

Міністерство освіти і науки України  
Державний заклад  
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

Навчально-науковий інститут математики та інформаційних технологій

Кафедра інформаційних технологій та систем

**Спас Денис Андрійович**

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРІ ЛЮДЕЙ З  
ВАДАМИ ЗОРУ НА ОСНОВІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ**

**кваліфікаційна робота**

**здобувача вищої освіти другого (магістерського) рівня**

**освітньої програми «Комп'ютерні мережі»**

**за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія**

Особистий підпис \_\_\_\_\_



Денис СПАС

Науковий керівник \_\_\_\_\_



Володимир ДОНЧЕНКО,  
старший викладач кафедри  
інформаційних технологій та систем

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_



Микола СЕМЕНОВ,  
кандидат педагогічних наук, доцент  
кафедри інформаційних технологій  
та систем

Лубни – 2026

## АНОТАЦІЯ

**Спас Д. А.**

**Тема:** Розробка системи орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій.

**Спеціальність:** 123 «Комп'ютерна інженерія».

**Установа:** ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2026 р.

**Магістерська робота містить:** 110 с., 59 рис., 2 табл., 3 додат., 68 джерел.

**Об'єктом дослідження** – процес орієнтування людей з повною або частковою втратою зору в просторі із застосуванням спеціалізованих технічних засобів та технологічних рішень.

**Предмет дослідження** – технологічні засоби, що застосовуються для розроблення систем просторової орієнтації для людей з вадами зору на основі IoT, а також їх функціональні можливості, характеристики та переваги.

**Мета дослідження** – розробка системи орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій.

**Результати роботи.** У ході виконання роботи розроблено та практично реалізовано системи орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій а саме електронну тростину із вбудованими сенсорами та системою обробки даних. Були визначені функціональні та технічні вимоги до характеристик пристрою автоматизованої системи орієнтації у просторі для людей з вадами зору на базі IoT технологій. На їх основі здійснено підбір відповідних компонентів для реалізації системи. Було розроблено структурну схему, електричну принципову схему та алгоритм роботи системи, що спростило подальшу розробку пристрою. Проведено моделювання системи у середовищі Tinkercad, створена системи розпізнавання об'єктів та виготовлено макет системи орієнтації у просторі для людей з вадами зору на основі IoT технологій. На цьому етапі було виконано підключення компонентів, розроблено схему з'єднання у Fritzing, описано програмування мікроконтролера та проведено тестування окремих підсистем.

**Ключові слова.** ПОРУШЕННЯ ЗОРУ, ДОПОМІЖНІ ПРИСТРОЇ, ПРОСТОРОВА НАВІГАЦІЯ, ARDUINO NANO, TINKERCAD, ARDUINO IDE, YOLOV3, ESP32-CAM, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (IOT) GPS ТА GSM МОДУЛІ, ДАТЧИКИ, ЕЛЕКТРОННА ТРОСТИНА.

## ABSTRACT

**Spas Denys**

**Theme:** Development of a spatial orientation system for people with visual impairments based on IoT technologies.

**Speciality:** 123 "Computer Engineering"

**Institution:** Luhansk Taras Shevchenko National University (LTSNU), 2026.

**Master's work of:** 110 pages, 59 Fig., 2 Table, 3 adj., 68 source.

**A research object is** the the process of orienting people with complete or partial vision loss in space using specialized technical means and technological solutions.

**The article of research is** technological tools used to develop spatial orientation systems for people with visual impairments based on IoT, as well as their functionalities, characteristics and benefits.

**An aim of work is** development of a spatial orientation system for visually impaired people based on IoT technologies.

**Job performances.** In the course of the work, spatial orientation systems for people with visual impairments based on IoT technologies were developed and practically implemented, namely an electronic cane with built-in sensors and a data processing system.

Functional and technical requirements for the characteristics of the device of an automated spatial orientation system for people with visual impairments based on IoT technologies were determined. Based on them, the appropriate components were selected for the implementation of the system. A structural diagram, an electrical schematic diagram and an algorithm for the system were developed, which simplified the further development of the device. The system was modeled in the Tinkercad environment, an object recognition system was created and a mock-up of a spatial orientation system for people with visual impairments based on IoT technologies was made. At this stage, the components were connected, a connection diagram was developed in Fritzing, microcontroller programming was described and individual subsystems were tested.

**Keywords.** VISUAL IMPAIRMENT, ASSISTANT DEVICES, SPATIAL NAVIGATION, ARDUINO NANO, TINKERCAD, ARDUINO IDE, YOLOV3, ESP32-CAM, INTERNET OF THINGS (IOT), GPS AND GSM MODULES, SENSORS, ELECTRONIC CANE.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З</b>	
<b>ВАДАМИ ЗОРУ .....</b>	<b>12</b>
1.1. Особливості орієнтації людей з вадами зору .....	12
1.2. Використання системи допомоги орієнтації в просторі для людей з вадами зору в Україні .....	29
1.3. Традиційні засоби орієнтації: білі тростини, собаки-поводирі та звукові сигнали.....	32
1.4. Використання технологій у засобах орієнтації.....	41
Висновки до розділу .....	55
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРІ</b>	
<b>ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ НА ОСНОВІ ІоТ ТЕХНОЛОГІЙ .....</b>	<b>57</b>
2.1. Вимоги до технічних характеристик пристрою .....	57
2.2. Вимоги до функціональних характеристик пристрою .....	58
2.3. Розроблення структурної схеми.....	58
2.4. Розроблення алгоритму функціонування системи.....	60
2.6. Обґрунтування вибору окремих компонентів .....	62
2.6.1. Мікроконтролер .....	62
2.6.2. Модуль камери .....	68
2.6.3. Ультразвуковий датчик .....	72
2.6.4. Датчик рівня води .....	74
2.6.5. Модуль GPS .....	76
2.6.6. Модуль GSM.....	78
2.6.7. Стабілізатор напруги на основі LM2596 .....	79
Висновки до розділу .....	81
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СПРОЄКТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТА</b>	
<b>ВИГОТОВЛЕННЯ МАКЕТА .....</b>	<b>82</b>
3.1. Моделювання системи в Tinkercad.....	82

3.2. Розроблення системи розпізнавання об'єктів .....	85
3.3. Виготовлення макета пристрою.....	94
Висновки до розділу .....	97
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>99</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>101</b>
<b>ДОДАТОК А .....</b>	<b>109</b>
<b>ДОДАТОК Б .....</b>	<b>114</b>
<b>ДОДАТОК В .....</b>	<b>118</b>

## ВСТУП

У повсякденному житті люди з повною або частковою втратою зору трапляються нечасто, що значною мірою зумовлено їх ізоляцією через складнощі орієнтації у просторі. За інформацією Всесвітньої організації охорони здоров'я, у світі налічується близько 285 мільйонів осіб із порушеннями зору, з яких приблизно 39 мільйонів є повністю незрячими. В Україні офіційно зареєстровано близько 70 тисяч незрячих людей, однак за неофіційними оцінками їх кількість у 3–4 рази більша, при цьому рівень працевлаштування становить лише близько 20 % [1].

Українські міста переважно не пристосовані до потреб людей із вадами зору, насамперед у питаннях безпечного пересування. Саме тому таких людей рідко можна побачити на вулицях, що створює хибне уявлення про відсутність проблем. Насправді ж спроби отримати освіту, відвідати бібліотеку або дістатися до місця роботи супроводжуються значними труднощами, серед яких найсерйознішою є пересування міським середовищем [2].

Для України характерні певні позитивні зрушення у великих містах, однак у регіонах ситуація залишається складною. Однією з важливих проблем є відсутність звукових сигналів на більшості світлофорів, що ускладнює прийняття рішення щодо переходу дороги. Навіть там, де такі сигнали наявні, вони часто не уніфіковані, що додатково дезорієнтує людей із вадами зору. Не менш серйозною проблемою є стан тротуарів: чинні правила дозволяють паркування на них, а порушення водіями встановлених норм часто перекривають прохід, ускладнюючи пересування навіть із використанням тростини [2].

Питання мобільності незрячих людей вирішується різними способами. Найпоширенішими є використання допоміжної тростини та спеціально навчених собак, однак ці засоби не забезпечують повної інформації для безпечної навігації. Додатково орієнтації сприяє використання звукових і просторових орієнтирів, а також розвиток слуху й нюху. У міському середовищі важливу роль відіграє тактильне покриття тротуарів [3].

Попри значну кількість наукових досліджень, присвячених створенню навігаційних та орієнтаційних систем для людей із вадами зору, питання підвищення їх ефективності та одночасного зменшення вартості й надалі залишається актуальним.

У праці [4] наведено огляд сучасного рівня розвитку систем і засобів, що забезпечують комунікацію людей з вадами зору з навколишнім середовищем. На підставі аналізу існуючих проблем їх практичної реалізації окреслено перспективні напрями подальшого розвитку таких технологій. У дослідженні [5] представлено концепцію «розумної» тростини для незрячих користувачів, яка здатна виявляти перешкоди на шляху руху та інформувати користувача за допомогою голосових повідомлень або вібраційних сигналів. Робота [6] присвячена розробленню навігаційного застосунку на базі платформи Android, що фактично виконує функцію зору для незрячих людей. У ній описано архітектуру пристрою, принцип його роботи та створений макет, у якому для виявлення перешкод застосовано ультразвукові датчики. Вартість запропонованого навігатора становить близько 120 доларів США.

У публікації [7] розглянуто узагальнену структурну схему, конструктивні особливості та результати верифікації допоміжного пристрою для людей з порушеннями зору, до складу якого входить електротактильний дисплей. Конструктивно система складається з трьох основних модулів: окулярів із вбудованою камерою для виявлення об'єктів, електротактильного інтерфейсу та обчислювального блоку у вигляді комп'ютера.

У дослідженні [8] з метою підвищення точності позиціонування незрячих пішоходів поєднано технології штучного зору з GPS, при цьому використовуються сигнали комерційних геоінформаційних систем (GIS) та глобальної системи позиціонування.

У роботі [9] представлено маловартісну допоміжну навігаційну систему для людей з порушеннями зору, яка надає користувачеві голосові підказки та

визначає відстань між ним і об'єктами за допомогою гіроскопа й магнітного компаса.

Праця [10] містить результати розроблення й експериментального дослідження електронної довгої тростини, призначеної для покращення мобільності людей з вадами зору. Зазначено, що такий пристрій дозволяє виявляти фізичні перешкоди, розташовані вище рівня талії користувача, однак не забезпечує повноцінної просторової орієнтації. У роботі [11] запропоновано ультразвуковий допоміжний пристрій для незрячих, характерною рисою якого є застосування давачів з ідентифікаторами у вигляді двійкового коду. Завдяки цьому мікроконтролер може визначати, з якого саме датчика надійшов сигнал, і відповідно ідентифікувати напрям перешкоди та формувати аудіосповідення для користувача.

Навігаційний пристрій на базі GPS–GSM, описаний у [12], вирізняється використанням ємнісної сенсорної клавіатури Брайля та інтелектуальних SMS-повідомлень. Такий підхід забезпечує тактильний зворотний зв'язок і допомагає користувачеві визначати своє поточне місцезнаходження. Додатково пристрій надає аудіоінформацію про час, дату та навіть колір об'єктів перед користувачем.

У роботі [13] описано носимий пристрій у вигляді кільця для пальця, який дозволяє зчитувати текст під час руху. Конструкція містить два вібраційні двигуни, що забезпечують додатковий зворотний зв'язок і допомагають користувачеві правильно спрямовувати камеру. У роботі [14] представлено навігаційний пристрій для людей з порушеннями зору, який забезпечує визначення кольорів за допомогою RGB-D датчика з розширеним інфрачервоним діапазоном. У дослідженні [15] запропоновано мобільний пристрій для незрячих із покращеною вертикальною роздільною здатністю, що використовує два динамічні зорові датчики, вплив яких спрямований безпосередньо на сітківку ока. Пристрій закріплюється на голові користувача.

У роботі [16] реалізовано поєднання ультразвукових сенсорів і технологій комп'ютерного зору для підвищення ефективності виявлення та розпізнавання



перешкод. Представлено експериментальний прототип і детально описано принцип його функціонування. Завдяки застосуванню методів машинного навчання та комп'ютерного зору система здатна ідентифікувати як статичні, так і рухомі об'єкти як у приміщеннях, так і на відкритому просторі, незалежно від їхнього типу. Пристрій забезпечує безперервне інформування користувача про навколишнє середовище за допомогою звукового зворотного зв'язку та відстежує об'єкти, які ще не були розпізнані.

У дослідженні [17] описано систему на базі смартфона, призначену для виявлення перешкод у режимі реального часу, яка забезпечує автономну навігацію незрячих користувачів як у приміщенні, так і на вулиці. Смартфон при цьому закріплюється на грудях користувача. У роботі [18] запропоновано носимий пристрій EyeRing, який одягається на вказівний палець і забезпечує безперервну взаємодію користувача з навколишнім середовищем. Пристрій здійснює послідовне сканування друкованого тексту рядок за рядком, а результат передається користувачеві у вигляді тактильного та аудіозворотного зв'язку.

У [19] описано ультразвуковий навігаційний пристрій для людей з вадами зору Сонар5УФ-В4, призначений для просторової орієнтації. Передбачено варіанти кріплення на грудях або утримання в руці. Мікроконтролер обробляє сигнали з ультразвукових датчиків і повідомляє користувача про наявність перешкод за допомогою вібраційних сигналів. У роботі [20] розроблено пристрій HelpyEyes, який дозволяє незрячим користувачам виявляти перешкоди, розпізнавати кольори та оцінювати рівень освітленості в приміщенні. Пристрій призначений виключно для використання в закритих просторах, оскільки радіус дії датчика не перевищує одного метра, а про перешкоди він інформує користувача за допомогою звукових сигналів. У [21] представлено пристрій Guide, який сповіщає незрячого користувача про наявність перешкод на шляху руху за допомогою переривчастого звукового сигналу. При зменшенні відстані до об'єкта менш ніж до одного метра сигнал стає безперервним.

Попри значну кількість наукових досліджень, присвячених створенню навігаційних та орієнтаційних систем для людей із вадами зору, питання підвищення їх ефективності та одночасного зменшення вартості й надалі залишається актуальним.

Розвиток інформаційних технологій та широке впровадження концепції Інтернету речей (IoT) відкривають нові можливості для модифікації та удосконалення систем орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій.

**Об’єкт дослідження** – процес орієнтування людей з повною або частковою втратою зору в просторі із застосуванням спеціалізованих технічних засобів та технологічних рішень.

**Предмет дослідження** – технологічні засоби, що застосовуються для розроблення систем просторової орієнтації для людей з вадами зору на основі IoT, а також їх функціональні можливості, характеристики та переваги.

**Мета дослідження** – розробка системи орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій.

**Досягнення зазначеної мети передбачає вирішення таких основних завдань:**

- виконати аналіз предметної області та наявних систем просторової орієнтації для людей з вадами зору із визначенням їх функціональних можливостей;
- дослідити перспективи використання таких систем в Україні та можливості їх адаптації до місцевих умов і потреб користувачів;
- провести детальний аналіз основних компонентів та інструментів, необхідних для реалізації системи орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій на базі платформи Arduino;
- спроектувати, змодельовати та реалізувати власний пристрій просторової орієнтації, що відповідатиме основним вимогам і забезпечуватиме виконання ключових функцій.

**Для вирішення поставлених задач** використовувались методи моделювання та програмування; положення теорії автоматичного керування; методи створення автоматизованих вимірювальних мікропроцесорних систем; методи математичної статистики та обробки експериментальних результатів.

**Практичне значення** полягає у проєктуванні та вдосконаленні технічних рішень, спрямованих на покращення просторової орієнтації людей з порушеннями зору. Отримані результати можуть бути використані під час розроблення нових або модернізації наявних систем допомоги орієнтації, що сприятиме підвищенню рівня мобільності, автономності та безпеки незрячих людей у повсякденному житті. Система передбачатиме використання електронної тростини, оснащеної вбудованими датчиками, а також модуля обробки даних, який забезпечуватиме користувача додатковою інформацією про навколишнє середовище.

**Наукове значення** роботи полягає в доповненні та розвитку наявних знань щодо технологій підтримки людей з вадами зору, а також у розширенні можливостей їх застосування в умовах інтенсивної урбанізації та ускладнення просторового середовища.

# **РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ**

## **1.1. Особливості орієнтації людей з вадами зору**

У сучасному соціально-технологічному середовищі візуальна інформація є домінуючим каналом сприйняття навколишнього світу для людей з нормальним зором. Саме за допомогою зорового аналізатора людина здатна розпізнавати кольори, геометричні характеристики, просторові взаємозв'язки та текстурні особливості об'єктів, що забезпечує швидку та ефективну орієнтацію в просторі. Зорове сприйняття формує основу для когнітивних процесів, соціальної взаємодії, професійної діяльності та творчої самореалізації.

Водночас для осіб із повною або частковою втратою зору даний канал сприйняття є обмеженим або повністю недоступним, що суттєво ускладнює процес просторової орієнтації. Люди, які є незрячими від народження внаслідок генетичних порушень або внутрішньоутробних факторів, не мають сформованих візуальних образів предметів навколишнього середовища. У таких умовах провідну роль у пізнанні простору відіграють альтернативні сенсорні системи, зокрема слух, тактильна чутливість і нюх. Орієнтація здійснюється на основі аналізу акустичних сигналів, фактури поверхонь, температурних відчуттів та запахів, що дозволяє формувати уявлення про навколишнє середовище без використання зору [1].

Інша ситуація характерна для осіб, які втратили зорову функцію поступово. Вони володіють накопиченим запасом візуальних спогадів про об'єкти, простір і людей, які оточували їх раніше. Проте з плином часу, за відсутності можливості постійного підкріплення цих образів зоровими стимулами, відбувається їх поступова деградація. Знижується здатність відтворювати дрібні деталі, точні кольорові відтінки або текстурні особливості предметів. Так, загальні уявлення про форму об'єкта можуть зберігатися, однак конкретні візуальні характеристики стають нечіткими або повністю втрачаються.

Найбільш складним психологічно та когнітивно є процес адаптації для людей, які втратили зір у зрілому віці. Наявні візуальні образи близьких осіб, знайомих місць чи об'єктів із часом перестають відповідати реальному стану речей. Це створює додаткові труднощі у сприйнятті соціального середовища та формуванні актуальної картини світу. Крім того, природні вікові зміни центральної нервової системи можуть призводити до поступового стирання зорових спогадів і зниження здатності до їх детального відтворення [2].

Водночас у осіб із порушеннями зору відбувається інтенсивний розвиток альтернативних сенсорних механізмів сприйняття. Зокрема, слухова система зазнає функціональної компенсації, що проявляється у підвищеній чутливості до звукових сигналів та здатності розрізняти незначні акустичні відмінності. Не менш важливу роль відіграє тактильне сприйняття, яке дозволяє ідентифікувати об'єкти шляхом аналізу їх геометричної форми, фактури поверхні та матеріалу виготовлення (див. рисунок 1.1). Нюхова чутливість також має істотне значення, оскільки запахи можуть слугувати орієнтирами у просторі, сприяти впізнаванню місць та формуванню асоціативних зв'язків із навколишнім середовищем [3].



Рис. 1.1. Люди з вадами зору мають добре розвинуті органи чуття

Таким чином, попри те, що втрата зорової функції є суттєвим фізіологічним та соціальним викликом, організм людини демонструє високий рівень адаптаційних можливостей. Компенсація дефіциту зору шляхом посиленого розвитку інших сенсорних каналів забезпечує можливість активної

життєдіяльності, ефективної адаптації до навколишнього середовища та формування альтернативних способів пізнання об'єктивної реальності.

Для осіб із набутою або вродженою сліпотою однією з ключових компенсаційних функцій є слухове сприйняття. Саме слух виступає основним інструментом просторової орієнтації, дозволяючи отримувати інформацію про структуру середовища, наявність перешкод, рухомі об'єкти та динаміку простору. Акустичні сигнали сприяють формуванню уявлень про відстань, напрямок та просторове розташування об'єктів без використання зорового аналізатора.

Слухові стимули виконують функцію своєрідних «орієнтаційних маркерів», які забезпечують:

*Оцінювання відстані до об'єктів.* Аналіз звукових хвиль, що відбиваються від різних поверхонь (стін, меблів, архітектурних конструкцій), дає змогу приблизно визначати віддаленість об'єктів. Даний механізм має певну схожість із принципом ехолокації, притаманним тваринам, хоча у людини він реалізується на іншому нейрофізіологічному рівні.

*Локалізацію джерел звуку.* Незрячі особи здатні точно визначати напрямок наближення людей, тварин або транспортних засобів, що дозволяє орієнтуватися у просторі без безпосереднього тактильного контакту з об'єктами.

*Акустичну ідентифікацію об'єктів.* Різні предмети та явища характеризуються специфічними звуковими ознаками. Наприклад, транспортні засоби мають унікальні акустичні характеристики роботи двигуна, тоді як людські кроки відрізняються за ритмом, силою звуку та типом поверхні, по якій відбувається рух.

Особливого значення набувають голосові параметри як основний засіб ідентифікації знайомих осіб. У процесі регулярної комунікації незрячі люди формують здатність швидко розпізнавати співрозмовників за тембром, інтонацією та ритмом мовлення. Додатково можуть використовуватися

індивідуальні несловесні акустичні сигнали, зокрема особливості ходи або характерні рухи (див. рисунок 1.2) [4].



Рис. 1.2. Засіб просторової обізнаності: слух

За умов відсутності або значного обмеження зорової інформації слух набуває провідного значення та характеризується підвищеною чутливістю до акустичних стимулів. Особи з порушеннями зору здатні сприймати та аналізувати тонкі відмінності звуків, які зазвичай не фіксуються людьми зі збереженим зором. Це забезпечує можливість:

- оперативної орієнтації у добре знайомих приміщеннях;
- своєчасного виявлення потенційних загроз, зокрема наближення транспортних засобів або різких звукових сигналів;
- формування просторового уявлення про навколишнє середовище на основі акустичної інформації навіть за відсутності безпосереднього тактильного контакту з об'єктами.

Разом із тим слухове сприйняття має низку функціональних обмежень. У середовищах із підвищеним рівнем шуму, таких як громадські простори, транспортні вузли або вулиці з інтенсивним рухом, ефективність орієнтації суттєво знижується. Надмірний фоновий шум призводить до перевантаження слухового аналізатора, що ускладнює:

- диференціацію значущих акустичних сигналів серед загального шумового фону;

- оперативне реагування на звукові маркери, критично важливі для безпечної навігації.

У таких умовах особи з порушеннями зору змушені використовувати додаткові стратегії орієнтації, зокрема активніше залучати тактильні відчуття або застосовувати допоміжні технічні засоби. До них належать тростини, звукові індикатори на пішохідних переходах, а також спеціалізовані навігаційні пристрої, призначені для підтримки просторової обізнаності.

Для людей із порушеннями зору тактильна інформація є одним із ключових каналів отримання даних про навколишнє середовище (див. рисунок 1.3). Тактильне сприйняття забезпечує безпосередній контакт із фізичними об'єктами та поверхнями, дозволяючи визначати їхню форму, структуру, твердість і просторове розташування. Особливо важливою ця сенсорна система стає у ситуаціях, коли слухове сприйняття обмежене через високий рівень шуму або надмірну кількість одночасних звукових стимулів, що робить тактильний канал надійним інструментом компенсації відсутньої візуальної інформації [5].



Рис. 1.3. Засіб просторової обізнаності: дотик

Тактильна інформація забезпечує сприйняття фізичних характеристик навколишнього середовища та є одним із ключових механізмів просторової



орієнтації осіб із порушеннями зору. Завдяки тактильному контакту стає можливим виконання низки важливих навігаційних функцій [5]:

1. Розпізнавання типів поверхонь. За допомогою безпосереднього дотику або використання білої тростини незрячі люди здатні диференціювати різні покриття, зокрема асфальт, бетон, ґрунт, траву чи гравій. Це дозволяє визначати межі пішохідних доріжок, своєчасно виявляти відхилення від безпечного маршруту та коригувати напрямок руху.

2. Виявлення перешкод і нерівностей. Використання тростини сприяє своєчасному визначенню бордюрів, сходинок, ям, підвищень або інших об'єктів, які можуть становити потенційну небезпеку. Така інформація дає змогу уникати травматичних ситуацій і підтримувати стабільну просторову орієнтацію.

3. Ідентифікація функціональних об'єктів і зон. Тактильні навігаційні елементи, зокрема рельєфні вказівники, спеціалізовані текстуровані покриття підлоги або тактильна плитка, використовуються для позначення важливих локацій, таких як входи до будівель, пішохідні переходи чи зони очікування.

Ефективність тактильного сприйняття значною мірою підвищується за умови застосування спеціалізованих засобів та орієнтирів (див. рисунок 1.4) [6–7]:

1. Біла тростина як базовий інструмент навігації. Тростина виконує функцію продовження тактильного сприйняття, дозволяючи завчасно отримувати інформацію про об'єкти та поверхні, що знаходяться попереду. Через вібраційні та механічні сигнали користувач отримує уявлення про відстань, форму та текстуру перешкод.

2. Тактильні орієнтири в громадському просторі. Спеціальні рельєфні елементи інфраструктури, зокрема тактильна плитка з напрямними або попереджувальними візерунками, застосовуються для формування безпечних маршрутів пересування та полегшення визначення напрямку руху.

3. Текстурні особливості поверхонь. У разі безпосереднього контакту стопи з поверхнею (наприклад, під час перебування босоніж) людина може чітко розрізняти матеріали, такі як дерево, пісок або камінь. Це забезпечує додаткову просторову інформацію та підвищує точність орієнтації порівняно з іншими сенсорними каналами.



Рис. 1.4. Інструменти та додаткові атрибути для просторової обізнаності

Одним із ключових досягнень у сфері забезпечення доступності для осіб із порушеннями зору є впровадження шрифту Брайля, який функціонує як універсальна тактильна мова для читання та просторової орієнтації. Використання даної системи значно розширює можливості самостійної взаємодії незрячих людей з інформаційним і фізичним середовищем (див. рисунок 1.5) [8, 11].

Застосування шрифту Брайля забезпечує:

- Орієнтацію в навколишньому середовищі. Тактильні написи шрифтом Брайля наносяться на об'єкти інфраструктури підвищеної важливості, зокрема кнопки ліфтів, інформаційні таблички в громадських місцях, двері установ, офісних приміщень або торговельних закладів. Це дозволяє людині ідентифікувати власне місцезнаходження, визначати призначення приміщень і самостійно знаходити необхідні об'єкти.
- Доступ до текстової інформації. Рельєфно-крапкове письмо надає

можливість отримувати інформацію шляхом дотику, що є критично важливим у ситуаціях відсутності супроводу або альтернативних джерел інформації. Завдяки тактильному читанню забезпечується доступ до освітніх матеріалів, інструкцій, попереджувальних повідомлень і навігаційних даних.



Рис. 1.5. Шрифт Брайля як засіб читання та сприйняття інформації через дотик

Попри високу значущість тактильних каналів, ефективність їх використання значною мірою визначається умовами навколишнього середовища. Зокрема:

- у разі надмірної однорідності поверхонь знижується здатність до їх диференціації;
- відсутність або нерегулярне розміщення тактильних вказівників у нових чи незнайомих просторах може ускладнювати процес навігації та просторового орієнтування.

Нюхова інформація виконує допоміжну, проте важливу функцію в системі орієнтації осіб із порушеннями зору. Хоча нюхові стимули використовуються рідше порівняно зі слуховими або тактильними сигналами, вони суттєво доповнюють загальну картину сприйняття навколишнього середовища. Запахи можуть слугувати індикаторами певних місць або об'єктів, сприяти впізнаванню знайомих локацій та формуванню асоціативних зв'язків із простором (див. рисунок 1.6) [9].



Рис. 1.6. Нюх як засіб формування просторової обізнаності

Нюхові сигнали можуть виступати джерелом додаткової інформації про наявність певних об'єктів або функціональних зон, що характеризуються специфічними запахами. Для осіб із порушеннями зору такі сигнали здатні виконувати роль орієнтаційних маркерів навколишнього середовища.

До ознак, що дозволяють ідентифікувати характеристики простору, належать:

1. Індикатори навколишнього середовища:
  1. запах свіжоспеченого хліба або кондитерських виробів, що може свідчити про розташування пекарні чи закладу харчування поблизу;
  2. аромати деревини, трави або квітів, які зазвичай асоціюються з парками, скверами або іншими зеленими зонами;
  3. характерні запахи громадського транспорту, зокрема вихлопні гази або продукти згоряння пального, що вказують на близькість автобусної зупинки, трамвайної колії або жвавого перехрестя.
2. Особливості функціонального призначення місцевості. Запахи бензину, мастил або технічних рідин можуть бути маркерами розташування автозаправних станцій, автомайстерень або промислових об'єктів.

В умовах міського середовища нюхові стимули часто є інтенсивними та різноманітними, що дозволяє людям із вадами зору більш точно визначати власне місцезнаходження. Зокрема:

1. Транспортні вузли та зупинки. Стійка присутність запахів вихлопних газів від автобусів і маршрутних транспортних засобів сигналізує про наближення до зони громадського транспорту, навіть без залучення інших сенсорних каналів.

2. Публічні та торговельні простори. У торгових центрах, на ринках або в зонах громадського харчування запахи їжі, спецій чи продуктів дозволяють ідентифікувати окремі функціональні ділянки або точки продажу.

Разом із тим нюх не може розглядатися як основне джерело інформації для просторової орієнтації через низку обмежувальних факторів:

1. Нестабільність нюхових сигналів. Інтенсивність та поширення запахів істотно залежать від погодних умов, напрямку вітру та часу доби.

2. Сенсорна конкуренція. У міському середовищі запахи часто змішуються, що ускладнює їх точну ідентифікацію.

3. Обмежена просторово-кількісна інформативність. Нюхові сигнали не забезпечують точної інформації щодо відстані до об'єкта або його конкретних характеристик. Наприклад, запах вихлопних газів може вказувати на наявність зупинки, проте не дозволяє визначити номер або тип транспортного засобу.

З огляду на зазначені обмеження, ефективне орієнтування осіб із порушеннями зору зазвичай ґрунтується на комбінуванні нюхової інформації з іншими сенсорними каналами [6–9]:

1. Тактильні орієнтири. Використання білої тростини або рельєфних елементів інфраструктури сприяє визначенню входів, меж зон та напрямків руху.

2. Слухове сприйняття. Аналіз звуків транспорту або вербальна комунікація з оточуючими дозволяють уточнювати тип і напрямок руху транспортних засобів.

3. Інформаційні елементи середовища. Додаткові навігаційні засоби, зокрема написи шрифтом Брайля, підсилюють ефективність слухових і нюхових сигналів.

Сенсорна компенсація є природним адаптаційним механізмом, що забезпечує пристосування осіб із порушеннями зору до умов навколишнього середовища шляхом функціонального посилення інших сенсорних систем — слухової, тактильної та нюхової (див. рисунок 1.7). Завдяки цьому механізму формується альтернативна модель сприйняття простору, яка дозволяє зберігати самостійність, безпеку пересування та соціальну активність навіть за повної або часткової відсутності зорової інформації.

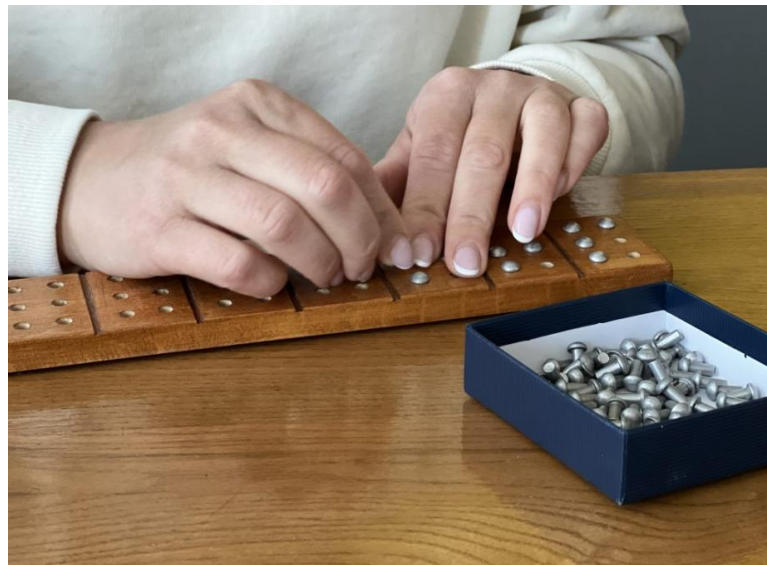


Рис. 1.7. Сенсорна компенсація як механізм адаптації людини до втрати зору

У разі повної або часткової втрати зорової функції в центральній нервовій системі відбувається процес функціональної реорганізації, під час якого мозок переорієнтовує обробку інформації на альтернативні сенсорні канали [10]. Зокрема, підвищується чутливість слухового аналізатора, що дозволяє людині розпізнавати малопомітні акустичні сигнали, які зазвичай не фіксуються людьми зі збереженим зором. Аналогічно посилюється тактильне сприйняття, що



забезпечує більш точне отримання інформації через дотик до поверхонь або під час використання допоміжних засобів навігації, таких як біла тростина.

Завдяки таким адаптаційним механізмам особи з порушеннями зору здатні ефективніше інтерпретувати сигнали навколишнього середовища, формуючи цілісне уявлення про простір і компенсуючи дефіцит візуальної інформації. Сенсорна компенсація виступає важливою передумовою збереження самостійності, безпеки пересування та соціальної активності.

Когнітивне картування являє собою процес формування внутрішніх ментальних моделей простору на основі інтеграції даних, отриманих через слухові, тактильні та нюхові стимули. Такі когнітивні «карти» дозволяють людині орієнтуватися у навколишньому середовищі, навіть за відсутності попереднього візуального досвіду або у випадках, коли відповідна локація ніколи раніше не спостерігалася зорово (див. рисунки 1.8–1.9) [11].

Формування когнітивних карт є складним когнітивним процесом, який включає аналіз просторових взаємозв'язків, запам'ятовування послідовності орієнтирів та їх функціонального значення. Для осіб із порушеннями зору цей механізм є фундаментальним елементом навігації та основою для ефективного використання як традиційних, так і сучасних технологічних засобів просторової орієнтації.

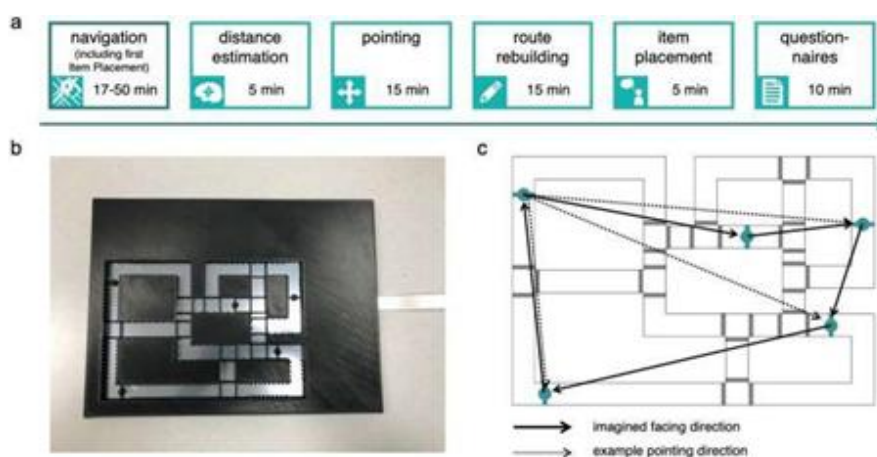


Рис. 1.8. Ментальні карти



Рис. 1.9. Ментальна (тактильна) карта 2-поверху

Наприклад, людина може зафіксувати у пам'яті просторове розташування певного об'єкта, зокрема кав'ярні, визначивши, що вона знаходиться на відстані кількох кварталів від житла та межує із зеленою зоною. Орієнтація при цьому здійснюється на основі сукупності альтернативних сенсорних маркерів: характерних акустичних сигналів (дзвін дверей закладу, шум листя дерев), тактильних ознак (тип тротуарного покриття) та нюхових стимулів (стійкий аромат кави). У процесі багаторазового відвідування таких локацій сформовані ментальні просторові уявлення поступово деталізуються та уточнюються, що сприяє зростанню впевненості у пересуванні та підвищенню рівня самостійності.

Разом із тим формування когнітивних карт значно ускладнюється в умовах підвищеного сенсорного навантаження, характерного для міського середовища з інтенсивним транспортним потоком, великою кількістю людей та високим рівнем фонових шумів. У таких ситуаціях слухове перевантаження перешкоджає адекватному сприйняттю релевантних сигналів, що може призводити до дезорієнтації, зростання когнітивного навантаження та психоемоційної втоми, особливо під час перебування у нових або незнайомих просторах [11–12].

Наприклад, у щільно забудованих районах із безперервним рухом



транспорту та скупченням пішоходів стає складно виділяти значущі акустичні або тактильні орієнтири, необхідні для побудови стабільної когнітивної карти. За таких умов людина з порушеннями зору може тимчасово втрачати просторову орієнтацію або відчувати підвищений рівень стресу.

Незважаючи на зазначені труднощі, розвиток когнітивного картування залишається одним із ключових чинників підвищення рівня незалежності та адаптації осіб із порушеннями зору. Зі зростанням практичного досвіду та накопиченням сенсорних даних ментальні карти стають більш структурованими, деталізованими та ефективними для використання в різних середовищах.

Особи, які втратили зорову функцію поступово, мають можливість адаптуватися до змін за рахунок активного використання пам'яті та раніше сформованого просторового досвіду. Їх орієнтація у просторі значною мірою ґрунтується на рутинних діях і маршрутах, засвоєних у період збереженого зору. Такі звичні шляхи пересування стають базисом для формування нових навігаційних стратегій в умовах сенсорної перебудови.

У цьому процесі пам'ять відіграє провідну роль, оскільки людина зберігає у свідомості послідовність поворотів, переходів і об'єктів, які раніше виконували функцію візуальних орієнтирів. Після втрати зору ці орієнтири замінюються слуховими, тактильними або нюховими сигналами. Таким чином, нові сенсорні враження інтегруються з накопиченим досвідом, формуючи адаптовану систему навігації. Це, у свою чергу, сприяє зниженню когнітивного навантаження, оскільки людина спирається на знайомі рутинні дії, доповнюючи їх альтернативними джерелами сенсорної інформації (див. рисунок 1.10) [11–13].



Рис. 1.10. Інтеграція сенсорних каналів у процесі формування ментальних просторових карт

Одним із ключових аспектів адаптації осіб із порушеннями зору є здатність ефективно використовувати сенсорні орієнтири під час пересування. Орієнтирами можуть виступати будь-які об'єкти або явища, що сприймаються альтернативними органами чуття та мають стабільні характеристики у просторі, зокрема:

*Слухові орієнтири:* постійні або періодичні звуки, такі як робота вентиляційних систем, шум кондиціонера, звуковий сигнал дверей чи механізмів.

*Тактильні орієнтири:* особливості поверхонь і конструкцій, зокрема текстура тротуарної плитки, форма поручнів, перепади висоти або зміна матеріалу покриття під ногами.

*Нюхові орієнтири:* характерні запахи закладів харчування (пекарень, кав'ярень), технічних об'єктів або природних елементів, таких як рослинність.

Використання таких сенсорних маркерів дозволяє формувати стійкі асоціативні зв'язки між конкретними сигналами та відповідними локаціями. Наприклад, регулярне проходження маршруту, що включає ділянку з характерним запахом або акустичним фоном, сприяє закріпленню просторових уявлень та формуванню ментальних карт. Повторюваність маршрутів у поєднанні з чіткими орієнтирами підвищує впевненість пересування та знижує

рівень когнітивного навантаження.

Для людини, яка втратила зорову функцію, навіть добре знайомий простір потребує повторного освоєння з урахуванням змінених сенсорних умов. Ефективність орієнтації у таких ситуаціях залежить від здатності перебудувати процес сприйняття та активно залучити слухові, тактильні й нюхові канали. Так, у межах власного житлового простору людина з порушеннями зору, маючи сформовану внутрішню модель розташування предметів, може безпечно пересуватися навіть за повної відсутності освітлення. Натомість особа зі збереженим зором у подібних умовах часто стикається з труднощами орієнтації та ризиком травмування.

Поступове навчання та багаторазове повторення рухів у знайомому середовищі сприяють формуванню точної когнітивної карти простору, що базується на сенсорних відчуттях. Такий процес є фундаментом подальшої адаптації та забезпечує можливість комфортного та безпечного повсякденного життя без використання зорового аналізатора.

Для осіб, які втратили зір у процесі життя, перебування у новому або незнайомому просторі є значним адаптаційним викликом. У минулому їх просторове орієнтування ґрунтувалося на візуальних образах та сформованих ментальних картах, які забезпечували швидке створення нових маршрутів. У незнайомому середовищі така можливість істотно обмежується через відсутність зорової інформації, що ускладнює побудову первинних просторових уявлень [5–13].

Відсутність усталених маршрутів і знайомих сенсорних підказок може призводити до станів дезорієнтації, коли людина не має чіткого уявлення про розташування об'єктів навколо. У таких умовах виникає необхідність повністю покладатися на слухові, тактильні та нюхові сигнали, поступово досліджуючи простір. Цей процес вимагає значних когнітивних зусиль і часових ресурсів, що часто супроводжується підвищеним рівнем стресу та тривожності [14].

У незнайомому середовищі особи з порушеннями зору змушені

функціонувати за принципами, характерними для людей із вродженою сліпотою: відмовлятися від раніше сформованих візуально зумовлених стратегій орієнтації та вибудовувати нові ментальні просторові карти практично з нуля. Попри те що з часом адаптація стає можливою, процес просторового навчання є тривалим, поступовим і потребує багаторазового повторення дій у реальних умовах.

Сучасні цифрові технології істотно розширюють можливості просторової орієнтації для людей із порушеннями зору, особливо в незнайомих локаціях. Розвиток навігаційних систем, мобільних додатків і сервісів із підтримкою аудіоінтерфейсу дозволяє отримувати актуальну інформацію про маршрут та навколишнє середовище. Основні підходи до підвищення ефективності орієнтації включають:

1. **Використання GPS-навігації.** Навігаційні сервіси на основі глобальних систем позиціонування, зокрема Google Maps, оснащені функціями голосового супроводу маршруту. Аудіонавігація надає покрокові інструкції щодо напрямку руху, відстані до поворотів та інформує про наближення до ключових орієнтирів. Це дає змогу особам із порушеннями зору впевнено пересуватися навіть у середовищах, з якими вони стикаються вперше.

2. **Формування нових когнітивних карт простору.** Поєднання навігаційних технологій із сенсорними каналами сприйняття — слухом, дотиком і нюхом — сприяє створенню більш детальних і надійних ментальних моделей нового простору. Акустичні сигнали транспортного потоку, тактильні особливості покриття, а також характерні запахи навколишніх об'єктів доповнюють інформацію, отриману з GPS-навігації, що дозволяє краще усвідомлювати структуру середовища та підвищує точність просторової орієнтації.

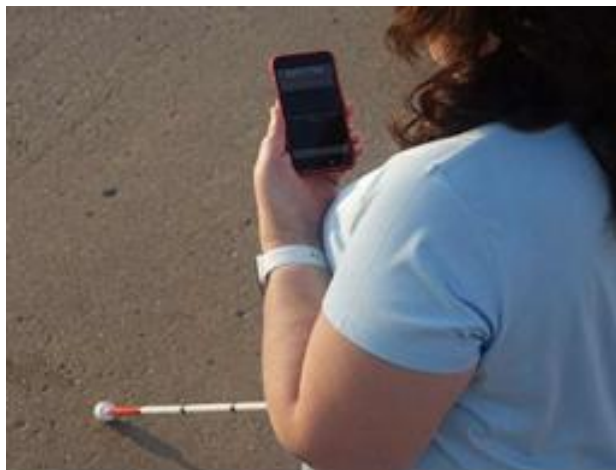


Рис. 1.11. Технології як інструмент покращення взаємодії з навколишнім середовищем

Навіть найсучасніші технологічні засоби можуть формувати лише умовні, «крихкі» когнітивні карти, якщо вони не підкріплюються даними від сенсорних каналів людини. Для надійного засвоєння просторової інформації особа з порушеннями зору потребує багаторазового повторення маршруту, що дозволяє закріпити отримані дані і інтегрувати їх у власну ментальну карту. Залежність виключно від технологій без підтримки сенсорного досвіду створює потенційний ризик дезорієнтації у випадку технічних несправностей або відсутності доступу до цифрових систем.

## **1.2. Використання системи допомоги орієнтації в просторі для людей з вадами зору в Україні**

Застосування систем допомоги орієнтації в просторі для осіб із порушеннями зору в Україні є важливим напрямом сучасних технологій, що спрямовані на підвищення автономності та якості життя цих людей. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), у світі налічується приблизно 285 млн осіб із порушеннями зору, з яких близько 39 млн є сліпими. Переважна більшість цих людей проживає в країнах із низьким і середнім рівнем доходу, де доступ до медичних послуг і сучасних технологій обмежений. В Україні впровадження систем допомоги орієнтації для сліпих є відносно новим технологічним рішенням, яке поступово набуває популярності, однак його масштабне застосування ще перебуває у стадії розвитку.

Одним із відомих прикладів є проєкт «Слухаюча система орієнтації», розроблений компанією Ecoisme. Цей пристрій створений для підтримки осіб із вадами зору, зокрема тих, хто страждає на діабетичну ретинопатію. Система оснащена датчиками, які фіксують нерівності дорожнього покриття та інші перешкоди, попереджаючи користувача про можливі небезпеки за допомогою звукових сигналів. Це підвищує рівень безпеки та комфорту під час пересування.

Ще одним прикладом є спільний проєкт Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та компанії «Майстерня Світла». Розробка передбачає тростину з вбудованим екраном для визначення відстані до перешкод та GPS-модулем для відстеження місцезнаходження користувача. Система також здатна передавати інформацію близьким у разі екстреної ситуації, що підвищує рівень безпеки пересування.

Актуальною є ініціатива «Навігатор» (2023 р.), яка поєднує технології GPS, ультразвукові сенсори та мобільний додаток для надання користувачам інформації про навколишнє середовище в реальному часі. Проєкт реалізується у співпраці з організаціями, що підтримують людей із вадами зору, для тестування та вдосконалення функціоналу тростин у різних регіонах України.

Перспективним є стартап «SmartVision UA» (заснований у 2022 р.), що працює над зниженням вартості виробництва систем орієнтації через використання технологій 3D-друку та відкритих апаратно-програмних рішень.

Незважаючи на досягнення в розвитку систем допомоги орієнтації, в Україні зберігаються суттєві перешкоди для їх широкого впровадження. Основними проблемами є відсутність чітких стандартів розробки та тестування таких пристроїв, а також висока вартість, що обмежує доступ до них більшості потенційних користувачів. Для подолання цих бар'єрів уряд України у 2023 році розпочав розробку програм підтримки технологій для осіб з обмеженими можливостями, пропонуючи гранти та субсидії для стимулювання розвитку відповідних ініціатив. Важливо також забезпечити користувачів навчальними

програмами щодо правильного використання систем орієнтації та надавати їм постійну технічну підтримку.

Інтерес до таких технологій серед українців з вадами зору зростає, оскільки вони не лише підвищують безпеку під час пересування, а й забезпечують доступ до цифрових сервісів, що сприяє більшій автономності користувачів. Проте, на сьогодні більшість систем орієнтації залишається недоступною через їхню високу вартість і недостатньо розвинену інфраструктуру для їхнього застосування. Одним із пріоритетних завдань є адаптація технологій до українських реалій та локальне виробництво тростин і навігаційних пристроїв, що дозволить знизити витрати та розширити доступність для більшої кількості осіб з порушеннями зору.

Зростаюча міжнародна співпраця України з Європейським Союзом та міжнародними технологічними компаніями у 2025 році сприяє впровадженню нових рішень у сфері підтримки людей із вадами зору. Спільні проєкти та фінансування дозволяють реалізовувати інноваційні ідеї та інтегрувати передові технології на національному рівні. Крім того, громадські організації, зокрема «Асоціація сліпих України», активно проводять освітню та просвітницьку діяльність, організовують тренінги для користувачів систем орієнтації та підвищують загальну обізнаність суспільства щодо потреб і викликів, з якими стикаються люди з вадами зору.

Попри наявні виклики, впровадження систем допомоги орієнтації в Україні має значний потенціал для підвищення якості життя осіб із вадами зору. Хоча ці технології демонструють перспективність, у країні досі відсутні чіткі стандарти щодо використання та тестування систем орієнтації, що ускладнює їхнє широке запровадження. Висока вартість пристроїв обмежує доступ до них більшості людей із порушеннями зору. Для забезпечення масового використання таких технологій необхідна скоординована робота держави, бізнесу та громадських організацій, включно з розробкою програм навчання користувачів і наданням технічної підтримки. Важливо залучати осіб із вадами зору до розробки

програмного забезпечення та функціональних можливостей тростин, щоб системи максимально відповідали потребам користувачів.

Загальний інтерес до систем орієнтації в Україні зростає, що свідчить про значний потенціал цих технологій для вирішення актуальних проблем людей із порушеннями зору. Системи орієнтації можуть ефективно полегшувати пересування в просторі, підвищувати рівень безпеки та забезпечувати доступ до інформації й різних послуг. Одним із ключових напрямів розвитку є адаптація таких технологій до українських умов, що передбачає зниження вартості пристроїв та створення відповідної інфраструктури для їх застосування. Важливо розробляти більш доступні моделі, здатні стати масовими, що дозволить забезпечити більшу кількість людей з вадами зору необхідними інструментами для комфортного життя.

Наразі системи орієнтації залишаються технологією з обмеженим поширенням в Україні через високу вартість та недостатній розвиток інфраструктури. Проте, з урахуванням сучасних тенденцій, у перспективі можливе значне розширення їхнього застосування завдяки здешевленню виробництва, розвитку нових технологій та підтримці з боку держави і громадських організацій. Розвиток інновацій у сфері допоміжних технологій для людей із вадами зору має стратегічне значення для формування інклюзивного суспільства та підвищення якості життя цих людей.

### **1.3. Традиційні засоби орієнтації: білі тростини, собаки-поводирі та звукові сигнали**

Для адаптації в навколишньому середовищі люди з вадами зору використовують не лише сенсорні канали (слух, дотик, нюх), а й допоміжні інструменти, що забезпечують більшу автономність, мобільність і незалежність [5–10]. Традиційними та ефективними засобами орієнтації є білі тростини, собаки-поводирі та звукові сигнали. Кожен із цих засобів має свої особливості, а їх комбіноване застосування підвищує ефективність пересування [6].

Біла тростина є простим, але надзвичайно ефективним інструментом для



орієнтації осіб із вадами зору (див. рисунок 1.12). Виготовляється з легких матеріалів (дерево, пластик) і зазвичай оснащується гумовими накладками для зручності використання. Її довжина розраховується так, щоб досягати від талії користувача до поверхні ґрунту, забезпечуючи тактильний зворотний зв'язок через постукування або змахування.



Рис. 1.12. Традиційний інструмент орієнтації: біла тростина

Тростина дозволяє користувачу:

- виявляти перешкоди на рівні землі (сходи, бордюри, нерівності);
- розпізнавати переходи між поверхнями (наприклад, із тротуару на дорогу).

Використання білої тростини варіюється залежно від умов середовища:

- постійний контакт – застосовується на нерівних поверхнях для безперервного отримання інформації про перешкоди;
- двоточковий дотик – для рівних шляхів із рідкісними перешкодами.

Переваги білої тростини:

1. Доступність – проста конструкція забезпечує низьку вартість пристрою;
2. Надійність – не потребує складного обслуговування;
3. Автономія – забезпечує орієнтацію без сторонньої допомоги;
4. Сигнал для оточуючих – біла тростина інформує інших про

наявність у користувача порушень зору, сприяючи соціальній підтримці.

Обмеження тростини:

- виявляє лише наземні перешкоди, не захищає від об'єктів на рівні голови (гілки, знаки, виступи);
- ефективне використання потребує навчання та практики, особливо для осіб, які недавно втратили зір;
- орієнтація виключно за тактильним зворотним зв'язком у шумних або динамічних середовищах може бути складною.

Для багатьох користувачів біла тростина є не лише інструментом орієнтації, а символом незалежності та безпеки. Вона дозволяє відчувати автономію, підтримує впевненість у пересуванні і слугує інструментом соціальної інтеграції, сигналізуючи оточенню про потреби людини з вадами зору.

Собаки-поводирі – це спеціально навчені тварини (див. рисунок 1.13), які виконують роль супутників і навігаційних помічників для людей із порушеннями зору [15].



Рис. 1.13 Традиційний інструмент орієнтації: собаки-поводирі  
Їх функції виходять далеко за межі простої допомоги у пересуванні:

- реагують на команди та уникають перешкод;
- приймають автономні рішення для забезпечення безпеки власника;
- виконують роль емоційної підтримки, підвищуючи впевненість та автономність людини.

Щоб стати повноцінним помічником, собака проходить інтенсивну підготовку протягом кількох місяців. Основні елементи навчання включають [15]:

1. Слухняність – тварина реагує на команди, такі як «ліворуч», «праворуч», «вперед»;
2. Уникнення перешкод – собака вчиться безпечно вести людину навіть у складних умовах;
3. Розумна непокора – навик відмови від виконання команди, якщо це може загрожувати безпеці власника (наприклад, утримання від переходу дороги, де рухається транспорт).

Для ефективної взаємодії між собакою та власником необхідно встановити довіру та взаєморозуміння, оскільки успішність роботи залежить від їхніх стосунків.

Переваги використання собак-поводирів [15]:

*Мобільність та автономність*

- допомагають людині впевнено орієнтуватися в просторі, активно уникаючи перешкод;
- знижують когнітивне навантаження на власника, дозволяючи зосередитися на рухах собаки, а не на аналізі середовища;
- особливо корисні в швидких, шумних або багатолюдних умовах.

*Емоційна підтримка*

- зменшують відчуття ізоляції;
- створюють відчуття безпеки та супроводжують власника не лише фізично, а й морально.

Обмеження та виклики:

### *Вартість та доступність*

- навчання собаки-поводиря коштує від \$20,000 до \$60,000 (дані США);
- витрати зазвичай покривають некомерційні організації або державні програми, що створює обмежену доступність.

### *Навчання власника*

- людина з порушенням зору повинна пройти підготовку для правильної взаємодії з собакою;
- це вимагає часу, терпіння та практики.

### *Регулярний догляд*

- собака потребує годування, фізичних вправ, догляду та медичного контролю.

### *Обмеження у громадських місцях*

- незважаючи на законодавчі гарантії, собаки можуть стикатися з відмовою у доступі до певних об'єктів або небажаною увагою.

### *Тривалість служби*

- собаки-поводирі працюють близько 8–10 років, після чого власнику доводиться шукати нового помічника.

Собаки-поводирі – це не лише практичні помічники, а партнери, які забезпечують мобільність, автономність та емоційну підтримку людям із вадами зору. Незважаючи на фінансові, часові та організаційні виклики, їхня роль у житті користувачів є незамінною, оскільки вони сприяють підвищенню впевненості та незалежності.

Голосові та слухові сигнали є важливими засобами орієнтації для людей із вадами зору, що сприяють підвищенню мобільності, автономності та безпеки у повсякденному житті. На відміну від інструментів, які потребують особистого придбання чи навчання, таких як білі тростини або собаки-поводирі, ці сигнали зазвичай безкоштовні та широко доступні у громадських місцях (див. рисунок 1.14) [16].



Рис. 1.14. Допоміжні інструменти орієнтації: голосові та слухові підказки

Голосові та слухові системи надають інформацію про навколишнє середовище через звуки або голосові повідомлення. Вони допомагають людям із вадами зору визначати напрямок руху, орієнтуватися у просторі та адаптуватися до змінних умов [16].

*Основні сфери застосування слухових сигналів:*

- пішохідні переходи;
- громадський транспорт;
- перехрестя та інші місця з інтенсивним рухом.

Одним із найбільш поширених застосувань є інтеграція звукових сигналів на пішохідних переходах. Вони повідомляють, коли можна безпечно перейти дорогу, або попереджають про зміну сигналу світлофора.

*Принципи роботи сигналів [16]:*

1. Типи звуків: регіональні відмінності у сигналах (стрекотіння, короткі мелодії, голосові вказівки: «Перехід дозволено», «Червоне світло»).
2. Час і тривалість сигналу: адаптовані до ширини переходу; чим ширший перехід, тим довший сигнал.
3. Інформативність: допомагають оцінити масштаб перехрестя, інтенсивність руху та орієнтуватися в просторі.

Без звукових сигналів перехід може стати небезпечним для людей із вадами зору, що підвищує ризик дезорієнтації або затримки.

*Обмеження:*

- у місцях із невеликим транспортним потоком або без світлофорів сигналів зазвичай немає;
- у підземних або наземних переходах без звукового супроводу орієнтація ускладнюється.

Слухові підказки у громадському транспорті та громадських приміщеннях. Сучасні транспортні системи активно використовують голосові повідомлення для пасажирів із вадами зору [16].

#### *Функції:*

##### 1. Орієнтація в просторі:

- оголошення про поточну та наступну зупинки;
- інформація про відкриття та закриття дверей;
- попередження про кінцеву зупинку.

##### 2. Безпека:

- забезпечення дотримання правил у метро та наземному транспорті;
- запобігання небезпечним ситуаціям.

#### *Переваги систем:*

##### 1. Незалежність:

- користувачі можуть самостійно орієнтуватися без сторонньої допомоги;

##### 2. Адаптація до шуму:

- сигнали налаштовані так, щоб бути чутними у шумному середовищі;

##### 3. Універсальність:

- впроваджуються у наземному та підземному транспорті, хоча у маршрутках практика менш поширена.

#### *Слухові системи у громадських приміщеннях:*

- магазини, лікарні, торговельні центри, вокзали, аеропорти;
- системи гучного зв'язку повідомляють про напрямок, прибуття та відправлення транспорту;

- кнопки екстреного виклику, обладнані шрифтом Брайля, дозволяють отримати допомогу персоналу.

*Значення для людей із вадами зору:*

1. Збільшення автономності: впевненіше пересування у незнайомому середовищі, зменшення стресу.
2. Підвищення рівня безпеки: швидке реагування на небезпечні ситуації завдяки аудіопідказкам та кнопкам виклику.
3. Соціальна інтеграція: створення доступного та комфортного середовища для взаємодії з навколишнім світом.

Слухові підказки відіграють важливу роль у забезпеченні орієнтації людей із вадами зору в міському середовищі. Проте їх ефективність обмежена певними факторами, що можуть створювати додаткові труднощі [16].

#### 1. Обмежена доступність у деяких місцях

У багатьох локаціях, таких як невеликі міста, периферійні райони або окремі зони великих міст, слухові підказки відсутні. Це особливо критично у місцях із високим рівнем шуму, наприклад:

- транспортні розв'язки;
- багатолюдні ринки;
- громадські площі.

В таких умовах людина з вадами зору може легко дезорієнтуватися та відчувати підвищений рівень стресу.

#### 2. Потреба в додатковій підтримці.

Відсутність сигналів ускладнює самостійне пересування, тому важлива підтримка з боку оточуючих. Наприклад, інші люди, помітивши людину з білою тростиною чи собакою-поводирем, можуть запропонувати допомогу у орієнтації або супроводі до потрібного місця.

#### 3. Мобільність і самостійність.

Багато людей із вадами зору прагнуть залишатися мобільними та незалежними, навіть якщо фінансові можливості обмежені. Послуги доставки

або супроводу не завжди доступні через високу вартість. Самостійне пересування допомагає підтримувати впевненість у власних силах та активний спосіб життя.

#### 4. Психологічний аспект.

Втрата зору є серйозним випробуванням, проте багато людей успішно адаптуються до нових умов. Важливо, щоб суспільство сприяло інтеграції таких людей та створювало комфортні умови пересування, що допомагає зберігати позитивний настрій та уникати депресивних станів.

#### Відсутність стандартизації та обслуговування

Ще однією проблемою є відсутність єдиних стандартів для звукових сигналів, що знижує їхню ефективність та створює плутанину [16].

1. Нестача узгодженості. У різних місцях однакові сигнали можуть мати різне значення. Наприклад, звук, який у одному місці позначає перехід для пішоходів, в іншому може сигналізувати про іншу дію. Така непослідовність дезорієнтує користувачів, особливо тих, хто звик до певних звукових асоціацій.

2. Недостатнє врахування потреб користувачів. Багато систем створюють особи, які самі не стикаються з проблемами зору. Це може призводити до невідповідності сигналів реальним потребам користувачів, знижуючи ефективність орієнтації.

3. Необхідність регулярного обслуговування. Звукові системи потребують технічного догляду. Несправні або некалібровані сигнали можуть не лише дезорієнтувати користувача, а й створювати потенційно небезпечні ситуації (наприклад, на пішохідних переходах).

Відсутність надійності та стандартизації слухових підказок може призвести до того, що люди з вадами зору перестануть покладатися на ці системи, що обмежить їхню мобільність та участь у суспільному житті.

Для підвищення ефективності систем необхідно:

- розробити єдині стандарти для звукових сигналів;
- враховувати потреби користувачів під час створення сигналів;



- забезпечити регулярне технічне обслуговування систем.

#### **1.4. Використання технологій у засобах орієнтації**

Сьогодні технології відіграють важливу роль у різних сферах життя, зокрема у покращенні умов для людей із вадами зору. Історично основними засобами орієнтації були традиційні інструменти, такі як білі тростини та собаки-поводирі. Вони залишаються актуальними і сьогодні, але їх функціональні можливості обмежені, а впровадження сучасних технологій значно розширює спектр доступних рішень та підвищує автономність користувачів [6, 15–16].

##### *Традиційні засоби*

Білі тростини та собаки-поводирі допомагають уникати фізичних перешкод і орієнтуватися в просторі. Проте їхній функціонал є базовим і не завжди дозволяє швидко отримувати детальну інформацію про навколишнє середовище. Це обмежує мобільність і рівень незалежності людини в сучасному урбанізованому середовищі.

##### *Сучасні технології*

Впровадження технологій кардинально змінило ситуацію, пропонуючи нові інструменти, які полегшують орієнтацію та пересування людей із вадами зору. Серед найбільш поширених рішень [17]:

##### *Звуковий зворотний зв'язок*

- Аудіопідказки забезпечують оперативну інформацію про оточення в реальному часі.
- Дозволяють визначати місцезнаходження предметів або попереджають про перешкоди на маршруті.

##### *Датчики та пристрої просторового орієнтування*

- Виявляють фізичні перешкоди та допомагають безпечно пересуватися у різних умовах.
- Можуть інтегруватися в тростини, окуляри або мобільні додатки, що підвищує ефективність орієнтації.

##### *Штучний інтелект і машинне навчання*

- Аналізують оточення, розпізнають об'єкти, читають тексти та ідентифікують обличчя.

Наприклад, деякі додатки здатні «читати» написи на дорожніх знаках або попереджати про світлофори, що суттєво підвищує безпеку пересування.



Рис. 1.15. Технології у орієнтації: мобільні додатки

Сучасні технології значно підвищують мобільність, автономність та рівень комфорту для людей із вадами зору. Завдяки ним вони можуть активніше брати участь у суспільному житті, легше орієнтуватися в незнайомих просторах та отримувати доступ до інформації, яка раніше була недосяжною.

#### *Електронні засоби орієнтування*

Сучасні навігаційні технології, зокрема GPS (глобальна система позиціонування), стали важливим інструментом для полегшення пересування людей із вадами зору. Вони дозволяють орієнтуватися на місцевості, планувати маршрути та підвищують рівень незалежності. Водночас, як і будь-яка технологія, GPS має свої переваги та обмеження, які слід враховувати [18].

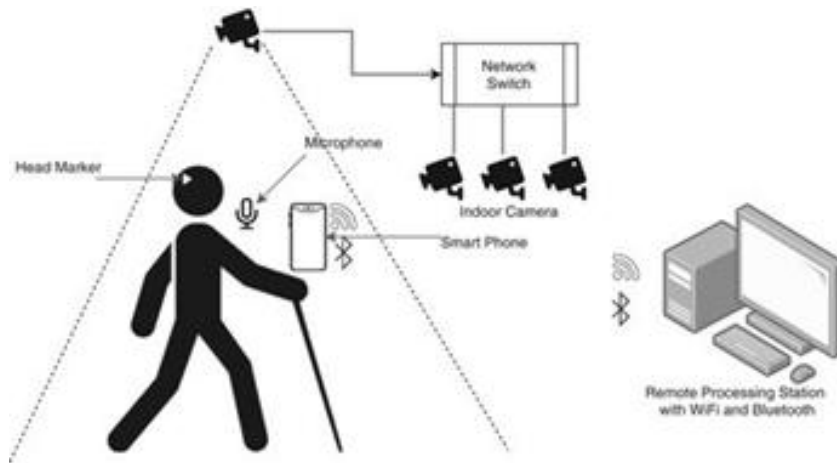


Рис. 1.16. Взаємодія пристроїв зі системами для навігації у закритих приміщеннях

GPS-системи працюють через взаємодію пристрою з супутниками. Наприклад, смартфони з GPS-модулем, використовуючи додатки, такі як Google Maps, здатні надавати покрокові інструкції для навігації.

Для користувачів із вадами зору ці інструкції адаптовані у вигляді звукових підказок, які повідомляють:

- маршрут до пункту призначення;
- назви вулиць;
- відстань до наступного повороту;
- інформацію про об'єкти, що знаходяться поблизу.

#### *Спеціалізовані додатки для орієнтації*

- **Google Maps** надає голосові підказки, що допомагають людині слідувати маршрутом.
- **BlindSquare** та **Soundscape** пропонують більш детальні звукові інструкції, спеціально адаптовані для потреб людей із порушеннями зору [19-20].

**BlindSquare** інтегрується з Open Street Map і за допомогою голосових підказок описує навколишнє середовище (дивись рисунок 1.17) [19]:

- назви вулиць;
- місця та об'єкти поблизу;
- маршрути до конкретних точок.



Рис. 1.17. Спеціалізовані додатки для орієнтації: BlindSquare

**BlindSquare** також підтримує роботу з навушниками та смарт-окулярами, які аналізують навколишнє середовище за допомогою камер і передають користувачу звукову інформацію про перешкоди.

**Soundscape (Microsoft)** використовує технологію 3D-аудіо, створюючи просторові звукові підказки. Користувач відчуває напрямок завдяки зміненим звуковим сигналам, які вказують, куди рухатися. Це дозволяє орієнтуватися інтуїтивно, не обмежуючись лише голосовими командами, а реагуючи на тривимірне аудіо (дивись рисунок 1.18) [20].

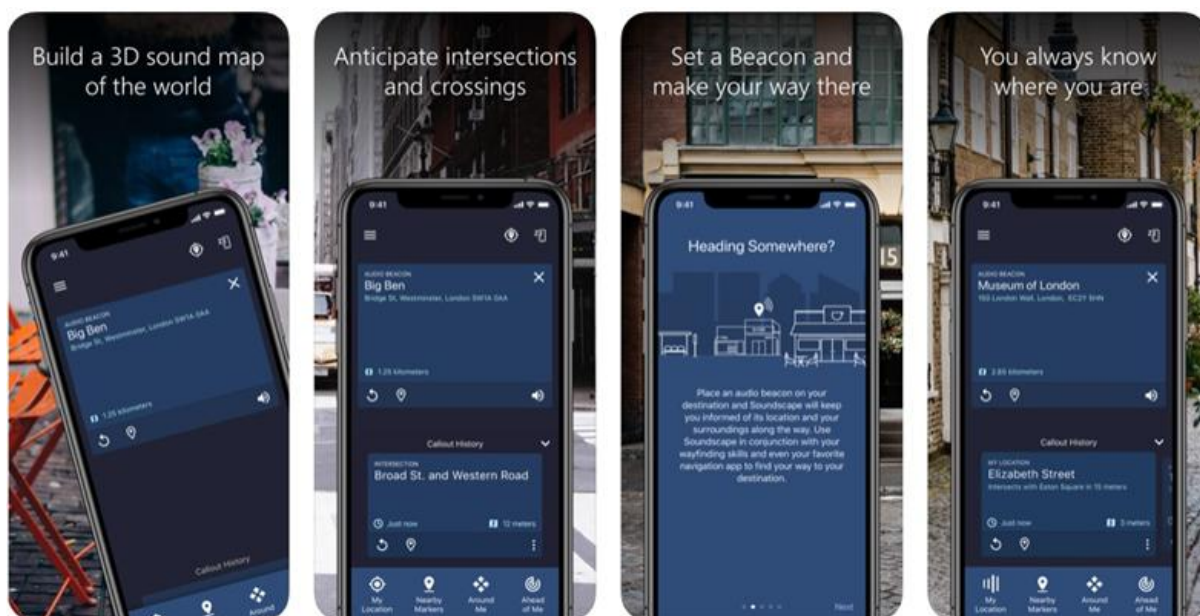


Рис. 1.18. Спеціалізовані додатки для орієнтації: Soundscape (Microsoft)

Переваги використання GPS для людей із вадами зору

1. Мобільність і незалежність – користувач може пересуватися без

постійної допомоги сторонніх.

2. Інтуїтивна орієнтація – звукові підказки та просторове аудіо дозволяють швидко адаптуватися до незнайомого середовища.

3. Деталізація інформації про маршрут – GPS-додатки допомагають уникати непотрібних перешкод і пропонують оптимальний маршрут.

#### Обмеження технології GPS

##### 1. Точність і доступність сигналу

- у густонаселених районах або серед висотних будівель сигнал GPS може слабшати, що знижує точність визначення місцезнаходження;
- у віддалених місцевостях із поганим мобільним покриттям система може працювати нестабільно.

##### 2. Відсутність реального часу виявлення перешкод

- GPS не визначає фізичні бар'єри, такі як нерівності на дорозі чи рухомі об'єкти.

##### 3. Обмежена адаптація додатків до потреб людей із вадами зору

– стандартні додатки, наприклад Google Maps, орієнтовані на візуальне використання і не враховують специфічні потреби цієї аудиторії.

Для максимальної ефективності люди з вадами зору зазвичай поєднують:

- традиційні інструменти (білі тростини, собаки-поводирі);
- спеціалізовані додатки для навігації;
- формування когнітивної карти маршруту на основі власного досвіду пересування [6-13, 17-20].

Таке комплексне поєднання технологій та інструментів забезпечує найкращу адаптацію до середовища, підвищує автономність та безпеку користувачів.

#### *Носимі пристрої та датчики.*

Сучасні смартфони та планшети зазвичай оснащені GPS-модулями, що

дозволяють орієнтуватися на місцевості за допомогою супутникових сигналів. Дані GPS часто інтегруються з картографічними сервісами, наприклад OpenStreetMap — відкритою платформою, на основі якої створюється багато карт і навігаційних систем.

Проте можливості GPS обмежені: він може прокладати маршрути та повідомляти, коли і куди потрібно повертати, але не здатен попередити про фізичні перешкоди на шляху, такі як бордюри, сходи або низько розташовані гілки.

Для людей зі слабким зором або сліпих недостатньо знати лише напрямок руху. Важливо отримувати інформацію про об'єкти, яких слід уникати, щоб запобігти травмам. У таких випадках стандартний GPS не забезпечує повної безпеки, тому користувачі часто комбінують його з традиційними інструментами, наприклад, білими тростинами, які механічно виявляють перешкоди, хоча й не є технологічними пристроями.

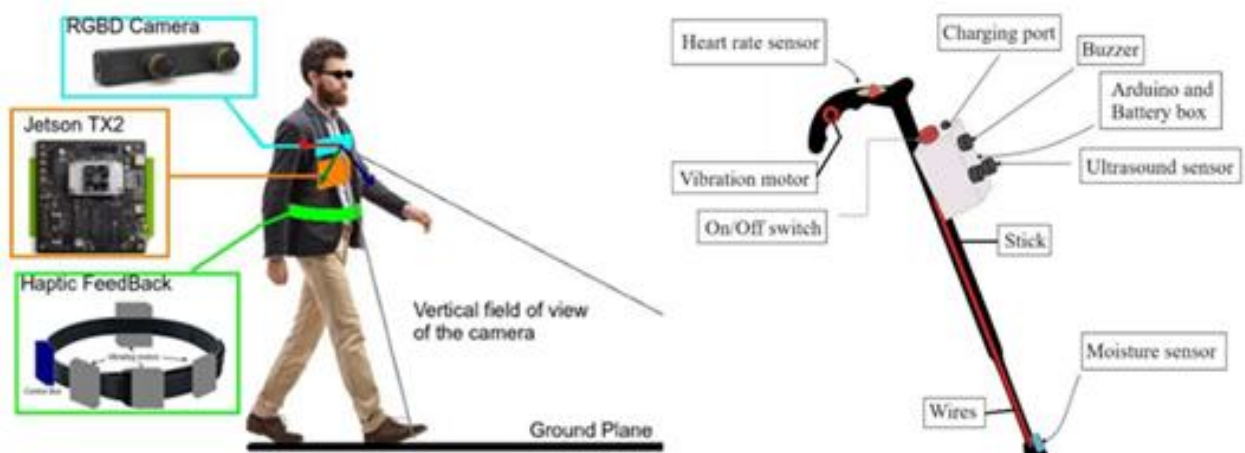


Рис. 1.19. Прототипи носимих пристроїв для людей з вадами зору

Сучасні технології сприяли появі спеціальних носимих пристроїв, що доповнюють можливості GPS і значно розширюють функціонал традиційних інструментів [21–22]:

1. **Розумні годинники та браслети.** Ці пристрої оснащені датчиками, які сканують простір навколо користувача. Вони попереджають про перешкоди за допомогою звукових сигналів або тактильних вібрацій, що дозволяє оперативно реагувати на небезпечні об'єкти.



2. **Датчики навколишнього середовища.** Сучасні пристрої застосовують технології ультразвуку, інфрачервоного випромінювання або вбудовані камери для точного визначення розташування перешкод.

3. **Інтеграція з GPS.** Носимі пристрої поєднують супутникові дані з інформацією від сенсорів, створюючи більш повну картину навколишнього середовища.

Такі пристрої дозволяють людям із вадами зору:

- отримувати детальнішу інформацію про навколишнє середовище;
- підвищувати безпеку під час пересування;
- почуватися більш незалежними навіть у складних умовах, наприклад у шумному міському середовищі.

Деякі носимі пристрої адаптуються до індивідуальних потреб користувача, наприклад, відтворюючи спрощену «візуальну» картину через аудіосигнали або інші зручні способи, що особливо корисно для людей, які мають труднощі з використанням слуху або дотику в умовах міського шуму.



Рис. 1.20. Розроблений прототип носимого пристрою: розумна тростина

Датчики наближення та ультразвукові пристрої є сучасними інструментами, що значно підвищують рівень мобільності та безпеки. Вони працюють за принципом випромінювання звукових хвиль, які відбиваються від

об'єктів. Пристрій обчислює відстань до перешкод та їхнє розташування на основі відбитих хвиль.

Носимі пристрої зазвичай портативні й можуть бути прикріплені до різних частин тіла або виконувати функцію окремого гаджета (див. рисунки 1.19–1.20) [21–23]:

- **Зап'ястя (браслети)** — передають інформацію про відстань до об'єктів через вібрації: чим ближче об'єкт, тим інтенсивніші та частіші сигнали.
- **Жилети чи ремені** — забезпечують сканування простору без необхідності тримати пристрій у руках.

Як приклад, **Sunu Band** — ультразвуковий браслет, який дозволяє виявляти перешкоди на відстані кількох метрів і передає інформацію через вібрації, що забезпечує ефективний зворотний зв'язок (див. рисунок 1.21) [23].



Рис. 1.21. Промисловий зразок серійного виробництва: браслет-навігатор з інтегрованим ультразвуковим сонаром

*Функціональні переваги ультразвукових систем:*

Ефективність у складних середовищах: забезпечення детекції перешкод у динамічних умовах (місця масового скупчення людей, інтенсивний дорожній рух), де традиційні методи орієнтування можуть бути недостатніми.

Формування просторових репрезентацій: сприяння розвитку когнітивного картографування навколишнього середовища, що дозволяє



користувачу вибудовувати цілісну ментальну модель простору.

**Світлова інваріантність:** стабільність функціонування незалежно від рівня освітленості, оскільки фізичні принципи поширення ультразвукових хвиль не корелюють із візуальною видимістю.

*Технічні та експлуатаційні обмеження:*

**Енергозалежність:** необхідність регулярної регенерації заряду акумулятора. Раптове вичерпання енергоресурсу в критичних ситуаціях створює ризик дезорієнтації суб'єкта.

**Когнітивне навантаження та адаптаційний період:** потреба у тривалому навчанні для коректної інтерпретації тактильних (вібраційних) або акустичних сигналів, що генеруються пристроєм.

*Оптичні системи та технології комп'ютерного зору*

Смарт-окуляри, оснащені відеосенсорами, представляють високотехнологічний сегмент реабілітаційних засобів. Функціонування таких систем базується на поєднанні відеофіксації в реальному часі та алгоритмів інтелектуального аналізу отриманих даних.

Згідно з дослідженнями [25-26], серед найбільш репрезентативних зразків виділяють:

**Aira.** Платформа, що реалізує концепцію «віддаленого асистента», де користувач через окуляри отримує вербальний опис середовища від оператора в режимі реального часу (див. рис. 1.22).

**ESight.** Високотехнологічний пристрій, спрямований на оптимізацію залишкових зорових функцій. Шляхом цифрової обробки зображення система підвищує чіткість і контрастність об'єктів, що сприяє їх кращому розпізнаванню (див. рис. 1.23).



Рис. 1.22. Окуляри Aira



Рис. 1.22. Окуляри ESight

Функціональні можливості та верифікація систем на основі комп'ютерного зору

Системи смарт-окулярів та інтегрованих відеосенсорів забезпечують високий рівень автономності користувача завдяки наступним ключовим функціям:

- Об'єктна ідентифікація: автоматичне розпізнавання та класифікація елементів навколишнього середовища.
- Оптичне розпізнавання символів (OCR): зчитування текстової інформації та її вокалізація в реальному часі.
- Навігаційна підтримка: ефективне пересування у складних

акустичних умовах або зоні інтенсивного трафіку, де звукові підказки можуть бути перекриті шумом.

Обмеження відеосенсорних систем:

- Економічний бар'єр: висока вартість обладнання значно обмежує його масову доступність.
- Енергетична автономність: інтенсивні обчислювальні процеси швидко розряджають акумулятор.
- Етико-правові аспекти: постійна відеофіксація актуалізує питання конфіденційності та захисту персональних даних, що може викликати соціальне занепокоєння або юридичні складнощі.

*Мобільні пристрої як універсальна платформа асистивних технологій*

Сучасні смартфони перетворилися з комунікаційних засобів у багатофункціональні інструменти для підтримки людей із вадами зору. Дослідження [27] підтверджує, що інтеграція спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє частково замінити дороговартісне вузькопрофільне обладнання.

Ключові переваги використання смартфонів:

- Економічна доступність: широкий діапазон цін робить пристрої доступними для різних верств населення.
- Конвергенція функцій: поєднання різномірних сенсорних, вимірювальних та навігаційних інструментів у межах одного пристрою.
- Технологічна синергія: ефективне поєднання алгоритмів штучного інтелекту, систем комп'ютерного зору та синтезу мовлення для надання оперативної інформації про оточення.

*Програмні рішення для мобільних платформ*

Одним із найбільш технологічно досконалих додатків є **Seeing AI (Microsoft)**, який базується на нейромережових моделях для інтерпретації візуального контенту [28].



Рис. 1.23. Додаток для смартфона Seeing AI

Функціональні можливості Seeing AI:

- Текстова конвертація: миттєве зчитування коротких написів та структуроване сканування багатосторінкових документів.
- Класифікація об'єктів: диференціація товарів, предметів побуту та елементів гардероба.
- Біометрична ідентифікація: розпізнавання облич із наданням вербальних характеристик, наприклад оцінка емоційного стану.
- Сенсорне моделювання оточення: генерація комплексного опису локації, що критично важливо для безпечного пересування у щільному середовищі.

Альтернативним підходом є **Be My Eyes (Данія)**, що базується на принципах краудсорсингу. Додаток забезпечує пряму взаємодію користувача з порушенням зору та мережею волонтерів через відеозв'язок (див. рис. 1.24) [29].

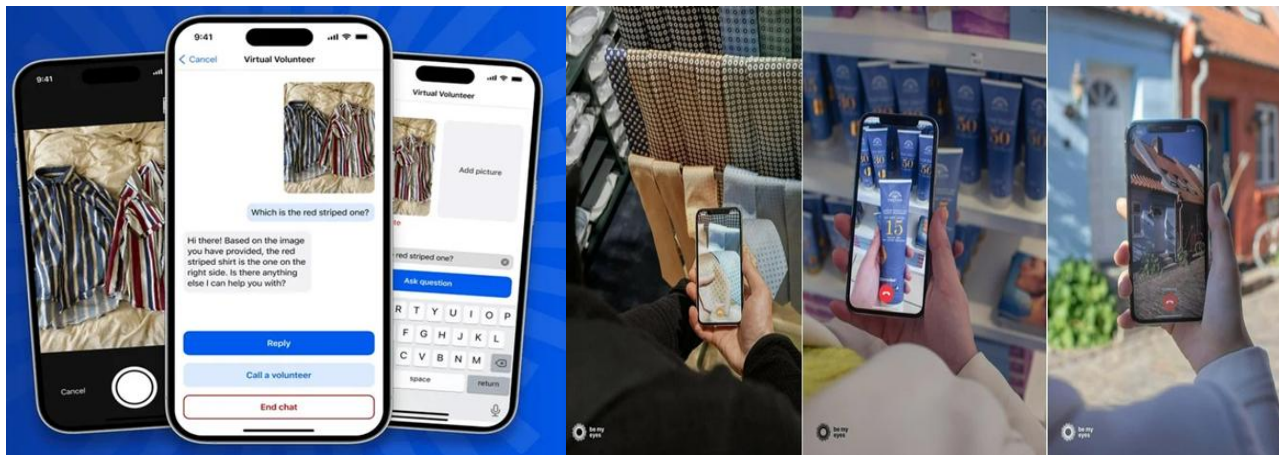


Рис. 1.24. Додаток для смартфона Be My Eyes

Основні функції [29]:

1. Людина з вадами зору може звернутися за допомогою до волонтера через відеодзвінок.
2. Волонтери надають підтримку у розпізнаванні об'єктів, знаків або орієнтації в незнайомому середовищі.
3. Усе, що передає камера смартфона, описується волонтером, що додає особистий людський елемент до взаємодії. Be My Eyes не замінює штучний інтелект, але доповнює його людським досвідом і емпатією.

Ще один популярний інструмент — **Google Lookout**, розроблений компанією Google. Він використовує технології штучного інтелекту для допомоги людям із вадами зору (див. рисунок 1.25) [30].

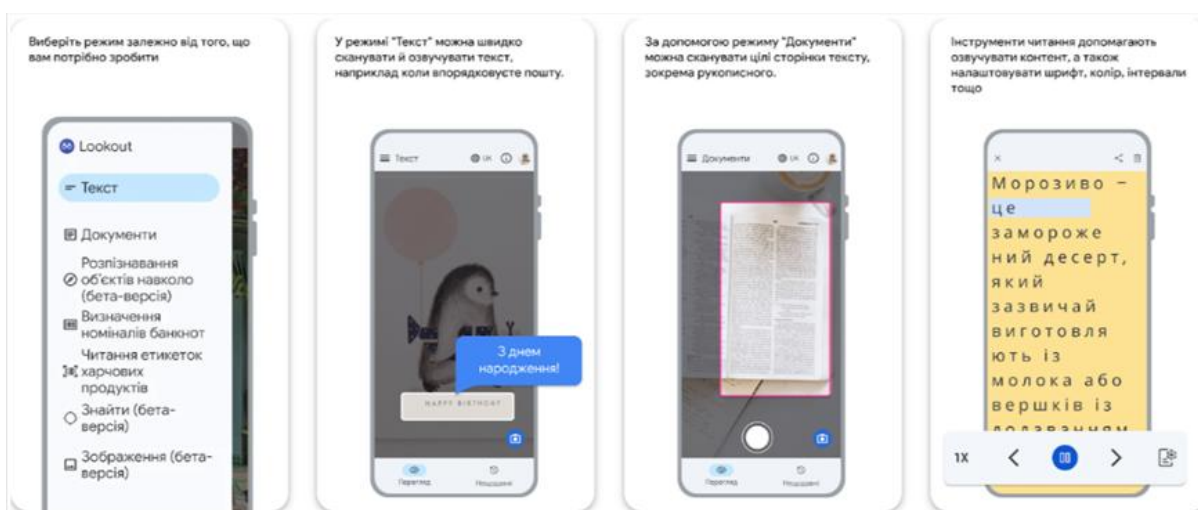


Рис. 1.25. Додаток для смартфона Google Lookout

Основні функції [30]:

1. Розпізнавання об'єктів у реальному часі.
2. Читання текстів вголос, включно зі скануванням документів і етикеток.
3. Режим покупок – допомога у скануванні штрих-кодів і етикеток для здійснення покупок.
4. Режим дослідження – опис навколишніх об'єктів, що полегшує орієнтацію у незнайомому середовищі.

Google Lookout особливо корисний для людей, які прагнуть більшої самостійності у повсякденних завданнях.

Переваги використання смартфонів і додатків для орієнтації [19, 20, 27–30]:

1. Доступність: більшість людей вже мають смартфони, які є відносно недорогими, що зменшує потребу в купівлі спеціалізованих пристроїв.
2. Різноманіття додатків: у Google Play та App Store доступні безкоштовні програми, спеціально адаптовані для людей із вадами зору.
3. Адаптований інтерфейс: смартфони можуть озвучувати назви кнопок і елементів меню, що дозволяє працювати без сторонньої допомоги.
4. Покращена адаптація до середовища: додатки допомагають новачкам або людям, які ніколи не бачили, швидше орієнтуватися та взаємодіяти з оточенням.
5. Функціональність у повсякденному житті: окрім стандартних функцій смартфона, користувач отримує GPS-навігацію, розпізнавання об'єктів та тексту вголос.
6. Підтримка спільноти та розвиток технологій: постійне оновлення програм та створення нових рішень підвищує ефективність допоміжних технологій.

Обмеження мобільних додатків:

1. Залежність від інтернету: більшість додатків потребують стабільного підключення для роботи GPS і сервісів.

2. Високе енергоспоживання: постійна робота GPS, камери та інших функцій швидко розряджає батарею.
3. Обмеження алгоритмів ШІ: штучний інтелект поки не завжди обробляє дані достатньо швидко та точно у реальному часі.
4. Етичні питання конфіденційності: використання камер і передача даних про місцезнаходження можуть викликати дискомфорт у користувачів.
5. Технічні обмеження: розпізнавання об'єктів і тексту не завжди працює ідеально, що критично у непередбачуваних ситуаціях.

### **Висновки до розділу**

У першому розділі виконано комплексний аналіз принципів орієнтації на місцевості для людей з вадами зору з позиції використання сенсорних каналів, традиційних засобів та сучасних технологічних рішень. Показано, що ефективна навігація за відсутності зорової інформації базується на інтеграції слухових, тактильних і нюхових даних, а також на використанні технічних систем підтримки орієнтації.

Встановлено, що слухові сигнали є основним джерелом просторової інформації для незрячих користувачів і широко застосовуються в технічних системах орієнтації у вигляді голосових підказок, акустичних маяків та 3D-аудіо. Разом із тим доведено, що ефективність слухових каналів суттєво знижується в умовах високого рівня фонового шуму, що обумовлює необхідність поєднання аудіоінтерфейсів із тактильними та вібраційними механізмами зворотного зв'язку.

Проаналізовано роль тактильних засобів орієнтації, зокрема білих тростин, тактильних поверхонь та шрифту Брайля, які забезпечують надійний фізичний зворотний зв'язок і високу стабільність роботи незалежно від зовнішніх умов. Водночас визначено, що традиційні тактильні засоби мають обмежений функціонал щодо виявлення перешкод на рівні голови та не забезпечують попереджувальної інформації на відстані, що створює передумови для їх модернізації шляхом інтеграції електронних сенсорів.



Окрему увагу приділено сучасним електронним і програмним системам орієнтації, зокрема пристроям на базі ультразвукових сенсорів, GPS-навігації, мобільних застосунків і систем штучного інтелекту. Встановлено, що використання GPS-орієнтації та аудіонавігаційних алгоритмів дозволяє формувати покрокові маршрути, ідентифікувати об'єкти навколишнього середовища та підвищувати автономність користувачів. Разом із тим GPS-системи мають обмеження щодо точності позиціонування, особливо в щільній міській забудові та закритих приміщеннях, що вимагає застосування гібридних навігаційних рішень.

Розглянуто процес формування когнітивних карт простору як результат інтеграції сенсорних даних і технічних підказок. Показано, що навіть за наявності високотехнологічних навігаційних систем користувач потребує повторюваного сенсорного підтвердження маршруту для створення стійких ментальних моделей простору. Це свідчить про те, що технічні засоби мають доповнювати, а не замінювати природні механізми орієнтації.

Проаналізовано стан упровадження систем допомоги орієнтації для людей з вадами зору в Україні. Виявлено, що існуючі розробки перебувають на етапі обмеженого впровадження та стикаються з проблемами відсутності стандартизації, високої вартості апаратних компонентів і недостатнього рівня інтеграції з міською інфраструктурою. Водночас встановлено, що використання модульних апаратно-програмних рішень, відкритих платформ і мобільних технологій є перспективним напрямом для зниження вартості та підвищення доступності таких систем.

У результаті проведеного аналізу зроблено висновок, що найбільш ефективні системи орієнтації для людей з вадами зору повинні будуватися за принципом багатосенсорної інтеграції, поєднуючи традиційні тактильні засоби з електронними сенсорами, мобільними застосунками та інтелектуальними алгоритмами обробки даних.



## **РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ У ПРОСТОРІ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ НА ОСНОВІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ**

### **2.1. Вимоги до технічних характеристик пристрою**

Враховуючи основні потреби і вимоги людей з вадами зору та існуючі системи, було визначено наступні вимоги до технічних характеристик пристрою:

- ергономіка та портативність – пристрій повинен мати зручну та легку конструкцію з мінімально можливою масою, що забезпечує комфортне використання і можливість складання для зручного зберігання пристрою під час періодів, коли він не використовується;
- надійність та тривалість роботи – на основі того, що пристрій буде використовуватись на вулиці і в приміщенні, він повинен мати стійкість до зовнішніх умов та довгий термін служби батареї або можливість швидкої зарядки для тривалого використання пристрою;
- робочий діапазон температур – система повинна забезпечувати нормальну роботу і надійність у встановленому діапазоні температур від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , оскільки вона може застосовуватись в різні пори року;
- сумісність та розширюваність – можливість інтеграції з іншими технологіями або пристроями, такими як мобільні застосунки або додаткові сенсори. Загальна сумісність з різними операційними системами та платформами;
- навігація – пристрій повинен точно визначати місцезнаходження, виявляти перешкоди в різних середовищах на відстані від 2 до 400 см і повідомляти про них користувача. Ультразвукові датчики для виявлення перешкод та вимірювання відстаней. Гучний звуковий сигнал для попередження про перешкоди та небезпеку;
- зв'язок та інтерфейс – система повинна мати інтерфейси та модулі для підключення навушників, смартфона та інших приладів дротовим або бездротовим з'єднанням (наприклад, Bluetooth).

## **2.2. Вимоги до функціональних характеристик пристрою**

Система має відповідати наступним функціональним вимогам:

- виявляти перешкоди, сходи та калюжі перед користувачем від висоти рівня землі до висоти голови, в діапазоні від 2 до 400 см попереду;
- надавати аудіо-інформацію про навколишнє середовище, включаючи перешкоди, напрямок руху та важливі об'єкти;
- система повинна забезпечувати тактильних вібраційних сигнал для передачі інформації;
- система повинна забезпечувати точне визначення місцезнаходження за допомогою модуля GPS;
- пристрій повинен мати можливість допомагати у знаходженні потрібних об'єктів, наприклад, ліній громадського транспорту, магазинів, аптек тощо;
- система повинна збирати і обробляти візуальну інформацію з оточення, розпізнавати перешкоди, об'єкти, людей;
- система повинна мати можливість передавати визначені координати користувача через мобільну мережу (GSM), що дозволяє надсилати дані про місцезнаходження на віддалений сервер або до системи моніторингу, що забезпечує можливість відстеження руху користувача та надання допомоги в разі потреби;
- користувач повинен мати можливість підключити смартфон або навушники за допомогою Bluetooth та інших інтерфейсів.

## **2.3. Розроблення структурної схеми**

Структурна схема автоматизованої системи відображає основні функціональні частини виробу або системи і дозволяє візуалізувати її структуру та показати, які компоненти входять до складу системи і як вони взаємодіють один з одним.

Структурна схема автоматизованої системи супроводу людей з вадами

зору, складається з чотирьох основних підсистем:

- підсистема виявлення перешкод;
- підсистема керування пристроєм;
- підсистема оповіщення користувача;
- підсистема передачі місцезнаходження та сигналу SOS.

Основні функціональні елементи системи:

- мікроконтролер Arduino Nano;
- ультразвуковий далекомір HC-SR04;
- інфрачервоний далекомір;
- датчик вологи;
- модуль камери;
- акумуляторна батарея живлення (АКБ);
- кнопки, перемикачі;
- вібромотор;
- динаміки;
- перетворювач напруги, що підвищує (П) DC/DC;
- GPS/GSM модуль.

На структурній схемі показано, що система виявлення перешкод працює завдяки поєднанню декількох датчиків і камери. Ультразвуковий та інфрачервоний датчики посилають сигнали і при зустрічі з перешкодою передають оповіщення у вигляді вібрації (вібромотор) та звуку (динамік або навушники). Датчик вологи буде розташований знизу тростини, для виявлення калюж та вологих поверхонь.

За допомогою камери здійснюється реалізація додаткових функцій розпізнавання. Використовуючи технологію обробки цифрових зображень і програмне забезпечення з підтримкою комп'ютерного зору, здійснюється процес ідентифікації предметів. Якщо ультразвукові датчики виявляють будь-яку зміну, камера вмикається і робить зображення, яке потім порівнюється з попередньо завантаженими фотографіями, щоб розпізнати перешкоду.

Кнопки або перемикачі слугують для ввімкнення пристрою, регулювання гучності динаміка або навушників та відправлення повідомлення SOS з визначеним, за допомогою GPS модуля, місцезнаходженням.

#### **2.4. Розроблення алгоритму функціонування системи**

Функціональна система розробляється з урахуванням потреб та вимог користувачів, забезпечуючи їм безпечний та зручний спосіб користування. Вона складається з основних функціональних елементів пристрою, показує зв'язки між ними та можливі варіанти роботи окремих компонентів.

Алгоритм функціонування визначає послідовність дій системи при виявленні перешкод та включає такі етапи, як виявлення перешкод, аналіз даних, розпізнавання об'єктів та інформування користувача.

На схемі алгоритму можна побачити, що після запуску системи відбувається ініціалізація мікроконтролера та всіх датчиків. До Arduino Nano можна підключити смартфон за допомогою модуля Bluetooth, і також система постійно перевіряє, чи не натиснута кнопка SOS. Якщо користувач натискає на кнопку, то відбувається відправка повідомлення про допомогу та місцезнаходження, яке визначається за допомогою модуля GPS.

Зліва на схемі показано алгоритм сповіщення користувача про виявлення перешкоди. Всі датчики передають інформацію до мікроконтролера, де відбувається аналіз і обчислення допустимої відстані до об'єктів. Якщо відстань до перешкоди критична, то система повідомляє користувача, увімкнувши вібромотор та динамік. Додатковою функцією є розпізнавання об'єктів за допомогою камери. При виявленні ультразвуковим або інфрачервоним датчиком перешкоди, вмикається камера і робить знімок. Він проходить обробку та аналіз за допомогою програмного забезпечення і при розпізнаванні об'єкта повідомляє інформацію про перешкоду. Якщо не вдається розпізнати, то виводить звичайний аудіо-сигнал.

#### **2.5. Розроблення електричної принципової схеми**

Електрична принципова схема є графічним зображенням компонентів,

проводів та з'єднань, які утворюють електричне коло. Вона використовується для візуального представлення структури та зв'язків між різними електричними компонентами, такими як джерела живлення, резистори, конденсатори, діоди, транзистори та інші елементи.

Електрична принципова схема системи орієнтування у просторі людей з вадами зору представлена на рисунку 2.1.

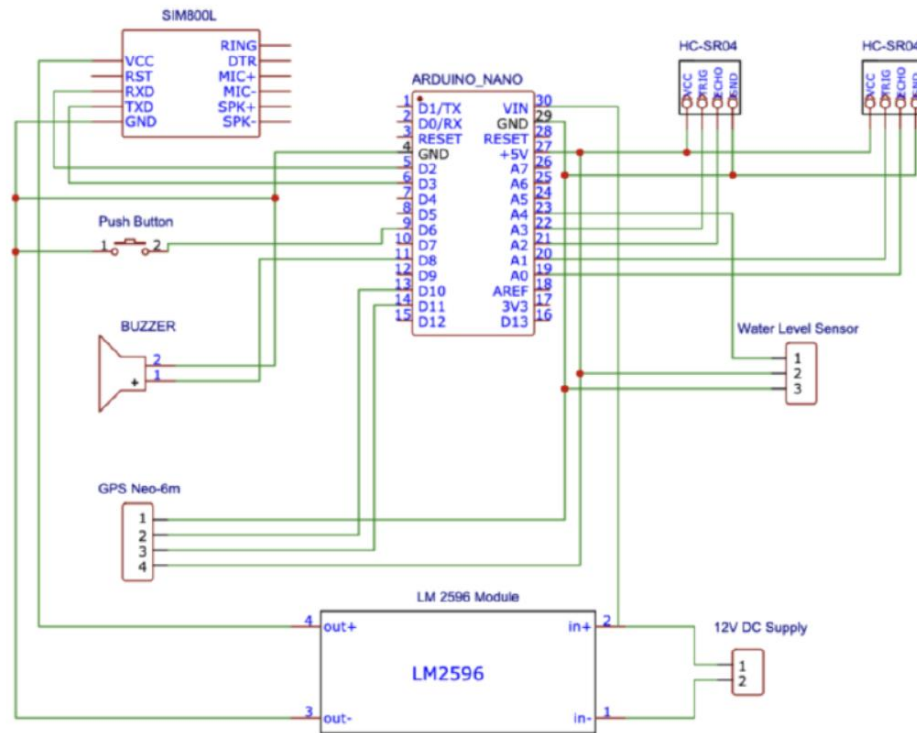


Рис. 2.1. Електрична принципова схема системи орієнтування у просторі людей з вадами зору

Електрична принципова схема системи орієнтування у просторі людей з вадами зору представлена за допомогою програмного засобу Fritzing, була розроблена електрична структурна схема яка зображена на рисунку 2.2.

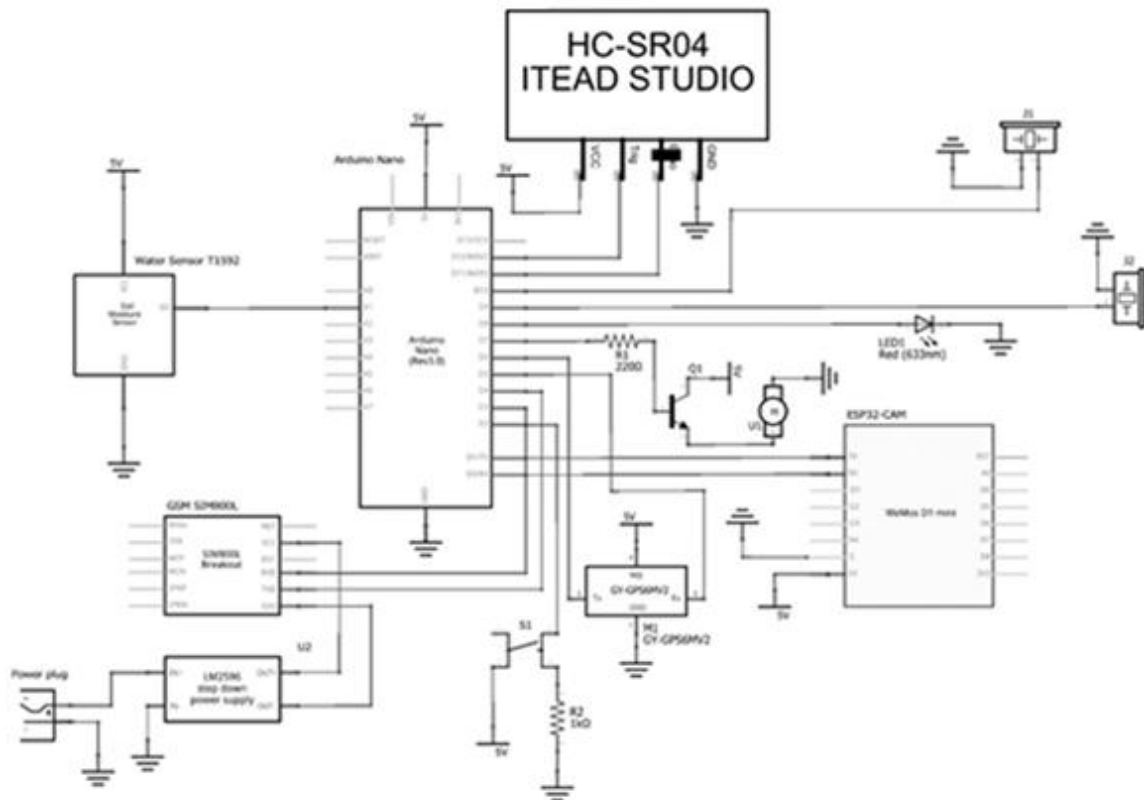


Рис. 2.2. Електрична принципова схема системи орієнтування у просторі людей з вадами зору виконана у Fritzing

## 2.6. Обґрунтування вибору окремих компонентів

### 2.6.1. Мікроконтролер

Мікроконтролер являє собою компактну інтегральну мікросхему, що поєднує в одному корпусі центральне обчислювальне ядро, пам'ять та програмовані периферійні засоби введення і виведення. Основним призначенням мікроконтролерів є реалізація конкретних алгоритмів керування та обробки даних у складі вбудованих систем. На відміну від процесорів загального призначення, мікроконтролери оптимізовані для роботи в реальному часі та характеризуються низьким енергоспоживанням, малими габаритами і високою економічною ефективністю.

Вибір мікроконтролера є одним із ключових етапів під час розроблення автоматизованої системи супроводу людей у вигляді розумної тростини. Для реалізації поставлених функцій було обрано мікроконтролерну плату **Arduino Nano** (рисунок 2.3), яка належить до найбільш поширених і доступних рішень на

сучасному ринку. До переваг цієї плати слід віднести компактні розміри, наявність необхідних інтерфейсів введення-виведення, а також простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс програмування, що дозволяє суттєво скоротити час розробки та налагодження пристрою.

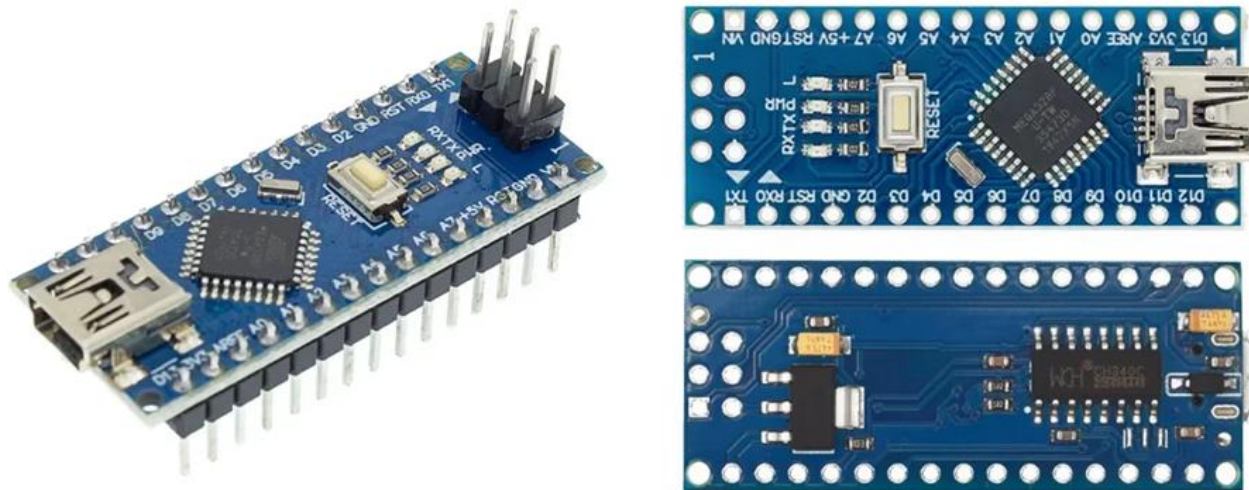


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд плати Arduino Nano [19]

Технічні характеристики плати наведено в таблиці 2.1.

Таблиці 2.1.

#### Технічні характеристики плати Arduino Nano

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Архітектура	AVR, 8-бітна
Тактова частота	16 МГц
Робоча напруга логіки	5 В
Вхідна напруга живлення (VIN)	7–12 В
Живлення через USB	5 В
Споживаний струм	до 40 мА
Flash-пам'ять	32 КБ ( $\approx$ 2 КБ – Bootloader)
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Кількість цифрових I/O	14

Параметр	Значення
Кількість PWM-виходів	6
Кількість аналогових входів	8
Роздільна здатність АЦП	10 біт
Інтерфейс UART	1
Інтерфейс SPI	1
Інтерфейс I <sup>2</sup> C (TWI)	1
Таймери	2 × 8-бітні, 1 × 16-бітний
Максимальний струм одного I/O піну	40 мА
Максимальний сумарний струм I/O	200 мА
Режими енергозбереження	Idle, Power-down, Power-save, Standby
Фізичні розміри плати	45 × 18 мм
Маса плати	≈ 7 г
Інтерфейс програмування	USB, ISP
Середовище розробки	Arduino IDE
Мова програмування	C/C++ (Arduino framework)

Плата Arduino Nano побудована на базі мікроконтролера ATmega328P та забезпечує достатні апаратні ресурси для підключення периферійних компонентів системи. Мікроконтролер має 22 лінії введення-виведення, з яких 6 підтримують режим широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), що дозволяє реалізувати керування виконавчими пристроями та інтерфейс з різноманітними датчиками і кнопками керування. Крім того, плата оснащена 8 аналоговими входами, які використовуються для оцифрування аналогових сигналів, зокрема даних від інфрачервоних далекомірів та інших аналогових сенсорів [19].



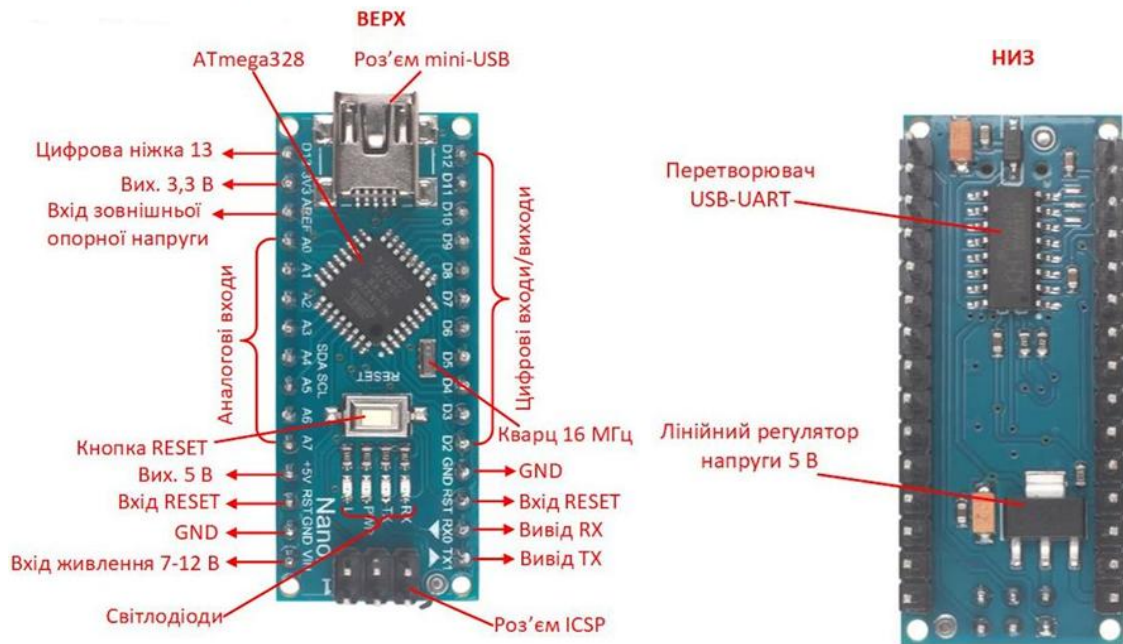


Рис. 2.4. Опис плати Arduino Nano

Схему розташування виводів плати наведено на рисунку 2.5.

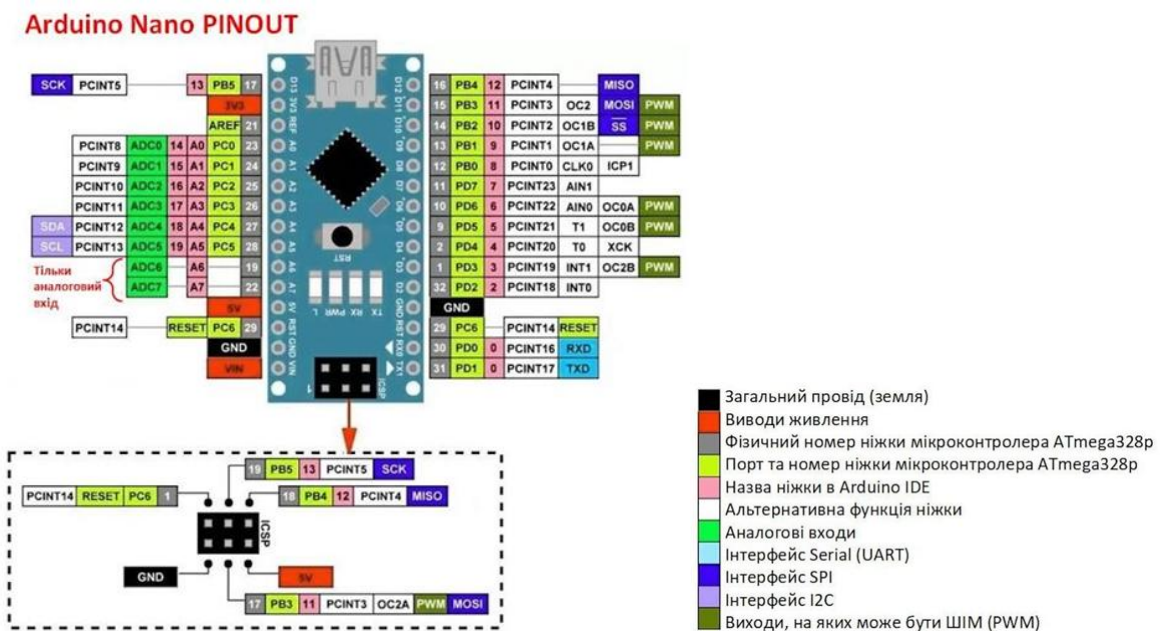


Рис. 2.5. Схема розташування виводів плати Arduino Nano [19]

Опис виводів та інтерфейсів плати **Arduino Nano**:

- **GND** – загальні контакти, що забезпечують замикання електричного кола та є спільним логічним опорним рівнем для всіх компонентів схеми.
- **5V і 3V3** – контакти для стабілізованого живлення зовнішніх

пристроїв напругою 5 В та 3,3 В відповідно.

- **D0 (RX) і D1 (TX)** – цифрові контакти для послідовного обміну даними (UART), де RX приймає, а TX передає інформацію.
- **RESET** – контакт для апаратного скидання мікроконтролера.
- **ADC (A0–A7)** – аналогові входи для підключення сенсорів, перетворюють аналогові сигнали у цифровий формат через вбудований АЦП.
- **D2–D13** – цифрові входи/виходи; **D11–D13** використовуються для інтерфейсу **SPI** (MOSI, MISO, SCK), а D10 – контакт **SS (CS)** для вибору підлеглого пристрою. D13 також підключений до вбудованого світлодіода.

**SPI (Serial Peripheral Interface)** – синхронний протокол для обміну даними між головним (Arduino) та підлеглими пристроями.

- **MISO (D12)** – передача даних від підлеглого до головного пристрою.
- **MOSI (D11)** – передача даних від головного до підлеглого пристрою.
- **SCK (D13)** – тактовий сигнал для синхронізації обміну.
- **SS (D10)** – вибір підлеглого пристрою для комунікації.

**I2C (A4 – SDA, A5 – SCL)** – дволінійний протокол для зв'язку кількох пристроїв на одній шині. Кожен пристрій має унікальну адресу, а лінії:

- **SCL** – тактовий сигнал,
- **SDA** – передача даних.

**Живлення плати:**

- через **USB Mini-B** (5 В, до 500 мА),
- через **VIN** (зовнішнє джерело 7–12 В),
- через контакт **5V** для стабілізованого живлення зовнішніх модулів.

При живленні через USB використовується чіп **FTDI FT232RL** для обміну даними між комп'ютером та Arduino. При зовнішньому живленні 3,3 В від FTDI стає неактивним, що може викликати мерехтіння світлодіодів RX/TX при високому рівні сигналу на D0/D1.

Принципова електрична схема плати наведена на рисунку 2.6.



З технічної точки зору, Arduino Nano є надійним та доступним мікроконтролером із простим інтерфейсом, що повністю відповідає вимогам для створення системи орієнтування у просторі людей з вадами зору у вигляді «розумної тростини». Його обчислювальні ресурси, поширеність на ринку, широка підтримка спільноти та сумісність із різноманітними модулями розширення забезпечують ефективну реалізацію функціональних завдань проекту.

### 2.6.2. Модуль камери

Застосування модуля камери в автоматизованій системі орієнтування у просторі людей з вадами зору значно розширює функціональні можливості пристрою, забезпечуючи розпізнавання об'єктів та перешкод на шляху користувача. Для реалізації цієї функції було обрано модуль ESP32-CAM, який вирізняється серед інших аналогів своїми технічними характеристиками та можливостями. На рисунку 2.7 наведено його зовнішній вигляд.



Рис. 2.7. Зовнішній вигляд модуля ESP32-CAM [20]

**ESP32-CAM** – це компактний модуль, що поєднує мікроконтролер ESP32 та камеру з високою роздільною здатністю до 2 мегапікселів. Його невеликі габарити забезпечують зручність інтеграції у вбудовані системи, зокрема в електронні тростини, а комбінація мікроконтролера та камери дозволяє реалізовувати багатофункціональні рішення для обробки даних.



Одним із ключових завдань системи є розпізнавання об'єктів. Завдяки вбудованій камері та можливості обробки зображень, ESP32-CAM ефективно виконує цю функцію. Камера OV2640 забезпечує високоякісні знімки, необхідні для точного розпізнавання перешкод та об'єктів на шляху користувача.



Рис. 2.8. Будова модуля ESP32-CAM

Крім того, модуль підтримує бездротові протоколи Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє передавати дані та взаємодіяти з іншими пристроями, включно з мобільними застосунками та системами керування. На рисунку 2.9 представлено діаграму контактів модуля ESP32-CAM.

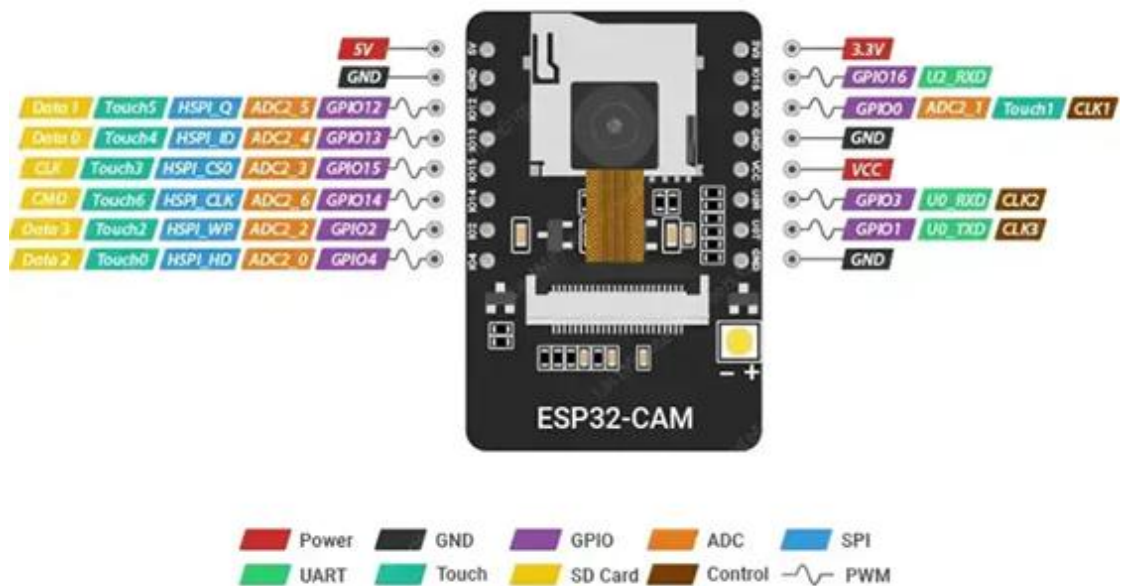


Рис. 2.9. Діаграма контактів для ESP32-CAM [20]

На рисунку 2.10 наведено електричну схему модуля ESP32-CAM.

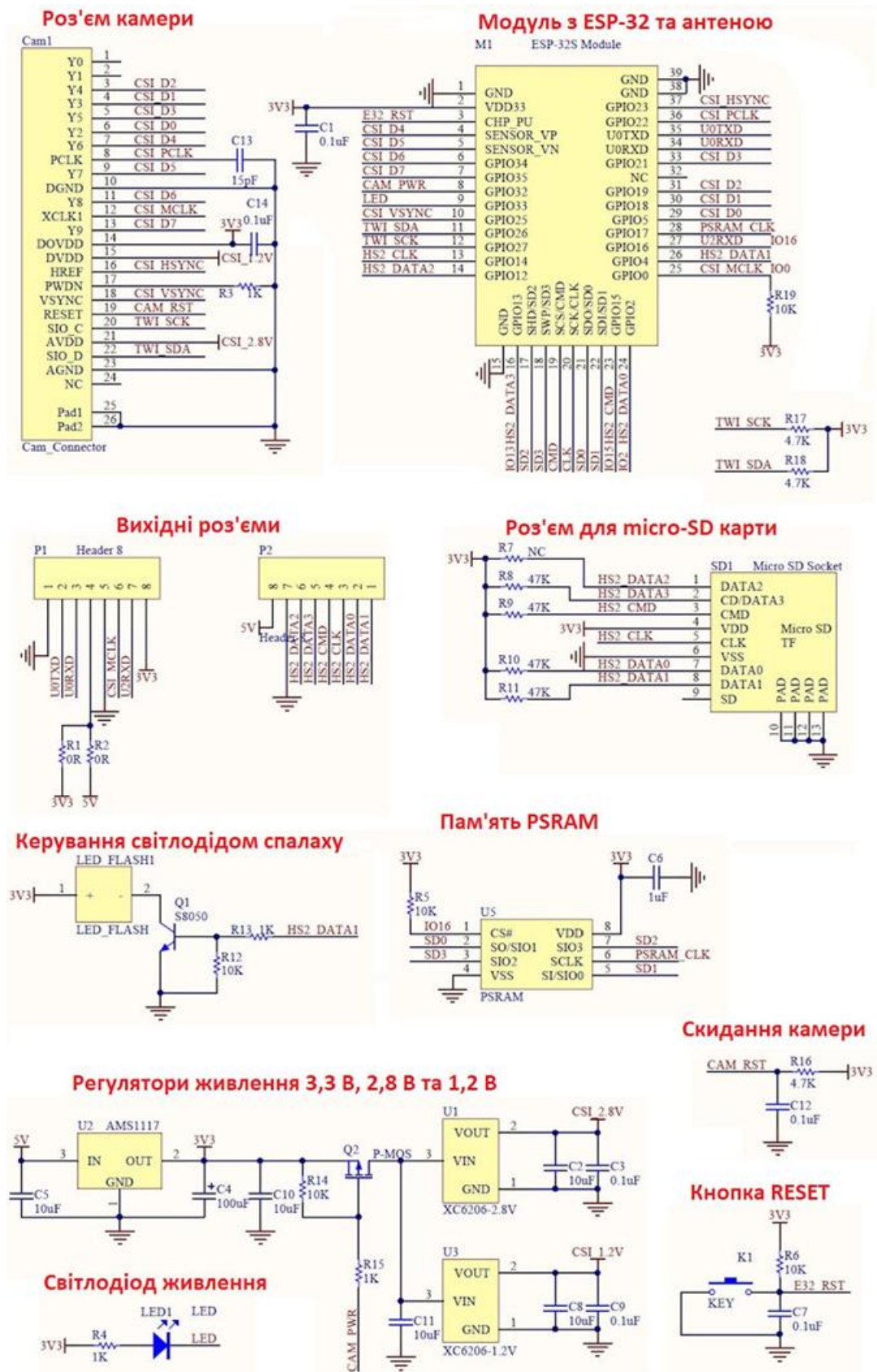


Рис. 2.10. Електрична схема модуля ESP32-CAM

Модуль ESP32-CAM оснащений трьома контактами GND (чорного кольору) та двома контактами живлення (3,3 В і 5 В, червоного кольору). Більшість GPIO контактів на платі є багатофункціональними. Контакти GPIO1 і GPIO3 можуть виконувати роль UART TX та RX для послідовної передачі та прийому даних, що необхідно для програмування та завантаження коду з ПК, оскільки плата не має вбудованого програматора.

Контакт GPIO0 визначає режим роботи ESP32 – програмування або звичайне виконання. Він підключений через резистор 10 кОм до логічного рівня, і при замиканні на GND модуль переходить у режим програмування для завантаження коду.

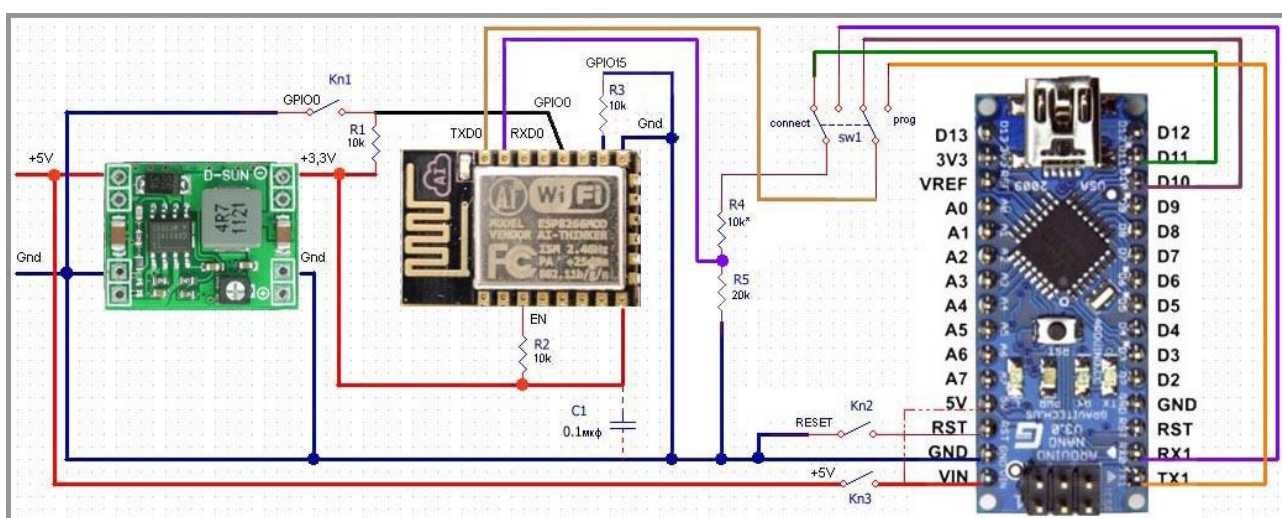


Рис. 2.11. Підключення ESP8266 до Arduino NANO

Ще однією перевагою є сумісність ESP32-CAM з Arduino IDE, що спрощує розробку програмного забезпечення та ефективне використання ресурсів модуля.

Таким чином, ESP32-CAM став оптимальним вибором для включення в проєкт автоматизованої системи орієнтування у просторі людей з вадами зору у вигляді «розумної тростини». Його можливості розпізнавання об'єктів та підтримка бездротового зв'язку суттєво підвищують функціональність та зручність системи для користувачів.



### 2.6.3. Ультразвуковий датчик

Одним із найбільш розповсюджених і надійних ультразвукових далекомірів, який часто застосовується в системах супроводу людей з вадами зору, є HC-SR04 Ultrasonic Sensor (рисунок 2.12). Цей модуль вирізняється високою популярністю та широкою доступністю на ринку, забезпечуючи точні вимірювання відстані за допомогою ультразвукових хвиль.

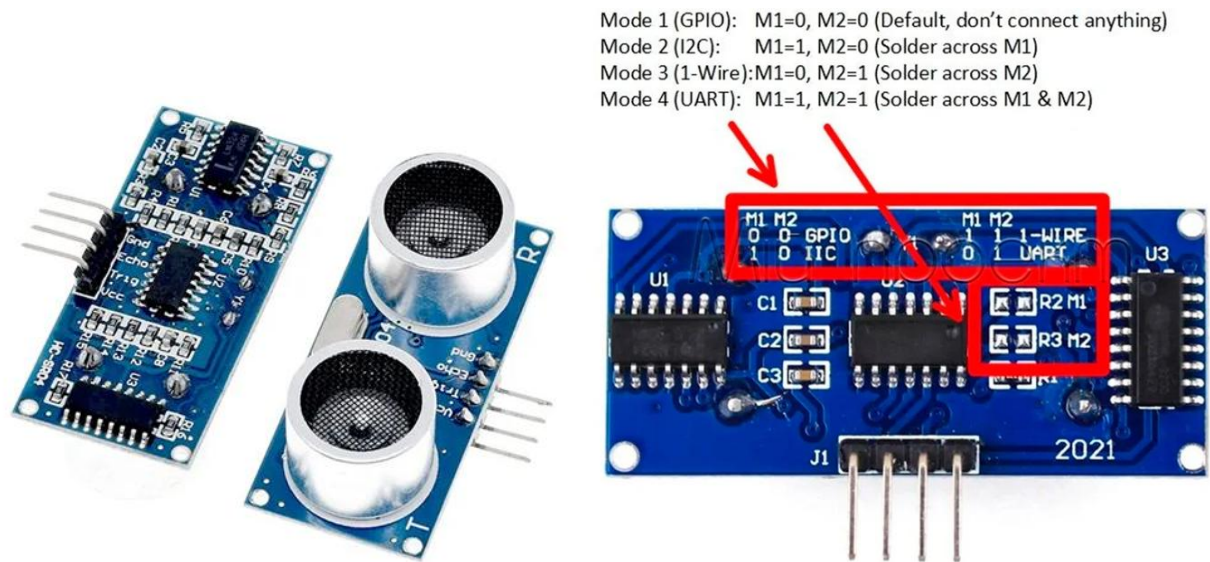


Рис. 2.12. Ultrasonic Sensor HC-SR04 [12]

Датчик HC-SR04 функціонує за принципом випромінювання ультразвукових хвиль і подальшого вимірювання часу, за який відбитий сигнал повертається після відбиття від об'єкта. Аналізуючи часову затримку між передачею та прийомом сигналу, модуль визначає відстань до перешкоди.

#### Алгоритм роботи датчика:

1. **Формування тригерного сигналу.** На вхід **Trig** подається керуючий імпульс високого рівня тривалістю близько 10 мкс.
2. **Генерація ультразвуку.** Після отримання тригерного імпульсу датчик випромінює пакет з 8 ультразвукових коливань частотою 40 кГц.
3. **Приймання відбитого сигналу.** У разі наявності об'єкта на шляху поширення хвилі ультразвук відбивається та фіксується приймальним елементом.



4. **Вимірювання часової затримки.** Контакт **Echo** утримується у високому логічному рівні протягом часу, необхідного для проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад.

5. **Обчислення відстані.** Відстань розраховується за формулою:

$$Distance = \frac{Time \times Speed\ of\ Sound}{2}$$

де швидкість звуку в повітрі становить приблизно **343 м/с**.

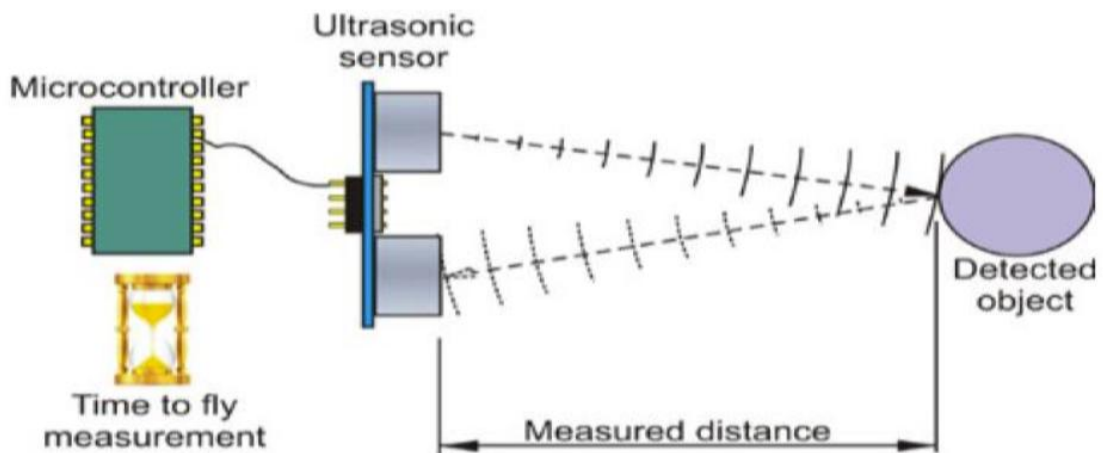


Рис. 2.13. HC-SR04 працює: вид зверху

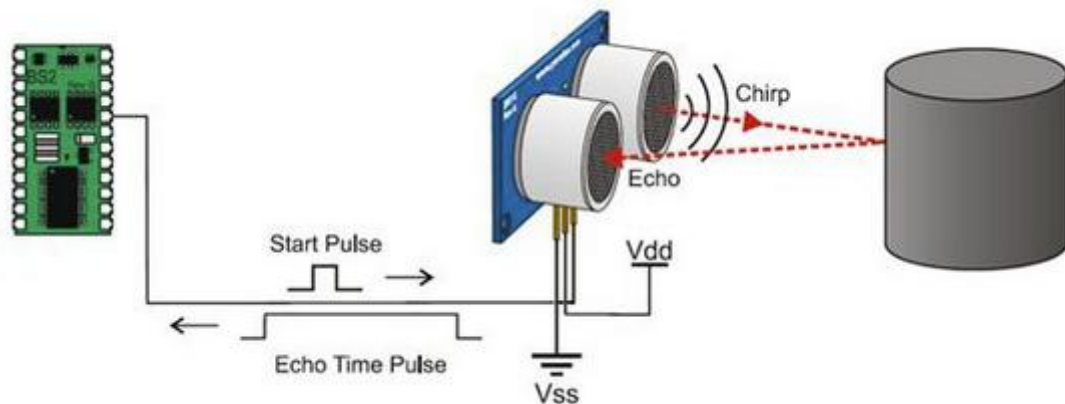


Рис. 2.14. HC-SR04 принцип роботи

Саме цей ультразвуковий далекомір було обрано завдяки його здатності виконувати вимірювання відстані до об'єктів у діапазоні від 2 до 400 см з високою роздільною здатністю та точністю до міліметра. Модуль HC-SR04 відзначається простотою підключення та експлуатації, оскільки має лише чотири основні виводи:

- **VCC (Voltage Common Collector)** – контакт живлення датчика, який

підключається до джерела постійної напруги для забезпечення його роботи;

- **GND (Ground)** – заземлювальний вивід, що слугує опорним нульовим потенціалом та забезпечує замикання електричного кола;
- **Trig (Trigger)** – вхідний контакт запуску, на який подається короткий імпульс для ініціювання випромінювання ультразвукової хвилі;
- **Echo** – вихідний контакт, що формує сигнал, тривалість якого відповідає часу проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад, на основі чого визначається відстань.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 тривалий час представлений на ринку та широко доступний у магазинах електроніки й на онлайн-платформах. Його невисока вартість у поєднанні з надійністю та достатньою точністю вимірювань робить цей модуль доцільним вибором для реалізації дипломного проекту.

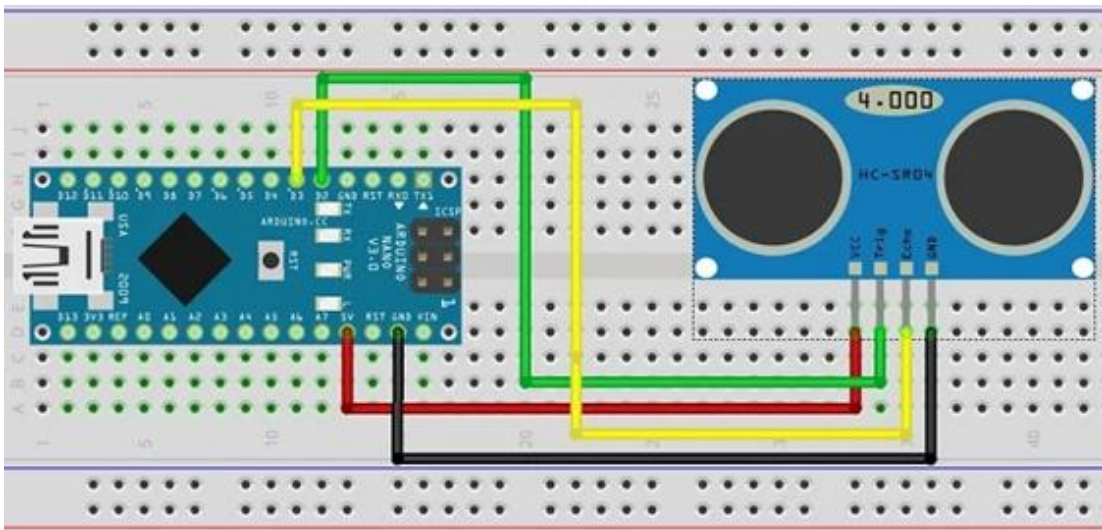


Рис. 2.15. Підключення HC-SR04 до Arduino Nano

#### 2.6.4. Датчик рівня води

У межах даної роботи датчик рівня води застосовується для виявлення калюж та підвищеної вологості на поверхні перед користувачем. Проаналізувавши доступні на ринку рішення, було обрано один із найбільш поширених і практичних варіантів — датчик рівня води T1592, зображений на рисунку 2.16.

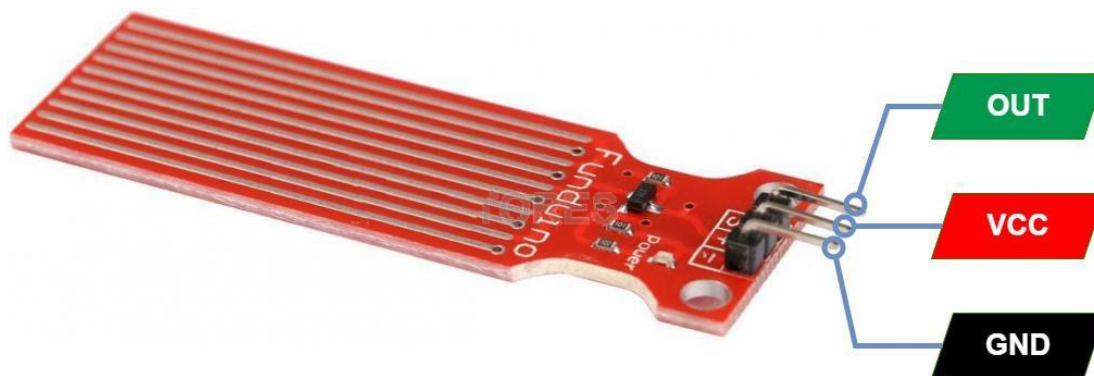


Рис. 2.16. Датчик рівня води T1592 з позначенням виходів [21]

Датчик рівня води оснащений трьома контактами, працює від напруги живлення 5 В та формує вихідний сигнал в аналоговому вигляді [21].

Контакт **VCC** призначений для підключення до джерела живлення 5 В і забезпечує роботу датчика.

Вивід **GND** використовується для заземлення та з'єднується із загальною шиною плати Arduino.

Контакт **OUT** є аналоговим виходом, на якому формується сигнал напруги в діапазоні між VCC та GND; він підключається до одного з аналогових входів Arduino для подальшої обробки.

Основні технічні характеристики датчика рівня води наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

### Технічні характеристики датчика рівня води T1592

Параметр	Значення
Тип датчика	Резистивний датчик рівня води / вологості
Модель	T1592
Напруга живлення	3,3–5 В (номінально 5 В)
Споживаний струм	до 20 мА
Вихідний сигнал	Аналоговий
Діапазон вихідної напруги	0 ... VCC
Інтерфейс підключення	Аналоговий (OUT)

Параметр	Значення
Кількість контактів	3 (VCC, GND, OUT)
Принцип роботи	Зміна електричного опору при контакті з водою
Сумісність	Arduino, ESP32 та інші МК з АЦП
Матеріал плати	FR4
Робоча температура	0 ... +60 °C
Призначення	Виявлення води, калюж та вологості поверхні

Датчик вологості T1592 характеризується низкою суттєвих переваг. Насамперед він відзначається малим енергоспоживанням (менше 20 мА), що сприяє збільшенню часу автономної роботи пристрою без частого підзаряджання або заміни джерела живлення. Його робочий діапазон напруги становить 3–5 В постійного струму, що забезпечує сумісність із більшістю сучасних мікроконтролерів. Окрім цього, датчик може застосовуватися для виявлення опадів, рівня води або витоків рідини, завдяки чому є універсальним рішенням для різних завдань. У контексті розроблюваної системи він здатний своєчасно інформувати користувача про зміну умов навколишнього середовища, зокрема про наявність дощу чи калюж на шляху руху.

#### 2.6.5. Модуль GPS

Для реалізації системи було обрано GPS-модуль NEO-6M (рисунок 2.17), оскільки він належить до найбільш розповсюджених, точних і надійних рішень у своєму класі. Модуль забезпечує високоточне визначення координат користувача на основі даних глобальної навігаційної супутникової системи.

NEO-6M підтримує декілька протоколів обміну даними, зокрема NMEA, UBX та SkyTraq, що спрощує інтеграцію з мікроконтролерними платформами. Крім того, він оснащений власним резервним акумулятором і вбудованою EEPROM-пам'яттю для збереження конфігураційних параметрів, а також

підтримує режим швидкого старту, який забезпечує оперативне та стабільне отримання геолокаційної інформації.

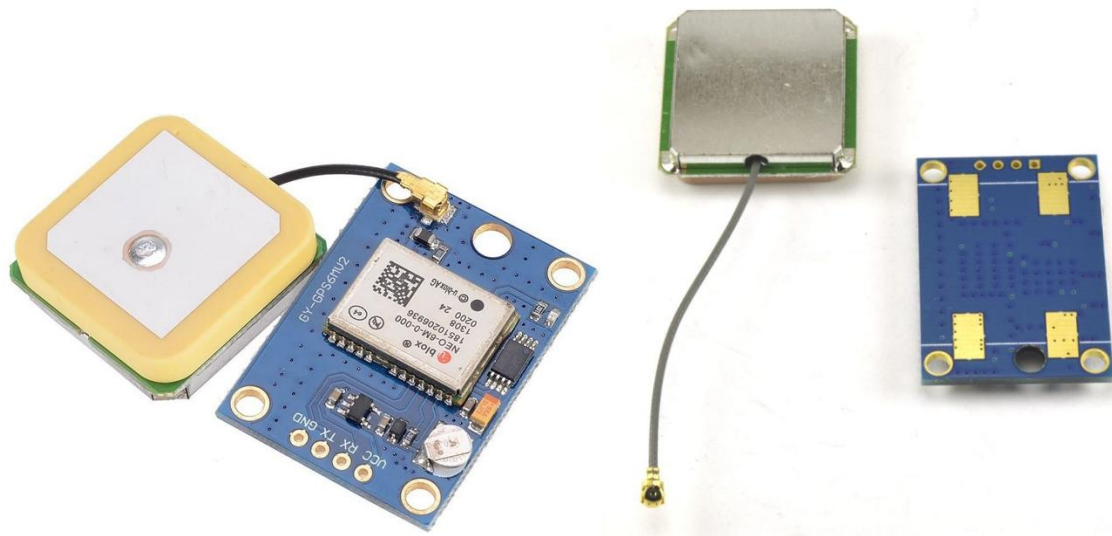


Рис. 2.17. Зовнішній вигляд модуля GPS NEO-6M

Пристрій характеризується низьким енергоспоживанням, що робить його доцільним для використання в мобільних та автономних системах із живленням від акумулятора. Підтримка діапазону напруг живлення 3,3–5 В забезпечує сумісність із різними типами мікроконтролерів і сенсорних платформ.

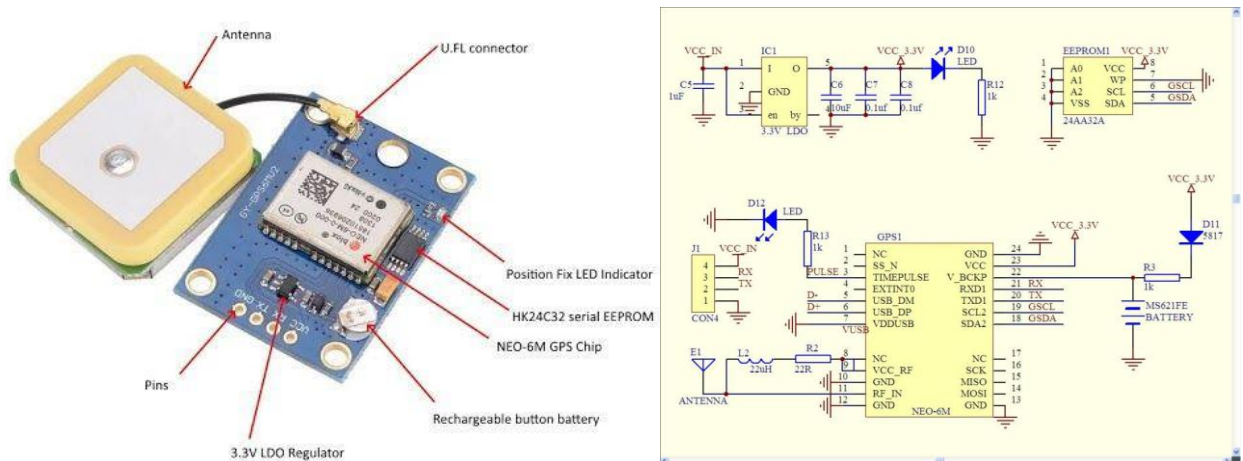


Рис. 2.18. Модуль GPS NEO-6M

У цілому GPS-модуль NEO-6M є надійним, зручним в інтеграції, точним і економічно доступним рішенням для реалізації функцій глобального позиціонування в різноманітних проєктах. Його функціональні можливості та підтримка кількох протоколів обміну даними роблять модуль доцільним вибором для даної розробки.

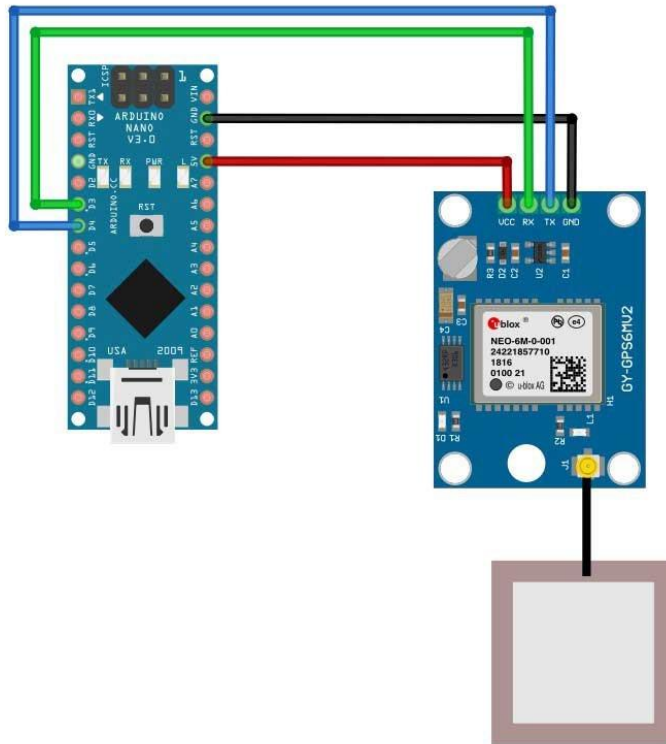


Рис. 2.19. Схема підключення GPS-модуля до Arduino

### 2.6.6. Модуль GSM

Для реалізації функції передавання сигналу тривоги та повідомлень про необхідність допомоги використовується модуль стільникового зв'язку GSM/GPRS, побудований на базі SIM800L. Він працює в діапазонах GSM/GPRS 850/900/1800/1900 МГц, що забезпечує підтримку більшості мобільних мереж у різних регіонах світу та сумісність із широким спектром операторів стільникового зв'язку.

Модуль SIM800L підтримує передачу даних за технологією GPRS (General Packet Radio Service), що дає змогу здійснювати обмін даними через мережу Інтернет. Це відкриває можливості для взаємодії з віддаленими серверами, надсилання інформації на хмарні сервіси або організації зв'язку з іншими пристроями системи.

Зовнішній вигляд модуля наведено на рисунку 2.20.





Рис. 2.20. Модуль GPS SIM800L з позначенням виходів  
Розпинування GSM-модуля SIM800L.

Модуль SIM800L оснащений 12 контактами, які забезпечують підключення до мікроконтролера, а також до мікрофона і динаміка. Розташування контактів та їх призначення такі:

- **NET** — вивід для підключення спіральної антени;
- **VCC** — живлення модуля, напруга 3,4–4,4 В;
- **RST (Reset)** — контакт для скидання модуля;
- **RxD (Receiver)** — контакт прийому даних для послідовного зв'язку;
- **TxD (Transmitter)** — контакт передачі даних для послідовного зв'язку;
- **GND** — контакт заземлення, що підключається до GND на Arduino;
- **RING** — вивід індикатора вхідного дзвінка;
- **DTR** — контакт керування активацією та деактивацією режиму сну;
- **MIC ±** — входи для підключення мікрофона;
- **SPK ±** — виходи для підключення динаміка.

Для стабільного функціонування модуля SIM800L необхідне живлення з напругою від 3,4 до 4,4 В (оптимально – 4,1 В) і максимальним робочим струмом до 2 А. Джерелом живлення може слугувати літій-іонний акумулятор ємністю не менше 1200 мА·год або стабілізатор напруги на базі LM2596.

### 2.6.7. Стабілізатор напруги на основі LM2596

Перетворювач напруги DC-DC LM2596, представлений на рисунку 5.10, є широко застосовуваним і ефективним пристроєм для стабілізації вихідної

напруги з більш високої вхідної напруги. Він підтримує вхідну напругу в діапазоні 4,5–40 В, а за допомогою вбудованого регулятора дозволяє налаштувати вихідну напругу в межах 1,23–37 В відповідно до потреб конкретного проєкту.

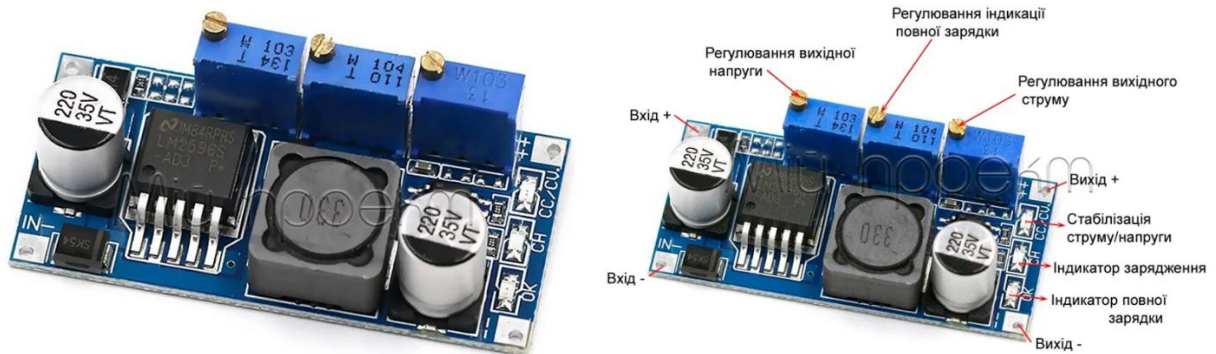


Рис. 2.21. Зовнішній вигляд перетворювача напруги LM2596

У автоматизованій системі орієнтування у просторі людей з вадами зору у вигляді «розумної тростини» LM2596 може застосовуватися для стабілізації напруги, необхідної для роботи модуля GSM SIM800L або інших компонентів, що потребують певних параметрів живлення. Використання цього перетворювача дозволяє отримати стабільне та надійне живлення від джерела з більш високою вхідною напругою, що є критично важливим для коректної роботи пристрою.

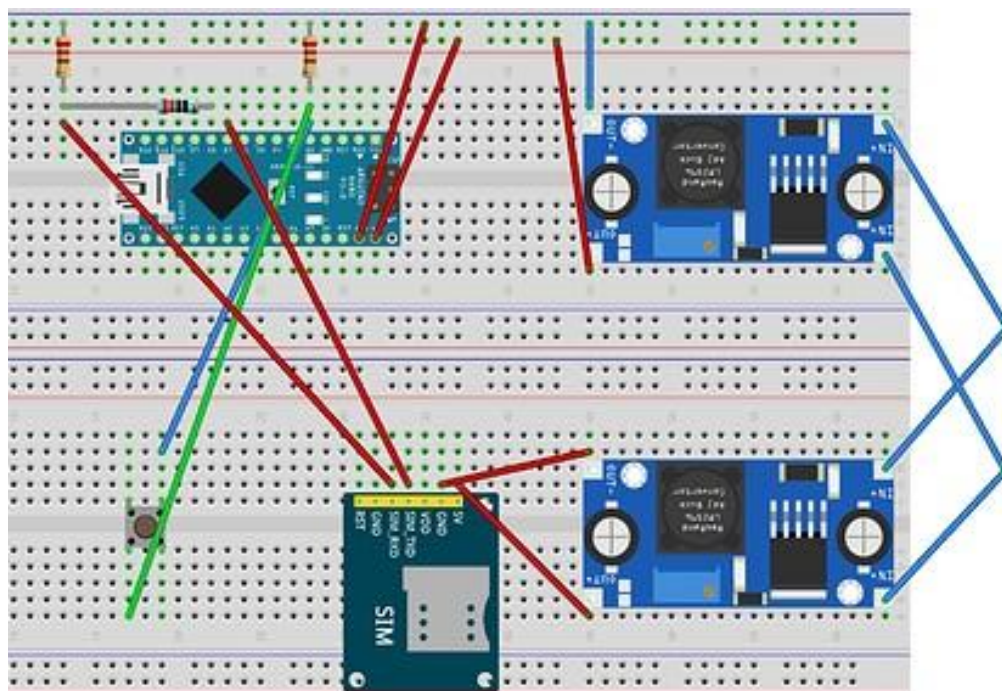


Рис. 2.22. Підключення модуля SIM800L до Arduino Nano



## **Висновки до розділу**

У цьому розділі проведено розробку структурної схеми автоматизованої системи орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій. Для цього було використано результати аналізу предметної області та вимоги до системи, сформульовані на попередньому етапі. Структурна схема включає декілька ключових компонентів. Було створено алгоритмічну схему функціонування системи, яка відображає взаємозв'язки між компонентами, їхню взаємодію та послідовність дій пристрою. Крім того, здійснено моделювання системи у середовищі Fritzing та розроблено її електричну принципову схему.

## РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СПРОЄКТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ МАКЕТА

### 3.1. Моделювання системи в Tinkercad

Tinkercad є веборієнтованим середовищем для 3D-моделювання та симуляції, яке дає змогу візуалізувати й попередньо опрацьовувати проекти до етапу їх фізичної реалізації [22]. Платформа вирізняється зручним інтерфейсом і достатнім набором інструментів для проєктування електронних та механічних систем.

Для моделювання підсистеми виявлення перешкод і оповіщення користувача було використано модуль Circuits, що входить до складу Tinkercad. Він дозволяє створювати електричні схеми та перевіряти їхню функціональність у режимі симуляції, однак не підтримує імпорт користувацьких компонентів. Разом із тим Circuits надає можливість використовувати змінні в середовищі програмування, що спрощує керування електронними елементами та логікою роботи системи. Слід зазначити, що проєктування власних блоків коду в цьому середовищі не передбачене, тому макет системи було реалізовано з використанням наявного функціоналу платформи.

Макет розробленої системи в середовищі Tinkercad наведено на рисунку 3.1.

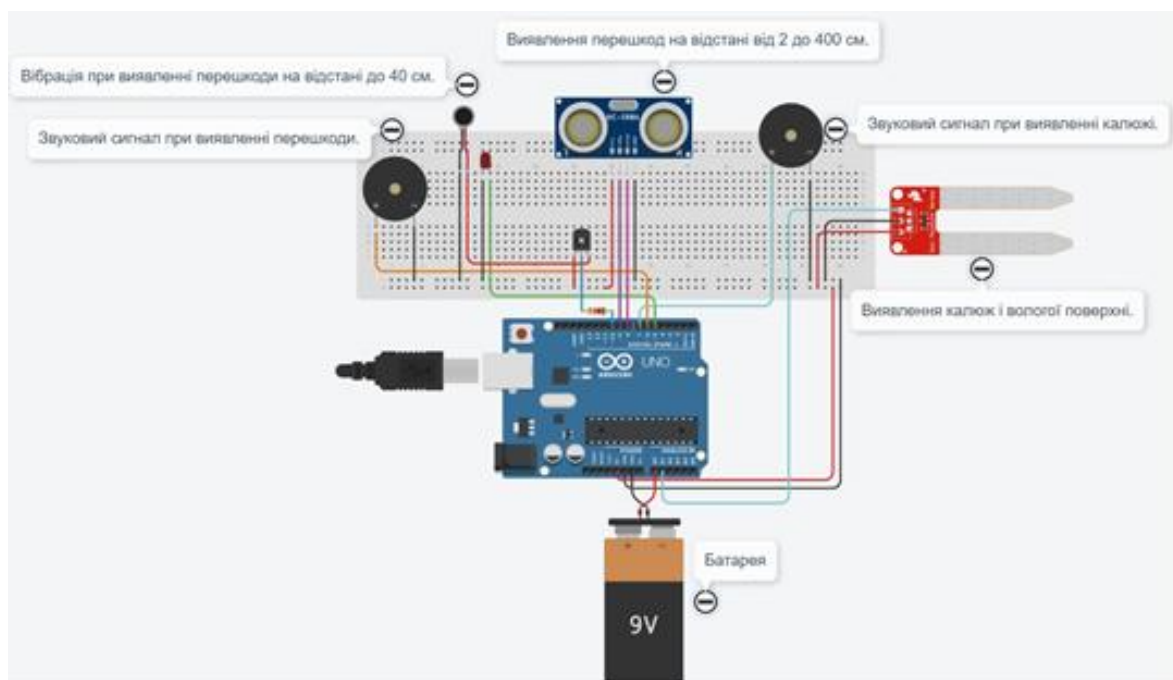


Рис. 3.1. Макет системи у середовищі Tinkercad

Оскільки серед доступних компонентів у середовищі Tinkercad відсутній мікроконтролер Arduino Nano, для моделювання було використано плату Arduino Uno як функціональний аналог.

На розробленій схемі продемонстровано підключення основних елементів підсистеми виявлення перешкод — ультразвукового далекоміра та датчика вологості. Контакти Echo і Trig ультразвукового сенсора під'єднані відповідно до цифрових входів D8 і D9 мікроконтролера, тоді як вихід SIG датчика вологості підключено до аналогового входу A1 плати Arduino. Зазначені сенсори використовуються для визначення відстані до об'єктів і фіксації вологості поверхні перед користувачем.

Світлодіод, з'єднаний із контактом D5, слугує засобом візуальної індикації наявності перешкоди. У разі виявлення ультразвуковим датчиком об'єкта на відстані до 40 см світлодіод вмикається, а паралельно з цим активується вібромотор, підключений до контакту D10, забезпечуючи тактильне сповіщення користувача.

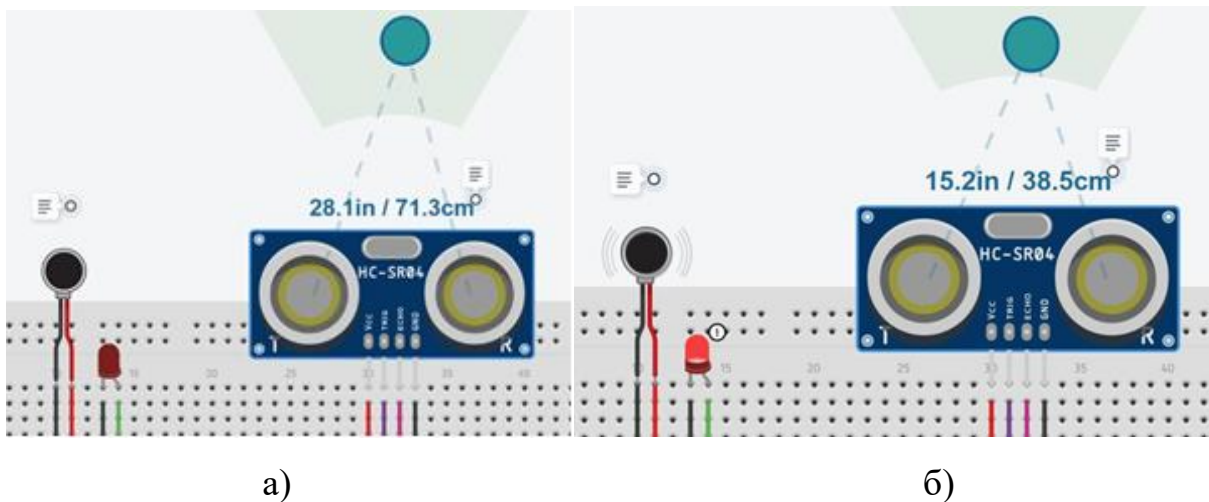


Рис. 3.2. Робота системи:

а) на відстані 71 см від перешкоди; б) на відстані до 40 см від перешкоди

На розробленій схемі передбачено використання двох динаміків:

- Лівий динамік (UltrasonicBuzzer), підключений до контакту D6, призначений для звукового оповіщення про наявність

перешкод. У разі, якщо відстань до об'єкта становить менше 10 см, динамік працює в безперервному режимі. За умови, коли відстань знаходиться в межах 10–20 см, звуковий сигнал подається періодично з інтервалом 1 секунда.

- Правий динамік (WaterBuzzer), під'єднаний до контакту D7, використовується для індикації перевищення заданого рівня вологості або виявлення калюжі.

Функціонування системи при наближенні до перешкоди на відстань до 20 см та одночасному виявленні вологи продемонстровано на рисунку 3.3. На ньому відображено роботу всіх компонентів підсистеми розпізнавання перешкод і оповіщення користувача, реалізованих у середовищі Tinkercad.

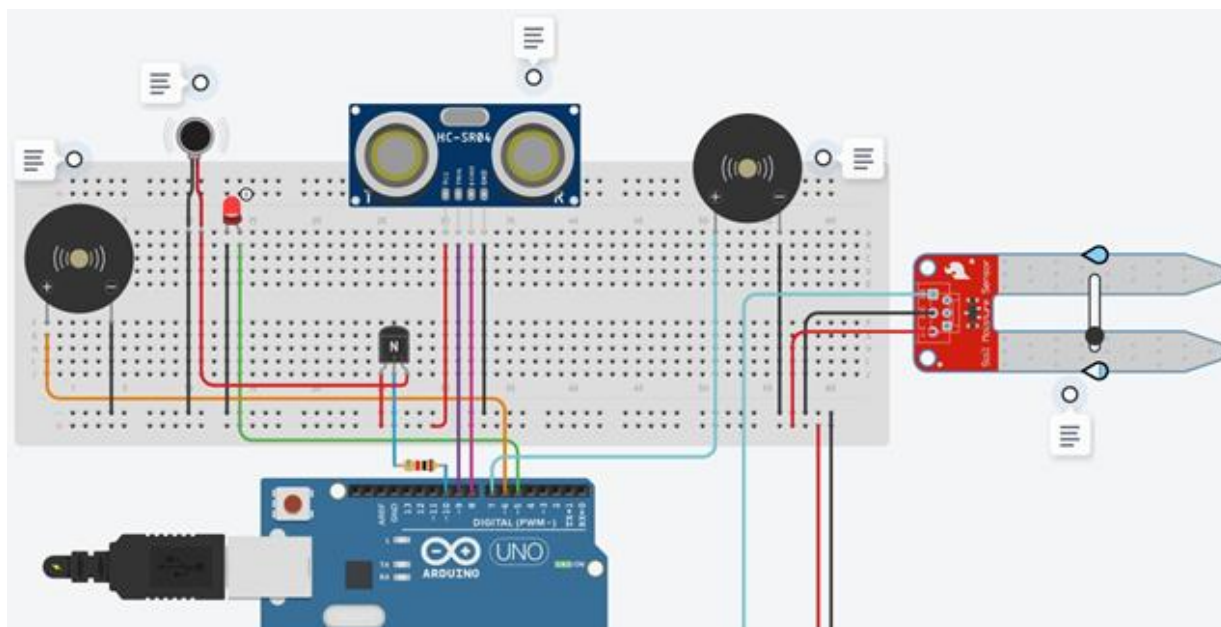


Рис. 3.3. Робота системи на відстані до 20 см від перешкоди і виявленні вологості поверхні

Було розроблено програмне забезпечення (див. Додаток А), яке виконує ініціалізацію та налаштування виводів мікроконтролера Arduino відповідно до підключених апаратних компонентів. Програма забезпечує вимірювання відстані за допомогою ультразвукового датчика, реалізує алгоритм виявлення перешкод і керує виконавчими елементами — світлодіодом, вібратором і динаміком — залежно від відстані до об'єкта.

Окрім цього, програмний код здійснює зчитування показників датчика вологості та формує керуючий сигнал для динаміка з метою сповіщення користувача у разі перевищення заданого порогового значення. Таким чином, реалізований алгоритм дозволяє мікроконтролеру координувати роботу різних компонентів системи на основі даних, отриманих від сенсорів.

### **3.2. Розроблення системи розпізнавання об'єктів**

Розроблення підсистеми розпізнавання об'єктів здійснювалося з використанням модуля ESP32-CAM, оснащеного вбудованою камерою OV2640. Даний модуль підтримує бездротові технології передавання даних Wi-Fi та Bluetooth, що забезпечує можливість обміну інформацією з іншими пристроями. Для взаємодії з модулем було створено мобільний застосунок для Android-смартфона, який підключається до ESP32-CAM і за допомогою програмних алгоритмів виконує розпізнавання об'єктів, що потрапляють у поле зору камери. Програмування та налаштування модуля здійснювалися в середовищі Arduino IDE.

Arduino IDE (Integrated Development Environment) є спеціалізованим програмним середовищем для розробки програмного забезпечення мікроконтролерних платформ Arduino. Воно забезпечує зручні засоби для написання, компіляції та завантаження програмного коду на апаратні платформи [23].

Для програмування модуля ESP32-CAM його було під'єднано до мікроконтролера Arduino Nano, який, у свою чергу, з'єднується з персональним комп'ютером за допомогою кабелю Mini-B USB. Схему підключення наведено на рисунках 3.4. – 3.5.

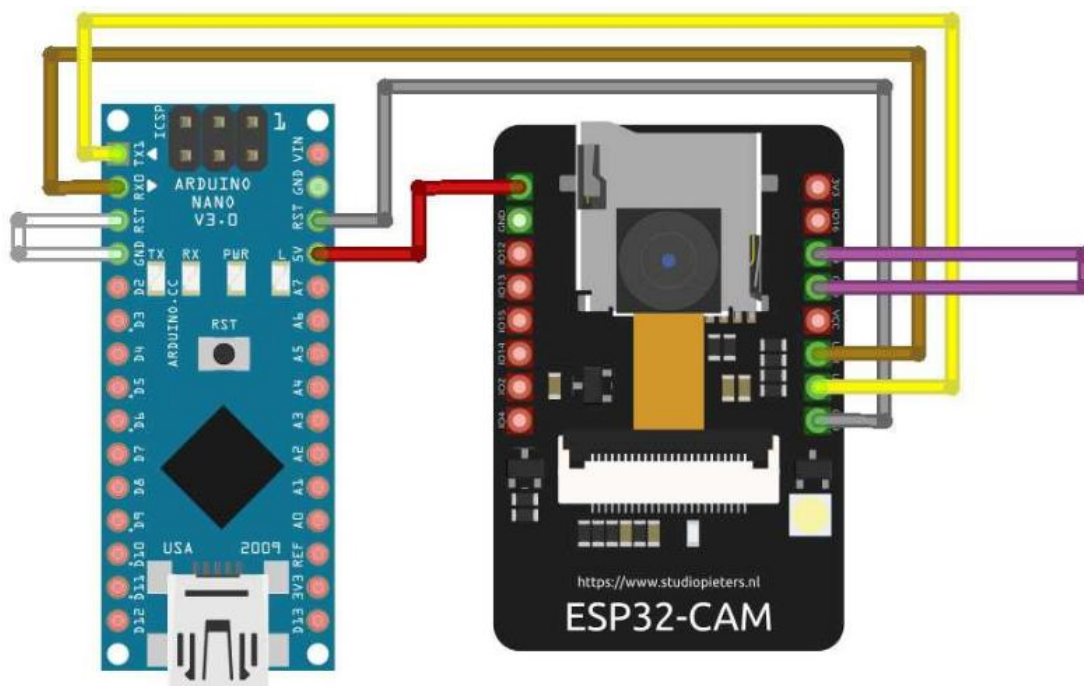


Рис. 3.4. Схема підключення ESP32-CAM і Arduino Nano

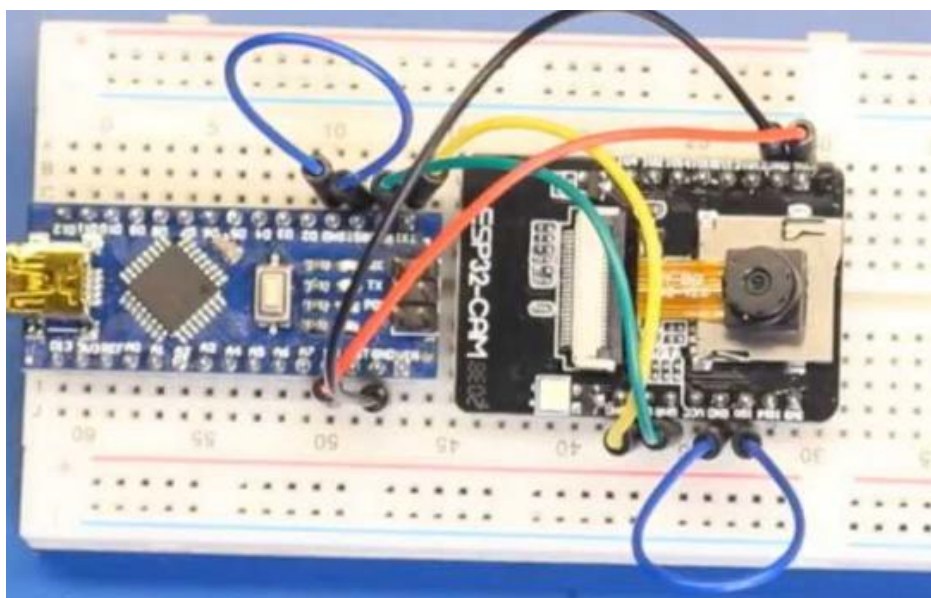


Рис. 3.5. Схема підключення ESP32-CAM і Arduino Nano

Першим етапом є підключення живлення. Для цього контакт VCC модуля ESP32-CAM з'єднується з виводом 5V мікроконтролера Arduino Nano, а контакт GND модуля — із загальним виводом GND Arduino Nano. Таке з'єднання забезпечує подачу електроживлення від мікроконтролера до модуля камери.

Далі виконується налаштування ліній обміну даними між ESP32-CAM та Arduino Nano. Контакти OUT і OUR (TX/RX) на модулі камери підключаються



відповідно до виводів RX та TX мікроконтролера, що дозволяє організувати послідовний обмін даними між платами.

Для завантаження програмного коду модуль ESP32-CAM необхідно перевести в режим програмування. З цією метою контакт GPIO0 на модулі тимчасово з'єднується з GND, після чого стає можливим запис програмного забезпечення на плату.

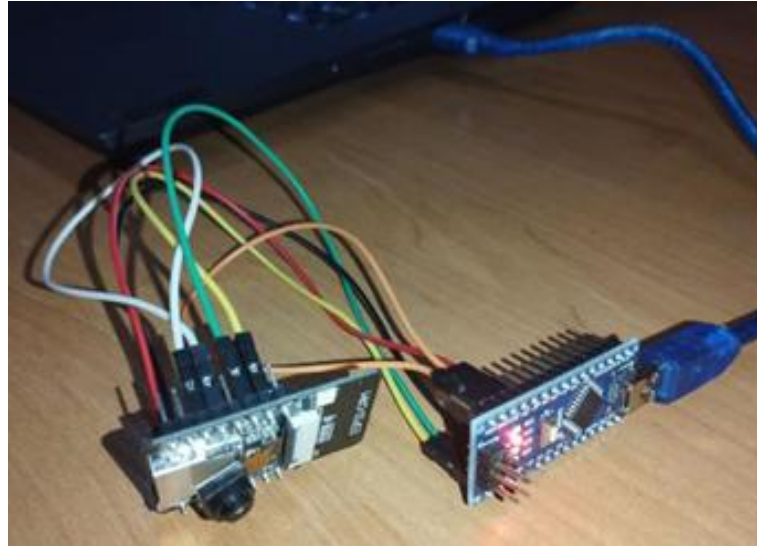


Рис. 3.6. ESP32-CAM та Arduino Nano підключено до ПК

Для реалізації підсистеми розпізнавання об'єктів використовується стандартний приклад ESP Web Server, зокрема режим потокової передачі відео. У середовищі Arduino IDE була підключена бібліотека `esp32cam.h`, яка забезпечує можливість програмування модуля та надає об'єктно-орієнтований інтерфейс для роботи з камерою OV2640 на базі мікроконтролера ESP32.

Перед завантаженням програмного коду на модуль ESP32-CAM було виконано попереднє налаштування параметрів Arduino IDE, що показано на рисунку 3.7.

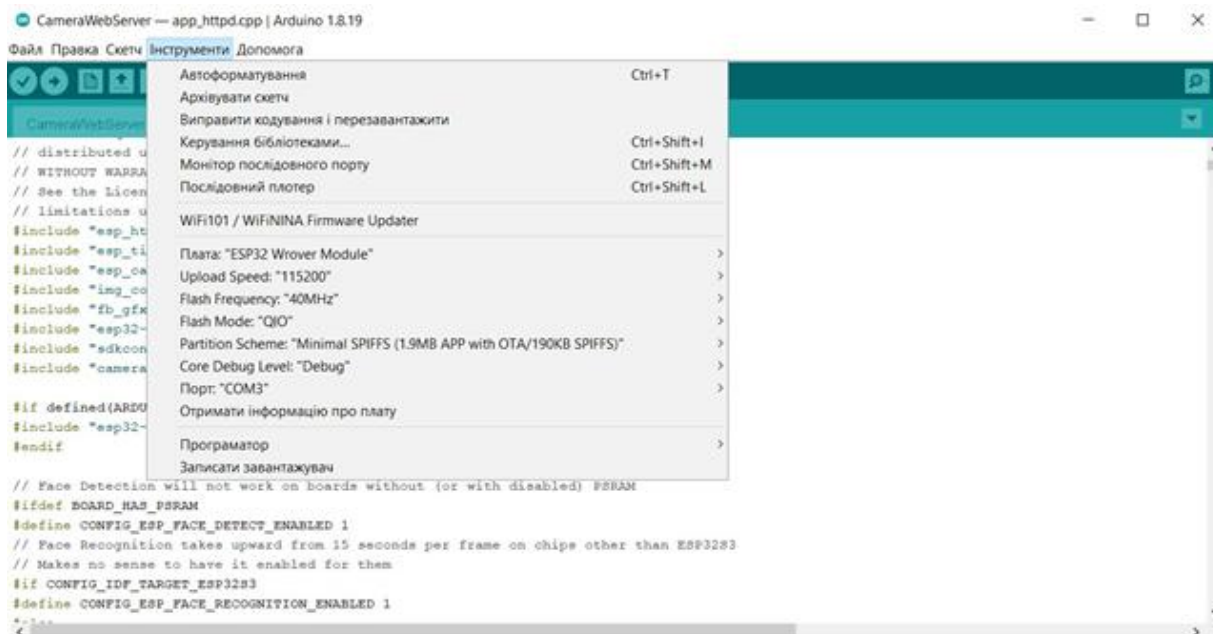


Рис. 3.7. Налаштування Arduino IDE для програмування ESP32-CAM

Після завантаження програмного коду модуль було від'єднано від персонального комп'ютера, а контакти GPIO0 та GND роз'єднано. Далі модуль повторно підключили до ПК, після чого в середовищі Arduino IDE було відкрито монітор послідовного порту (Serial Monitor) з установленою швидкістю обміну даними 115200 бод. У результаті на екрані відображається повідомлення про запуск вебсервера та мережева адреса, за якою доступне зображення з камери. Приклад виведених даних у моніторі послідовного порту показано на рисунку 3.8.

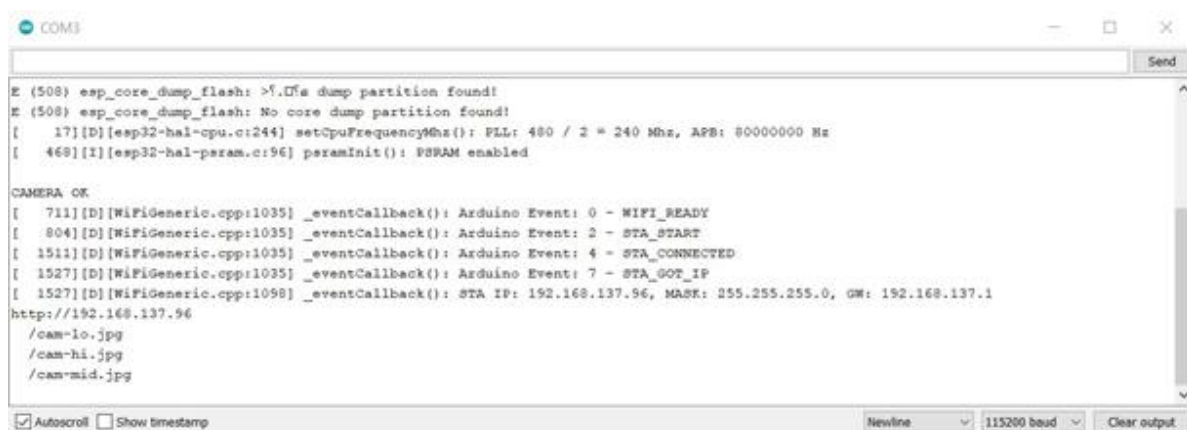


Рис. 3.8. Виведення результату роботи модуля ESP32-CAM у моніторі послідовного порту



Після цього модуль може отримувати живлення від зовнішнього джерела та використовуватися в автономному режимі. Запрограмований ESP32-CAM, підключений до мікроконтролера Arduino Nano, який живиться від портативного зарядного пристрою, показано на рисунку 3.9.

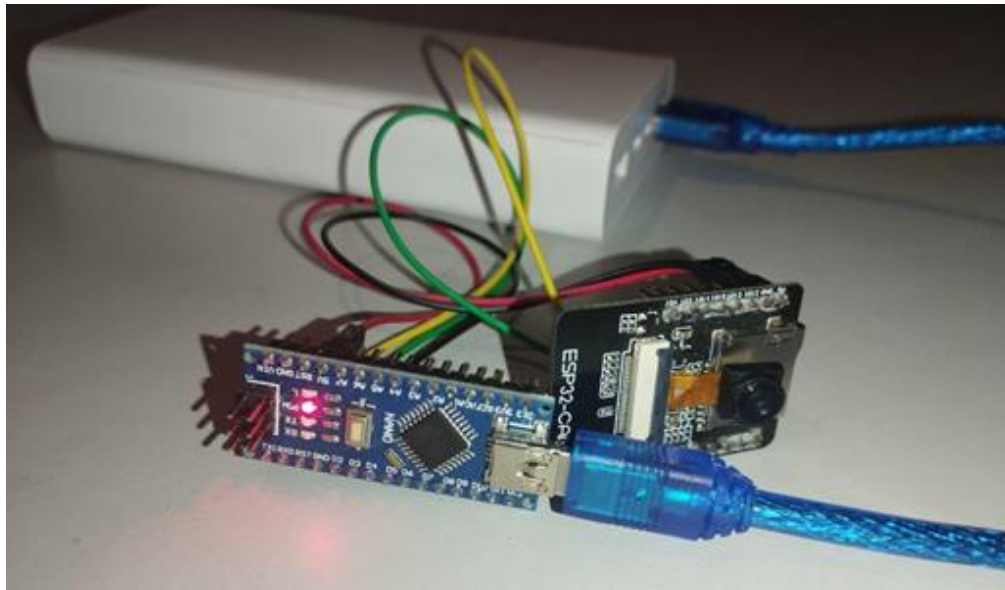


Рис. 3.9. Запрограмований модуль ESP32-CAM підключений до мікроконтролера Arduino Nano, який живиться від зовнішнього акумулятора

Обробка та розпізнавання об'єктів у системі реалізуються за допомогою алгоритму YOLOv3. Для створення Android-застосунку, який використовує модуль ESP32-CAM та YOLOv3, були застосовані такі програмні інструменти:

- **PyCharm** – інтегроване середовище розробки для Python, яке використовується для написання коду Android-застосунку з фреймворком **Kivy**;
- **OpenCV** – бібліотека для обробки зображень та комп'ютерного зору;
- **YOLOv3** – алгоритм для швидкого та точного розпізнавання об'єктів у реальному часі;
- **Kivy** – кросплатформний фреймворк для розробки графічних інтерфейсів користувача (GUI) на Python.

Python виступає як основна мова програмування, завдяки багатій екосистемі бібліотек для комп'ютерного зору та машинного навчання, що дозволяє легко інтегрувати різні інструменти у проєкт.

Kivy забезпечує розробку мультимедійних застосунків з графічним інтерфейсом для Android і інших платформ, використовуючи спеціальний компілятор для перетворення Python-коду та ресурсів у виконуваний файл.

**YOLOv3 (You Only Look Once v3)** — це глибинна нейронна мережа для розпізнавання об'єктів у режимі реального часу, яка дозволяє ефективно виявляти та класифікувати об'єкти на зображеннях та відео.

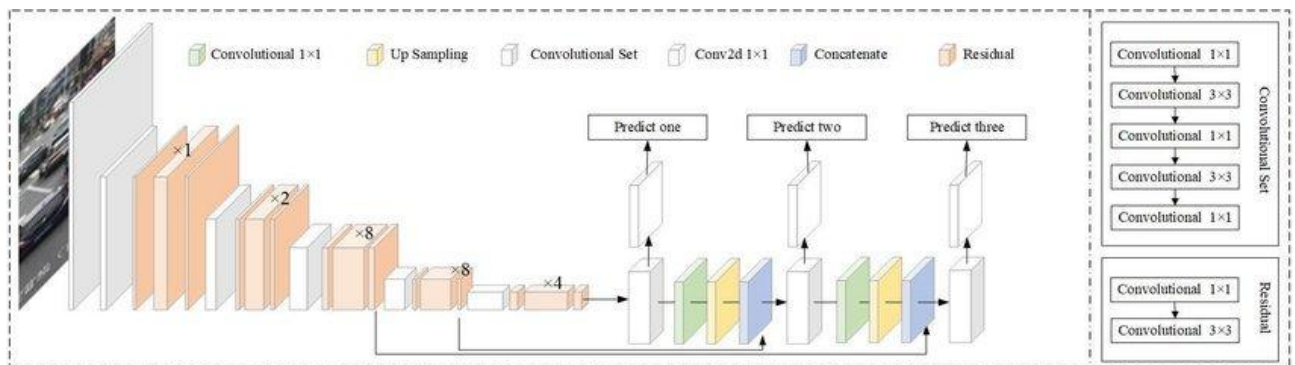


Рис. 3.10. Архітектура YOLOv3

Алгоритм YOLOv3 відрізняється від багатьох інших методів розпізнавання об'єктів тим, що використовує єдину модель для аналізу всього зображення. Він не покладається на анотації чи регіони інтересу для пошуку об'єктів. Натомість зображення ділиться на сітку, і для кожної клітинки передбачаються обмежувальні бокси, що містять об'єкти, а також їх класифікація.

Інтеграція модуля камери ESP32 з алгоритмом YOLOv3 у Python дозволяє здійснювати розпізнавання об'єктів у реальному часі на зображеннях або відео, отриманих камерою. ESP32 захоплює зображення та передає їх на комп'ютер або сервер, де виконується алгоритм YOLOv3, після чого результати виявлення об'єктів надходять назад для подальшої обробки. Такий підхід особливо ефективний у середовищах із обмеженими ресурсами, де запуск складних алгоритмів безпосередньо на мікроконтролері ускладнений через обмеження пам'яті або обчислювальної потужності. Перенесення обробки на більш потужний пристрій забезпечує високу продуктивність і точність розпізнавання.

Під час розробки застосунку були підключені необхідні бібліотеки та фреймворки, створено програмний код, який відкриває URL сервера ESP32-CAM, обробляє отримане зображення та відображає його у застосунку з виділенням рамкою виявлених об'єктів.

Основні етапи виявлення об'єктів у програмному коді застосунку:

- Створення макета Android-застосунку за допомогою фреймворку Kivy;
- Завантаження списку назв класів об'єктів із файлу coco.names;
- Імпорт конфігураційних файлів та вагових коефіцієнтів моделі YOLOv3;
- Виклик методу `update_image()` з частотою 60 кадрів за секунду для оновлення зображення;
- Відкриття URL-адреси сервера ESP32-CAM та отримання зображення;
- Конвертація отриманого зображення у NumPy масив;
- Декодування зображення за допомогою OpenCV;
- Створення блоба з зображення для подальшого введення в нейронну мережу;
- Отримання імен вихідних шарів моделі та виконання прямого проходу (forward pass) через мережу;
- Виявлення об'єктів на зображенні на основі вихідних даних нейронної мережі.
- Обробка вихідних даних мережі для виявлення об'єктів із високою ймовірністю;
- Використання алгоритму non-maximum suppression для усунення перекритих рамок;
- Нанесення обмежувальних прямокутників та підписів на зображення;
- Оновлення відображення зображення у середовищі Kivy.

Написаний програмний код забезпечує виявлення всіх об'єктів, перелічених у файлі coco.names, завантаженому з репозиторію Darknet на GitHub. Цей файл містить назви класів об'єктів із набору даних COCO, які використовуються для задачі виявлення та розпізнавання об'єктів.

Файли coco.names, yolov3.cfg та yolov3.weights (Додаток В) розташовані в одній папці разом із основним програмним файлом main.py і є необхідними для роботи нейронної мережі YOLOv3. Структура готового проєкту у середовищі PyCharm наведена на рисунку 3.11.

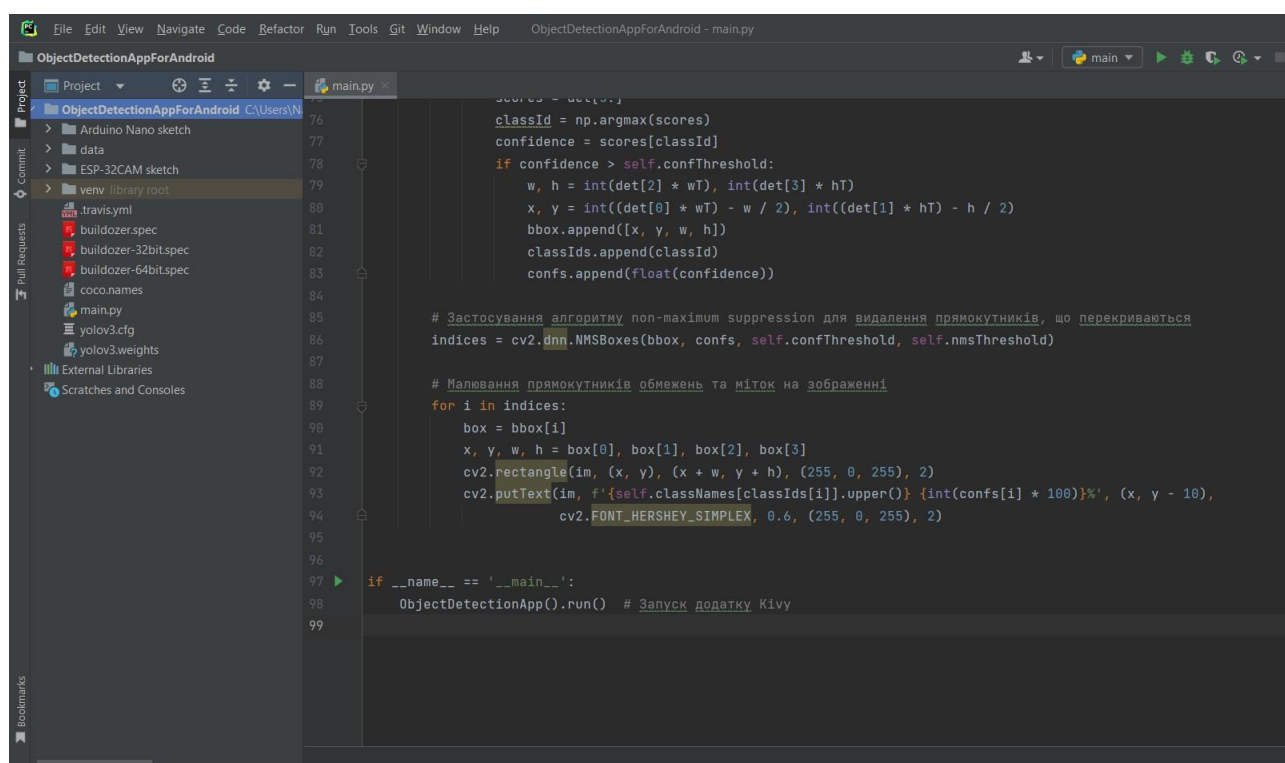


Рис. 3.11. Структура застосунку для Android для розпізнавання об'єктів в середовищі PyCharm

Результатом роботи системи розпізнавання об'єктів є трансляція потокового відео з модуля ESP32-CAM у реальному часі. Після отримання відеопотоку система обробляє кожен кадр за допомогою алгоритму YOLOv3, який аналізує зображення та визначає присутні об'єкти відповідно до навченої моделі. Для кожного виявленого об'єкта система окреслює його рамкою та додає мітку з класом об'єкта.

Смартфон підключено до тієї ж мережі Wi-Fi, що й ESP32-CAM. Через спеціальний застосунок, створений на основі фреймворку Kivy, результати роботи системи відображаються на екрані телефону. Кінцевий ефект включає відеопотік з камери ESP32-CAM із накладеними рамками та мітками, що демонструють виявлені об'єкти.

Таким чином, користувач може спостерігати роботу системи розпізнавання об'єктів у режимі реального часу на своєму телефоні, отримуючи відображення потокового відео та візуалізацію виявлених об'єктів із відповідними позначками (рисунок 3.12).

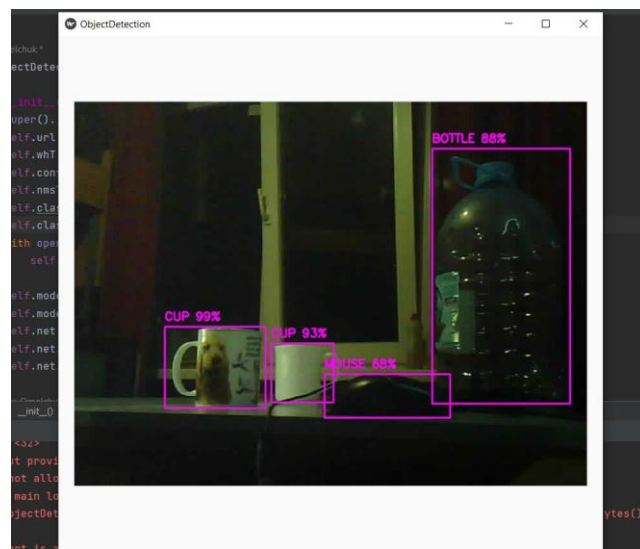


Рис. 3.12. Результат роботи системи розпізнавання об'єктів

У перспективі систему розпізнавання об'єктів у застосунку можна покращити шляхом додавання голосового інформування користувача з вадами зору про виявлені об'єкти. Це підвищить доступність і практичну цінність системи для людей з обмеженим зором.

Для реалізації голосового інформування можна застосувати технології синтезу мови, такі як Text-to-Speech (TTS). Після виявлення об'єкта система генерує аудіоповідомлення, яке містить інформацію про клас об'єкта та його розташування. Наприклад, при виявленні об'єкта «собака» система може відтворити повідомлення: «Виявлено собаку. Вона знаходиться в центрі кадру». Це дозволить користувачу отримувати інформативний зворотний зв'язок про об'єкти навколо.

Крім того, можна передбачити налаштування системи під потреби користувача, наприклад вибір мови, швидкості або тону голосу для повідомлень.

Впровадження голосового інформування у поєднанні з системою розпізнавання об'єктів забезпечить більшу інклюзивність застосунку та допоможе користувачам з вадами зору ефективніше орієнтуватися в оточенні за допомогою звукової інформації.

### **3.3. Виготовлення макета пристрою**

Для успішного створення макета системи орієнтування людей з вадами зору важливо чітко розуміти порядок підключення всіх компонентів пристрою. Щоб визначити правильні з'єднання та скласти план інтеграції компонентів, було використано програмне забезпечення Fritzing.

Fritzing – це інструмент для електронного дизайну, що дозволяє візуалізувати підключення компонентів і планувати електричні з'єднання. Програма наочно показує фізичні з'єднання та логіку взаємодії між компонентами, що допомагає перевірити правильність підключень і взаємодію пристроїв. Результатом роботи у Fritzing стає готовий план підключення всіх компонентів, який слугує орієнтиром для фізичної реалізації прототипу.

За допомогою Fritzing була створена схема підключення всіх елементів системи, яка наведена на рисунку 3.13. Вона демонструє, як кожен компонент з'єднується з мікроконтролером та іншими необхідними пристроями.



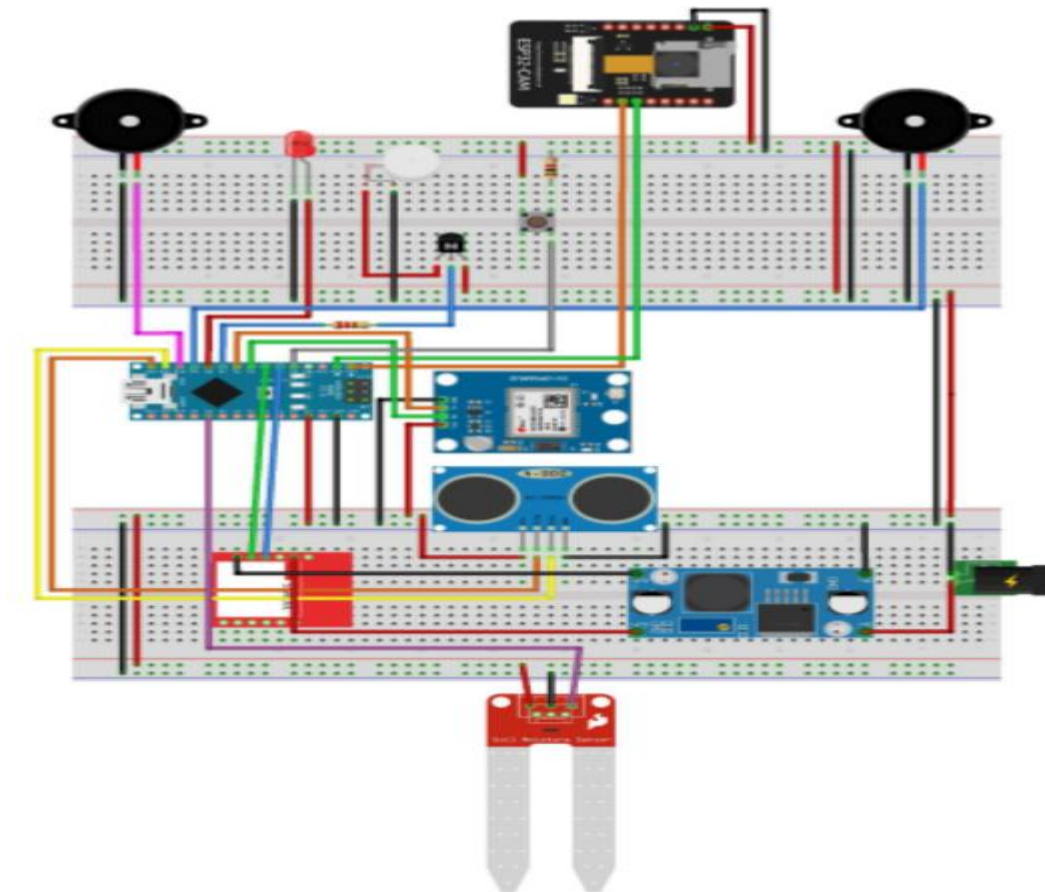


Рис. 3.13. Схема підключення компонентів

На основі цієї схеми було зібрано макет системи шляхом фізичного підключення всіх компонентів та завантаження програмного коду на Arduino Nano. Скетч з програмним кодом розміщено у репозиторії проєкту на GitHub (посилання наведено у додатку В). Загальний вигляд готового макету представлено на рисунку 3.13.

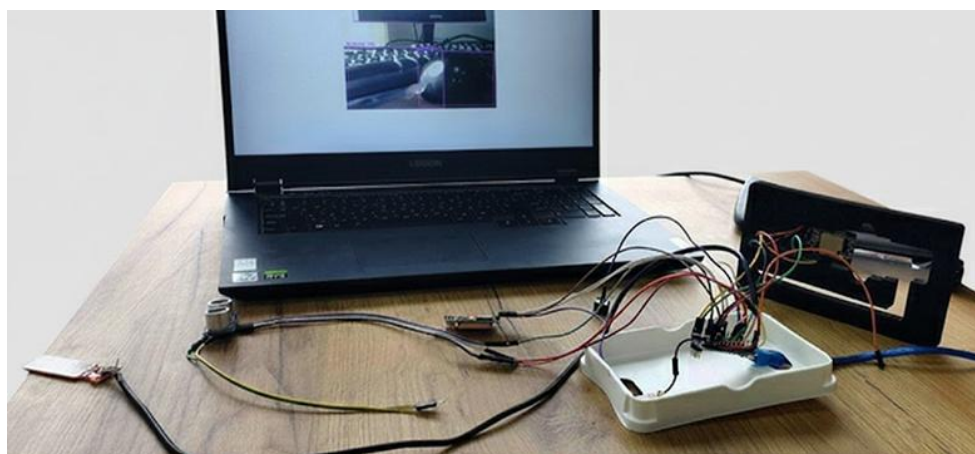


Рис. 3.13. Загальний вигляд макету

На рисунку показано роботу модуля ESP32-CAM, який передає зображення на сервер. Мобільний застосунок отримує ці дані, обробляє їх і виконує функцію розпізнавання об'єктів. Також на схемі відображено підключені датчик вологи, ультразвуковий датчик, модуль GPS, модуль GSM, два динаміки та кнопку. Система функціонує аналогічно макету, змодельованому у середовищі Tinkercad. Робота датчика вологи проілюстрована на рисунку 3.14. Для демонстрації його роботи у скетчі була додана функція виведення повідомлення «Water!!!» у монітор послідовного порту.

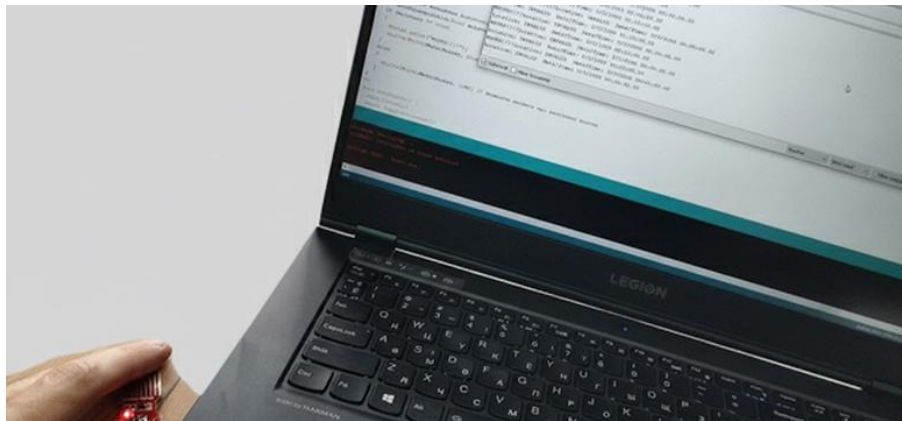


Рис. 3.14. Демонстрація роботи датчика вологи

Завдяки інтеграції модулів GPS та GSM система надсилає повідомлення з визначеними координатами користувача при натисканні кнопки.

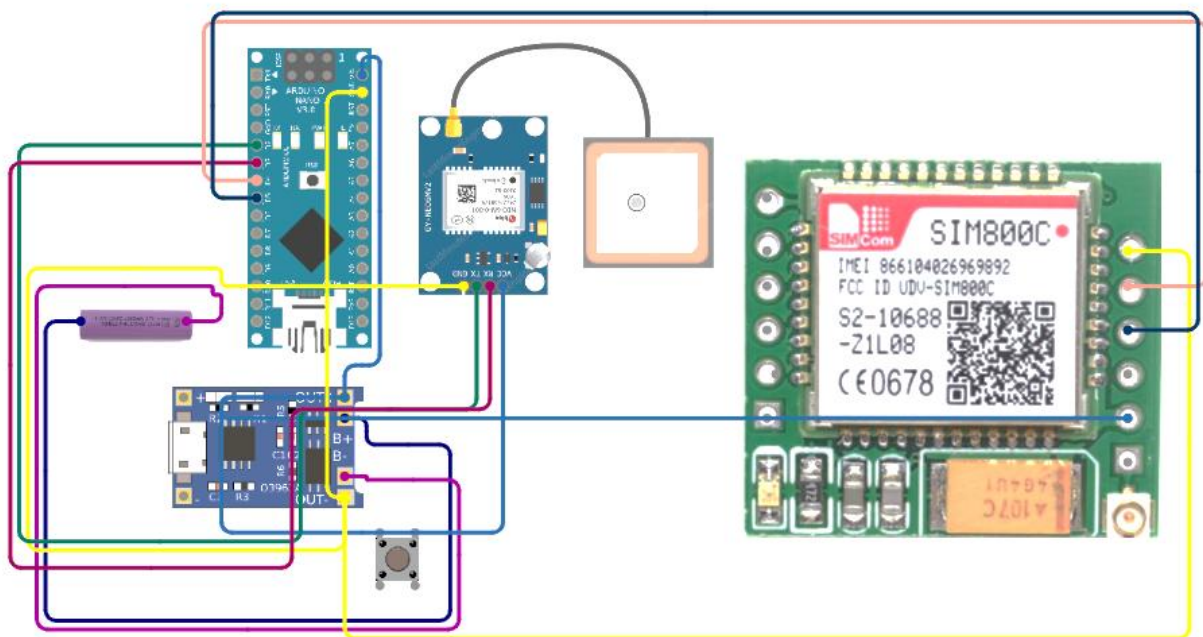


Рис. 3.15. GPS-трекер Arduino Nano з GSM-модулем та живленням від батареї



Демонстрація роботи модуля GPS наведена на рисунку 3.16.

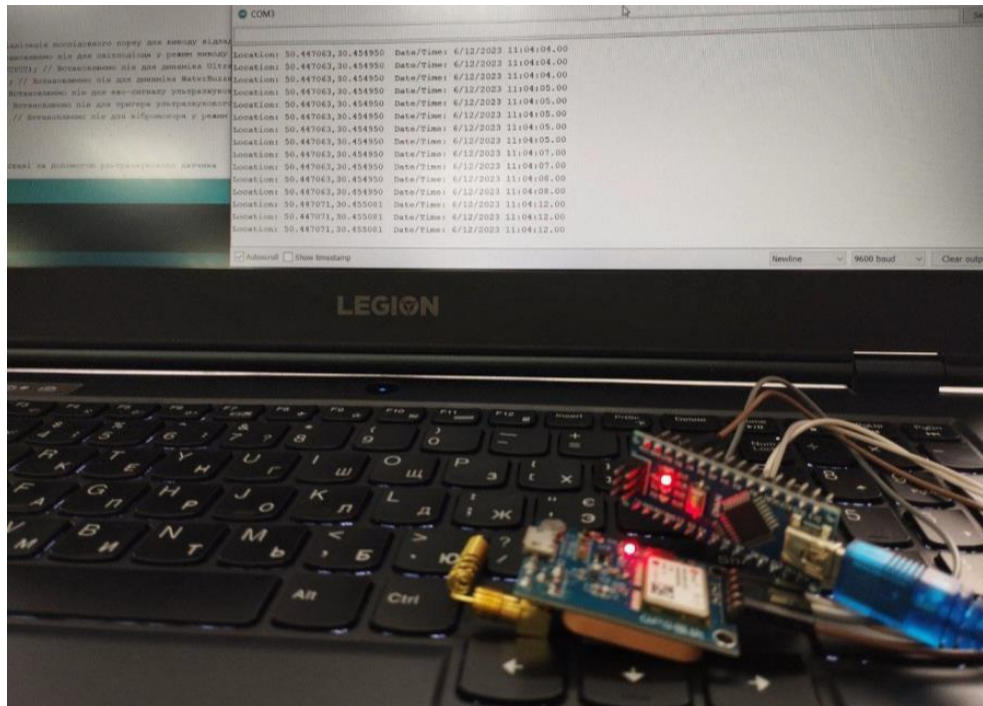


Рис. 3.16. Демонстрація роботи модуля GPS

Після перевірки роботи окремих компонентів, схему від'єднано від ПК і підключено до зовнішнього джерела живлення (рисунок 3.16), де видно, що система працює належним чином.

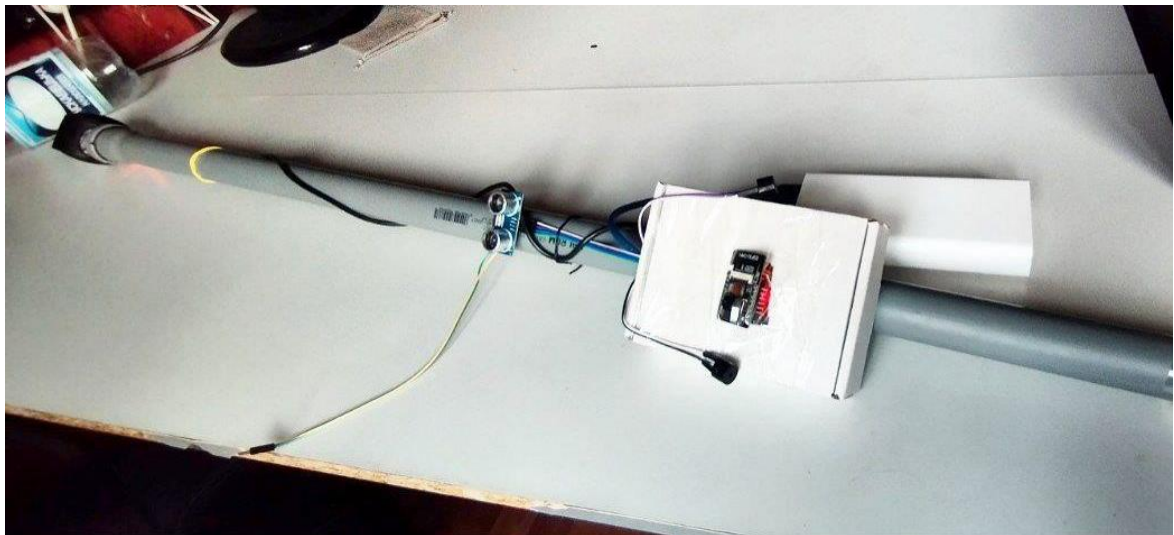


Рис. 3.17. Макет підключений до портативного зарядного пристрою

### Висновки до розділу

У цьому розділі було продемонстровано підключення компонентів до Arduino у середовищі Tinkercad. Показано, як вони застосовуються для виявлення перешкод і повідомлення користувача про їх наявність. Завдяки цим

компонентам та належно налаштованому програмному коду система здатна визначати перешкоди на різних відстанях і реагувати на них відповідними способами — світловою індикацією, вібрацією та звуковими сигналами. Було створено макет пристрою у вигляді розумної тростини.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи розроблено та практично реалізовано систему орієнтування у просторі людей з вадами зору на основі IoT технологій а саме електронну тростину із вбудованими сенсорами та системою обробки даних.

У першому розділі визначено призначення системи орієнтації у просторі для людей з вадами зору на основі IoT технологій. Основна мета такої системи – підвищення мобільності та самостійності незрячих, забезпечення надійної навігації та здатності розпізнавати об'єкти й перешкоди. Система може застосовуватися у різних сферах життя, зокрема для вуличної навігації, що є однією з найважливіших областей використання. Вона також може бути корисною під час прогулянок у громадських місцях, таких як парки, сквери або торгові центри, а також під час участі людей з вадами зору у соціальних заходах, надаючи інформацію про оточуючих, об'єкти та події поблизу.

Було проведено аналіз наявних систем супроводу для людей з вадами зору, зокрема «розумної» тростини WeWALK Smart Cane, звичайних тростин та спеціалізованих окулярів для покращення мобільності. На основі порівняння існуючих рішень за визначеними критеріями були сформульовані вимоги до розроблюваної системи орієнтації у просторі на базі IoT технологій. Крім того, у цьому розділі розглянуто та проаналізовано методи і засоби виявлення перешкод та розпізнавання об'єктів.

У другому розділі були визначені функціональні та технічні вимоги до характеристик пристрою автоматизованої системи орієнтації у просторі для людей з вадами зору на базі IoT технологій. На їх основі здійснено підбір відповідних компонентів для реалізації системи. Було розроблено структурну схему, електричну принципову схему та алгоритм роботи системи, що спростило подальшу розробку пристрою.

У третьому розділі обґрунтовано вибір окремих компонентів, таких як мікроконтролер, модуль камери, GPS/GSM модуль для відправки повідомлень про допомогу, датчики, динаміки та інші. Цей розділ присвячено моделюванню

системи у середовищі Tinkercad, створенню системи розпізнавання об'єктів та виготовленню макета автоматизованої системи орієнтації у просторі для людей з вадами зору на основі IoT технологій. На цьому етапі було виконано підключення компонентів, розроблено схему з'єднання у Fritzing, описано програмування мікроконтролера та проведено тестування окремих підсистем.

Таким чином, дослідження систем просторової орієнтації для людей з вадами зору на основі IoT технологій є важливою галуззю інженерних розробок, здатною значно покращити якість життя осіб з обмеженими можливостями.

Одним із ключових викликів при створенні таких систем є забезпечення високої надійності та якості роботи, що критично для безпеки та здоров'я користувачів. Для цього необхідно застосовувати сучасні технології, проводити тести та верифікацію продукту для гарантування його стабільності та точності.

Також важливим завданням є забезпечення доступності систем просторової орієнтації для широкого кола користувачів. Наразі подібні технології мають досить високу вартість, що обмежує їх використання більшістю потенційних користувачів.

В цілому, дослідження та розробка систем допомоги у просторовій орієнтації для людей з вадами зору є важливим кроком у підвищенні їхньої самостійності. Створення високоякісних та доступних рішень може надати можливість людям із різним рівнем порушень зору безпечно пересуватись, зменшити ризик нещасних випадків та підвищити їхню мобільність у повсякденному житті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проблематика, статистика та аналіз даних про незряче населення. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/sensory-navigationdevice-for-blind-people/977FA18CBCE412781DA22BA8CE708C04>
2. Умови, в яких живуть незрячі люди в Україні. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/25136865.html>
3. Перешкоди у повсякденному житті та способи орієнтування незрячих людей. URL: <https://brailleworks.com/mobility-tips-for-the-blind>
4. Elmannai W., Elleithy K. Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions. *Sensors*. 2017, 17, 565. URL: <https://doi.org/10.3390/s17030565>
5. Wahab A., Helmy M., Talib A. A., Kadir H. A., Johari A., Noraziah A., Sidek R. M., Mutalib A. A. Smart Cane: Assistive Cane for Visually-impaired People. *Int. J. Comput. Sci. Issues*. 2011;8:4
6. Bharambe S., Thakker R., Patil H., Bhurchandi K.M. Substitute Eyes for Blind with Navigator Using Android; Proceedings of the India Educators Conference (TIIEC); Bangalore, India. 4–6 April 2013; pp. 38–43. URL: <https://doi.org/10.1109/TIIEC.2013.14>
7. Nguyen T. H., Nguyen T. H., Le T. L., Tran T. T. H., Vuillerme N., Vuong T. P. A wearable assistive device for the blind using tongue-placed electrotactile display: Design and verification; Proceedings of the 2013 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS); Nha Trang, Vietnam. 25–28 November 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/ICCAIS.2013.6720527>
8. Brilhault A., Kammoun S., Gutierrez O., Truillet P., Jouffrais C. Fusion of artificial vision and GPS to improve blind pedestrian positioning; Proceedings of the 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and

- Security (NTMS); Paris, France. 7–10 February 2011; pp. 1–5. URL: <https://doi.org/10.1109/NTMS.2011.5721061>
9. Xiao J., Ramdath K., Losilevish M., Sigh D., Tsakas A. A low cost outdoor assistive navigation system for blind people; Proceedings of the 2013 8th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA); Melbourne, Australia. 19–21 June 2013; pp. 828–833.
  10. Fonseca R. Electronic long cane for locomotion improving on visual impaired people: A case study; Proceedings of the 2011 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE); Rio de Janeiro, Brazil. 28 March–1 April 2011.
  11. Aymaz Ş., Çavdar T. Ultrasonic Assistive Headset for visually impaired people; Proceedings of the 2016 39 th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP); Vienna, Austria. 27–29 June 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/TSP.2016.7760903>
  12. Prudhvi B. R., Bagani R. Silicon eyes: GPS-GSM based navigation assistant for visually impaired using capacitive touch braille keypad and smart SMS facility; Proceedings of the 2013 World Congress on Computer and Information Technology (WCCIT); Sousse, Tunisia. 22–24 June 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/WCCIT.2013.6618775>
  13. Shilkrot R., Huber J., Liu C., Maes P., Nanayakkara S.C. Fingerreader: A wearable device to support text reading on the go; Proceedings of the CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems; Toronto, ON, Canada. 26 April–1 May 2014. URL: <https://doi.org/10.1145/2559206.2581220>
  14. Aladren A., Lopez-Nicolas G., Puig L., Guerrero J. J. Navigation Assistance for the Visually Impaired Using RGB-D Sensor with Range Expansion. IEEE Syst. J. 2016;10:922–932. URL: <https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2320639>
  15. Everding L., Walger L., Ghaderi V.S., Conradt J. A mobility device for the blind with improved vertical resolution using dynamic vision sensors; Proceedings of the 2016 IEEE 18th

16. International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom); Munich, Germany. 14–16 September 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749459>
17. Mocanu B., Tapu R., Zaharia T. When Ultrasonic Sensors and Computer Vision Join Forces for Efficient Obstacle Detection and Recognition. *Sensors*. 2016;16:1807. URL: <https://doi.org/10.3390/s16111807>
18. Tapu R., Mocanu B., Zaharia T. A computer vision system that ensure the autonomous navigation of blind people; Proceedings of the IEEE E-Health and Bioengineering Conference (EHB); Iasi, Romania. 21–23 November 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/EHB.2013.6707267>
19. Nanayakkara S., Shilkrot R., Yeo K.P., Maes P. EyeRing: A finger-worn input device for seamless interactions with our surroundings; Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference; Stuttgart, Germany. 7–8 March 2013. URL: <https://doi.org/10.1145/2459236.2459240>
20. Ультразвуковий ліхтар для незрячих Сонар - 5УФ-В4. URL: <http://www.trostri.com.ua/sonar-5uf-b4.html>
21. Helpy Eyes. URL: <https://dilo.net.ua/zhyttya/prystrij-dlya-nezryachyh-yakyjpidkoryuye-svit-17-richnyj-lviv-yanyn-pro-svij-vynahid-helpyeyes/>
22. Guide. URL: [https://boomstarter.ru/projects/Guide/guide\\_-\\_ustroystvo\\_dlya\\_slepyh\\_i\\_slabovidyaschih\\_lyudey](https://boomstarter.ru/projects/Guide/guide_-_ustroystvo_dlya_slepyh_i_slabovidyaschih_lyudey)
23. Eye 1st Vision Center in Sandy Springs, GA Discusses Signs of Sight Loss. Eye 1st Vision. URL: <https://eye1stvision.com/blog/87000-the-common-causes-of-sight-loss>.
24. The Rare Condition That Makes You Instantly Forget What Friends and Lovers Look Like. VICE. URL: <https://www.vice.com/en/article/what-its-like-to-instantly-forget-what-friends-and-lovers-looks-like/>.
25. The Unseen Challenges: Exploring Sensory Impairments. Nurseline Community Services. URL: <https://nurselinecs.co.uk/blog/sensory-impairments/>.



- 26.The Importance of Hearing Assessment – Paths to Literacy. Paths to Literacy.  
URL: <https://www.pathstoliteracy.org/importance-hearing-assessment/> .
- 27.Tactile Graphics for Students Who Are Blind or Visually Impaired.Perkins  
School for the Blind. URL:<https://www.perkins.org/resource/tactile-graphics-students-who-are-blind-or-visually-impaired/>.
- 28.Everything You Need to Know About White Canes.The Lighthouse for the  
Blind, Inc.URL:<https://lhblind.org/everything-you-need-to-know-about-white-canes/>.
- 29.Tactile Walking Surface Indicators - Cityscape Supply Group.Cityscape  
Supply Group. URL: <https://cityscapesupply.com/products/tactile-walking-surface-indicators/>.
- 30.Communicating by touch: brief story of Braille code.UniScienza&Ricerca: il  
blog di UniSR. URL: <https://blog.unisr.it/en/communicating-touch-story-braille-code>.
- 31.Occupational Therapy and Sensory Integration for Visual Impairment -  
Lighthouse Guild.Lighthouse Guild. URL:  
<https://lighthouseguild.org/occupational-therapy-and-sensory-integration-for-visual-impairment/>.
- 32.Cognitive map formation through tactile map navigation in visually impaired  
and sighted persons - Scientific Reports.Nature. URL:  
<https://www.nature.com/articles/s41598-022-15858-4>.
- 33.Challenges And Limitations In Cognitive Mapping -  
FasterCapital.FasterCapital. URL: <https://fastercapital.com/topics/challenges-and-limitations-in-cognitive-mapping.html>.
- 34.emory Structure and Cognitive Maps.ResearchGate. URL:  
[https://www.researchgate.net/publication/343697061\\_Memory\\_Structure\\_and\\_Cognitive\\_Maps](https://www.researchgate.net/publication/343697061_Memory_Structure_and_Cognitive_Maps).
- 35.Alkhanifer A. Disorientation Factors that Affect the Situation Awareness of the  
Visually Impaired Individuals in Unfamiliar Indoor Environments.

- ResearchGate. URL:  
[https://www.researchgate.net/publication/273456280\\_Disorientation\\_Factors\\_that\\_Affect\\_the\\_Situation\\_Awareness\\_of\\_the\\_Visually\\_Impaired\\_Individuals\\_in\\_Unfamiliar\\_Indoor\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/273456280_Disorientation_Factors_that_Affect_the_Situation_Awareness_of_the_Visually_Impaired_Individuals_in_Unfamiliar_Indoor_Environments).
36. Accessible Pedestrian Signals: the Ultimate Guide - Inclusive City Maker. Inclusive City Maker. URL: <https://www.inclusivecitymaker.com/guide-accessible-pedestrian-signals/>.
37. Smartphones help blind people see the world - Business - Chinadaily.com.cn. China Daily Website - Connecting China Connecting the World. URL: [https://www.chinadaily.com.cn/business/tech/2016-08/22/content\\_26555410.htm](https://www.chinadaily.com.cn/business/tech/2016-08/22/content_26555410.htm)
38. Kuriakose B. Tools and Technologies for Blind and Visually Impaired Navigation Support: A Review. Taylor & Francis. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02564602.2020.1819893#d1e153>
39. What is BlindSquare? – BlindSquare. BlindSquare. URL: <https://www.blindsquare.com/about/>.
40. Microsoft Soundscape app: a free O&M app. Perkins School for the Blind. URL: <https://www.perkins.org/resource/microsoft-soundscape-app-free-om-app/>.
41. Smart Stick Navigation System for Visually Impaired Based on Machine Learning Algorithms Using Sensors Data. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2224-2708/13/4/43>.
42. Methodology to Build a Wearable System for Assisting Blind People in Purposeful Navigation. Semantic Scholar. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Methodology-to-Build-a-Wearable-System-for-Blind-in-Torobastidas/3e29d6210fe655d6dc966bca57946f7135137634>
43. Sunu Band | American Printing House. American Printing House. URL:

<https://www.aph.org/product/sunu-band/>.

44. Aira and the Envision Glasses - Aira. Aira - Visual Information On Demand. URL: <https://aira.io/envision/>.
45. How it Works | eSight Eyewear. eSight Eyewear. URL: <https://www.esighteyewear.com/how-it-works/>.
46. Microsoft's Seeing AI App is Now Available on Android. CNET. URL: <https://www.cnet.com/tech/mobile/microsofts-seeing-ai-app-is-now-available-on-android/>.
47. Be My Eyes. WSA. URL: <https://wsa-global.org/winner/be-my-eyes/>.
48. Google Lookout uses AI to describe surroundings for the visually impaired. ZDNET. URL: <https://www.zdnet.com/article/google-lookout-uses-ai-to-describe-surroundings-for-the-visually-impaired/>.
49. Vision impairment and blindness. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
50. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis / R. R. A. Bourne et al. *The Lancet Global Health*. 2017. Vol. 5. Iss. 9. Pp. e888-e897. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(17)30293-0).
51. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study / R. Bourne et al. *The Lancet Global Health*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. Pp. e130-e143. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(20)30425-3).
52. Understanding Challenges and Opportunities in Body Movement Education of People who are Blind or have Low Vision / M. De Silva et al. *ASSETS '23 : Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, USA, 22-25 October 2023. Pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1145/3597638.3608409>.

53. Visual challenges in the everyday lives of blind people / E. Brady et al. *CHI'13: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paris, France, 27 April - 2 May 2013. Pp. 2117-2126. DOI: <https://doi.org/10.1145/2470654.2481291>.
54. Mixture reality-based assistive system for visually impaired people / J. Song et al. *Displays*. 2023. Vol. 78. Article 102449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2023.102449>.
55. Towards assisting visually impaired individuals: A review on current status and future prospects / M. Mashiata et al. *Biosensors and Bioelectronics: X*. 2022. Vol. 12. Article 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2022.100265>.
56. Detect and Approach: Close-Range Navigation Support for People with Blindness and Low Vision / Y. Hao et al. *Computer Vision – ECCV 2022 Workshops. Lecture Notes in Computer Science*. 2023. Vol. 13806. Pp. 607-622. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25075-0\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25075-0_41).
57. Roy M., Shah P. Internet of Things (IoT) Enabled Smart Navigation Aid for Visually Impaired. *Advanced Information Networking and Applications*. 2022. Pp. 232-244. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-99619-2\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99619-2_23).
58. Commute Booster: A Mobile Application for First/Last Mile and Middle Mile Navigation Support for People with Blindness and Low Vision / J. Feng et al. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*. 2023. Vol. 11. Pp. 523-535. DOI: <https://doi.org/10.1109/jtehm.2023.3293450>.
59. Floor Plan Based Active Global Localization and Navigation Aid for Persons with Blindness and Low Vision / R. G. Goswami et al. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2024. Vol. 9, Iss. 12. Pp. 11058-11065. DOI: <https://doi.org/10.1109/lra.2024.3486208>.
60. UNav: An Infrastructure-Independent Vision-Based Navigation System for People with Blindness and Low Vision / A. Yang et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22. Iss. 22. Article 8894. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22228894>.

61. Use of ToF sensors to develop Assistive Technology for visually impaired people / A. A. Ferreira et al. *ENSUS 2024 - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. 2024. Pp. 1004-1011. DOI: <https://doi.org/10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.p1004-1011>.
62. IoT-Driven Accessibility: A Refreshable OCR-Braille Solution for Visually Impaired and Deaf-Blind Users through WSN / K. K. Reddy et al. *Journal of Economy and Technology*. 2024. Vol. 2. Pp. 128-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.04.007>.
63. Real-Time Object Detection and Face Recognition Application for the Visually Impaired / K. Sanjar et al. *Computers, Materials & Continua*. 2024. Vol. 79(3). Pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.048312>.
64. Sivan Sh., Darsan G. Computer Vision based Assistive Technology for Blind and Visually Impaired People. *ICCCNT'16: Proceedings of the 7th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, Dallas TX, USA, 6-8 July 2016. Pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1145/2967878.2967923>.
65. Mohammed Fayiz Ferosh. Assistive Technology for Navigation of Visually Impaired People. *Journal of Electrical Systems*. 2024. Vol. 20. Iss. 7s. Pp. 989-996. DOI: <https://doi.org/10.52783/jes.3479>.
66. Kiruthika Devi S., Subalalitha C. Deep Learning Based Audio Assistive System for Visually Impaired People. *Computers, Materials & Continua*. 2021. Vol. 71. Iss. 1. Pp. 1205-1219. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020827>.
67. Сілі І. І., Азархов О. Ю., Єфременко Б. В. Тензосенсорна рукавиця для людей з порушенням мовлення. *Наука та виробництво*. 2023. Вип. 25. Рр. 159-167. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990252023286737>.
68. Tinkercad: From mind to design in minutes. Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com/>.

## ДОДАТОК А

### Лістинг коду для макета в середовищі Tinkercad

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
// Оголошення пінів для підключення компонентів
#define BUTTON 2
#define Vibramotor 7
#define Led 8
#define WaterBuzzer 9
#define UltrasonicBuzzer 10
#define EchoPin 11
#define TrigPin 12
#define APin A1
int moisture = 0; // Змінна для збереження значення вологості
long distance = 0; // Змінна для збереження значення відстані
// GPS&GSM
int state = 0;
const int pin = 9;
float gpslat, gpslon;
TinyGPS gps;
SoftwareSerial sgps(6, 5);
SoftwareSerial sgsm(3, 4);
void setup() {
    sgsm.begin(9600);
    sgps.begin(9600);
    Serial.begin(9600); // Ініціалізація послідовного порту для виводу відладкової
інформації
    pinMode(Led, OUTPUT); // Встановлюємо пін для світлодіода у режим виводу
```

```

pinMode(UltrasonicBuzzer, OUTPUT); // Встановлюємо пін для динаміка
UltrasonicBuzzer у режим виводу
pinMode(WaterBuzzer, OUTPUT); // Встановлюємо пін для динаміка
WaterBuzzer у режим виводу
pinMode(EchoPin, INPUT); // Встановлюємо пін для ехо-сигналу
ультразвукового датчика у режим вводу
pinMode(TrigPin, OUTPUT); // Встановлюємо пін для тригера ультразвукового
датчика у режим виводу
pinMode(Vibramotor, OUTPUT); // Встановлюємо пін для вібромотора у режим
виводу
}
// Функція для вимірювання відстані за допомогою ультразвукового датчика
long takeDistance() {
    long duration;
    digitalWrite(TrigPin, LOW); // Встановлення TrigPin у низький рівень
    delay(2);
    digitalWrite(TrigPin, HIGH); // Встановлення TrigPin у високий рівень на 10
мікросекунд
    delay(10);
    digitalWrite(TrigPin, LOW); // Повертаємо пін тригера в низький рівень
    duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); // Вимірюємо тривалість ехо-сигналу
    distance = (duration / 2) / 29.1; // Розраховуємо відстань в сантиметрах
    return distance; // Повертаємо виміряну відстань
}
// Функція для виявлення перешкод на основі виміряної відстані
void obstacleDetection(long distance) {
    if (distance <= 40) { // Якщо відстань до перешкоди менше або дорівнює 40 см
        digitalWrite(Led, HIGH); // Увімкнути світлодіод
        digitalWrite(Vibramotor, HIGH); // Увімкнути вібромотор
    }
}

```



```

if (distance <= 20) { // Якщо відстань менша або дорівнює 20 см
  if (distance <= 10) { // Якщо відстань менша або дорівнює 10 см
    digitalWrite(UltrasonicBuzzer, HIGH); // Увімкнути динамік
  } else {
    digitalWrite(UltrasonicBuzzer, LOW); // Вимкнути динамік
    delay(1000);
    digitalWrite(UltrasonicBuzzer, HIGH); // Увімкнути динамік
    delay(1000);
  }
} else {}

// Якщо відстань до перешкоди більше 40, вимкнути всі компоненти
} else {
  digitalWrite(Led, LOW); // Вимкнути світлодіод
  digitalWrite(UltrasonicBuzzer, LOW); // Вимкнути динамік
  digitalWrite(Vibramotor, LOW); // Вимкнути вібромотор
}
}

// Функція для виявлення вологості на основі аналогового сигналу
void moistureDetection(int moisture) {
  if (moisture > 5) { // Якщо значення вологості більше 5
    digitalWrite(WaterBuzzer, HIGH); // Увімкнути динамік про виявлення вологи
  } else {
    digitalWrite(WaterBuzzer, LOW); // Вимкнути динамік про виявлення вологи
  }
}

void sendingGPS() {
  sgps.listen();
  while (sgps.available())
  {

```

```

int c = sgps.read();
if (gps.encode(c))
{
    gps.f_get_position(&gpslat, &gpslon);
}
}

if (digitalRead(pin) == HIGH && state == 0) {
    sgsm.listen();
    sgsm.print("\r");
    delay(1000);
    sgsm.print("AT+CMGF=1\r");
    delay(1000);
    /*Replace XXXXXXXXXXXX to 10 digit mobile number &
    ZZ to 2 digit country code*/
    sgsm.print("AT+CMGS=\"+ZZXXXXXXXXXXXX\r");
    delay(1000);
    //The text of the message to be sent.
    sgsm.print("https://www.google.com/maps/?q=");
    sgsm.print(gpslat, 6);
    sgsm.print(",");
    sgsm.print(gpslon, 6);
    delay(1000);
    sgsm.write(0x1A);
    delay(1000);
    state = 1;
}

if (digitalRead(pin) == LOW) {
    state = 0;
}

```

```

    delay(100);
}
void loop() {
    // Якщо кнопка натиснута
    if (digitalRead (BUTTON) == LOW)
    {
        // Відправляємо повідомлення з місцезнаходженням
        sendingGPS();
    }
    else {}
    distance = takeDistance(); // Вимірюємо відстань
    obstacleDetection(distance); // Виконуємо виявлення перешкод на основі відстані
    moisture = analogRead(APin); // Зчитуємо аналоговий сигнал вологості
    moistureDetection(moisture); // Виконуємо виявлення вологості на основі
зчитаного значення
}

```

## ДОДАТОК Б

```
#include <WebServer.h>
#include <WiFi.h>
#include <esp32cam.h>
const char* WIFI_SSID = "DESKTOP-1SH54VV 2715";
const char* WIFI_PASS = "(C65476f";
WebServer server(80);
static auto loRes = esp32cam::Resolution::find(320, 240);
static auto midRes = esp32cam::Resolution::find(350, 530);
static auto hiRes = esp32cam::Resolution::find(800, 600);
void serveJpg()
{
    auto frame = esp32cam::capture();
    if (frame == nullptr) {
        Serial.println("CAPTURE FAIL"); // Виведення повідомлення про невдале
захоплення зображення
        server.send(503, "", "");
        return;
    }
    Serial.printf("CAPTURE OK  %dx%d  %db\n", frame->getWidth(), frame-
>getHeight(),
        static_cast<int>(frame->size())); // Виведення повідомлення про успішне
захоплення зображення та його розміри

    server.setContentLength(frame->size());
    server.send(200, "image/jpeg"); // Відправка HTTP-відповіді з кодом 200
(успішно) та типом вмісту "image/jpeg"
    WiFiClient client = server.client();
```

```

    frame->writeTo(client);
}

void handleJpgLo()
{
    if (!esp32cam::Camera.changeResolution(loRes)) {
        Serial.println("SET-LO-RES FAIL"); // Виведення повідомлення про невдачу
зміну розміру зображення у режимі низького розширення
    }
    serveJpg();
}

void handleJpgHi()
{
    if (!esp32cam::Camera.changeResolution(hiRes)) {
        Serial.println("SET-HI-RES FAIL"); // Виведення повідомлення про невдачу
зміну розміру зображення у режимі високого розширення
    }
    serveJpg();
}

void handleJpgMid()
{
    if (!esp32cam::Camera.changeResolution(midRes)) {
        Serial.println("SET-MID-RES FAIL"); // Виведення повідомлення про невдачу
зміну розміру зображення у режимі середнього розширення
    }
    serveJpg();
}

```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println();
  // Ініціалізація камери з використанням налаштувань
  {
    using namespace esp32cam;
    Config cfg;
    cfg.setPins(pins::AiThinker);
    cfg.setResolution(hiRes);
    cfg.setBufferCount(2);
    cfg.setJpeg(80);
    bool ok = Camera.begin(cfg);
    Serial.println(ok ? "CAMERA OK" : "CAMERA FAIL"); // Виведення
повідомлення про успішну або невдалу ініціалізацію камери
  }
  // Налаштування підключення Wi-Fi
  WiFi.persistent(false);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
  }
  Serial.print("http://");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.println(" /cam-lo.jpg");
  Serial.println(" /cam-hi.jpg");
  Serial.println(" /cam-mid.jpg");
  // Обробка запитів сервера

```

```
server.on("/cam-lo.jpg", handleJpgLo);
server.on("/cam-hi.jpg", handleJpgHi);
server.on("/cam-mid.jpg", handleJpgMid);
server.begin();
}
void loop()
{
  server.handleClient();
}
```



## ДОДАТОК В

### Файл yolov3.cfg

```
import urllib.request
import cv2
import numpy as np
from kivy.clock import Clock
from kivy.core.image import Texture
from kivy.lang import Builder
from kivymd.app import MDApp
# Рядок Kivy, що визначає макет
kv = """
BoxLayout:
    orientation: 'vertical'

    Image:
        id: img
"""

class ObjectDetectionApp(MDApp):
    def __init__(self, **kwargs):
        super().__init__(**kwargs)
        self.url = 'http://192.168.137.96/cam-hi.jpg'
        self.whT = 320
        self.confThreshold = 0.5
        self.nmsThreshold = 0.3
        self.classesfile = 'coco.names'
        self.classNames = []
        with open(self.classesfile, 'rt') as f:
            self.classNames = f.read().rstrip('\n').split('\n')
        self.modelConfig = 'yolov3.cfg'
        self.modelWeights = 'yolov3.weights'
```

```

self.net = cv2.dnn.readNetFromDarknet(self.modelConfig, self.modelWeights)
self.net.setPreferableBackend(cv2.dnn.DNN_BACKEND_OPENCV)
self.net.setPreferableTarget(cv2.dnn.DNN_TARGET_CPU)
def build(self):
    self.root = Builder.load_string(kv)
    Clock.schedule_interval(self.update_image, 1.0 / 60.0) # Розкладка методу
update_image() на виклик кожні 1/60 секунди
    return self.root
def update_image(self, dt):
    img_resp = urllib.request.urlopen(self.url) # Відкриття URL та отримання
відповіді зображення
    imgnp = np.array(bytearray(img_resp.read()), dtype=np.uint8) # Конвертація
відповіді зображення в масив NumPy
    im = cv2.imdecode(imgnp, -1) # Декодування зображення за допомогою
OpenCV
    # Створення блоба з зображення для подальшого введення у нейромережу
    blob = cv2.dnn.blobFromImage(im, 1 / 255, (self.whT, self.whT), [0, 0, 0], 1,
crop=False)
    self.net.setInput(blob)
    # Отримання імен вихідних шарів та запуск прямого проходу через мережу
    layernames = self.net.getLayerNames()
    outputNames = [layernames[i - 1] for i in self.net.getUnconnectedOutLayers()]
    outputs = self.net.forward(outputNames)
    # Знаходження об'єктів на зображенні за допомогою вихідних даних від
мережі
    self.find_object(outputs, im)
    # Оновлення відображення зображення у Kivy
    image_widget = self.root.ids.img
    buf = cv2.flip(im, 0).tostring()

```

```

texture = Texture.create(size=(im.shape[1], im.shape[0]), colorfmt='bgr')
texture.blit_buffer(buf, colorfmt='bgr', bufferfmt='ubyte')
image_widget.texture = texture
def find_object(self, outputs, im):
    hT, wT, cT = im.shape
    bbox = []
    classIds = []
    confs = []

    # Проходження через вихідні дані мережі та знаходження об'єктів з високою
    # достовірністю
    for output in outputs:
        for det in output:
            scores = det[5:]
            classId = np.argmax(scores)
            confidence = scores[classId]
            if confidence > self.confThreshold:
                w, h = int(det[2] * wT), int(det[3] * hT)
                x, y = int((det[0] * wT) - w / 2), int((det[1] * hT) - h / 2)
                bbox.append([x, y, w, h])
                classIds.append(classId)
                confs.append(float(confidence))

    # Застосування алгоритму non-maximum suppression для видалення
    # прямокутників, що перекриваються
    indices = cv2.dnn.NMSBoxes(bbox, confs, self.confThreshold,
                                self.nmsThreshold)

    # Малювання прямокутників обмежень та міток на зображенні
    for i in indices:
        box = bbox[i]

```

```

x, y, w, h = box[0], box[1], box[2], box[3]
cv2.rectangle(im, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 255), 2)
cv2.putText(im, f'{self.classNames[classIds[i]].upper()} {int(confs[i] *
100)}%', (x, y - 10),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (255, 0, 255), 2)
if __name__ == '__main__':
    ObjectDetectionApp().run() # Запуск додатку Kivy

```

```

import urllib.request
import cv2
import numpy as np
from kivy.clock import Clock
from kivy.core.image import Texture
from kivy.lang import Builder
from kivymd.app import MDApp
# Рядок Kivy, що визначає макет
kv = """
BoxLayout:
    orientation: 'vertical'

    Image:
        id: img
"""

class ObjectDetectionApp(MDApp):
    def __init__(self, **kwargs):
        super().__init__(**kwargs)
        self.url = 'http://192.168.137.96/cam-hi.jpg'
        self.whT = 320
        self.confThreshold = 0.5
        self.nmsThreshold = 0.3
        self.classesfile = 'coco.names'
        self.classNames = []
        with open(self.classesfile, 'rt') as f:
            self.classNames = f.read().rstrip("\n").split("\n")
        self.modelConfig = 'yolov3.cfg'
        self.modelWeights = 'yolov3.weights'
        self.net = cv2.dnn.readNetFromDarknet(self.modelConfig, self.modelWeights)
        self.net.setPreferableBackend(cv2.dnn.DNN_BACKEND_OPENCV)

```

```

self.net.setPreferableTarget(cv2.dnn.DNN_TARGET_CPU)
def build(self):
    self.root = Builder.load_string(kv)
    Clock.schedule_interval(self.update_image, 1.0 / 60.0) # Розкладка методу
update_image() на виклик кожні 1/60 секунди
    return self.root
def update_image(self, dt):
    img_resp = urllib.request.urlopen(self.url) # Відкриття URL та отримання
відповіді зображення
    imgnp = np.array(bytearray(img_resp.read()), dtype=np.uint8) # Конвертація
відповіді зображення в масив NumPy
    im = cv2.imdecode(imgnp, -1) # Декодування зображення за допомогою
OpenCV
    # Створення блоба з зображення для подальшого введення у нейромережу
    blob = cv2.dnn.blobFromImage(im, 1 / 255, (self.whT, self.whT), [0, 0, 0], 1,
crop=False)
    self.net.setInput(blob)
    # Отримання імен вихідних шарів та запуск прямого проходу через мережу
    layernames = self.net.getLayerNames()
    outputNames = [layernames[i - 1] for i in self.net.getUnconnectedOutLayers()]
    outputs = self.net.forward(outputNames)
    # Знаходження об'єктів на зображенні за допомогою вихідних даних від
мережі
    self.find_object(outputs, im)
    # Оновлення відображення зображення у Kivy
    image_widget = self.root.ids.img
    buf = cv2.flip(im, 0).tostring()
    texture = Texture.create(size=(im.shape[1], im.shape[0]), colorfmt='bgr')
    texture.blit_buffer(buf, colorfmt='bgr', bufferfmt='ubyte')

```

```

image_widget.texture = texture
def find_object(self, outputs, im):
    hT, wT, cT = im.shape
    bbox = []
    classIds = []
    confs = []

    # Проходження через вихідні дані мережі та знаходження об'єктів з високою
достовірністю
    for output in outputs:
        for det in output:
            scores = det[5:]
            classId = np.argmax(scores)
            confidence = scores[classId]
            if confidence > self.confThreshold:
                w, h = int(det[2] * wT), int(det[3] * hT)
                x, y = int((det[0] * wT) - w / 2), int((det[1] * hT) - h / 2)
                bbox.append([x, y, w, h])
                classIds.append(classId)
                confs.append(float(confidence))

    # Застосування алгоритму non-maximum suppression для видалення
прямокутників, що перекриваються
    indices = cv2.dnn.NMSBoxes(bbox, confs, self.confThreshold,
self.nmsThreshold)

    # Малювання прямокутників обмежень та міток на зображенні
    for i in indices:
        box = bbox[i]
        x, y, w, h = box[0], box[1], box[2], box[3]
        cv2.rectangle(im, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 255), 2)

```



```

        cv2.putText(im, f'{self.classNames[classIds[i]].upper()} {int(confs[i] *
100)}%', (x, y - 10),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (255, 0, 255), 2)
if __name__ == '__main__':
    ObjectDetectionApp().run() # Запуск додатку Kivy

```