE);

```

Основна процедура ініціалізації має наступний вид. Спочатку виконується налаштування виводів мікроконтролера.

```

void setup()
{
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  ultrasonicSensor1.begin();
  ultrasonicSensor2.begin();
  ultrasonicSensor3.begin();
}

```

Виконується ініціалізація таймеру та приєднання обробників переривань

```

ITimer1.init();
  if (ITimer1.attachInterruptInterval(TIMER1_INTERVAL_MS,
TimerHandler1))
  {

```

```

        Serial.print(F("Starting   ITimer1 OK, millis() = "));
Serial.println(millis());
    } else
        Serial.println(F("Can't set ITimer1. Select another freq.
or timer"));}

```

В основному циклі програми виконуються наступні дії. Зчитування значення з датчика, та обчислення відстані в умовних одиницях.

```

distance[0] = ultrasonicSensor1.getMedianFilterDistance();
if(distance[0]<HCSR04_OUT_OF_RANGE)
{
    if(distance[0]>100)
        distance1[0] = 0;
    else
        distance1[0] = 10 - (distance[0]* 10) / 100;
}
else
    distance1[0] = 0;

```

Обчислене значення відстані копіюється в результуючий масив у захищеному від розрізання перериваннями блоці.

```

noInterrupts();
Imp[0] = distance1[0];
interrupts();

```

Далі ця послідовність повторюється для інших датчиків.

## ВИСНОВКИ

Люди з порушеннями зору часто хочуть більше, ніж просто інформацію про своє місцезнаходження, і часто їм необхідно співвіднести своє поточне місце розташування з особливостями, існуючими в навколишньому середовищі.

Чимало досліджень було присвячено створенню допоміжних систем. Допоміжні системи для навігації людини, в цілому, спрямовані на те, щоб дозволити своїм користувачам безпечно і ефективно орієнтуватися в незнайомому середовищі шляхом динамічного планування шляху на основі місця розташування користувача з урахуванням обмежень, пов'язаних з їх особливими потребами.

Сучасні мобільні допоміжні технології стають все більш дискретними і включають в себе широкий спектр мобільних комп'ютеризованих пристроїв.

Технологія може бути використана для визначення місця розташування користувача, його ставлення до оточення (контексту), генерації навігаційних інструкцій і доставки всієї цієї інформації сліпому (або частково сліпому) користувачеві.

У цій роботі представлений загальний огляд допоміжних технологій навігації та орієнтації для людей з вадами зору. Як і при розробці будь-якої іншої допоміжної технології, розробка систем такого типу повинна бути зосереджена на конкретних потребах і обмеженнях користувача, а також особливостях його мобільності. Використання допоміжної системи не повинно створювати будь-яких перешкод повсякденній життєдіяльності, інакше така система сама по собі буде розглядатися як перешкода, що, звісно, не є логічним.

Іноді розроблені використовувані технології не зовсім адекватні або не відповідають конкретним потребам або через їх режим роботи, або через те, як вони передають інформацію сліпому користувачеві.

Що стосується систем локації, то, незважаючи на зусилля щодо створення дешевих, надійних та точних систем позиціонування, наразі важко знайти систему з хорошим балансом між цими трьома факторами.

Загалом з нашої роботи можна зрозуміти, що в цій галузі вже зроблено багато роботи, хоча вона дуже фрагментарна. Дослідження в області створення допоміжних технологій для сприяння орієнтації і навігації сліпих користувачів повинні слідувати в напрямку створення інтегрованих продуктів, які використовують переваги різних технологій комбінованим або інтегрованим чином.

Для цього еволюція сенсорних технологій допоможе досягти масового використання.

Запропонований нами пристрій показав хороші результати при скануванні простору в русі в лабораторних умовах. Але, наразі, звичайно є потреба в довгострокових та всеосяжних випробуваннях даного пристрою.

Можна зробити висновок, що найбільш ефективним було б використовувати не тільки один тип вихідного сигналу, але і кілька водночас. Додатковим інформаційним каналом для людей з вадами зору при пересуванні може бути джерело вібрації в рукоятці тростини. В даному випадку використання вібраційного сигналу у вигляді періодичних пакетів імпульсів реалізується завдяки частоті вібраційного сигналу, що кодує тип перешкоди, і частоті послідовності імпульсів, яка буде використовуватися для кодування відстані до перешкоди. Іншими словами чим ближчою буде перешкода, тим вищою ставатиме частота послідовності імпульсів.

У компонуванні системи допомоги людям з вадами зору в нашому випадку використовуються два ультразвукових датчика HC-SR04, які забезпечують працездатність системи при виявленні перешкод, таких, наприклад, як сходи угору або вниз.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розроблений пристрій може використовуватися людьми з вадами зору. Однак пристрій потребує оптимізації розмірів, системи живлення та системи фільтрації даних з датчиків.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Clark-Carter D.D. The efficiency and walking speed of visually impaired pedestrians / D.D. Clark-Carter, A.D. Heyes, C.I. Howarth // *Ergonomics*. Vol. 29. - New York, 1986. - № 3. - P. 779-789.
2. Dakopoulos D. Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: a survey / D. Dakopoulos, N.G. Bourbakis // *Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews*. Vol. 40. - New York: IEEE, 2010. - № 1. - P. 25-35.
3. Fernandes H. An integrated system for blind day-to-day life autonomy / H. Fernandes, J. Faria, H. Paredes, J. Barroso // *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. - New York: Association for Computing Machinery, 2011. - № 8. - P. 225-226.
4. Giudice N.A. Blind navigation and the role of technology / N.A. Giudice, G.E. Legge // *The Engineering Handbook of Smart Technology for Aging, Disability, and Independence*. - Hoboken: Wiley, 2008. - № 1. - P. 479-500.
5. Hakobyan L. Mobile assistive technologies for the visually impaired / L. Hakobyan, J. Lumsden, D. O'Sullivan, H. Bartlett // *Survey of Ophthalmology*. Vol. 58. - Amsterdam: Elsevier, 2013. - № 6. - P. 513-528.
6. Hill E.W. How persons with visual impairments explore novel spaces? / E.W. Hill, J.J. Rieser, M. Hill, J. Halpin, R. Halpin // *Journal of Visual Impairment & Blindness*. Vol. 87. - Washington: AFB Press, 1993. - № 8. - P. 295-301.
7. Jacobson R.D. Cognitive mapping without sight: Four preliminary studies of spatial learning / R.D. Jacobson // *Journal of Environmental Psychology*. Vol. 18. - Amsterdam: Elsevier, 1998. - № 3. - P. 289-305.
8. Loomis J.M. Representing 3D space in working memory: Spatial images from vision, touch, hearing, and language / J.M. Loomis, R.L. Klatzky, N.A. Giudice // *Multisensory Imagery: Theory & Applications*. - New York: Springer, 2013. - № 1. - P. 131-156.

9. Merleau-Ponty M. Phenomenology of Perception / M. Merleau-Ponty. - London: Routledge and Kegan Paul, 1962. - 466 p.
10. Millar S. Models of sensory deprivation: The nature/nurture dichotomy and spatial representation in the blind / S. Millar // International Journal of Behavioral Development. Vol. 11. - Newbury Park: SAGE Publishing, 1988. - № 1. - P. 69-87.
11. Montello D.R. Scale and multiple psychologies of space / D.R. Montello // Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 716. - New York: Springer, 1993. - № 4. - P. 312-321.
12. Ray A. Robotics and Automation / A. Ray, L. Behera, M. Jamshidi. - Orlando: IEEE Systems Journal, 2008. - 362 p.
13. Ruotsalainen L. Vision-Aided Pedestrian Navigation for Challenging GNSS Environments / L. Ruotsalainen. - Masala, Finland: Publications of the Finnish Geodetic Institute, 2013. - 151 p.
14. Takizawa H. Kinect cane: an assistive system for the visually impaired based on three-dimensional object recognition / H. Takizawa, S. Yamaguchi, M. Aoyagi, N. Ezaki, S. Mizuno // System Integration. IEEE/SICE International Symposium. - New York: IEEE, 2012. - № 7. - P. 740-745.
15. Thinus-Blanc C. Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? / C. Thinus-Blanc, F. Gaunet // Psychological Bulletin. Vol. 121. - Washington: American Psychological Association, 1997. - № 1. - P. 20-42.

ДОДАТОК

## ДОДАТОК А

## Вихідний код програми test\_spwm.ino

```
#include <HCSR04.h>

#define PIN_MOTOR1 5
#define PIN_MOTOR2 6
#define PIN_MOTOR3 3

#define PIN_ECHO1 4
#define PIN_TRIG1 7

#define PIN_ECHO2 8
#define PIN_TRIG2 9

#define PIN_ECHO3 11
#define PIN_TRIG3 12

//#define TIMER_INTERRUPT_DEBUG 0
#define _TIMER_INTERRUPT_LOGLEVEL_ 0

#define USE_TIMER_1 true

#if (defined(__AVR_ATmega644__) ||
defined(__AVR_ATmega644A__) || defined(__AVR_ATmega644P__) ||
defined(__AVR_ATmega644PA__) || \
defined(ARDUINO_AVR_UNO) || defined(ARDUINO_AVR_NANO)
|| defined(ARDUINO_AVR_MINI) || defined(ARDUINO_AVR_ETHERNET)
|| \
defined(ARDUINO_AVR_FIO) || defined(ARDUINO_AVR_BT)
|| defined(ARDUINO_AVR_LILYPAD) || defined(ARDUINO_AVR_PRO)
|| \
```

```

defined(ARDUINO_AVR_UNO_WIFI_DEV_ED) ||
defined(ARDUINO_AVR_DUEMILANOVE) ||
defined(ARDUINO_AVR_FEATHER328P) || \
defined(ARDUINO_AVR_METRO) ||
defined(ARDUINO_AVR_PROTRINKET5) ||
defined(ARDUINO_AVR_PROTRINKET3) ||
defined(ARDUINO_AVR_PROTRINKET5FTDI) || \
    defined(ARDUINO_AVR_PROTRINKET3FTDI) )
    #define USE_TIMER_2      true
    #warning Using Timer1, Timer2
#else
    #define USE_TIMER_3      true
    #warning Using Timer1, Timer3
#endif

#include "TimerInterrupt.h"

#define TIMER1_INTERVAL_MS    200
//#define TIMER_INTERVAL_MS    2000

int16_t Imp[3]={0,0,0};
int16_t Period_cnt[3]={0,0,0};
int16_t Period_max=20;

const    int16_t    MotorPort[3]={PIN_MOTOR1,    PIN_MOTOR2,
PIN_MOTOR3};

void TimerHandler1(void)
{
    int16_t i, val;

    for(i=0; i<3; i++)
    {
        Period_cnt[i]++;
        if(Period_cnt[i] >= Period_max) Period_cnt[i]=0;
    }
}

```

```

    if(Period_cnt[i]/2 < Imp[i])
    {
        //digitalWrite(LED_BUILTIN, Period_cnt[i]%2);
        val = (Period_cnt[i]%2)*((Imp[i]*250L)/10);
    }
    else
    { //digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
        val=0;
    }
    analogWrite(MotorPort[i], val);
}
}

#define TEMPERATURE 20
#define MAX_DISTANCE 300
HCSR04 ultrasonicSensor1(PIN_TRIG1, PIN_ECH01, TEMPERATURE,
MAX_DISTANCE);
HCSR04 ultrasonicSensor2(PIN_TRIG2, PIN_ECH02, TEMPERATURE,
MAX_DISTANCE);
HCSR04 ultrasonicSensor3(PIN_TRIG3, PIN_ECH03, TEMPERATURE,
MAX_DISTANCE);

void setup()
{
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);

    ultrasonicSensor1.begin(); //set trigger as output &
echo pin as input
    ultrasonicSensor2.begin(); //set trigger as output &
echo pin as input
    ultrasonicSensor3.begin(); //set trigger as output &
echo pin as input

```

```

Serial.begin(115200);
while (!Serial);

Serial.print(F("\nStarting Argument_None on "));
Serial.println(BOARD_TYPE);
Serial.println(TIMER_INTERRUPT_VERSION);
  Serial.print(F("CPU Frequency = ")); Serial.print(F_CPU /
1000000); Serial.println(F(" MHz"));

  ITimer1.init();

      if (ITimer1.attachInterruptInterval(TIMER1_INTERVAL_MS,
TimerHandler1))
    {
      Serial.print(F("Starting ITimer1 OK, millis() = "));
Serial.println(millis());
    }
    else
      Serial.println(F("Can't set ITimer1. Select another freq.
or timer"));

}

void loop()
{

  uint16_t distance[3];
  uint16_t distance1[3];
// distance[0] = ultrasonicSensor1.getDistance();
distance[0] = ultrasonicSensor1.getMedianFilterDistance();
if(distance[0]<HCSR04_OUT_OF_RANGE)
{
  if(distance[0]>100)
    distance1[0] = 0;

```

```
        else
            distance1[0] = 10 - (distance[0]* 10) / 100;
    }
    else
    {
        distance1[0] = 0;
    }
    noInterrupts();
    Imp[0] = distance1[0];
    interrupts();

// distance[1] = ultrasonicSensor2.getDistance();
distance[1] = ultrasonicSensor2.getMedianFilterDistance();
if(distance[1]<HCSR04_OUT_OF_RANGE)
{
    if(distance[1]>100)
        distance1[1] = 0;
    else
        distance1[1] = 10 - (distance[1]* 10) / 100;
}
else
{
    distance1[1] = 0;
}
noInterrupts();
Imp[1] = distance1[1];
interrupts();

// distance[2] = ultrasonicSensor3.getDistance();
distance[2] = ultrasonicSensor3.getMedianFilterDistance();
if(distance[2]<HCSR04_OUT_OF_RANGE)
{
    if(distance[2]>100)
        distance1[2] = 0;
```



```
    else
        distance1[2] = 10 - (distance[2]* 10) / 100;
    }
    else
    {
        distance1[2] = 0;
    }
    noInterrupts();
    Imp[2] = distance1[2];
    interrupts();

    delay(200);
    String str = "d:";
    str += distance[0];
    str += " : ";
    str += distance[1];
    str += " : ";
    str += distance[2];
    str += " = ";
    str += distance1[0];
    str += " : ";
    str += distance1[1];
    str += " : ";
    str += distance1[2];
    Serial.println(str);

}
```