

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «ПРИСТРІЙ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ
ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО
ІНТЕЛЕКТУ»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерні системи та мережі
(назва)

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

(підпис)	Андрій ХАМКО
	Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача

Виконав:	здобувач(ка) вищої освіти гр. <u>КСДМ-62</u> <u>Андрій ХАМКО</u> Ім'я, ПРИЗВИЩЕ
Керівник: науковий ступінь, вчене звання	<u>Анастасія ВСЧЕРКОВСЬКА</u> Ім'я, ПРИЗВИЩЕ
Рецензент: науковий ступінь, вчене звання	Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Наталія ЛАЩЕВСЬКА

_____ Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
«_____» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Хамко Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Пристрій орієнтації на місцевості для людей з вадами зору із застосуванням штучного інтелекту»

керівник кваліфікаційної роботи Анастасія ВСЧЕРКОВСЬКА, канд.техн.наук, доцент,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «15» жовтня 2024р. №320,

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Наукова та технічна література, робочі параметри апаратних компонентів, принципи інтеграції алгоритмів штучного інтелекту, механізми зворотного зв'язку та дизайн інтерфейсу користувача, критерії для оцінки систем орієнтації.

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

1. Основи орієнтації на місцевості для людей з вадами зору

2. Технологічні рішення на основі штучного інтелекту

3. Розробка пристрою орієнтації для людей з вадами зору

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація

1. Мета, об'єкт, предмет дослідження

2. Актуальність роботи

3. Актуальність розробки пристрою орієнтації для людей з вадами зору

4. Запропонований прототип пристрою орієнтації з використанням штучного інтелекту

5. Лінійна діаграма роботи пристрою орієнтації для людей з вадами зору

6. Роль тепловізійної камери у навігації в умовах слабкого освітлення

7. Точне вимірювання відстаней для виявлення перешкод

8. Відстеження руху та орієнтації для стабільності пристрою

9. Основний обчислювальний модуль для запуску алгоритмів ШІ за допомогою NVIDIA Jetson Nano

10. Фінансовий аналіз вартості компонентів та їх доступність

11. Порівняння запропонованого пристрою з існуючими
 12. Висновки
 13. Продовження висновків
 14. Публікації та апробація роботи
6. Дата видачі завдання «01» вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	10.10-12.10.2024	
2	Обробка матеріалу	12.10-15.10.2024	
3	Розробка теоретичної частини	15.10-18.10.2024	
4	Проривні рішення на основі штучного інтелекту	18.10-22.10.2024	
5	Розробка пристрою орієнтації для людей з вадами зору	22.10-26.11.2024	
6	Висновки за результатами аналізу	29.11-30.11.2024	
7	Розробка презентації	30.11-08.12.2024	
8	Передзахист	09.12-11.12.2024	
9	Здача в деканат	20.12-29.12.2024	

-

Здобувач вищої освіти

_____ Андрій ХАМКО
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Анастасія ВСЧЕРКОВСЬКА
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістр: 149 стор., 87 рис., 9 табл., 58 джерел.

Мета роботи – розробка пристрою орієнтації для людей з вадами зору, що використовує штучний інтелект для полегшення навігації на місцевості.

Об'єкт дослідження – технології орієнтації та навігації для людей з вадами зору.

Предмет дослідження – алгоритми штучного інтелекту для розпізнавання об'єктів і навігації в просторі, інтегровані в пристрій для людей з порушеннями зору.

Короткий зміст роботи: Дослідження присвячено створенню інноваційного пристрою, що допоможе людям з вадами зору впевненіше орієнтуватися у світі, повному перешкод. Завдяки використанню штучного інтелекту, пристрій здатен розпізнавати навколишні об'єкти, повідомляти про їхні розміри та відстань, а також підказувати безпечний маршрут. Це не просто технологічний інструмент – це підтримка, яка дарує більше свободи і впевненості у повсякденному житті, дозволяючи людині не відчувати себе обмеженою через проблеми із зором.

У ході дослідження ретельно опрацьовано вибір технологій, які зроблять пристрій зручним і надійним у користуванні: сенсори, що вловлюють інформацію про простір, та інтелектуальні алгоритми для аналізу навколишнього середовища. Завдяки цьому роботі людям з вадами зору стає доступною орієнтація у просторі в реальному часі, а кожен крок – більш безпечним і впевненим.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОРІЄНТАЦІЯ, НЕЗРЯЧІ, НАВІГАЦІЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, СЕНСОРИ, ПРОСТІР, ПІДТРИМКА, БЕЗПЕКА, АЛГОРИТМИ, ІНКЛЮЗІЯ, МОБІЛЬНІСТЬ..

ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 149 pages, 87 figures, 9 tables, 58 sources.

The purpose of the work is to develop an orientation device for visually impaired people that uses artificial intelligence to facilitate navigation on the terrain.

The object of the research is orientation and navigation technologies for people with visual impairments.

The subject of research is artificial intelligence algorithms for object recognition and space navigation integrated into a device for people with visual impairments.

Summary of the work: is devoted to the creation of an innovative device that will help people with visual impairments to navigate more confidently in a world full of obstacles. Thanks to the use of artificial intelligence, the device is able to recognize surrounding objects, report their size and distance, and also suggest a safe route. It is not just a technological tool - it is a support that gives more freedom and confidence in everyday life, allowing a person not to feel limited by vision problems.

During the research, the selection of technologies that will make the device convenient and reliable to use has been carefully worked out: sensors that capture information about space and intelligent algorithms for analyzing the environment. Thanks to this project, orientation in space becomes available to visually impaired people in real time, and every step is safer and more confident.

KEY WORDS: ORIENTATION, BLINDNESS, NAVIGATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, OBJECT RECOGNITION, SENSORS, SPACE, SUPPORT, SECURITY, ALGORITHMS, INCLUSION, MOBILITY.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ	11
1.1 Особливості орієнтації людей з вадами зору	11
1.2 Традиційні засоби орієнтації: білі тростини, собаки-поводирі та звукові сигнали.....	25
1.3 Використання технологій у засобах орієнтації.	35
1.4 Психологічні та соціальні аспекти орієнтації.	49
1.5 Перспективи використання сучасних технологій для покращення орієнтування.	58
РОЗДІЛ 2 ПРОРИВНІ РІШЕННЯ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	65
2.1 Функції штучного інтелекту для створення пристроїв орієнтації.	65
2.2 Комп'ютерний зір у навігації.....	73
2.3 Розпізнавання об'єктів і перешкод за допомогою ШІ.....	82
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ОРІЄНТАЦІЇ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ	90
3.1 Основні компоненти та принцип роботи.....	90
3.2 Інтеграція алгоритмів ШІ в роботу пристрою.....	113
3.3 Перспективи розробки та впровадження пристрою орієнтації на основі ШІ.	122
ВИСНОВКИ.....	132
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	133
Додаток А Перелік компонентів для розробки пристрою орієнтації.....	138
Додаток Б Рекомендоване розміщення компонентів на традиційній білій тростині.....	140
Додаток В. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	141

ВСТУП

Штучний інтелект (ШІ) досяг значних успіхів у всьому світі, швидко ставши важливим інструментом у різних секторах, у тому числі тих, які традиційно не пов'язані з технологіями. Його застосування швидко зросло за останні роки, оскільки воно може доповнювати «людські» здібності, зокрема, беручи на себе виконання повторюваних або рутинних завдань, що зменшує психічне напруження. Цей потенціал особливо корисний для створення допоміжних рішень для осіб із вадами зору. ШІ може надати їм покращену навігацію та просторову обізнаність, дозволяючи цим людям самотійно, безпечно та з більшою впевненістю орієнтуватися у просторі, який інакше міг би бути складним.

Зараз люди з вадами зору часто покладаються на такі традиційні засоби, як палиці, навчені собаки-поводирі або звукові сигнали, щоб орієнтуватися в оточенні. Ці допоміжні засоби, однак, мають обмеження. Тростина може допомогти виявити перешкоди безпосередньо на шляху, але не пропонує ширшого просторового сприйняття. Так само голосові сигнали можуть допомогти орієнтуватися людям, але надають обмежену інформацію в реальному часі про рух або перешкоди в навколишньому середовищі. Навпаки, пристрої на основі штучного інтелекту мають потенціал трансформувати засоби навігації шляхом інтеграції передових технологій, таких як машинне навчання та комп'ютерне бачення, для покращення сприйняття та просторової орієнтації.

Пристрій на основі штучного інтелекту може аналізувати навколишнє середовище, ідентифікувати об'єкти поблизу та передавати цю інформацію користувачам. Завдяки машинному навчанню він може навчитися розпізнавати нові перешкоди та адаптуватися до них, ефективно тренуючись, щоб з часом допомагати користувачам точніше. Такі пристрої не тільки розпізнавали б статичні об'єкти, але й реагували б на динамічні зміни в навколишньому середовищі, даючи користувачам більш повне уявлення про навколишнє середовище. Завдяки перекладу візуальних підказок у доступні формати ці пристрої можуть

перевершити традиційні засоби навігації, допомагаючи користувачам орієнтуватися більш інтуїтивно.

Крім того, щоб розробити пристрій, який справді підтримує людей із вадами зору, розробники повинні враховувати те, як вони відчують і взаємодіють із навколишнім середовищем. Розуміння їхніх методів навігації, координації та чуттєвого сприйняття має важливе значення для створення систем ШІ, які ефективно покращують орієнтацію. Включаючи машинне навчання, пристрій може адаптуватися до конкретних потреб кожного користувача, ефективно «навчаючись» на рухах користувача та навігаційних уподобаннях. Ця персоналізована адаптація може надати користувачам плавний перехід до використання допоміжних пристроїв на основі ШІ, гарантуючи, що вони відчуватимуть підтримку, а не обмеження технологією.

Добре сконструйований пристрій матиме надійну технологію комп'ютерного зору, яка дозволить йому виявляти та класифікувати різні перешкоди та об'єкти, інформуючи користувача про їх тип і відстань, що забезпечить комплексне уявлення про середовище, яке виходить за рамки традиційних інструментів, допомагаючи користувачам рухатися з новим рівнем свободи та безпеки. З часом ця технологія може запропонувати людям із вадами зору безпрецедентну підтримку та мобільність, сприяючи міцнішому відчуттю автономності, безпеки та надії на майбутнє.

РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ

1.1 Особливості орієнтації людей з вадами зору

У сучасному світі, де візуальні враження відіграють вирішальну роль, люди з нормальним зором сприймають навколишній світ переважно через зорові органи. Завдяки зору ми бачимо кольори, форми, текстури та інші особливості об'єктів, що дозволяє нам швидко орієнтуватися у просторі, розуміти, що нас оточує, і створювати уявлення про людей, предмети, місцевість. Зір стає основою для багатьох аспектів нашого життя — від комунікації до творчості.

Однак для людей, які втратили зір або ніколи його не мали, цей важливий аспект життя стає недоступним (див. рис. 1.1). Люди, які народилися незрячими через генетичні захворювання чи інші фактори, часто не мають уявлення про вигляд об'єктів, їхні кольори чи форми. У їхньому сприйнятті світу домінують інші органи чуття — слух, дотик і нюх. Такі люди орієнтуються у просторі завдяки звукам, текстурам поверхонь та запахам [1].

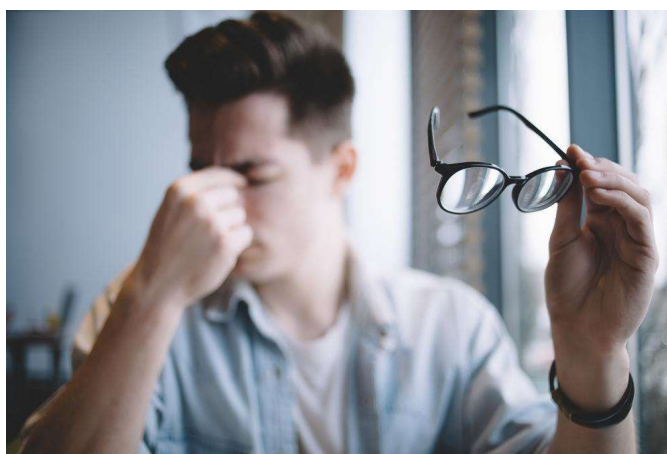


Рисунок 1.1 – Втрата зору може бути з народження або
при певних обставинах з часом

Для тих, хто втратив зір поступово, ситуація дещо інша. Вони мають спогади про те, як виглядали об'єкти, місця чи люди, які їх оточували. Однак із часом ці спогади можуть ставати розмитими. Без постійного тренування пам'яті на основі візуальних образів люди поступово втрачають здатність деталізувати свої уявлення про зовнішній вигляд предметів або облич. Наприклад, вони можуть пам'ятати, що яблуко кругле, але не зможуть згадати його текстуру чи точний відтінок червоного кольору.

Особливо складно тим, хто втрачає зір раптово чи поступово у дорослому віці. Якщо людина пам'ятає обличчя близьких чи друзів, але з часом втрачає зір, їй може бути важко уявити, як ці люди виглядають зараз (див. рис. 1.2). Крім того, навіть при збереженні пам'яті, спогади можуть стиратися через природний процес старіння мозку та втрату деталей [2].



Рисунок 1.2 – Пам'ять з часом втрачає риси юлизьких людей

Водночас незрячі люди розвивають інші сенсорні здібності. Наприклад, їхній слух стає надзвичайно гострим, що дозволяє їм розрізняти дрібні нюанси звуків. Також розвивається тактильне сприйняття — здатність розпізнавати предмети на дотик, аналізуючи їхню форму, текстуру та матеріал (див. рис. 1.3). Нюх відіграє важливу роль у сприйнятті запахів, які можуть допомогти орієнтуватися у середовищі або викликати асоціації [3].

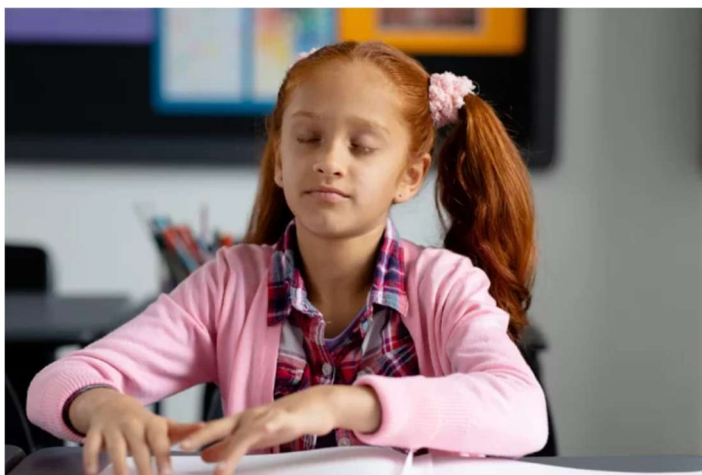


Рисунок 1.3 – Люди з вадами зору мають добре розвинуті органи чуття

Таким чином, хоча втрата зору є значним викликом, людський організм пристосовується до нових умов, компенсуючи недолік одних здібностей розвитком інших, що дозволить людям, навіть без зору, вести активне життя, адаптуватися до середовища та знаходити альтернативні способи сприйняття світу.

У людей із втратою зору або тих, хто ніколи не бачив від народження, однією з ключових компенсаційних здатностей є розвиток інших сенсорних каналів. Серед них слух відіграє надзвичайно важливу роль. Він дозволяє орієнтуватися у просторі, ідентифікувати об'єкти, розуміти контекст середовища та навіть формувати уявлення про відстані й напрямки.

Роль слуху в орієнтації. Слухові сигнали слугують своєрідними «маяками», які допомагають визначити:

1. Відстань до об'єктів. Завдяки звукам, які відбиваються від поверхонь (наприклад, стін, меблів чи будівель), людина може визначити, наскільки далеко розташований той чи інший об'єкт, що схоже на принцип ехолокації, якою користуються кажани, хоча у людей ця здатність розвинута інакше.

2. Місцезнаходження джерел звуку. Незрячі люди можуть розрізнити, з якого боку наближається людина, собака чи транспортний засіб, що дозволяє орієнтуватися у просторі навіть без фізичного контакту.

3. Ідентифікація об'єктів. Різні об'єкти створюють характерні звукові відбитки. Наприклад, транспортні засоби мають свій типовий звук двигуна, а людські кроки відрізняються в залежності від ваги, швидкості ходи та типу взуття.

Голосові характеристики стають основним способом розпізнавання знайомих людей. Часто спілкуючись із певною людиною, незрячі розвивають здатність одразу визначати її за голосом. Крім голосу, можна також розпізнавати знайомих за унікальними звуками, які вони створюють, наприклад, за манерою ходьби або характерними рухами (див. рис. 1.4) [4].



Рисунок 1.4 – Засіб просторової обізнаності: слух

Переваги розвинутого слуху. За відсутності візуального представлення, слух стає надзвичайно чутливим. Люди здатні розрізняти нюанси звуків, які зазвичай залишаються поза увагою зрячих, що дозволяє:

- швидко орієнтуватися у знайомих приміщеннях;
- вчасно реагувати на небезпеки, такі як наближення транспорту чи гучні сигнали;
- створювати уявлення про навколишній простір через звук, навіть без фізичного дотику;

Проте слухові здібності мають свої межі. У шумних приміщеннях або місцях із великим скупченням людей і транспорту орієнтація стає складнішою. Гучний фоновий шум перевантажує слухову систему, що ускладнює:

- виділення конкретних звуків із загальної акустичної картини;

— швидке реагування на небезпеки чи інші сигнали, важливі для навігації.

Такі умови змушують незрячих шукати додаткові методи орієнтації, зокрема опиратися на дотик або використовувати допоміжні засоби, такі як тростини, звукові сигнали на переходах чи навігаційні пристрої.

Роль тактильної інформації в орієнтації. Для людей із порушенням зору тактильна інформація (див. рис. 1.5) стає одним із найважливіших каналів сприйняття світу. Вона дозволяє компенсувати відсутність візуальної інформації, особливо у випадках, коли слухові можливості обмежені через шум або перенасиченість звуками [5].

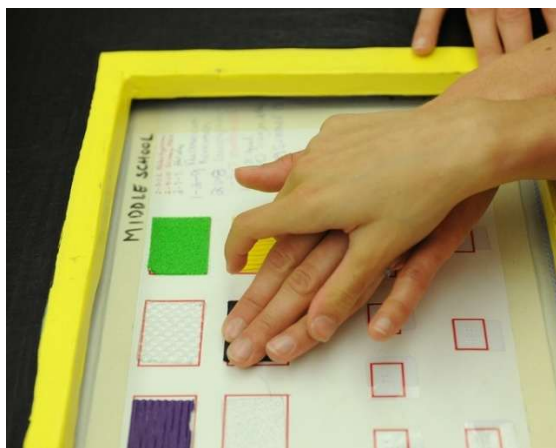


Рисунок 1.5 – Засіб просторової обізнаності: дотик

Тактильна інформація дозволяє людині відчувати фізичні особливості навколишнього середовища, завдяки чому стає можливим [5]:

1. Розпізнавання поверхонь. За допомогою дотику чи тростини незрячі люди можуть ідентифікувати типи поверхонь, наприклад, асфальт, бетон, траву чи ґравій, що дає змогу зрозуміти, чи знаходяться вони на доріжці, чи, можливо, вийшли за її межі.

2. Виявлення перешкод. Тростини допомагають відчувати нерівності поверхні, бордюри, сходинок або інші потенційні перепони на шляху, що дозволяє уникнути небезпек і правильно орієнтуватися в просторі.

3. Ідентифікація об'єктів. Тактильні вказівники, наприклад, текстуровані поверхні підлоги чи спеціальна плитка, допомагають знайти певні місця, як-от входи в будівлі чи переходи.

Тактильна інформація краще працює з (див. рис. 1.6) [6-7]:

1. Біла тростина як основний інструмент. Незрячі люди використовують тростину для виявлення об'єктів і поверхонь попереду. Вона допомагає «побачити» перешкоди через дотик, передаючи відчуття текстури та відстані.

2. Тактильні орієнтири. Наприклад, спеціальна плитка з рельєфним малюнком (тактильна плитка) використовується в громадських місцях для того, щоб людина могла знайти безпечний шлях або визначити напрямок.

3. Текстури поверхонь. Якщо людина стоїть босоніж, вона може чітко розрізнити поверхню, наприклад, дерево, пісок або камінь, що забезпечує більше інформації про те, де вона знаходиться, порівняно з іншими сенсорними каналами.



Рисунок 1.6 – Інструменти та додаткові атрибути для просторової обізнаності

Шрифт Брайля як тактильна мова для спілкування. Одним із найважливіших досягнень у доступності для незрячих є використання шрифту Брайля, який відкриває можливості для (див. рис. 1.6, 1.10) [8, 11]:

1. Ознайомлення з навколишнім середовищем. Написи шрифтом Брайля часто наносять на важливі об'єкти: кнопки ліфтів, таблички в громадських місцях, двері офісів чи магазинів, що дозволяє зрозуміти, де людина знаходиться, і знайти необхідне приміщення.

2. Читання текстів. Незрячі люди можуть отримувати інформацію через дотик, читаючи рельєфні крапки, що передають літери й цифри, що особливо важливо, коли немає людини, яка могла б надати потрібну інформацію.



Рисунок 1.6 – Шрифт Брайля як мова читання дотиком

Хоча тактильна інформація є важливою, її ефективність залежить від умов середовища:

- якщо поверхні надто однорідні, розпізнавання їхнього типу стає складним;
- підсутність тактильних вказівників у нових або незнайомих місцях може ускладнити навігацію.

Роль нюхових сигналів у орієнтації. Нюхова інформація відіграє допоміжну, але важливу роль у процесі орієнтації для людей із порушенням зору. Хоча нюхові сигнали використовуються рідше, ніж слухові чи тактильні, вони доповнюють загальне сприйняття середовища, допомагаючи отримувати важливі підказки про навколишній світ (див. рис. 1.7) [9].



Рисунок 1.7 – Засіб просторової обізнаності: нюх

Нюхові сигнали можуть надавати інформацію про певні об'єкти чи місця, які мають характерні запахи:

1) Ознаки навколишнього середовища:

- запах свіжоспеченого хліба або випічки допомагає зрозуміти, що поруч розташована пекарня;
- запах деревини, трави чи квітів вказує на перебування у парку чи зеленій зоні;
- запахи громадського транспорту, такі як вихлопні гази чи гар, свідчать про близькість автобусної зупинки або жвавого перехрестя.

2) Особливості місцевості. Запах бензину чи мастила може вказувати на автомайстерню, АЗС або інші пов'язані об'єкти.

У міських умовах запахи можуть бути досить інтенсивними й різноманітними, що дозволяє людям із вадами зору визначати своє місцезнаходження більш точно:

1. Транспортні зупинки. Постійні запахи вихлопних газів від автобусів і маршруток свідчать про наближення до громадського транспорту. Людина може зрозуміти, що знаходиться поблизу зупинки, навіть без необхідності звертатися до інших сенсорних каналів.

2. Публічні простори. У торгових центрах чи ринках запах їжі, спецій або продуктів може допомогти зрозуміти, де саме знаходиться конкретна точка продажу.

Попри свою важливість, нюх не може бути основним джерелом інформації для орієнтації через низку обмежень:

1. Нестабільність запахів. Інтенсивність і наявність запаху можуть змінюватися залежно від погодних умов, вітру чи часу доби.

2. Шумова конкуренція. У багатьох міських середовищах запахи можуть змішуватися, створюючи складнощі для точного розпізнавання конкретного сигналу.

3. Обмежена деталізація. Нюхові сигнали не надають чіткої інформації про відстань до об'єкта чи його деталі. Наприклад, запах вихлопів може вказати на зупинку, але не допоможе визначити номер автобуса.

Для повноцінного орієнтування люди із вадами зору зазвичай комбінують нюхову інформацію з іншими сенсорними каналами [6-9]:

1. Тактильні підказки. Для визначення розташування входу в автобус використовуються тростини чи тактильні орієнтири.

2. Слухова інформація. Спілкування з іншими людьми або аналіз звуків транспорту дозволяє зрозуміти, який саме автобус під'їхав.

3. Взаємодія із середовищем. У громадських місцях часто є додаткові підказки, як-от шрифт Брайля, що доповнюють нюхові та слухові сигнали.

Сенсорна компенсація. Сенсорна компенсація — це природний механізм, який дозволяє людям з вадами зору адаптуватися до навколишнього середовища завдяки посиленню інших органів чуття, таких як слух, нюх і тактильне сприйняття (див. рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Сенсорна компенсація надає людям другий шанс

Коли зір втрачається або погіршується, мозок реорганізовує свою діяльність, акцентуючи увагу на інших сенсорних каналах [10]. Наприклад, слух стає більш чутливим, дозволяючи людині розрізняти навіть незначні звуки, які зрячі люди можуть не помічати. Тактильне сприйняття також значно покращується, що допомагає в орієнтації через дотик до різних поверхонь або використання тростини. Завдяки цьому люди з вадами зору здатні ефективніше сприймати навколишній світ, компенсуючи відсутність візуальної інформації.

Когнітивне картування. Когнітивне картування — це процес створення ментальних карт простору на основі інформації, отриманої через слух, тактильні сигнали та запахи. Ці «карти» допомагають людині орієнтуватися у просторі, навіть якщо вона ніколи не бачила цього середовища (див. рис. 1.9-1.10) [11].

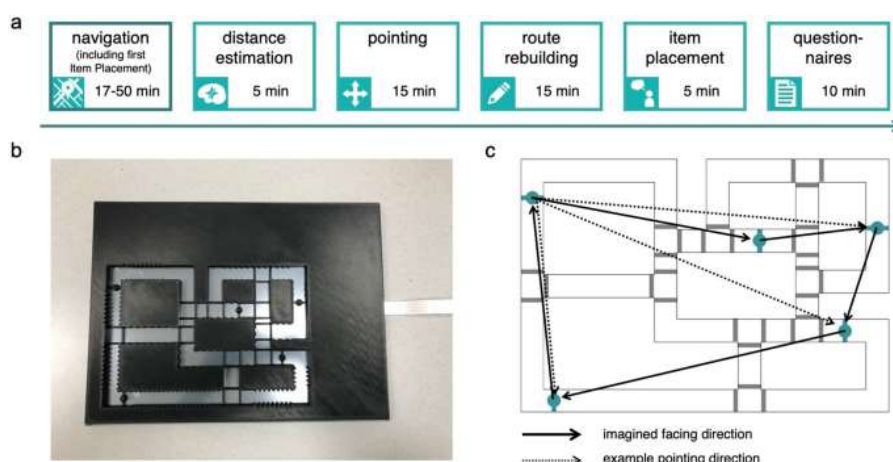


Рисунок 1.9 – Ментальні карти, що замінюють візуальні



Рисунок 1.10 – Ментальна (тактильна) карта 2-поверху ДУІКТ

Наприклад, людина може запам'ятати, що певна кав'ярня розташована за три квартали від будинку, поруч із парком, орієнтуючись на специфічні звуки (дзвінок дверей кав'ярні чи шум дерев), тактильні відчуття (тротуарна плитка) або запахи (аромати кави). З часом, завдяки повторним відвідуванням певних місць, ці ментальні карти стають більш деталізованими, що підвищує впевненість та незалежність у пересуванні.

Однак створення когнітивних карт може бути ускладненим у середовищах із високим рівнем шуму, великою кількістю людей або інтенсивним автомобільним трафіком. У таких умовах слухове перевантаження заважає людям з вадами зору адекватно сприймати важливу інформацію, що може призвести до дезорієнтації та розумової втоми, особливо в нових або незнайомих місцях [11-12].

Наприклад, у густонаселеному районі з безперервним рухом транспорту та натовпами людей складно зосередитися на звукових чи тактильних сигналах, що необхідні для побудови надійної когнітивної карти. У таких ситуаціях людина з вадами зору може втратити орієнтацію або відчувати значний стрес.

Попри ці труднощі, розвиток когнітивних карт залишається ключовим інструментом для підвищення незалежності та адаптації людей з вадами зору. З

часом та досвідом ці карти стають більш деталізованими та ефективними для використання у різних умовах.

Залежність від пам'яті та рутини. Люди, які поступово втратили зір, мають можливість адаптуватися до змін завдяки використанню пам'яті та попереднього досвіду. Їхня орієнтація у просторі спирається на рутинні дії, виконані в минулому, коли зір ще був збережений. Наприклад, маршрути, які були звичними за часів повного зору, стають основою для побудови нових схем пересування.

У такому процесі пам'ять відіграє ключову роль – людина запам'ятовує певні повороти, переходи, об'єкти, які раніше були візуальними орієнтирами. Після втрати зору вона замінює їх на слухові, тактильні чи нюхові сигнали. Таким чином, нові сенсорні враження інтегруються з раніше накопиченим досвідом, створюючи нову, адаптовану систему навігації, що значно зменшує когнітивне навантаження, адже людина спирається на звичні рутинні дії, одночасно використовуючи нові джерела сенсорної інформації (див. рис. 1.11) [11-13].

Використання орієнтирів і наземних маршрутів. Ключовим елементом адаптації людей із вадами зору є вміння використовувати специфічні орієнтири. Орієнтиром може бути будь-який чуттєво сприйманий об'єкт чи явище:

1. Слухові сигнали: шум кондиціонера, звук вентилятора або дзвінок дверей.
2. Тактильні відчуття: текстура тротуарної плитки, форма перил або зміна поверхні під ногами.
3. Нюхові сигнали: запах пекарні, кав'ярні чи рослинності поблизу.



Рисунок 1.11 – Об'єднання органів чуття для «будування» ментальних карт

Такі маркери дозволяють людям з вадами зору створювати ментальні карти простору. Наприклад, регулярне проходження повз місце із характерним запахом чи звуком допомагає людині прив'язати цей сигнал до конкретної локації. У поєднанні з повторенням маршруту це формує впевненість і спрощує пересування.

Нове навчання у знайомих умовах. Для людини, яка втратила зір, навіть добре знайомий простір стає новим викликом. Здатність орієнтуватися у таких умовах залежить від вміння перебудувати своє сприйняття і навчитися використовувати інші органи чуття. Наприклад, у власній квартирі людина з вадами зору знає розташування меблів і може пересуватися без світла. Проте людина зі збереженим зором, якщо позбавити її візуального представлення, може легко зіткнутися з меблями або впасти.

Поступове навчання допомагає людям з вадами зору сформувати точну внутрішню карту простору, яка базується на їхніх сенсорних відчуттях – процес стає основою для подальшої адаптації, дозволяючи комфортно жити у світі без візуального сприйняття.

Виклики в незнайомому середовищі. Для людей, які поступово втратили зір, перебування в новому середовищі стає значним викликом. Раніше вони поклалися на візуальні сприйняття та сформовані ментальні карти, які допомагали орієнтуватися в знайомих місцях. Однак у незнайомому середовищі вони позбавлені цієї можливості через відсутність візуального аналізу, який слугував основою для створення нових маршрутів [5-13].

Відсутність рутинних маршрутів і підказок, які були доступні в знайомих місцях, може призвести до деорієнтації – людина не знає, що перед нею, як це виглядає, і де розташовані об'єкти довкола. Через це їй доводиться повністю покладатися на інші органи чуття – слух, дотик, нюх – і поступово вивчати нове середовище. Такий процес потребує значних зусиль і часу, що може викликати стрес і занепокоєння [14].

У незнайомих місцях люди з вадами зору змушені діяти як ті, хто втратив зір від народження: відмовлятися від старого досвіду й рутин та будувати нові ментальні карти з нуля. Хоча адаптація поступово стає можливою, процес навчання є повільним і вимагає практики.

Стратегії подолання. Сучасні технології значно полегшують орієнтування в незнайомих місцях для людей із вадами зору. Завдяки розвитку навігаційних систем і мобільних додатків, вони можуть отримувати необхідну інформацію про маршрут. Декілька основних підходів:

1. Використання GPS-навігації – програми на основі GPS, такі як Google Maps, оснащені функцією аудіонавігації. Вони надають голосові підказки: повідомляють, через скільки метрів потрібно повернути, куди рухатися, і попереджають про місцезнаходження важливих орієнтирів, що дозволяє людям із вадами зору орієнтуватися у просторі, навіть якщо вони вперше перебувають у цьому місці.

2. Формування нових когнітивних карт – поєднання навігаційних технологій із сенсорними відчуттями (слухом, дотиком, нюхом) допомагає людям створювати більш точні ментальні моделі нового середовища. Наприклад, звуки руху транспорту, текстура тротуару чи запах навколишніх будівель доповнюють дані, які вони отримують від GPS, дозволяючи краще зрозуміти середовище.

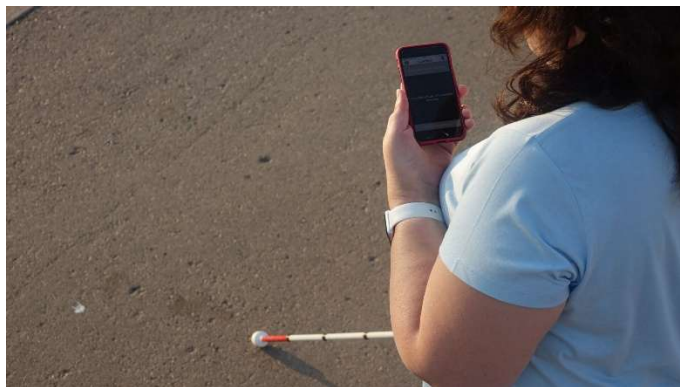


Рисунок 1.12 – Технології покращують взаємодію зі зовнішнім середовищем

Навіть найкращі технології можуть створювати лише «крихкі» когнітивні карти, якщо їх не підкріплювати сенсорними даними. Людина потребує багаторазового проходження нового маршруту, щоб закріпити інформацію та зробити її частиною своєї ментальної карти. Без такого закріплення залежність лише від технологій може створити ризик деорієнтації у випадку їхньої несправності.

1.2 Традиційні засоби орієнтації: білі тростини, собаки-поводирі та звукові сигнали

Люди з вадами зору для адаптації в навколишньому середовищі покладаються не лише на органи чуття (слух, дотик, нюх), але й на допоміжні інструменти, що дозволяє забезпечити більшу автономність, мобільність та незалежність [5-10]. Такі інструменти, як білі тростини, собаки-поводирі чи звукові сигнали, вже давно стали традиційними й ефективними засобами для орієнтації у просторі. Кожен із цих інструментів має унікальні переваги, і часто вони комбінуються для досягнення найкращих результатів [6,]:

Біла тростина як символ мобільності та безпеки. Біла тростина є простим, але дуже ефективним інструментом для людей з вадами зору (див. рис. 1.13). Вона виготовляється з легких матеріалів, таких як дерево або пластик, і зазвичай має

гумові накладки для зручності. Її довжина розрахована так, щоб досягати від талії користувача до землі, забезпечуючи тактильний зворотній зв'язок через постукування або змахування.



Рисунок 1.13 – Традиційний інструмент орієнтації: біла тростина

Тростина допомагає виявляти:

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

Вона проста у використанні, не потребує живлення чи складного обслуговування, що робить її доступною для людей із низьким рівнем доходу, особливо у країнах, що розвиваються.

Користувачі застосовують білу тростину по-різному, залежно від середовища:

- постійний контакт – для нерівних поверхонь, що забезпечує безперервний зворотній зв'язок про те, що знаходиться попереду;
- двоточковий дотик – для більш рівних шляхів, де перешкоди рідкісні.

Переваги білої тростини:

1. Доступність – завдяки простій конструкції тростина має низьку вартість.
2. Надійність – вона не потребує складного ремонту чи заміни деталей.
3. Автономія – дозволяє людині орієнтуватися без сторонньої допомоги.

4. Сигнал для оточуючих – біла тростина допомагає іншим людям зрозуміти, що її користувач має вади зору, що спонукає до соціальної підтримки.

Незважаючи на численні переваги, тростина має свої обмеження:

- вона виявляє лише наземні перешкоди, але не допомагає уникати перешкод на рівні голови (гілки, знаки, виступи);
- для ефективного використання тростини потрібне навчання та практика, особливо для людей, які нещодавно втратили зір;
- орієнтація лише за тактильним зворотнім зв'язком може бути складною у шумних і швидкозмінних середовищах, таких як міські вулиці.

Для багатьох людей біла тростина є не просто інструментом, а символом незалежності та безпеки. Вона дозволяє відчувати себе автономними, не залежати від інших і впевнено орієнтуватися в просторі. Також це інструмент соціальної інтеграції, адже він сигналізує оточуючим про потреби людини з вадами зору, викликаючи готовність допомогти.

Собаки-поводирі. Собаки-поводирі — це спеціально навчені тварини (див. рис. 1.14), які виконують роль супутників та навігаційних помічників для людей із порушеннями зору [15].



Рисунок 1.14 – Традиційний інструмент орієнтації: собаки-поводирі

Їх функції виходять далеко за межі простої допомоги у переміщенні [15]:

- навчаються реагувати на команди, уникаючи перешкод;
- приймають самостійні рішення для забезпечення безпеки власника;

- виконують роль емоційної підтримки та підвищують впевненість і незалежність людини.

Щоб стати помічником для людини з вадами зору, собака проходить інтенсивну підготовку, яка триває кілька місяців. Основні елементи цього навчання [15]:

- 1) Слухняність – собака має реагувати на команди, як-от «ліворуч», «праворуч», «вперед».
- 2) Уникнення перешкод – тварина вчиться безпечно вести людину навіть у складних умовах.
- 3) Розумна непокоря – особливий навик, коли собака відмовляється виконати команду, якщо це може загрожувати безпеці власника. Наприклад, якщо власник дає команду перейти дорогу, де рухається транспорт, собака утримує людину від цього.

Для ефективної взаємодії між собакою та власником важливо встановити довіру і взаєморозуміння, адже від цих стосунків залежить успішність їхньої роботи.

Переваги використання собак-поводирів [15]:

- 1) Забезпечення мобільності та автономності:
 - собаки допомагають людині впевнено орієнтуватися у просторі, активно уникаючи перешкод;
 - знижують когнітивне навантаження на власника, дозволяючи зосередитися на рухах собаки, а не на аналізі навколишнього середовища;
 - особливо корисні у швидкому, шумному чи багатолюдному середовищі.
- 2) Емоційна підтримка:
 - собаки зменшують почуття ізоляції, яке часто відчувають люди з порушенням зору;
 - створюють відчуття захищеності та супроводжують власника не лише фізично, а й морально.

Незважаючи на значні переваги, собаки-поводирі мають і певні труднощі, які потрібно враховувати [15]:

- 1) Вартість та доступність:
 - навчання собаки-поводиря коштує від \$20,000 до \$60,000 (за даними США). Витрати зазвичай покривають некомерційні організації чи державні програми, але обмежені ресурси створюють довгі черги;
 - не кожен, хто потребує собаки, може її отримати.
- 2) Навчання власника:
 - людина з порушенням зору також повинна пройти підготовку, щоб правильно взаємодіяти з собакою;
 - це вимагає часу, терпіння та зусиль.
- 3) Регулярний догляд:
 - собака потребує годування, фізичних вправ, догляду та медичних оглядів, що додає фінансового та часових витрат для власника.
- 4) Обмеження у громадських місцях:
 - попри законодавство про доступність, собаки можуть стикатися з відмовами у доступі до певних місць або небажаною увагою, що відволікає їх від виконання завдань.
- 5) Тривалість служби:
 - собаки-поводирі працюють приблизно 8-10 років. Після цього вони «виходять на пенсію», і людині доводиться шукати нового помічника.

Собаки-поводирі – це не просто помічники, а справжні партнери, які забезпечують людям з вадами зору мобільність, автономність і емоційну підтримку. Проте їх використання потребує значних ресурсів, підготовки та взаєморозуміння. Незважаючи на всі виклики, роль цих тварин у житті людей з порушеннями зору є незамінною, оскільки вони дарують не лише практичну допомогу, а й почуття впевненості та незалежності.

Голосові та слухові сигнали. Голосові та слухові сигнали – це важливі засоби орієнтації для людей із вадами зору. Вони дозволяють покращити мобільність, забезпечити незалежність та підвищити рівень безпеки у повсякденному житті. Важливо, що такі інструменти є безкоштовними і широко доступними у громадських місцях (див. рис. 1.15), на відміну від, наприклад, білих тростин чи собак-поводирів, які вимагають особистого придбання чи навчання [16].



Рисунок 1.15 – Допоміжні інструменти орієнтації: голосові та слухові підказки

Ці сигнали використовуються для надання інформації про навколишнє середовище за допомогою звуків або голосових повідомлень. Вони допомагають людям з вадами зору зорієнтуватися у просторі, визначити напрямок руху та адаптуватися до змінних ситуацій [16].

Такі засоби орієнтації часто можна зустріти у громадських місцях:

- на пішохідних переходах;
- у громадському транспорті;
- на перехрестях або інших зонах з інтенсивним рухом.

Сигнали на пішохідних переходах. Одним із найбільш поширених застосувань слухових і голосових сигналів є їх інтеграція на пішохідних переходах. Звукові сигнали повідомляють, коли можна безпечно переходити дорогу, або ж попереджають про зміну сигналу світлофора.

Як це все працюватиме [16]:

1) Типи звуків. У різних регіонах сигнали можуть мати різні звуки, наприклад, стрекотіння, короткі мелодії чи голосові вказівки («Перехід дозволено», «Червоне світло»).

2) Час і тривалість сигналу. Сигнал адаптований до ширини дороги. Чим ширший перехід, тим довший звуковий сигнал, щоб користувачі могли встигнути перейти.

3) Інформативність. Сигнали допомагають оцінити масштаб перехрестя, інтенсивність руху транспорту та орієнтуватися у просторі.

Для людини з вадами зору пішохідний перехід без звукових сигналів може стати серйозною проблемою. Без спеціальних підказок існує ризик розгубитися, довго чекати допомоги або навіть потрапити в небезпечну ситуацію через незнання про безпечний момент для переходу.

Обмеження у застосуванні сигналів:

- у місцях із невеликим транспортним потоком, де відсутні світлофори, такі сигнали зазвичай не встановлюють;
- у підземних чи наземних переходах без звукового супроводу орієнтування також ускладнюється.

Слухові підказки у громадському транспорті та приміщеннях. У сучасному громадському транспорті активно використовуються слухові підказки для зручності пасажирів, зокрема для людей із вадами зору.

Такі повідомлення спрямовані на [16]:

1) Орієнтацію в просторі:

- оголошення про зупинки, як поточні, так і наступні;
- інформація про відкриття та закриття дверей;
- попередження про кінцеву зупинку.

2) Забезпечення безпеки:

- особливо в метро чи наземному транспорті, де необхідно чітко дотримуватися правил, щоб уникнути небезпечних ситуацій;

Переваги таких систем для людей із вадами зору:

- 1) Незалежність:
 - людина не потребує постійно звертатися до інших пасажирів або водія з проханням повідомити, коли виходити;
 - вона може самостійно орієнтуватися за звуковими підказками.
- 2) Адаптація до шуму:
 - системи оповіщення налаштовані таким чином, щоб бути чутними навіть у шумному середовищі (наприклад, під час розмов чи руху транспорту).
- 3) Універсальність:
 - такі системи впроваджуються як у наземному, так і підземному транспорті. Водночас, у маршрутних таксі ця практика зустрічається рідше, і пасажирів з вадами зору доводиться більше покладатися на допомогу інших людей або водія.

Слухові підказки також впроваджуються у громадських приміщеннях:

- магазини;
- лікарні;
- торговельні центри;
- вокзали, автовокзали та аеропорти.

Як це все працюватиме [16]:

- 1) Системи гучного зв'язку:
 - у вокзалах та аеропортах повідомляють про прибуття та відправлення транспорту, колію чи вихід, до якого потрібно прямувати;
 - у торговельних центрах – вказівки щодо напрямку до виходу або стійки обслуговування.
- 2) Кнопки екстреного виклику:
 - такі пристрої розміщені в громадських місцях (зупинках, вокзалах, аеропортах) і обладнані шрифтом Брайля;

- людина може натиснути кнопку та отримати допомогу від персоналу, який підкаже або супроводить до потрібного місця.

Значення систем для людей із вадами зору [16]:

- 1) Збільшення автономності:
 - завдяки таким технологіям люди з вадами зору можуть більш впевнено пересуватися в незнайомому середовищі;
 - інформація дозволяє знизити стрес у місцях із підвищеним шумом чи інтенсивним рухом.
- 2) Підвищення рівня безпеки:
 - кнопки виклику та інформаційні системи допомагають у ситуаціях, коли необхідно швидко зорієнтуватися.
- 3) Соціальна інтеграція:
 - ці рішення сприяють створенню доступного середовища, яке не лише враховує потреби людей із вадами зору, а й робить їхню взаємодію з навколишнім світом більш комфортною.

Обмеження слухових підказок. Слухові підказки відіграють важливу роль у забезпеченні орієнтації людей із вадами зору в міському середовищі. Однак їх ефективність має певні обмеження, що можуть створювати додаткові труднощі [16]:

1. Відсутність підказок у деяких місцях. У багатьох локаціях, таких як невеликі міста, периферійні райони або навіть у певних зонах великих міст, слухові підказки можуть бути відсутні, що особливо критично для місць із високим рівнем шуму (наприклад, транспортні розв'язки, багатолюдні ринки), де людина з вадами зору може легко дезорієнтуватися.

2. Потреба в додатковій допомозі. У таких ситуаціях важливим є підтримка з боку суспільства. Наприклад, помітивши людину з білою тростиною або собакою-поводирем, інші люди можуть запропонувати допомогу, допомігши зорієнтуватися чи дістатися потрібного місця.

3. Мобільність і самостійність. Багато людей із вадами зору прагнуть залишатися мобільними та незалежними, навіть якщо їхні фінансові можливості обмежені. Послуги доставки, які могли б спростити їхній побут, не завжди доступні через високу вартість. Водночас самостійне пересування допомагає їм почуватися впевненими у своїх силах і підтримувати активний спосіб життя.

4. Психологічний аспект. Втрата зору — це важке випробування, але багато людей знаходять у собі сили адаптуватися до нових умов. Важливо, щоб суспільство сприяло їхній інтеграції та створювало умови для комфортного пересування, що допомагає зберігати позитивний життєвий настрій і уникати депресивних станів.

Відсутність стандартизації та обслуговування. Ще однією проблемою є відсутність єдиних стандартів для звукових сигналів, що створює плутанину та знижує ефективність таких систем [16]:

1. Нестача узгодженості у звукових сигналах. У різних місцях однакові звукові сигнали можуть мати різне призначення. Наприклад, звук, який у одному місці позначає перехід для пішоходів, в іншому може сигналізувати про іншу дію. Така непослідовність може дезорієнтувати людину, особливо якщо вона звикла до певних звукових асоціацій.

2. Розробка сигналів без урахування потреб користувачів. Багато звукових підказок створюють люди, які самі не стикаються з проблемами зору. Вони можуть не розуміти специфічних потреб таких користувачів, що призводить до невідповідності сигналів реальним запитам.

3. Важливість обслуговування систем. Звукові системи потребують регулярного технічного обслуговування. Несправні або некалібровані сигнали можуть не лише заплутати людину, а й створити потенційно небезпечні ситуації. Наприклад, неправильно налаштований сигнал на пішохідному переході може призвести до нещасного випадку.

4. Потенційні наслідки відсутності стандартизації. Відсутність надійності слухових підказок може призвести до того, що люди з вадами зору перестануть

покладатися на ці системи. Це, у свою чергу, обмежить їхню мобільність і створить додаткові бар'єри для повноцінної участі в суспільному житті.

Для поліпшення умов життя людей із вадами зору необхідно:

- розробити єдині стандарти для слухових сигналів;
- враховувати потреби самих користувачів під час створення звукових підказок;
- забезпечити регулярне технічне обслуговування таких систем.

1.3 Використання технологій у засобах орієнтації

Сьогодні технології відіграють важливу роль у різних сферах життя, і одним із найзначніших їхніх досягнень є покращення умов для людей із вадами зору. Раніше існували лише традиційні засоби, такі як білі тростини чи собаки-поводирі. Вони залишаються актуальними і зараз, але їх можливості обмежені, а використання сучасних технологій значно розширило можливості людей з вадами зору.

Традиційні засоби, такі як білі тростини чи собаки-поводирі, історично були основними помічниками для сліпих людей. Вони допомагають уникати фізичних перешкод і орієнтуватися в просторі. Проте їх функціонал є базовим і не завжди дозволяє оперативно отримувати детальну інформацію про оточення, що обмежує мобільність і незалежність людини в сучасному світі [6, 15-16].

Сучасні технології значно змінили ситуацію, пропонуючи нові інструменти, які спрощують життя людям із вадами зору. Наприклад, мобільні додатки на смартфонах можуть використовувати різноманітні технології для підтримки людей. Серед них (див. рис. 1.16) [17]:

1. Звуковий зворотний зв'язок. Технології з аудіопідказками дозволяють отримувати інформацію про оточення в реальному часі. Наприклад, вони

допомагають визначити місцезнаходження предметів чи попереджають про перешкоди.

2. Датчики та пристрої просторового орієнтування. Вони можуть виявляти фізичні перешкоди або змінювати середовище таким чином, щоб користувач міг безпечно пересуватися.

3. Штучний інтелект і машинне навчання. Ці технології дозволяють аналізувати оточення, розпізнавати об'єкти, читати текст і навіть ідентифікувати обличчя. Наприклад, деякі додатки можуть «читати» написи або попереджати про світлофор.



Рисунок 1.16 – Технології у орієнтації: мобільні додатки

Сучасні технології підвищують рівень мобільності, незалежності та комфорту для людей з вадами зору. Завдяки таким інструментам вони можуть більш активно брати участь у суспільному житті, легко орієнтуватися в незнайомому середовищі та отримувати доступ до інформації, яка раніше була недосяжною.

Електронні засоби орієнтування. Сучасні технології навігації, зокрема GPS (глобальна система позиціонування), стали важливим інструментом для полегшення життя людей із вадами зору. Ці технології забезпечують орієнтацію на місцевості та сприяють підвищенню незалежності й мобільності. Однак, як і будь-яка технологія, GPS має як переваги, так і обмеження, які потрібно враховувати [18].

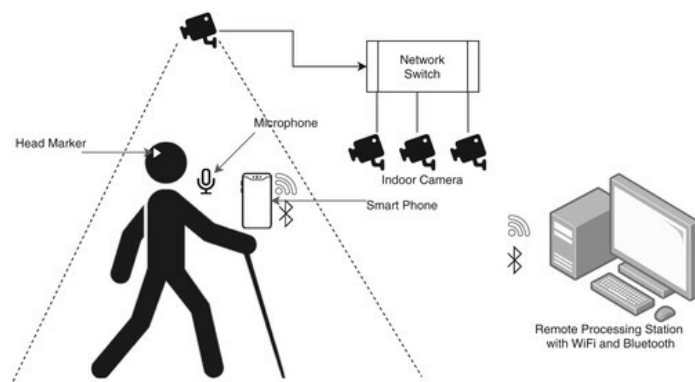


Рисунок 1.17 – Взаємодія пристроїв зі системами для навігації
у закритих приміщеннях

GPS-системи функціонують на основі взаємодії пристрою з супутниками. Зокрема, смартфони, оснащені GPS-модулями, через додатки (наприклад, Google Maps) здатні надавати покрокові навігаційні інструкції.

Для людей із вадами зору такі інструкції адаптуються у вигляді звукових підказок, які повідомляють:

- маршрут до місця призначення;
- назви вулиць;
- відстань до потрібного повороту;
- інформацію про прилеглі об'єкти.

Спеціалізовані додатки для орієнтації. Google Maps може запропонувати голосові підказки, допомагаючи людині слідувати маршрутом.

Спеціалізовані додатки, як BlindSquare чи Soundscape, надають більш детальні звукові інструкції, спеціально адаптовані для потреб людей із порушеннями зору [19-20].

BlindSquare. Цей додаток розроблений для людей із вадами зору і використовує голосові підказки. Він інтегрується з Open Street Map і описує навколишнє середовище (див. рис. 1.18) [19]:

- назви вулиць;
- місця поблизу;
- маршрути до конкретних точок.



Рисунок 1.18 – Спеціалізовані додатки для орієнтації: BlindSquare

BlindSquare також підтримує роботу з навушниками чи смарт-окулярами, які можуть аналізувати навколишнє середовище за допомогою камер і передавати звукову інформацію про перешкоди.

Soundscape (Microsoft). Soundscape використовує технологію 3D-аудіо, створюючи просторові звукові підказки. Користувач отримує відчуття напрямку завдяки зміненим звуковим сигналам, які вказують, куди саме потрібно йти, що дозволяє людині інтуїтивно орієнтуватися, не лише спираючись на голосові команди, а й реагуючи на тривимірне аудіо (див. рис. 1.19) [20].



Рисунок 1.19 – Спеціалізовані додатки для орієнтації: Soundscape (Microsoft)

Переваги використання GPS для людей із вадами зору:

1. Мобільність і незалежність: людина може пересуватися без необхідності постійно звертатися за допомогою до інших.

2. Інтуїтивна орієнтація: завдяки звуковим підказкам та просторовому аудіо з'являється можливість легко адаптуватися до нового середовища.

3. Деталізація інформації про маршрут: GPS-додатки допомагають уникати зайвих перешкод, пропонуючи найзручніший маршрут.

Обмеження технології GPS:

1) Точність і доступність сигналу

- у густонаселених районах чи серед висотних будівель сигнал GPS може ослаблюватися, що призводить до неточностей у визначенні місця розташування;
- у віддалених місцевостях з поганим мобільним покриттям система може працювати нестабільно.

2) Відсутність реального часу виявлення перешкод

- GPS не здатний визначати фізичні перешкоди, наприклад:
 - нерівності на дорозі;
 - рухомі об'єкти.

Додатки, як Google Maps, не розроблені спеціально для людей із вадами зору. Їхня функціональність, орієнтована на візуальне використання, не враховує всіх потреб цієї аудиторії.

Щоб отримати максимальну ефективність від навігації, люди з вадами зору часто поєднують [6-13, 17-20]:

- традиційні інструменти (білі тростини, собаки-поводирі);
- спеціалізовані додатки;
- когнітивну карту маршруту, яка формується з досвіду пересування.

Таке поєднання технологій та інструментів забезпечує найкращу адаптацію до середовища.

Носимі пристрої та датчики. У сучасних смартфонах та інших мобільних пристроях, таких як планшети, зазвичай вбудовані GPS-модулі – технологія дозволяє орієнтуватися на місцевості, використовуючи супутникові сигнали. Дані GPS часто інтегруються з картографічними сервісами, наприклад, OpenStreetMap

— відкритою платформою, на основі якої створюється багато карт і систем навігації.

Однак, можливості GPS обмежені: він здатен прокладати маршрути і повідомляти, наприклад, коли і куди потрібно повернути, але не може попередити про перешкоди на шляху, як-от бордюри, сходи чи низько розташовані гілки.

Для незрячих або слабозорих людей недостатньо знати лише напрямок руху. Важливою є інформація про об'єкти, які потрібно оминати, щоб уникнути травм. У таких випадках стандартний GPS є недостатнім, тому люди часто користуються білими тростинами – ці тростини допомагають механічно виявляти перешкоди, але не є технологічними пристроями.

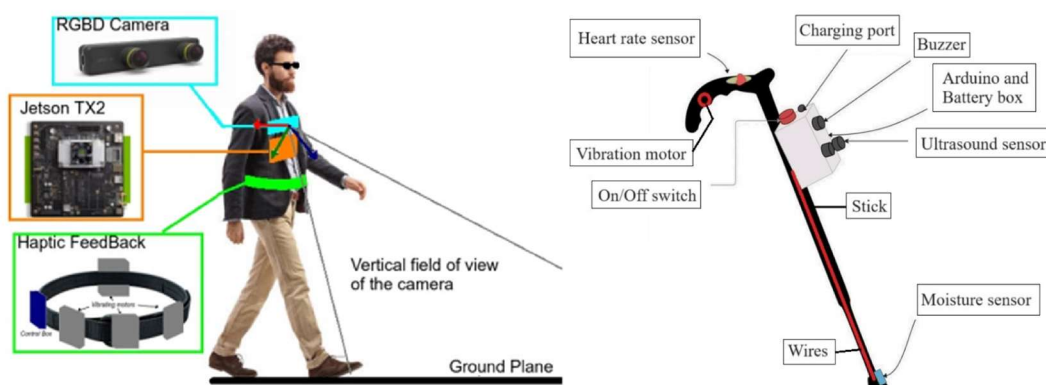


Рисунок 1.20 – Прототипи носимих пристроїв для людей з вадами зору

Розвиток технологій привів до появи спеціальних носимих пристроїв, які доповнюють можливості GPS [21-22]:

1. Розумні годинники та браслети. Ці пристрої оснащені датчиками, які можуть сканувати простір навколо людини. Вони попереджають про перешкоди за допомогою звукових сигналів або тактильних вібрацій.

2. Датчики навколишнього середовища. Сучасні пристрої використовують технології ультразвуку, інфрачервоного випромінювання чи вбудованих камер, щоб точніше визначати наявність перешкод.

3. Інтеграція з GPS. Носимі пристрої поєднують дані GPS з іншими сенсорами, створюючи більш повну картину навколишнього середовища.

Такі пристрої допомагають людям з вадами зору:

- отримувати більш точну інформацію про навколишнє середовище;
- підвищувати рівень безпеки під час пересування;
- почуватися незалежніше навіть у складних умовах (наприклад, у шумному місті).

Деякі пристрої здатні адаптуватися до індивідуальних потреб користувача, наприклад, відображаючи спрощену «візуальну» картину за допомогою аудіосигналів або інших зручних способів, що особливо корисно для людей, які не можуть повноцінно використовувати слух або дотик у складних умовах.

Датчики наближення й ультразвукові пристрої є сучасними інструментами, які значно підвищують рівень мобільності та безпеки людей з вадами зору. Вони працюють за принципом випромінювання звукових хвиль, що відбиваються від поверхонь. Відбиті хвилі дозволяють пристрою обчислювати відстань до об'єктів та їхнє розташування.



Рисунок 1.21 – Розроблений прототип носимого пристрою: розумна тростина

Такі пристрої зазвичай портативні й можуть бути прикріплені до різних частин тіла або виступати окремим носимим пристроєм (див. рис. 1.20-1.21) [21-23]:

1. Зап'ястя (наприклад, браслети) – пристрої на основі вібрацій передають інформацію про відстань до об'єктів. Чим ближче об'єкт, тим інтенсивніші й частіші вібрації.

2. Жилети чи ремені – забезпечують сканування навколишнього простору без потреби тримати пристрій у руках.

Як приклад, Sunu Band — це такий ультразвуковий браслет, який дозволяє виявляти перешкоди на відстані кількох метрів, використовуючи вібрації для зворотного зв'язку (див. рис. 1.22) [23].



Рисунок 1.22 – Пристрій, що вийшов у масове виробництво:
браслет з ультразвуковим датчиком

Переваги ультразвукових пристроїв:

1. Допомагають розпізнавати перешкоди у складних середовищах, наприклад, у багатолюдних місцях чи на жвавих вулицях.
2. Покращують просторове сприйняття, дозволяючи людині створити «когнітивну карту» простору.
3. Можуть працювати незалежно від зовнішнього освітлення, оскільки ультразвук не залежить від видимості.

Обмеження ультразвукових пристроїв:

1. Потребують зарядки, оскільки активно використовують акумулятори, що може призвести до дезорієнтації, якщо пристрій розрядиться у важливий момент.
2. Для повноцінного використання потрібно час для адаптації, оскільки користувачу необхідно навчитися інтерпретувати вібрації або звукові сигнали.

Розумні окуляри та датчики на основі камер. Розумні окуляри з вбудованими камерами відкривають нові можливості для людей з вадами зору. Вони працюють за допомогою камер, які знімають відео в реальному часі, і датчиків, що аналізують отриману інформацію.

Приклади реальних пристроїв [25-26]:

1. Aira – окуляри, що дозволяють користувачу підключитися до агента, який у реальному часі надає аудіоописи ситуації (див. рис. 1.23).
2. ESight – розроблені для людей зі зниженим зором, ці пристрої покращують залишкове бачення, допомагаючи розпізнавати об'єкти (див. рис. 1.24).



Рисунок 1.23 – Пристрій, що вийшов у масове виробництво:
розумний гарнітур зі інтеграцією підказок агента-волонтера (у режимі дзвінка)



Рисунок 1.24 – Пристрій, що вийшов у масове виробництво: розумна гарнітура

Можливості розумних окулярів та датчиків на основі камер:

- ідентифікація та класифікація об’єктів;
- читання текстів у реальному часі;
- навігаційна допомога у складних середовищах з високим рівнем шуму або руху.

Обмеження розумних окулярів та датчиків на основі камер:

- висока вартість робить пристрої малодоступними для широких верств населення;
- обмежений час роботи акумулятора через значне енергоспоживання;
- питання конфіденційності: постійний запис відео може викликати занепокоєння через можливість витоку або зламу даних.

Використання смартфонів для допомоги людям із вадами зору. Смартфони стали невід’ємною частиною нашого життя. Їх використовують майже всі, адже вони об’єднують у собі численні функції та можливості, що особливо корисними смартфони є для людей із вадами зору (див. рис. 1.25). Завдяки спеціальним додаткам і технологіям, ці пристрої допомагають людям орієнтуватися у просторі, отримувати необхідну інформацію, та навіть розв’язувати повсякденні завдання без необхідності купувати дорогі спеціалізовані пристрої [27].



Рисунок 1.25 – Пристрій, який є у всіх: смартфон

Переваги смартфонів:

1. Доступність. Сучасні смартфони стали більш доступними за ціною порівняно зі спеціальними пристроями.
2. Універсальність. Один пристрій може виконувати функції, які раніше потребували окремого обладнання.
3. Інтеграція технологій. Використання штучного інтелекту, аудіовідгуків і технологій комп'ютерного зору дозволяє пристроям надавати користувачам інформацію в реальному часі.

Додаток для смартфона – *Seeing AI (Microsoft)*. Один із найбільш популярних додатків для людей із вадами зору. Розроблений корпорацією Microsoft, він використовує комп'ютерний зір на основі штучного інтелекту, щоб описувати навколишнє середовище (див. рис. 1.26) [28].

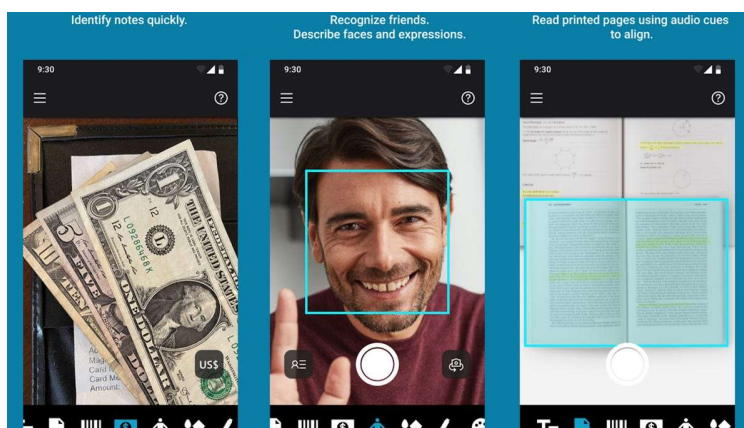


Рисунок 1.26 – Додаток для смартфона: Seeing AI

Основні можливості [28]:

1. Розпізнавання тексту – режим швидкого читання коротких текстів і сканування документів.
2. Ідентифікація об'єктів – визначення продуктів, предметів, одягу та інших об'єктів.
3. Розпізнавання облич – визначення людей із голосовими підказками.
4. Опис оточення – допомога у складних місцях з високим рівнем шуму чи трафіку. Seeing AI вже довів свою ефективність як для орієнтації, так і для виконання щоденних завдань.

Додаток для смартфона – Be My Eyes. Унікальний додаток, розроблений у Данії, заснований на ідеї взаємодії людей із вадами зору зі зрячими волонтерами (див. рис. 1.27) [29].



Рисунок 1.27 – Додаток для смартфона: Be My Eyes

Основні можливості [29]:

1. Людина з вадами зору може звернутися за допомогою до волонтера через відеодзвінок.
2. Волонтери допомагають із розпізнаванням об'єктів, знаків чи орієнтацією в новому 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 та емпатією.

Додаток для смартфона – Google Lookout. Ще один популярний додаток, розроблений компанією Google, використовує штучний інтелект для допомоги людям із вадами зору (див. рис. 1.28) [30].

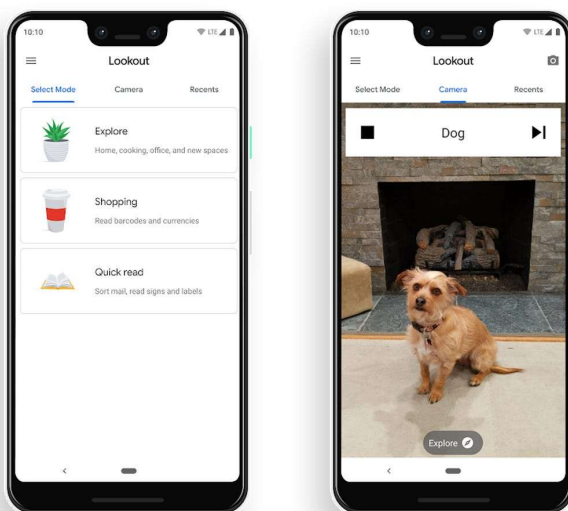


Рисунок 1.28 – Додаток для смартфона: Google Lookout

Основні можливості [30]:

1. Розпізнавання об'єктів у реальному часі.
2. Читання текстів вголос, включаючи сканування документів і етикеток.
3. Режим покупок – допомога у скануванні штрих-кодів і етикеток для здійснення покупок.
4. Режим дослідження – опис навколишніх об'єктів, що дозволяє легше орієнтуватися у новому середовищі. Google Lookout особливо корисний для людей, які прагнуть самостійності в повсякденних завданнях.

Додатки для смартфонів є вагомим кроком вперед у підтримці людей з вадами зору. Вони доповнюють традиційні засоби, такі як білі тростини чи собаки-поводирі, і надають новий функціонал, який раніше здавався недосяжним. Ось основні переваги [19, 20, 27-30]:

1. Доступність смартфонів – більшість людей вже мають смартфони, які є відносно недорогими. Завдяки цьому не потрібно купувати додаткові пристрої, як спеціалізовані браслети чи гаджети.

2. Різноманіття додатків – у Google Play та App Store доступні безкоштовні програми, розроблені спеціально для людей з вадами зору, що робить технології доступними для широкого кола користувачів.

3. Інтерфейс, адаптований для незрячих: смартфони підтримують кастомізовані інтерфейси. Наприклад, екран може проговорювати назви кнопок або елементів меню при дотику, що дозволяє людям без зору орієнтуватися і працювати зі смартфоном без сторонньої допомоги.

4. Покращення адаптації до реального світу – програми допомагають людям, які втратили зір недавно, або тим, хто ніколи не бачив, швидше адаптуватися до сучасного середовища. Завдяки додаткам вони можуть краще орієнтуватися, отримувати доступ до інформації та взаємодіяти з іншими.

5. Функціональність у повсякденному житті – смартфони з такими програмами дозволяють не лише дзвонити чи слухати музику, а й використовувати функції, як-от GPS-навігація, розпізнавання об'єктів через камеру або читання тексту вголос.

6. Спільнота та постійний розвиток – розробники активно вдосконалюють існуючі програми та створюють нові, що сприяє розвитку технологій і підвищенню якості життя людей з вадами зору.

Попри численні переваги, є низка проблем, які впливають на ефективність використання таких програм:

1. Залежність від інтернету – більшість додатків вимагають підключення до інтернету для роботи, що означає, що користувачі повинні мати стабільний мобільний зв'язок і оплачувати тарифні плани. Проблеми виникають у районах зі слабким сигналом, що може призводити до збоїв у роботі GPS чи інших сервісів.

2. Високе енергоспоживання – постійне використання GPS, камери чи інших функцій швидко розряджає смартфон. У разі розрядження батареї можуть відключитися важливі функції, наприклад, навігація, що здатне призвести до дезорієнтації.

3. Обмеження алгоритмів штучного інтелекту – хоча штучний інтелект активно розвивається, він поки не може обробляти дані настільки швидко та точно,

як це необхідно в реальному часі, що створює ризики, особливо в динамічних ситуаціях, наприклад, під час переходу через дорогу.

4. Етичні питання конфіденційності – деякі додатки використовують камери для відеофіксації або передають інформацію про місцезнаходження, що може викликати дискомфорт чи навіть побоювання у користувачів.

5. Технічні обмеження – сучасні технології, як-от розпізнавання об'єктів або тексту через камеру, не завжди працюють ідеально, що може спричиняти затримки в отриманні інформації, що особливо критично в непередбачуваних ситуаціях.

1.4 Психологічні та соціальні аспекти орієнтації

Орієнтація та мобільність для людей із вадами зору – це більше, ніж просто практичні навички. Вони впливають на багато аспектів їхнього життя, зокрема психологічний стан, соціальну інтеграцію та якість життя загалом. Здатність самостійно пересуватися в різних умовах дозволяє людині з вадами зору відчувати себе впевненою, активно взаємодіяти із суспільством і розширювати свої можливості.

Однак шлях до розвитку цих навичок часто супроводжується складнощами, які можуть бути незрозумілими для людей без обмежень зору. До цих труднощів належать як особистісні виклики, пов'язані з адаптацією до нового способу життя, так і соціальні бар'єри, що можуть стримувати повноцінну інтеграцію.

Психологічний вплив незалежності. Самостійна орієнтація для людей із вадами зору є джерелом глибокого почуття автономії та самовизначення. Коли людина може без сторонньої допомоги пересуватися, вона почувається більш психологічно стійкою. Така незалежність позитивно впливає на емоційний стан, знижуючи рівень тривоги й стресу (див. рис. 31) [31]



Рисунок 1.29 – Людям з вадами зору кортить бути незалежними

Мобільність має вирішальне значення не тільки як практичний навик, а й як інструмент для досягнення емоційної стабільності. Люди, які вільно орієнтуються у просторі, можуть зосередитися на інших аспектах свого життя, таких як особистісний розвиток, участь у суспільному житті та досягнення особистих цілей.

Розвиток впевненості в собі. Оволодіння навичками орієнтації та мобільності вселяє у людей із вадами зору впевненість у власних силах (див. рис. 1.30), що дозволяє їм брати участь у суспільному житті нарівні з іншими: працювати, навчатися, брати участь у заходах та приймати важливі рішення [32].



Рисунок 1.30 – Розвиваючи впевненість, люди з вадами зору долають будь-які перешкоди

Здатність до самостійного пересування відкриває нові можливості. Завдяки цьому людина може використовувати як традиційні інструменти (наприклад, білі тростини), так і сучасні технології для досягнення своїх цілей. Цей досвід формує відчуття самодостатності, яке зменшує залежність від інших і сприяє розкриттю потенціалу.

Зниження тривоги та підвищення емоційної стабільності. Люди з вадами зору, які опановують навички орієнтації, поступово долають страх і тривогу, пов'язані з незнайомими місцями та непередбачуваними умовами, такими як шумні вулиці чи громадський транспорт [31-32].

З часом, завдяки використанню органів чуття, допоміжних інструментів і сучасних технологій, такі люди відчують зниження рівня стресу, що дозволяє їм адаптуватися до різних умов середовища, підвищуючи емоційну стабільність і покращуючи якість життя.

Розвиток навичок орієнтації і мобільності відкриває для людей із вадами зору можливість жити повноцінним життям, бути незалежними та рівноправними членами суспільства. Як і люди з іншими обмеженнями, вони здатні досягати успіху у різних сферах, розвиватися особистісно та отримувати задоволення від життя.

Покращення соціальної взаємодії. Для людей із вадами зору розвиток соціальної взаємодії є важливим аспектом їхнього повсякденного життя. Набуття незалежності в орієнтації в середовищі, де вони перебувають, сприяє швидшому розвитку їхніх соціальних можливостей. Здатність вільно пересуватися дозволяє людям із вадами зору зустрічатися зі старими друзями, знайомитися з новими людьми, брати участь у різних заходах, семінарах та громадських подіях, що допомагає долати матеріально-технічні перешкоди, особливо для тих, хто лише адаптується до нових умов після втрати зору (див. рис. 1.31) [33].



Рисунок 1.31 – Люди з вадами зору необхідно з самого початку прививати соціальність

Коли людина з вадами зору відчуває впевненість у своїй здатності орієнтуватися в просторі, вона частіше бере участь у групових заходах, розширює соціальні зв'язки, що значно зменшує почуття ізоляції та покращує якість життя. Для людей, які тільки втратили зір, це є особливо важливим, оскільки вони можуть переживати сильний відчай. Швидке подолання цього стану сприяє їхній адаптації до нових умов і підвищенню рівня життя.

Важливу роль у цьому процесі можуть відігравати як сторонні люди, які готові допомагати, так і сучасні технології, створені для підтримки людей із вадами зору. Завдяки цьому вони відчувають себе більш впевненими та здатними повноцінно брати участь у житті суспільства. Підвищення мобільності й активності сприяє формуванню позитивної самооцінки, оскільки людина відчуває себе корисною і здатною взаємодіяти з іншими на рівних.

Мобільність та орієнтація у просторі є ключовими аспектами соціальної інтеграції для людей із вадами зору. Вони безпосередньо впливають на доступ до освіти, працевлаштування та участь у громадських заходах. Це, своєю чергою, сприяє досягненню як освітніх, так і професійних результатів, а також формуванню міцних зв'язків із громадою [31-33].

Водночас люди із вадами зору стикаються з численними проблемами, такими як фізична недоступність певних місць або помилкові стереотипи щодо їхніх

можливостей. Наприклад, деякі люди можуть вважати, що особи з вадами зору не здатні виконувати певні завдання, що призводить до дискримінації та ізоляції.

Доступ до освіти та працевлаштування. Для учнів і студентів із вадами зору доступ до освіти є критично важливим для їхнього подальшого розвитку. У школах і університетах такі студенти потребують навичок самостійної орієнтації, щоб знаходити аудиторії, користуватися навчальними ресурсами та повноцінно брати участь у навчальному процесі. Добре розвинені навички орієнтації сприяють досягненню навчальних цілей, тоді як їхній недолік може створювати бар'єри для взаємодії з однолітками та впливати на успішність (див. рис. 1.32) [34].



Рисунок 1.32 – Рівність між людьми у освіті та працевлаштуванні

На робочому місці мобільність є не менш важливою. Люди із вадами зору, які можуть самостійно пересуватися та орієнтуватися, демонструють вищу продуктивність, легше інтегруються в колектив і виконують свої обов'язки на рівні з іншими працівниками. Роботодавці охочіше наймають таких співробітників, оскільки вони потребують мінімальної допомоги. Водночас обмеження у мобільності зменшують кар'єрні можливості, що може призвести до економічних труднощів та ізоляції (див. рис. 1.32) [35].

Участь у житті громади. Окрім освіти й роботи, мобільність впливає на здатність людей із вадами зору брати участь у житті громади. Вони можуть відвідувати місцеві заходи, спілкуватися з друзями чи знайомитися з новими людьми. Однак обмежена мобільність може стати суттєвою перешкодою для соціальної активності, особливо якщо людина живе в місцевості, де транспорт чи допоміжні засоби недоступні.



Рисунок 1.33 – Можливість інтегруватися на рівних у суспільстві

Соціальна взаємодія допомагає людям із вадами зору подолати почуття ізоляції, тривоги й страху. Участь у громадських процесах дозволяє їм відчувати свою значущість і причетність до спільноти (див. рис. 1.33) [36]. Якщо ж оточення ставиться до них негативно, це може призвести до ще більшої ізоляції. Тому підтримка громади, адаптація середовища та розвиток навичок орієнтації є ключовими факторами для покращення якості життя людей із вадами зору.

Для людей із вадами зору соціальна інтеграція є надзвичайно важливою, адже вона дозволяє відчувати себе повноцінною частиною суспільства. Проте, навіть за наявності мотивації, такі люди часто стикаються з численними перешкодами, що ускладнюють їхню повсякденну діяльність.

Основні проблеми виникають через недоступність або погану адаптацію суспільного середовища до їхніх потреб:

1. Недоступні громадські місця. Багато будівель, тротуарів і доріг спроектовані без урахування потреб людей із вадами зору, що може проявлятися у вигляді нерівних тротуарів, відсутності тактильних доріжок чи нечітких вказівників.

2. Обмеженість інформаційних систем. Відсутність тактильних індикаторів, аудіопідказок та інших доступних технологій створює бар'єри для незалежного пересування. Наприклад, відсутність написів шрифтом Брайля на інформаційних табличках чи кнопках в ліфтах.

3. Ізоляція та нерозуміння. Брак розуміння проблем людей із вадами зору у суспільстві може спричинити їхню соціальну ізоляцію, коли вони відчують себе виключеними зі спільнот.

Рішення цих проблем потребує масштабної роботи над створенням інклюзивного середовища. Зокрема, впровадження шрифту Брайля на загальнодоступному рівні повинно стати нормою, адже люди з вадами зору складають значну частину суспільства [5, 8].

Перешкоди у впровадженні нових технологій. Новітні технології мають великий потенціал для покращення якості життя людей із вадами зору. Вони допомагають орієнтуватися у просторі, забезпечують мобільність та сприяють незалежності. Серед таких інновацій можна виділити розумні тростини, мобільні додатки чи переносні сенсори. Однак низка факторів стримує їх широке впровадження:

1. Вартість технологій. Багато інноваційних пристроїв, таких як розумні тростини чи спеціалізовані мобільні додатки, мають високу ціну. Для людей із низьким доходом або без страхового покриття ці технології залишаються недоступними. Вони змушені покладатися на традиційні інструменти, які, хоча й корисні, не забезпечують високого рівня функціональності.

2. Доступність пристроїв. Часто спеціалізовані продукти випускаються обмеженими тиражами, адже компанії орієнтуються на масовий ринок, де більшість споживачів – люди без порушень зору, що призведе до ситуацій, коли потрібний пристрій просто недоступний для придбання. Крім того, деякі нові пристрої можуть бути несумісними з популярними програмами (наприклад, програмами зчитування екрану), що обмежує їх використання.

3. Опір змінам. Люди з вадами зору, які вже адаптувалися до традиційних інструментів (білих тростин чи собак-поводирів), можуть не бажати переходити на нові пристрої, що пов'язано з небажанням навчатися з нуля, а також із впевненістю у надійності звичних методів. Високий рівень навичок роботи зі старими інструментами часто стримує прийняття нових рішень.

Щоб зменшити існуючі бар'єри:

1. Знизити вартість інновацій. Потрібна підтримка з боку держави та благодійних організацій для субсидування сучасних пристроїв.
2. Забезпечити широку доступність. Необхідно розширити виробництво спеціалізованих продуктів, щоб уникнути їх дефіциту.
3. Популяризувати інновації. Важливо проводити інформаційні кампанії, що допомагають людям із вадами зору зрозуміти переваги сучасних технологій і підтримують їх у процесі адаптації.

Технологічна грамотність і вимоги до навчання. Однією з головних перешкод у використанні новітніх технологій для людей з вадами зору є недостатній рівень технологічної грамотності. Для багатьох із них цей аспект стає значною проблемою, оскільки вони часто не мають досвіду роботи з електронними пристроями, такими як смартфони, планшети чи інші цифрові інструменти.

Люди з вадами зору, які раніше не користувалися технологіями, можуть навіть не знати, що собою представляють такі поняття, як мобільні додатки, сенсори чи інтерфейси. Для них ці пристрої залишаються загадкою, адже вони не мають можливості побачити інтерфейси або зрозуміти їхню структуру, що створює значні труднощі на етапі навчання, коли людині потрібно освоїти базові принципи взаємодії з пристроєм.

Процес навчання використанню нових технологій для людей з вадами зору потребує адаптованих методів. Часто такі навчальні програми недоступні або не враховують індивідуальні потреби. Для людей похилого віку ця проблема ускладнюється ще більше, адже навіть при візуальному контакті з пристроєм вони нерідко стикаються з труднощами через відсутність досвіду. Для осіб з вадами зору це подвійно складно, оскільки вони ніколи не бачили, як виглядає інтерфейс чи сам пристрій. Відтак, вони можуть відчувати страх або невпевненість перед новими технологіями.



Рисунок 1.34 – Технології не замінюють традиційні навички, а доповнюють їх

Додатковою перешкодою стає складність налаштування і обслуговування багатьох пристроїв. Люди з вадами зору можуть вважати такі дії надто трудомісткими або навіть неможливими без сторонньої допомоги, що сприяє формуванню опору до змін, особливо якщо людина вже звикла до традиційних методів орієнтації та сприймає нові технології як надмірно складні.

Для багатьох важливим фактором також стає попередній досвід. Якщо людина з вадами зору раніше не користувалася смартфонами чи іншими цифровими засобами, їй доведеться долати значні труднощі на шляху освоєння нових інструментів.

Занепокоєння щодо конфіденційності. Ще одним важливим аспектом є питання конфіденційності. Попри потенційні переваги нових технологій, деякі люди з вадами зору можуть відчувати занепокоєння щодо збереження персональних даних. Наприклад, сучасні інструменти орієнтації часто використовують штучний інтелект, камери, GPS або інші датчики, які збирають дані про місцезнаходження, дії чи оточення користувача, що може створювати дискомфорт через відчуття, що їхнє життя постійно відстежується.

Страх, що інформація про їх пересування або дії може бути передана третім особам чи використана неправомірно, є значним бар'єром у впровадженні таких технологій. Особливо це стосується тих людей, які не мають доступу до чіткого розуміння, як зберігаються і використовуються їхні дані.

Для вирішення цього питання виробники технологій повинні забезпечити прозору політику конфіденційності, яка гарантуватиме користувачам безпеку їхніх

даних. Важливо, щоб компанії переконали людей з вадами зору, що нові пристрої створені виключно для їхньої допомоги, а не для потенційного порушення приватності.

Однак остаточне рішення щодо впровадження нових технологій залишається за самими користувачами. Вони мають право обирати між традиційними методами орієнтації або доповненням їх сучасними технологіями. У багатьох випадках навіть використання смартфона з адаптивними додатками може значно полегшити життя, наприклад, у складних міських умовах з високим рівнем шуму, інтенсивним трафіком і великою кількістю людей.

1.5 Перспективи використання сучасних технологій для покращення орієнтування

Сучасні технології відкривають значні перспективи для людей з вадами зору, кардинально змінюючи їхній спосіб життя, забезпечуючи мобільність, безпеку та впевненість у власних силах. Такі інструменти дозволяють не лише полегшити виконання повсякденних завдань, але й допомагають людині інтегруватися в суспільство, надаючи можливість почуватися рівною з іншими.

Проте ключовою особливістю використання цих технологій є не лише виконання функціональних завдань, таких як самостійне пересування чи орієнтація. Для людей з вадами зору важливо також досягти ментальної, емоційної та психологічної гармонії. Нові технології, починаючи від традиційних білих тростин і собак-поводирів, до високотехнологічних рішень, таких як пристрої з елементами штучного інтелекту, створюють додаткові можливості для покращення якості життя.

Досягнення штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання стали справжнім проривом у сфері технологій, зокрема для людей з вадами зору. Завдяки алгоритмам обробки великих масивів

даних, ці технології виконують складні завдання за мінімальний час. ШІ дозволяє [21, 37]:

- розпізнавати об'єкти у реальному часі з високою точністю;
- ідентифікувати перешкоди та орієнтири, полегшуючи самостійне пересування;
- адаптуватися до середовища, враховуючи індивідуальні потреби користувача.

Завдяки цим можливостям пристрої на основі ШІ сприяють тому, щоб люди з вадами зору відчували себе більш впевнено та незалежно. Такі технології не лише допомагають вирішувати практичні завдання, але й покращують психологічний стан користувачів, даруючи їм відчуття контролю над своїм життям.

Люди з вадами зору, які вперше стикаються з такими технологіями, можуть відчувати певні страхи чи невпевненість. Особливо це стосується тих, хто не мав досвіду використання сучасних пристроїв, як-от смартфони чи інші цифрові інструменти. У таких випадках ШІ виконує функцію своєрідного «мосту», спрощуючи процес навчання та адаптації.

ШІ з машинним навчанням дозволяє пристроям «навчатися» у процесі взаємодії з користувачем, що робить їх максимально зручними та інтуїтивно зрозумілими, що усуває бар'єри для людей, які раніше не мали доступу до сучасних технологій.

Розвиток ШІ настільки стрімкий, що він вже інтегрується в повсякденні пристрої, зокрема смартфони та процесори. Вбудовані функції ШІ спрощують налаштування та використання пристроїв, що особливо актуально для людей з вадами зору. Такі пристрої автоматично налаштовуються відповідно до потреб користувача, зменшуючи складність процесу їх освоєння.

Виявлення об'єктів у режимі реального часу. Системи на основі штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) досягли значного прогресу у виявленні й ідентифікації об'єктів у реальному часі. Такі технології можуть істотно покращити якість життя людей із порушеннями зору, дозволяючи їм орієнтуватися в просторі за допомогою слухових або тактильних сигналів. Наприклад, пристрої

орієнтації на базі ІІІ часто оснащені камерами, які аналізують навколишнє середовище, визначають наявність та розташування об'єктів (сходи, двері, меблі тощо) і передають інформацію власнику через звукові сигнали [38-39].

Для передачі інформації найчастіше використовують навушники, які знижують вплив зовнішніх шумів і сприяють кращій концентрації на отримуваних даних. Сучасні навушники також можуть включати функцію шумопоглинання, що дозволяє відфільтровувати зайві звуки, зберігаючи лише важливі сигнали, наприклад, шум автомобіля чи голосові інструкції від пристрою.

Ці технології вимагають адаптації користувача. Важливо, щоб люди з вадами зору не втрачали своїх навичок користування традиційними інструментами (білою тростиною, собакою-поводирем тощо) та органами чуття, такими як слух і дотик. Надмірна залежність від технологій може призвести до проблем у випадках, коли пристрій перестає працювати (розряд батареї, технічна несправність), спричиняючи дезорієнтацію, страх і паніку.

ІІІ, який працює на основі нейронних мереж, здатний обробляти великі масиви даних, точно ідентифікуючи об'єкти. Камери в таких пристроях створюють ефект «штучного зору», дозволяючи людині розуміти, які об'єкти її оточують та де вони розташовані. Наприклад, система може виявити стілець, визначити його місцезнаходження та повідомити про це звуковим сигналом.

Особливо корисними такі пристрої є у складних середовищах із високим рівнем шуму (торгові центри, транспортні вузли), де звичайні органи чуття можуть бути перевантажені. Завдяки ІІІ користувачі можуть почуватися впевненіше, безпечніше та мобільніше.

Розпізнавання зображень і інтерпретація сцен. Окрім виявлення окремих об'єктів, системи на основі ІІІ та МН можуть аналізувати цілі сцени, що значно розширює можливості для людей із порушеннями зору, що дає змогу зрозуміти загальну картину того, що відбувається навколо. Наприклад, ІІІ може розпізнавати не лише фізичні об'єкти, а й текст на вивісках, малюнки, знаки чи навіть емоції людей, що знаходяться поруч [38-39].

Існують практичні реалізації цих технологій, наприклад, додатки Microsoft Seeing AI та Google Lookout, які використовують алгоритми нейронних мереж для розпізнавання текстів, об'єктів та сцен. Вони можуть допомагати людині з вадами зору отримувати точну інформацію про її оточення. Наприклад, додаток може визначити, що перед людиною знаходиться магазин із вивіскою «Обідня перерва», і передати цю інформацію голосовим синтезатором [28, 30].

Ще однією перспективною функцією є розпізнавання емоцій людей у реальному часі. Камери пристрою аналізують вираз обличчя співрозмовників і передають інформацію користувачеві, допомагаючи йому краще розуміти контекст розмови або ситуацію [39].

Виявлення об'єктів у реальному часі та уникнення перешкод. Штучний інтелект (ШІ) у поєднанні з машинним навчанням здатний суттєво змінити підхід до орієнтації людей із вадами зору в просторі. Зокрема, ці технології дозволяють [38-39]:

- розпізнавати статичні перешкоди: стільці, стіни, бордюри, двері тощо, які залишаються незмінними у просторі;
- виявляти динамічні об'єкти: пішоходів, транспорт, візки у супермаркетах або будь-які інші об'єкти, що постійно переміщуються.

Це особливо актуально у динамічних умовах, таких як багатолюдні місця, транспортні вузли чи супермаркети, де традиційні засоби, такі як білі тростини чи собаки-поводирі, не завжди ефективні. Пристрій на базі ШІ здатний обробляти інформацію у реальному часі, розпізнавати перешкоди, оцінювати їхнє положення (висота, напрямок, відстань) і надавати зворотний зв'язок користувачу у зрозумілій формі [39].

Інтегративні розумні пристрої. Розумні пристрої стають незамінними для людей із вадами зору завдяки можливості поєднувати кілька функцій в одному пристрої [30]:

1. Навігація: допомога у визначенні маршруту за допомогою GPS.
2. Розпізнавання об'єктів: забезпечення інформації про перешкоди на шляху.

3. Зворотний зв'язок: передача інформації через звук, вібрацію або інші канали.

Переваги багатофункціональних пристроїв:

- зменшення потреби у використанні кількох окремих пристроїв;
- підвищення мобільності та комфорту;
- можливість інтеграції з уже наявними пристроями, такими як смартфони, які можуть бути оснащені спеціалізованими додатками.

Інтеграція навігації та розпізнавання об'єктів. Сучасні розумні пристрої, такі як окуляри чи браслети, здатні поєднувати GPS-навігацію з функцією розпізнавання об'єктів для забезпечення більшої безпеки та незалежності. Вони дозволяють [30, 38-39]:

- збирати інформацію про об'єкти поблизу;
- визначати напрямок руху;
- запобігати зіткненням із перешкодами.

Носимі технології для постійного зворотного зв'язку. Сучасні носимі пристрої для людей із вадами зору мають суттєві переваги порівняно з традиційними інструментами, такими як білі тростини чи собаки-поводирі. Вони створені з урахуванням концепції «вільні руки», тобто їх можна легко закріпити на зап'ясті, поясі або носити у вигляді окулярів, що дозволяє звільнити людину від необхідності тримати пристрій у руках, що є особливо важливим для осіб із вадами зору, які мають бути максимально сконцентрованими під час пересування [24-26].

Підключення та обмін даними. Більшість носимих пристроїв використовують технології безпроводного зв'язку, як-от Bluetooth або Wi-Fi. Для пристроїв, які потребують обробки великих обсягів даних, наприклад, розумних окулярів із функцією відеофіксації, підключення через Wi-Fi є важливим, що дозволяє оновлювати програмне забезпечення, отримувати актуальну інформацію про місцезнаходження, аналізувати транспортний трафік чи щільність людського потоку [17-20].

Пристрої також можуть працювати автономно, виконуючи основні функції навіть без доступу до інтернету. Деякі з них оснащені можливістю підключення до

додатків, які забезпечують відеозв'язок із волонтером або знайомою людиною, що допомагає у вирішенні завдань, з якими користувач не може впоратися самотійно. Таке рішення є прикладом гармонійного поєднання людського ресурсу та технологій, яке підвищує ефективність і безпеку пересування [17-20, 24, 26-28].

Ініціативи «розумного міста». Із розвитком технологій «розумних міст» значно розширюються можливості інтеграції носимих пристроїв у загальну екосистему. Завдяки Інтернету речей (IoT) традиційні об'єкти інфраструктури, такі як світлофори, пішохідні переходи чи інформаційні табло, можуть взаємодіяти з пристроями людей із вадами зору. Наприклад, сигнали від світлофора можуть транслюватися безпосередньо на розумний браслет, попереджаючи про зміну сигналу.

Ця інтеграція нагадує взаємодію в рою бджіл чи мурах, де всі елементи системи координуються між собою, створюючи єдину ефективну мережу. Такі інновації дозволяють значно покращити умови життя для людей із вадами зору, підвищуючи їхню мобільність, незалежність та впевненість у собі.

Пішохідні переходи та розумні світлофори з підтримкою Інтернету речей. Сучасні технології дозволяють створювати інноваційні рішення для підвищення безпеки та комфорту пішоходів, зокрема людей із вадами зору. Одним із таких прикладів є розумні світлофори, які інтегровані з Інтернетом речей (IoT) [16, 18].

Ці світлофори оснащені датчиками, які здатні визначати кількість людей поблизу пішохідного переходу, аналізувати їхнє місце розташування і приймати рішення щодо зміни сигналу. Наприклад, якщо система розпізнає, що біля переходу знаходиться людина, вона автоматично перемикає світло на зелене, надаючи достатньо часу для безпечного перетину дороги.

Завдяки таким технологіям люди з вадами зору можуть відчувати себе впевненіше та безпечніше. Вони отримують чіткі вказівки щодо часу і напрямку переходу, що мінімізує ризики. Крім того, звукові сигнали дозволяють визначити, коли саме переходити дорогу, а сучасні системи враховують індивідуальні потреби пішоходів, наприклад, продовжують час зеленого сигналу для тих, хто рухається повільніше.

Удосконалений громадський транспорт. Розумні міста, базовані на Інтернеті речей, активно впроваджують нові можливості у громадському транспорті. Технології дозволяють у режимі реального часу отримувати інформацію про місцезнаходження автобусів, тролейбусів чи трамваїв. Завдяки використанню GPS-датчиків та інших датчиків пасажери можуть заздалегідь дізнатися, коли прибуде потрібний транспорт [16].

Особливо корисними ці інновації є для людей із порушеннями зору. За допомогою мобільних додатків вони можуть отримувати звукові повідомлення про час прибуття транспорту, маршрут, а також про найближчі зупинки, що виключає необхідність довгого очікування на зупинці та невизначеності щодо розкладу.

Додатково, транспортні вузли, такі як автостанції або залізничні вокзали, також стають більш доступними завдяки автоматизованим системам сповіщення. Синтезований або записаний диктором голос, використовуючи інформацію від датчиків та баз даних, може інформувати про прибуття або відправлення рейсів, надаючи необхідні вказівки. Замість традиційних оголошень, що залежать від людського фактора, автоматизовані системи забезпечують точність і своєчасність повідомлень.

РОЗДІЛ 2 ПРОРИВНІ РІШЕННЯ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1 Функції штучного інтелекту для створення пристроїв орієнтації

Штучний інтелект (ШІ) – це напрямок, який останнім часом стрімко розвивається завдяки використанню нейронних мереж. Ці мережі дозволяють ШІ навчатися надзвичайно швидко, адаптуючи свої алгоритми на основі великого обсягу даних. Завдяки численним зв'язкам у нейронних мережах, ШІ здатен обробляти величезні масиви інформації з високою швидкістю, що значно перевищує можливості людини.

На даний момент ШІ широко застосовується у різних сферах, зокрема для швидкого пошуку інформації, як, наприклад, у чатах на кшталт ChatGPT. Ці технології дають можливість користувачам знайти рішення навіть для складних проблем у значно коротший час, ніж це було раніше. У минулому, щоб вирішити проблему, доводилося годинами переглядати форуми, шукати схожі випадки та аналізувати рішення інших користувачів. Зараз такі завдання виконуються за лічені хвилини завдяки штучному інтелекту, який обробляє величезні обсяги даних і надає зрозумілу інформацію.

Одна з перспективних сфер застосування ШІ – допомога людям з вадами зору в орієнтації у просторі. Для вирішення таких задач можна створювати спеціалізовані ШІ-моделі, які здатні аналізувати зовнішнє середовище та трансформувати інформацію у доступний для таких людей формат [38-39]:

1. Тактильні сигнали. Використання вібрацій для інформування про перешкоди або напрямки руху.
2. Звукові сигнали. Озвучування розташування об'єктів у просторі, що дозволяє швидко зорієнтуватися.

Це можливо завдяки здатності ШІ розпізнавати оточення за допомогою вбудованих датчиків (камер, мікрофонів, LiDAR тощо) і аналізувати ці дані в

реальному часі. Наприклад, така система може визначити, чи є поблизу перешкода, і попередити людину через аудіо або тактильний сигнал (див. рис. 2.1) [40].



Рисунок 2.1 – ШІ, що допомагає розпізнавати вже знайомі обличчя

Використання ШІ для аналізу оточення забезпечує низку переваг [38-40]:

1. Швидкий доступ до інформації. ШІ обробляє дані значно швидше, ніж людина, надаючи своєчасну інформацію про середовище.
2. Підвищення безпеки. Завдяки точному аналізу ситуації та попередженням, людина з вадами зору може безпечно пересуватися навіть у незнайомих місцях.
3. Зниження стресу. ШІ допомагає уникати дезорієнтації, що покращує якість життя таких людей.
4. Підвищення незалежності. Людина може самостійно орієнтуватися, не залежачи від сторонньої допомоги.

Коли ми говоримо про пристрої орієнтації для людей із вадами зору, особливо про їх сучасніші варіанти, мова йде про інноваційні рішення, які виходять за межі звичайних електронних компонентів. Сучасні пристрої активно використовують штучний інтелект (ШІ), що відкриває нові можливості. Завдяки потужним алгоритмам машинного навчання, такі пристрої можуть виконувати численні функції, забезпечуючи ефективну та безперебійну навігацію для користувачів.

Штучний інтелект у цих пристроях здатен розпізнавати об'єкти, оцінювати глибину, вимірювати відстань між об'єктами, людьми, транспортом та іншими елементами оточення. Таким чином, пристрій формує комплексне уявлення про середовище, в якому перебуває людина з вадами зору, і транслює цю інформацію через органи чуття, які в таких людей особливо добре розвинуті – слух і дотик. Наприклад, інформація може передаватися у формі звуків, вібрацій чи інших тактильних сигналів, забезпечуючи зворотний зв'язок, що дозволяє краще орієнтуватися в просторі [38-39].

Розпізнавання об'єктів і розуміння сцени. Однією з ключових технологій, яка підтримує роботу таких пристроїв, є розпізнавання об'єктів. Для ШІ ця функція є основоположною, адже саме вона дозволяє ідентифікувати й маркувати різні об'єкти в реальному часі. Завдяки використанню глибоких нейронних мереж, таких як згорткові нейронні мережі, пристрої можуть аналізувати візуальні дані, розпізнаючи людей, транспортні засоби, перешкоди, як-от стовпи, стільці тощо. Технологія розбиває зображення на окремі фрагменти для подальшої класифікації, що дозволяє пристрою надавати людині точну й актуальну інформацію про оточення.

Ідентифікація об'єктів у реальному часі. Системи, що здатні розпізнавати об'єкти в реальному часі, є надзвичайно важливими для людей з вадами зору, незалежно від того, чи вони нещодавно втратили зір, чи живуть із цим обмеженням тривалий час. Завдяки зворотному зв'язку через органи чуття, які у незрячих зазвичай добре розвинені, такі технології дозволяють оперативно отримувати інформацію про навколишні об'єкти в середовищі, де перебуває користувач, що зменшує ризик зіткнень із перешкодами, сприяє швидкому пересуванню, пошуку безпечного маршруту та знижує стрес під час навігації [38-40].

Наприклад, пристрої на базі штучного інтелекту можуть миттєво ідентифікувати автомобілі (див. рис. 2.2), що наближаються, інших пішоходів або об'єкти, які можуть стати небезпечними [38-39]. Передача цієї інформації може здійснюватися через звукові сигнали або тактильний зворотний зв'язок, що є ідеальним рішенням для незрячих людей. Такий функціонал не лише підвищує

безпеку, але й сприяє їхній автономності, дозволяючи краще орієнтуватися в довкіллі та уникати потенційних небезпек.

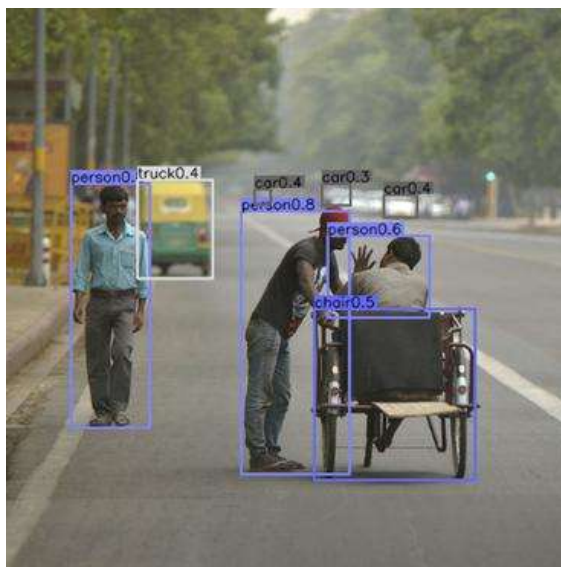


Рисунок 2.2 – Виявлення об’єктів у реальному часі

Позначення орієнтирів і пішохідних доріжок. Крім розпізнавання об’єктів, штучний інтелект може використовуватись для позначення важливих орієнтирів, таких як автобусні зупинки, лавки чи статуї, а також пішохідних доріжок, бордюрів або пішохідних переходів, що значно спрощує навігацію для людей із вадами зору, особливо в шумних міських умовах із високим рівнем трафіку.

Завдяки здатності розпізнавати знайомі об’єкти та структури (див. рис. 2.3), штучний інтелект допомагає користувачам створювати ментальні карти місцевості, які можуть використовуватися як з технологічною підтримкою, так і без неї [41]. Наприклад, виявлення пішохідних доріжок і сигналізація про небезпечні зони, такі як місця з інтенсивним рухом транспорту, дозволяє незрячим людям уникати аварійних ситуацій та безпечно пересуватися – це сприяє їхній незалежності, зменшує залежність від інших людей та підвищує загальну якість життя. Застосування таких технологій також позитивно впливає на емоційний стан користувачів, забезпечуючи впевненість у власних можливостях.

Розпізнавання вуличних знаків і тексту. Ще однією ключовою функцією систем на базі штучного інтелекту є здатність до оптичного розпізнавання тексту

(OCR) (див. рис. 2.3). Ця технологія дозволяє читати вуличні знаки, номери будинків або іншу текстову інформацію, що зазвичай недоступна людям із вадами зору. Наприклад, пристрої з такою функцією можуть попереджати про назви вулиць, номери будівель або інші позначення, які допомагають користувачам визначити своє місцезнаходження [41].



Рисунок 2.3 – Ідентифікація об’єктів та функція OCR для розпізнавання текстів

Особливо корисним це стає в міських умовах, де інформація про назви вулиць або номери будинків є критичною для пошуку потрібного місця. У поєднанні з GPS-навігацією такі пристрої можуть забезпечити незрівнянно точне та зручне пересування. Розпізнавання тексту відкриває нові можливості для автономії та інтеграції незрячих людей у міське середовище, роблячи їх пересування ефективнішим і безпечнішим.

Оцінка глибини та відстані. Однією з ключових можливостей, які може надати штучний інтелект людям із вадами зору, є здатність оцінювати глибину та відстань. Завдяки цьому технологічному досягненню, пристрої, створені для орієнтації у просторі, допомагають людям, які нещодавно втратили зір, або тим, хто живе з цією вадою довгий час, краще розуміти своє оточення. Використання таких пристроїв дозволяє аналізувати просторові взаємозв’язки між користувачем і об’єктами навколо, що значно знижує ризик зіткнення [42].

Наприклад, застосування стереоскопічних камер або датчиків глибини допомагає штучному інтелекту оцінювати відстань до перешкод і надавати корисні попередження, забезпечуючи безпечну навігацію, що дозволяє уникати потенційних небезпек, сприяючи швидшому та безпечнішому пересуванню (див. рис. 2.4).

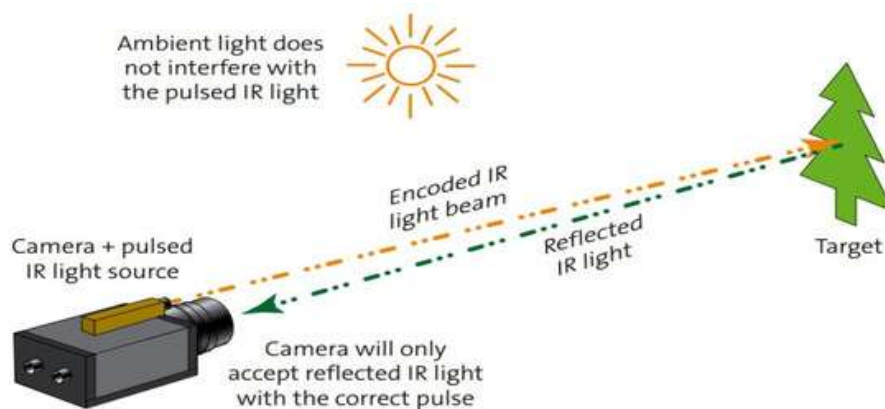


Рисунок 2.4 – Процес візуалізації відстані шляхом об'єднання камери та датчиків

Виявлення та уникнення перешкод за допомогою штучного інтелекту. Пристрої на основі штучного інтелекту здатні не лише розпізнавати перешкоди, але й визначати їхню відстань та характер. Використовуючи голосові підказки, тактильний зворотний зв'язок або звукові сигнали, пристрої інформують користувача про наявність перешкод, наприклад, сходів або низьких гілок дерев.

Ця функція дає змогу заздалегідь реагувати, вибираючи найбезпечніший шлях або уникаючи потенційно небезпечних зон. Наприклад, пристрій може повідомити: «Попереду сходи через три метри», що дозволить людині підготуватися до зміни маршруту чи обережного підходу до об'єкта.

Підвищення безпеки через оцінку близькості. Завдяки здатності оцінювати відстань, штучний інтелект суттєво покращує відчуття безпеки у динамічному середовищі. Розпізнаючи статичні об'єкти (наприклад, стовпи, лавки) та динамічні (людей, транспорт), система інформує користувача про найближчі потенційні небезпеки.

Наприклад, пристрій може повідомити про низько розташовану гілку дерева, рекомендуючи нахилитися або змінити положення, що забезпечить людині з вадами зору просторовою обізнаністю та впевненістю у своїй безпеці.

Завдяки тому, що такі пристрої працюють у реальному часі, вони не лише допомагають уникати зіткнень, але й сприяють створенню комфортного середовища, де люди з вадами зору можуть пересуватися впевненіше, зберігаючи автономність та незалежність.

Розуміння екологічного контексту. Системи орієнтування на основі штучного інтелекту мають значний потенціал не лише для розпізнавання об'єктів чи оцінки відстані, але й для аналізу та передачі ширшого контексту навколишнього середовища. Для людей з вадами зору це означає можливість отримувати детальну інформацію про місце, в якому вони перебувають, і розуміти його особливості. Така технологія здатна забезпечити повне уявлення про навколишнє середовище, включно з ключовими елементами, такими як перехрестя, входи, виходи та будь-які зміни, які можуть виникати у динамічному середовищі. Це, у свою чергу, сприяє прийняттю більш зважених рішень, особливо у складних або незнайомих умовах, наприклад, в місцях з високим рівнем шуму чи руху.

Розпізнавання перехресть вулиць і пішохідних переходів. Орієнтація в міських умовах є критично важливою для людей з вадами зору, адже вони не можуть самостійно побачити розташування перехресть чи пішохідних переходів. Пристрої на основі штучного інтелекту здатні допомогти у вирішенні цієї проблеми, визначаючи місцезнаходження таких елементів та повідомляючи користувача про їх наближення (див. рис. 2.5). Наприклад, пристрій може ідентифікувати дорожні знаки чи сигнали світлофорів, а також аналізувати рух транспорту чи пішоходів. Завдяки цьому людина з вадами зору отримає можливість безпечніше пересуватися через вулиці, розуміючи, коли і де безпечно здійснити перехід. Така функція може забезпечувати зворотний зв'язок через звукові сигнали або вібрацію, повідомляючи, коли необхідно зупинитися чи знайти безпечну доріжку для переходу [41].

Розпізнавання входів, виходів і шляхів. Штучний інтелект також може полегшити навігацію в громадських будівлях, таких як торговельні центри, офіси чи аеропорти (див. рис. 2.5). Пристрої можуть розпізнавати входи, виходи, коридори, ескалатори, ліфти та навіть вказувати місцезнаходження ключових зон, таких як вбиральні чи зони відпочинку. Для цього штучний інтелект аналізує навколишнє середовище та надає користувачу підказки у реальному часі. Наприклад, пристрій може відсканувати карту приміщення, знайти оптимальний маршрут та спрямувати користувача до потрібної точки, що значно підвищить рівень незалежності людини з вадами зору, зменшуючи їхню залежність від сторонньої допомоги [41].

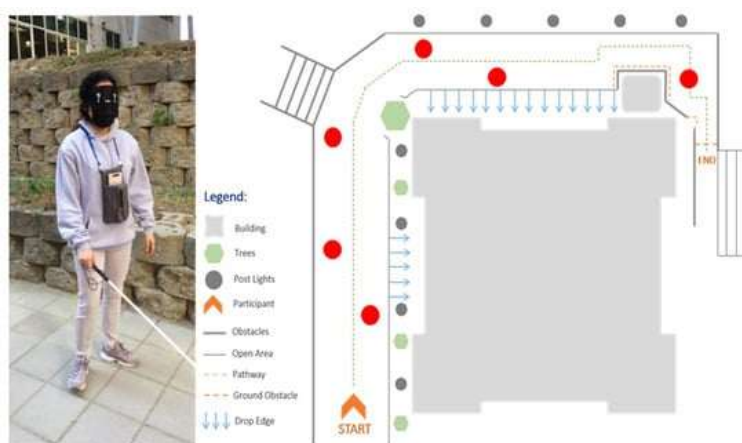


Рисунок 2.5 – Виявлення будь-яких перешкод, що трапляються на шляху

Виявлення змін у середовищі. Штучний інтелект може бути корисним і у виявленні змін у навколишньому середовищі. Наприклад, пристрої можуть повідомляти про появу будівельних зон, закритих шляхів чи вологих поверхонь на відкритому повітрі. В приміщеннях вони можуть фіксувати рухомі об'єкти, такі як меблі чи автоматичні двері, попереджаючи користувача про потенційні перешкоди, що особливо корисно в умовах, коли середовище постійно змінюється, наприклад, у громадських місцях. Навіть у знайомих просторах люди з вадами зору можуть зіткнутися з несподіваними змінами, які становлять загрозу для їхньої безпеки. Технології штучного інтелекту здатні динамічно аналізувати ці зміни, допомагаючи користувачам адаптуватися до нових умов [41].

Інтеграція контекстної інформації для кращого прийняття рішень. Одна з ключових переваг штучного інтелекту — здатність інтегрувати різні типи даних для створення комплексної картини оточення. Наприклад, у переповненому громадському місці пристрій може об'єднувати інформацію про об'єкти, оцінку відстані та інші аспекти навколишнього середовища, створюючи багаторівневий опис ситуації, що дозволяє людині з вадами зору орієнтуватися з більшою впевненістю та уникати небезпек. Такі пристрої можуть також направляти користувача до більш безпечних зон або допомагати знаходити найкращий шлях до пункту призначення. Інтеграція контексту сприяє прийняттю обґрунтованих рішень, роблячи процес навігації більш безпечним і зручним [38-41].

2.2 Комп'ютерний зір у навігації

Одним із ключових елементів, який може суттєво підвищити ефективність технологій орієнтації для людей із вадами зору, є використання комп'ютерного зору. Ця технологія, що ґрунтується на камерах та алгоритмах обробки зображень, забезпечує критичний компонент для навігаційних систем, адаптованих для потреб незрячих чи слабозорих користувачів. Завдяки можливостям комп'ютерного зору, пристрої орієнтації здатні аналізувати візуальну інформацію та перетворювати її у формати, доступні для людей із вадами зору, такі як слухові або тактильні сигнали, що дозволяє у такий спосіб отримувати детальну інформацію про навколишнє середовище та приймати більш безпечні рішення під час переміщення.

Комп'ютерний зір надає можливість розширеної обробки візуальних даних, які недоступні для сприйняття незрячими людьми. Він швидко ідентифікує шляхи, перешкоди чи важливі об'єкти, а також забезпечує інтелектуальну інтерпретацію отриманих зображень, що дозволяє користувачам отримувати більш комплексне розуміння середовища, навіть у складних чи динамічних умовах.

Обробка зображень у реальному часі. Однією з найбільших переваг комп'ютерного зору є можливість обробки зображень у реальному часі (див. рис. 2.6), що є основоположною функцією для навігаційних систем – ця здатність забезпечує швидкий аналіз візуальної інформації, яка надходить із камер пристрою, для ідентифікації об'єктів та структур середовища користувача [41].

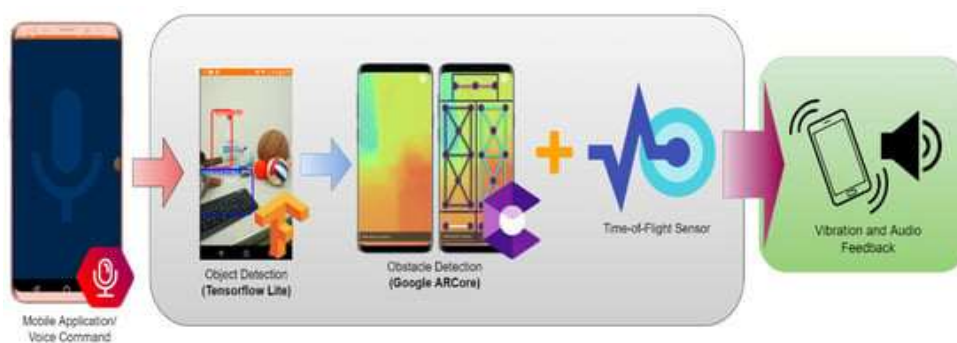


Рисунок 2.6 – Приклад обробки зображень у звичний спосіб

Обробка даних у реальному часі базується на складних алгоритмах та моделях машинного навчання, які можуть розпізнавати й класифікувати різні візуальні елементи [38-41]. Наприклад, пристрій може миттєво визначати такі елементи, як бордюри, двері, сходи чи перешкоди, а також відслідковувати зміни у середовищі. Завдяки цьому користувач отримує оперативну інформацію про свій маршрут або про потенційні небезпеки.

Така технологія робить навігацію більш інтуїтивно зрозумілою та безпечною. Завдяки швидкості та точності обробки зображень, пристрої на основі комп'ютерного зору можуть не лише попереджати про небезпеки, але й допомагати знаходити оптимальні маршрути чи об'єкти, що сприяє підвищенню мобільності та незалежності користувачів із вадами зору.

Захоплення та інтерпретація зображень. Комп'ютерний зір відкриває можливості для аналізу та інтерпретації візуальної інформації, що значно покращує орієнтацію людей із вадами зору. Сучасні навігаційні пристрої на базі комп'ютерного бачення працюють за принципом постійного відеозахоплення через одну або кілька камер, що фіксують оточення людини.

Алгоритми комп'ютерного зору аналізують відеопотік у реальному часі для розпізнавання ключових об'єктів і структур (див. рис. 2.7). Наприклад, вони здатні ідентифікувати людей, транспортні засоби, будівлі, доріжки або бордюри. Такі алгоритми базуються на глибоких нейронних мережах, навчання яких проводиться на великих наборах позначених даних, що забезпечує високу точність розпізнавання [41].

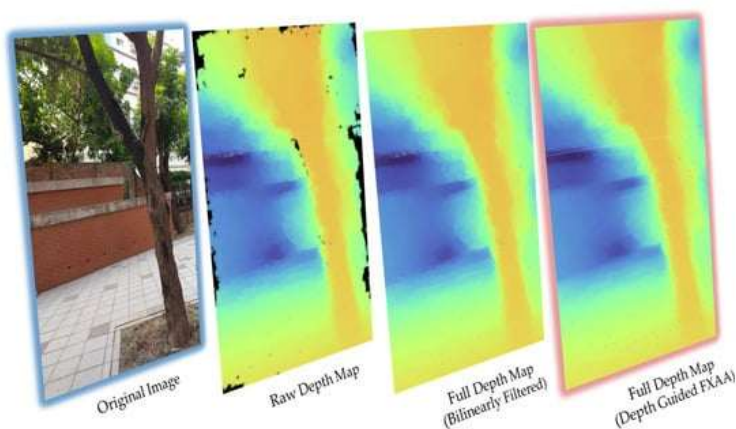


Рисунок 2.7 – Інтерпретація та візуалізація зображення у декілька слоїв

Одним із основних інструментів є згорткові нейронні мережі (CNN), які ефективно виявляють і класифікують об'єкти завдяки аналізу шаблонів, що дозволяє забезпечити деталізовану оцінку навколишнього середовища, що є надзвичайно корисним для орієнтації.

Сегментація зображення та виявлення об'єктів. Сегментація зображення – ключовий компонент обробки візуальних даних у реальному часі. Вона розділяє зображення на окремі сегменти на основі характеристик, таких як колір, текстура або глибина, що дозволить пристрою ізолювати важливі об'єкти від фону, що спрощує їх розпізнавання та класифікацію (див. рис. 2.8) [41].

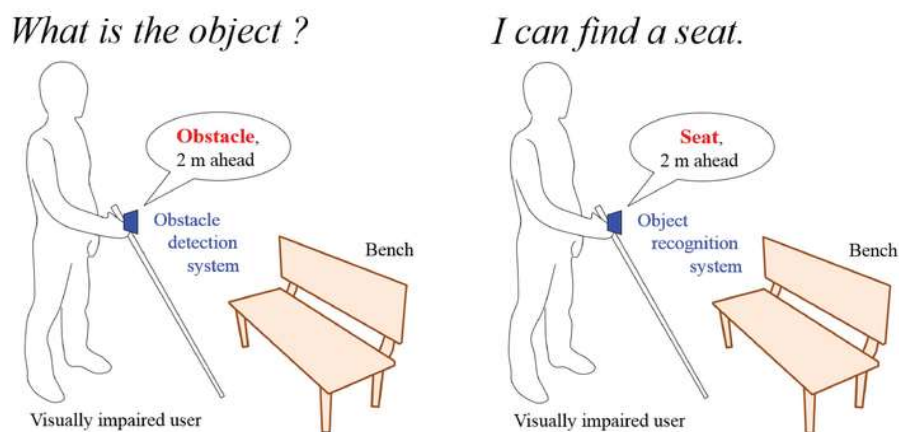


Рисунок 2.8 – Принцип сегментації зображення
для відокремлення важливих об’єктів

Наприклад, технологія може розмежовувати тротуар і проїжджу частину або ідентифікувати припарковані автомобілі. Завдяки цьому людина з вадами зору отримує більш чітке уявлення про своє оточення.

Процес виявлення об’єктів дозволяє пристрою не лише ідентифікувати, а й визначати їхнє розташування у полі зору. Інформація про знайдені об’єкти передається користувачеві через слуховий або тактильний зворотний зв’язок, що дозволяє повідомляти про перешкоди, орієнтири чи інші важливі деталі середовища.

Постійна обробка даних у реальному часі. Для забезпечення ефективної навігації пристрої на базі штучного інтелекту виконують безперервну обробку даних, що дозволяє користувачам отримувати актуальну інформацію без затримок. Такі системи використовують потужне апаратне забезпечення або хмарні технології для аналізу кількох кадрів за секунду.

Цим забезпечується динамічний зворотний зв’язок через слухові чи тактильні сигнали, які попереджають про зміни в середовищі, рух об’єктів або перешкоди. Наприклад, система може інформувати про зміну рельєфу, появу транспортних засобів чи людей у зоні руху (див. рис. 2.9) [42].

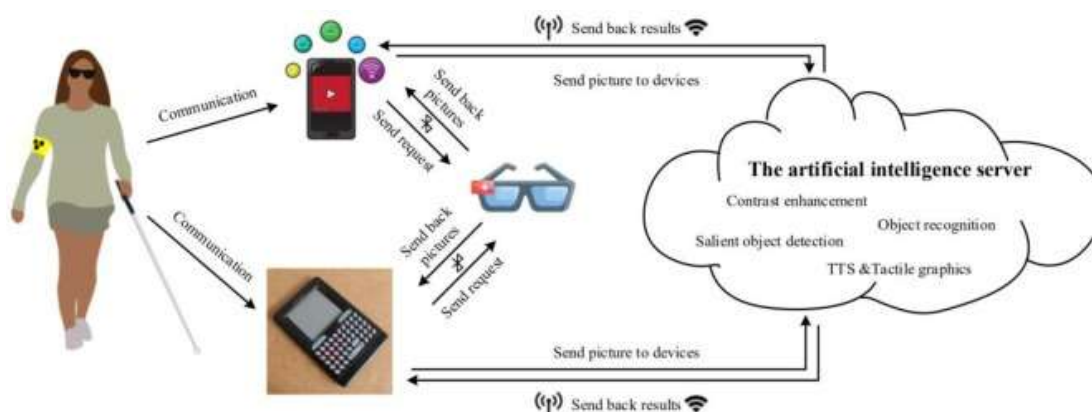


Рисунок 2.9 – Безперервна обробка даних у реальному часі

Особливо важливим це є в ситуаціях, які потребують миттєвої реакції, таких як перехід через жваву дорогу чи пересування у людному місці з інтенсивним трафіком. У таких умовах традиційні інструменти, як білі тростини чи собаки-поводирі, можуть бути недостатньо ефективними, оскільки вони не здатні забезпечити обробку інформації в реальному часі.

Системи навігації, які поєднують штучний інтелект і технології комп'ютерного зору, мають одну з основних функцій – виявлення шляхів і перешкод, що є надзвичайно важливим для людей із вадами зору, оскільки такі технології дозволяють глибше й точніше розуміти оточення, ніж традиційні засоби, такі як тростини або собаки-поводирі.

Комп'ютерний зір аналізує візуальні дані для розрізнення зон пересування, виявлення потенційних небезпек і оцінки просторових взаємозв'язків, що дає змогу людям із вадами зору орієнтуватися самостійно й безпечно, зменшуючи залежність від допомоги інших і покращуючи їхню впевненість і мотивацію.

Виявлення та розпізнавання шляху. Визначення доступних маршрутів включає ідентифікацію таких зон, як тротуари, пішохідні доріжки або внутрішні коридори (див. рис. 2.10). Алгоритми комп'ютерного зору здатні визначати межі та краї цих зон, аналізуючи їхні особливості, наприклад візерунки або лінії розмітки [43].

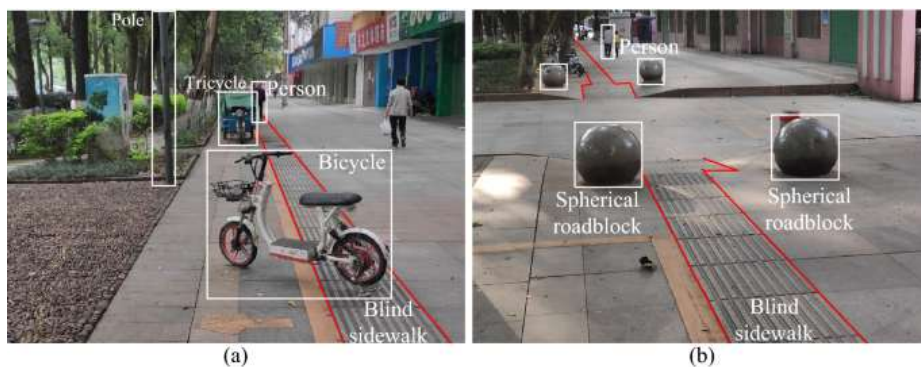


Рисунок 2.10 – Класифікація об’єктів у реальному часі

Наприклад, технологія може розпізнавати:

- лінії та межі тротуарів;
- шаблони, що позначають пішохідні переходи;
- поверхні, які безпечні для пересування.

Система навігації передає користувачеві інструкції за допомогою слухових підказок (голосові команди) або тактильних сигналів (вібрація), що дозволяє користувачеві триматися обраного маршруту, коригувати напрямок або реагувати на зміни, наприклад попередження про повороти чи відхилення [42-43].

Виявлення бордюрів і змін рельєфу. Міське середовище часто характеризується численними перепадами рельєфу, такими як бордюри, сходи, ями чи ділянки ремонту (див. рис. 2.11). Для людей із вадами зору ці особливості можуть становити серйозну загрозу [44].

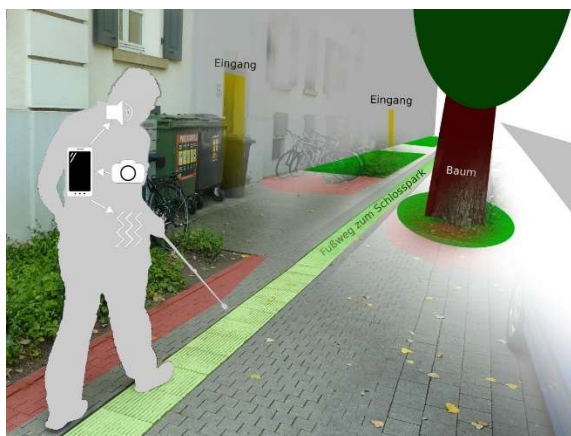


Рисунок 2.11 – Визначення рельєфу на пару зі перешкодами

Комп'ютерний зір аналізує зміни висоти або країв поверхонь, дозволяючи пристроям [44]:

- попереджати про наближення до бордюрів або сходів;
- інформувати про ями, тріщини чи інші небезпечні ділянки;
- сигналізувати про будівельні роботи, які створюють перешкоди.

Наприклад, алгоритми можуть виявляти перехід із тротуару на проїжджу частину, попереджаючи користувача про необхідність бути обережним, що особливо корисно в незнайомих місцевостях, де ризик травм через нерівності поверхні значно зростає.

Продуктивність у слабо освітлених умовах. Залежність комп'ютерного зору від адекватного освітлення є серйозним обмеженням. У ситуаціях із низьким освітленням, наприклад уночі, у приміщеннях із недостатнім освітленням чи на погано освітлених вулицях, камера може отримувати зображення низької якості, що знижує здатність алгоритмів точно ідентифікувати об'єкти та розпізнавати шляхи.

Рішення цієї проблеми включає використання інфрачервоних або тепловізійних датчиків (див. рис. 2.12), однак останній значно підвищує вартість і складність пристрою [45].

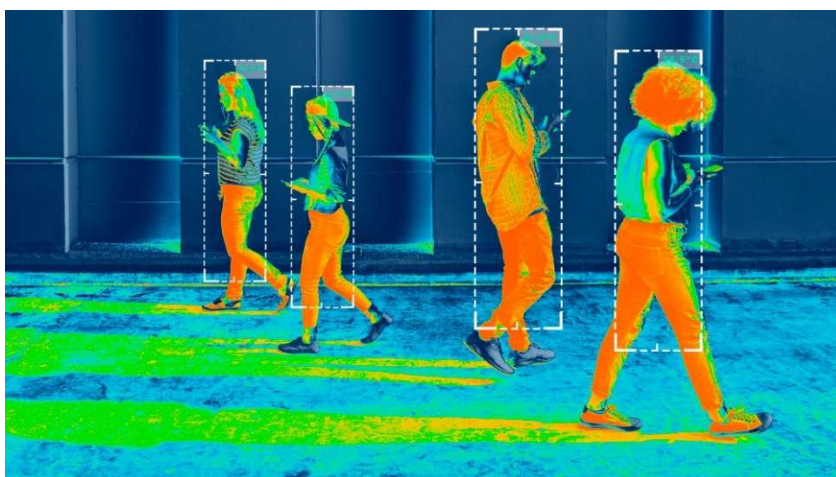


Рисунок 2.12 – Визначення рельєфу на пару зі перешкодами

Іншим підходом є застосування алгоритмів покращення зображення, які підвищують яскравість і контрастність, але це може спричиняти цифровий шум, що призводить до помилкового розпізнавання об'єктів або їх пропуску. Якість отриманих зображень залежить також від характеристик камери: чим вища якість матриці, тим кращі результати.



Рисунок 2.13 – Шуми та зернистість при неправильному налаштуванні камер

Навігація у складних приміщеннях. Приміщення, такі як торгові центри, вокзали чи аеропорти, мають складну архітектуру та захащені шляхи, що створює унікальні виклики для систем комп'ютерного зору. Перешкоди, вузькі проходи та численні структурні особливості можуть заплутувати алгоритми. Крім того, слабкий сигнал GPS у приміщеннях ускладнює точне визначення місцезнаходження.

Для вирішення цієї проблеми розробники використовують спеціалізовані системи картографування, зокрема Bluetooth-маячки чи Wi-Fi-локацію, які доповнюють дані комп'ютерного зору, що забезпечить точніші просторові орієнтири для ефективної навігації у приміщеннях.

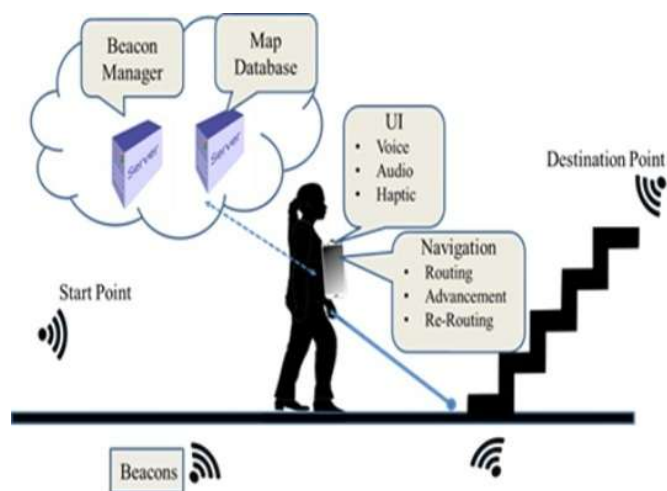


Рисунок 2.14 – Процес роботи маячків для покращення зв'язку у важких місцях

Швидкість обробки та апаратні обмеження. Обробка зображень у реальному часі вимагає значної обчислювальної потужності. Компактні й портативні пристрої можуть відчувати перевантаження, що призводить до затримок зворотного зв'язку та швидкого виснаження батареї. Хмарна обробка може частково вирішити ці проблеми, однак вона залежить від стабільного інтернет-з'єднання, яке не завжди доступне.

Для оптимізації роботи систем розробники можуть використовувати моделі комп'ютерного зору, які мінімізують обчислювальні вимоги, забезпечуючи швидку і точну навігацію навіть на пристроях із обмеженими ресурсами.

Конфіденційність і безпека даних. Системи комп'ютерного зору обробляють значні обсяги візуальних даних, що викликає занепокоєння щодо конфіденційності. Користувачі можуть хвилюватися, що їхня особиста інформація буде розкрита чи збережена, особливо якщо пристрій використовує хмарну обробку.

Задля зменшення цих ризиків застосовують заходи безпеки, як-от шифрування, анонімізація даних та локальна обробка найбільш чутливої інформації, що підвищить довіру користувачів до пристроїв.

Адаптованість до різних середовищ. Алгоритми комп'ютерного зору можуть працювати менш ефективно в різних середовищах: міських, сільських або за поганих погодних умов, таких як дощ, сніг чи туман. Адаптація систем до таких умов потребує значного обсягу навчальних даних і тестування.

Рішенням є інтеграція багатосенсорних даних, наприклад поєднання GPS із камерами, або використання датчиків глибини, що доповнюють комп'ютерний зір і роблять пристрій ефективним у будь-якому середовищі.

2.3 Розпізнавання об'єктів і перешкод за допомогою ШІ

Розпізнавання об'єктів і перешкод у реальному часі є критично важливим для роботи навігаційних пристроїв, особливо для людей із вадами зору, але також і для інших користувачів, що забезпечить точну орієнтацію в просторі, підвищує мобільність та безпеку користувачів, надаючи їм можливість приймати обґрунтовані рішення щодо маршруту. Завдяки вдосконаленню здатності таких пристроїв ідентифікувати, класифікувати й передавати інформацію про навколишнє середовище, користувачі отримують доступ до точніших даних, ніж ті, які вони можуть отримати самостійно або за допомогою інших інструментів, що дозволить людям із вадами зору краще розуміти особливості простору та вибирати найбільш безпечні й зручні маршрути.

Методи виявлення та класифікації об'єктів. Ключовою складовою роботи навігаційних пристроїв є ефективне виявлення та класифікація об'єктів. Ця функція дозволяє системі ідентифікувати відповідні елементи навколишнього середовища й визначати перешкоди, які можуть вплинути на рух користувача.

Для реалізації таких можливостей розробники впроваджують вдосконалені моделі машинного навчання, які забезпечують високу точність розпізнавання об'єктів у реальному часі. Ці алгоритми здатні не лише виявляти об'єкти, але й розрізняти їх за категоріями, такими як пішоходи, транспортні засоби, бордюри чи інші елементи.

Популярні моделі, що використовуються для цих цілей, включають широкий спектр підходів і технологій, кожна з яких має свої переваги й обмеження. Вони

сприяють забезпеченню безпеки та зручності для користувачів, які використовують пристрої на основі штучного інтелекту для навігації.

Інтеграція таких методів у пристрої для людей із вадами зору дозволяє зробити їх більш функціональними, підвищуючи точність орієнтації й ефективність руху у складних умовах.

Моделі виявлення об'єктів для навігаційних пристроїв – YOLO, SSD, RCNN. Системи виявлення об'єктів є важливими складовими навігаційних пристроїв, зокрема для людей із вадами зору. Вони забезпечують точну ідентифікацію об'єктів, класифікацію та передачу інформації в реальному часі. Для цього застосовуються різні моделі з урахуванням швидкості, точності та потреб користувачів. Нижче розглянемо найпопулярніші з них:

YOLO (You Only Look Once). YOLO є однією з найпопулярніших моделей для виявлення об'єктів у реальному часі. Вона відзначається високою швидкістю обробки та точністю. На відміну від традиційних моделей, які аналізують зображення кількома проходами, YOLO ділить зображення на сітку й обробляє його «одним поглядом» (див.рис. 2.14). Такий підхід дозволяє ефективно працювати з великою кількістю зображень, навіть у швидких відеопотоках [46].

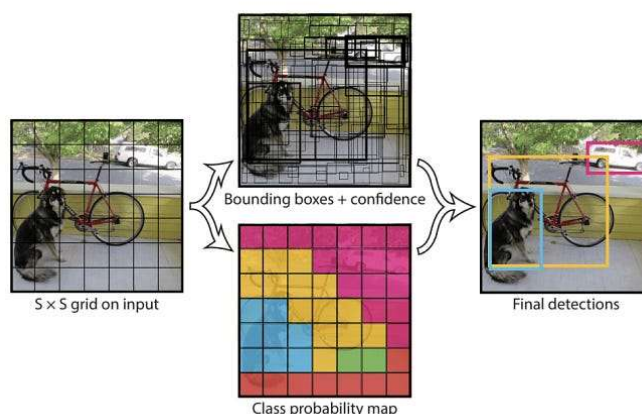


Рисунок 2.14 – Принцип роботи метода YOLO

Модель може одночасно ідентифікувати кілька об'єктів, наприклад, пішоходів, дорожні знаки чи перешкоди, а також визначати їх розташування в кадрі, що особливо корисно в динамічних середовищах, таких як міські простори,

де користувачам важливо швидко реагувати на змінні умови [46]. Наприклад, YOLO може попередити людину з вадами зору про пішохода чи перехід, одночасно розпізнавши світлофор, що значно підвищує мобільність і безпеку.

SSD (Single Shot MultiBox Detector). SSD (див.рис. 2.15), на відміну від YOLO, використовує різні масштаби функцій для виявлення об'єктів різного розміру, що робить її особливо корисною в середовищах із різноманітними об'єктами. Модель генерує набір обмежувальних рамок для потенційних об'єктів і класифікує їх на основі типу [46].

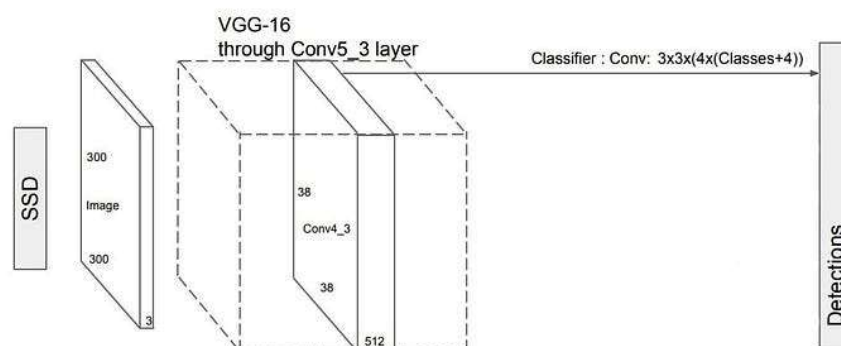


Рисунок 2.15 – Принцип роботи метода SSD

Ця адаптивність дозволяє SSD ідентифікувати як малі, так і великі об'єкти, наприклад, велосипеди, сміттєві баки чи дорожні стовпи, навіть якщо вони розташовані на різних відстанях. Завдяки цьому користувач отримує точну інформацію про своє оточення, що забезпечує безпечну й ефективну навігацію в складних умовах, таких як щільно забудовані міські простори.

RCNN та Faster R-CNN. Регіональні згорткові нейронні мережі (RCNN) та їхня вдосконалена версія Faster R-CNN (див. рис. 2.16) є високоточними моделями для виявлення об'єктів. Хоча вони поступаються YOLO і SSD у швидкості, їх детальна обробка робить їх ідеальними для складних сценаріїв, які вимагають максимальної точності [46].

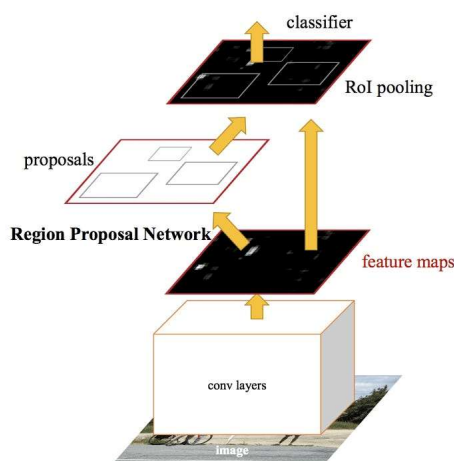


Рисунок 2.16 – Принцип роботи метода RCNN та Faster R-CNN

Faster R-CNN працює в два етапи: спочатку генерує пропозиції регіонів, а потім класифікує їх, щоб визначити, чи містять вони об'єкти. Такий підхід дозволяє моделі розрізняти схожі об'єкти, що особливо важливо в приміщеннях, таких як музеї, лікарні чи торговельні центри. У цих умовах об'єкти часто мають тонкі особливості, які вимагають більш детального розпізнавання [46].

Вибір моделі для навігаційних пристроїв. Розробники навігаційних пристроїв обирають моделі залежно від вимог середовища та потреб користувачів [46]:

1. Швидкі моделі (YOLO, SSD) ідеально підходять для роботи в реальному часі та динамічних умовах, наприклад, для навігації на вулиці чи в інших відкритих просторах.
2. Точні моделі (RCNN, Faster R-CNN) краще використовувати в приміщеннях або контекстах, які потребують детального аналізу, де важлива точність розпізнавання об'єктів.

Таблиця 2.1 – Порівняння моделей та вибір для навігаційних пристроїв

Критерій	YOLO і SSD	RCNN і Faster R-CNN
Швидкість vs Точність	Оптимальні для середовищ, які вимагають швидкої реакції (зовнішні простори, вулиці).	Підходять для середовищ, де необхідна точність понад швидкість (приміщення).
Універсальність	SSD краще працює у складних середовищах з різними масштабами об'єктів. YOLO підходить для динамічних сценаріїв з високою інтенсивністю обробки даних.	Менш універсальні, однак забезпечують високу точність в деталізованих середовищах.
Контекст використання	Для зовнішньої навігації важлива швидкість, тому використовують YOLO чи SSD.	Для приміщень, де необхідний детальний аналіз, доцільно застосовувати RCNN або Faster R-CNN.

Інтеграція з системами звукового зворотного зв'язку. Для ефективного сповіщення користувачів з вадами зору про виявлені об'єкти чи перешкоди необхідно забезпечити інтуїтивний та доступний канал передачі інформації.

Одним із ключових рішень є використання систем звукового зворотного зв'язку (див. рис. 2.17). Завдяки чутливості слуху, що зазвичай добре розвинений у людей з вадами зору, такі системи забезпечують переклад візуальної інформації у зрозумілі голосові підказки, звукові сигнали чи інші аудіосигнали, що дозволить користувачам швидко сприймати своє оточення та безпечно орієнтуватися в ньому в режимі реального часу [47].

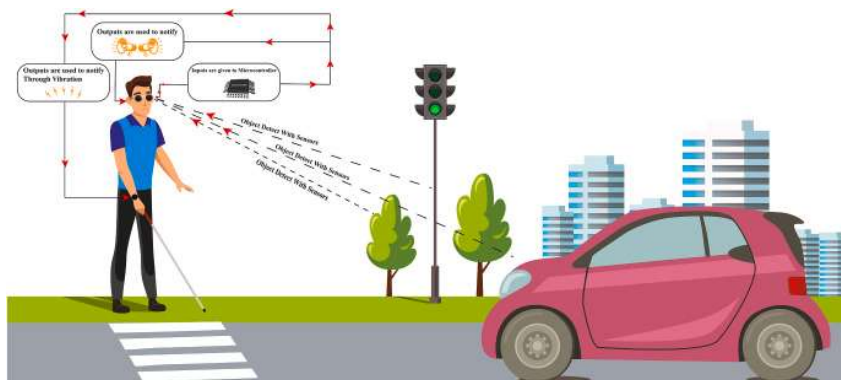


Рисунок 2.17 – Передача візуальних даних у формі аудіосигналів

Типи аудіосигналів. Системи звукового зворотного зв'язку можуть використовувати різні типи аудіосигналів, залежно від потреб користувачів [47]:

1) Словесні описи. Такі сигнали надають чітку голосову інформацію, наприклад, опис об'єкта («пішохідний перехід попереду») чи його розташування («перешкода зліва») – такі підказки особливо корисні для надання точних інструкцій у складних ситуаціях.

2) Тональні підказки. Цей тип сигналів використовує звуки різної частоти або інтенсивності для позначення різних об'єктів. Наприклад:

- низький звук для перешкод;
- високий тональний сигнал для відкритих шляхів чи дозволу на рух, наприклад, на пішохідному переході.

3) Просторове аудіо. Просторове звучання регулює напрямок і інтенсивність сигналу відповідно до розташування об'єкта. Наприклад, якщо перешкода знаходиться праворуч, звук буде чути з правого навушника, що дозволить користувачеві інтуїтивно зрозуміти положення об'єкта відносно себе. Такий підхід значно підвищує просторове сприйняття, роблячи навігацію більш зрозумілою.

Налаштування користувача та адаптивний звуковий зворотний зв'язок. Оскільки користувачі мають різні уподобання, важливо забезпечити можливість персоналізації звукового зворотного зв'язку [47]:

1. Індивідуальні налаштування. Деякі користувачі віддають перевагу коротким тональним сигналам, тоді як іншим зручніше користуватися детальними

голосовими описами. Надання опцій для налаштування дозволяє адаптувати пристрій до конкретних потреб користувача:

2. Адаптивний підхід. Система може навчатися на основі поведінки користувача. Наприклад, якщо людина з вадами зору частіше реагує на певні типи сигналів або дотримується конкретних маршрутів, пристрій може автоматично налаштовувати зворотний зв'язок відповідно до цих уподобань.

Адаптивний звуковий зворотний зв'язок не лише персоналізує взаємодію, але й створює більш інтуїтивний та комфортний досвід для користувача, сприяючи його мобільності та незалежності.

Завдяки таким системам люди з вадами зору можуть отримувати чітку та зрозумілу інформацію про своє оточення, що забезпечує:

- зниження стресу під час навігації;
- підвищення точності орієнтації;
- збільшення самостійності та мобільності.

Постійне навчання та адаптація. Системи штучного інтелекту, які використовуються у пристроях для орієнтації людей з вадами зору, мають значний потенціал для постійного навчання на основі взаємодії користувачів і змін у навколишньому середовищі. Такий підхід забезпечує вдосконалення їх точності та адаптивності з часом. Завдяки постійному навчанню пристрої можуть покращувати свої моделі виявлення й класифікації, використовуючи реальний досвід, що дозволяє їм краще адаптуватися до різноманітних і динамічних умов (див. рис. 2.18).

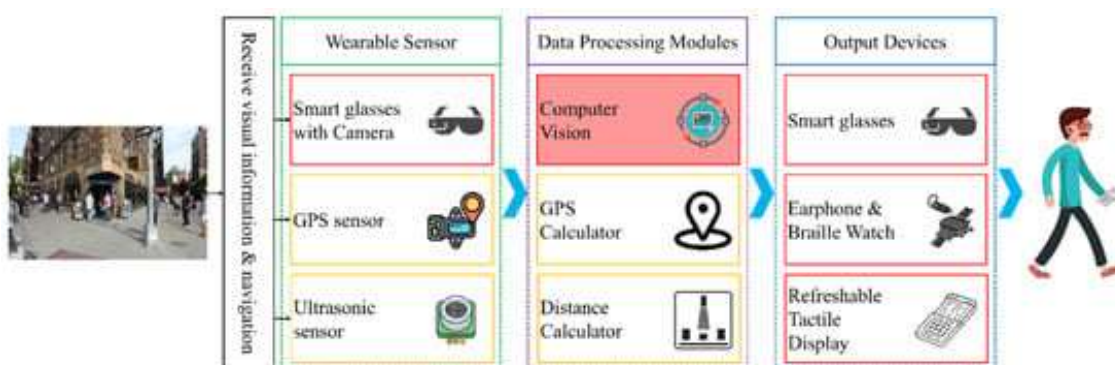


Рисунок 2.18 – Носимі пристрої, що містять ШІ, адаптуються до свого власника

Постійне навчання дає змогу пристроям налаштовуватися відповідно до індивідуальних уподобань і потреб користувачів [47-48]:

1. Персоналізація взаємодії. Пристрій може аналізувати повторювані шаблони поведінки, наприклад, виявляти, що користувач часто взаємодіє з певними типами об'єктів (двері, сходи тощо). Згодом він може налаштовувати чутливість виявлення саме цих об'єктів, зменшуючи кількість непотрібних сповіщень.

2. Оптимізація сигналів. Якщо користувач не реагує на певні підказки, пристрій може змінювати їхню частоту або формат, зосереджуючись на більш корисних підказках, що сприяє індивідуалізації навігації, що робить пристрій більш ефективним і зручним.

Пристрої з ШІ можуть адаптуватися до змін у середовищі [48]:

1. Регулювання параметрів. Умови навколишнього середовища, такі як унікальні архітектурні об'єкти або пам'ятники, можуть бути враховані системою. Наприклад, пристрій може включати ці елементи у свій набір розпізнаваних об'єктів для точнішої навігації.

2. Оновлення моделей. Пристрої з підключенням до інтернету можуть періодично оновлювати свої алгоритми на основі даних, отриманих від різних користувачів, що дозволяє системам покращувати точність і залишатися ефективними в різних умовах, будь то густонаселені міські райони чи менш структуровані середовища.

Системи ШІ можуть виявляти аномалії або надзвичайні перешкоди, допомагаючи користувачам залишатися пильними [48]:

1. Аналіз непередбачуваних ситуацій. Якщо на шляху користувача з'являється несподіваний об'єкт, наприклад, будівельний бар'єр, пристрій може розпізнати це як аномалію та надіслати чітке сповіщення.

2. Коригування моделей. Пристрій здатен навчатися на таких випадках, покращуючи свої реакції на подібні ситуації в майбутньому.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ОРІЄНТАЦІЇ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ

3.1 Основні компоненти та принцип роботи

Розробка пристрою для орієнтації людей із вадами зору, який використовує штучний інтелект, є досить складним завданням. Такий пристрій має поєднувати високопродуктивні апаратні компоненти та інтелектуальні алгоритми, щоб забезпечувати коректну та ефективну роботу. Він не лише повинен включати сенсори та датчики для збору інформації з навколишнього середовища, а й інтерпретувати ці дані у формі, доступній для користувача через органи чуття, зокрема слух і дотик.

Якщо порівнювати з простими GPS-пристроями або мобільними додатками, що вже існують і допомагають людям із вадами зору орієнтуватися на місцевості, пристрій на базі штучного інтелекту (див. рис. 3.1) має значно більший потенціал. Наприклад, він може обробляти дані з кількох джерел у реальному часі, виявляти перешкоди, розпізнавати об'єкти чи маршрути й надавати детальніший зворотний зв'язок. Однак для цього потрібні потужне «залізо», складні сенсорні системи та продумане програмне забезпечення [49].



Рисунок 3.1 – Прототип розумної тростини з інтеграцією комп'ютерного зору та штучного інтелекту

Заглядаючи наперед, принцип роботи пристрою полягає в наступному (див. рис. 3.2):

1. Сенсори збирають інформацію про навколишнє середовище (перешкоди, напрямок руху тощо).
2. Штучний інтелект аналізує ці дані, прогнозує потенційні небезпеки або пропонує оптимальні дії.
3. Оброблена інформація передається користувачу через слухові або тактильні сигнали, які легко сприймаються людьми з вадами зору.

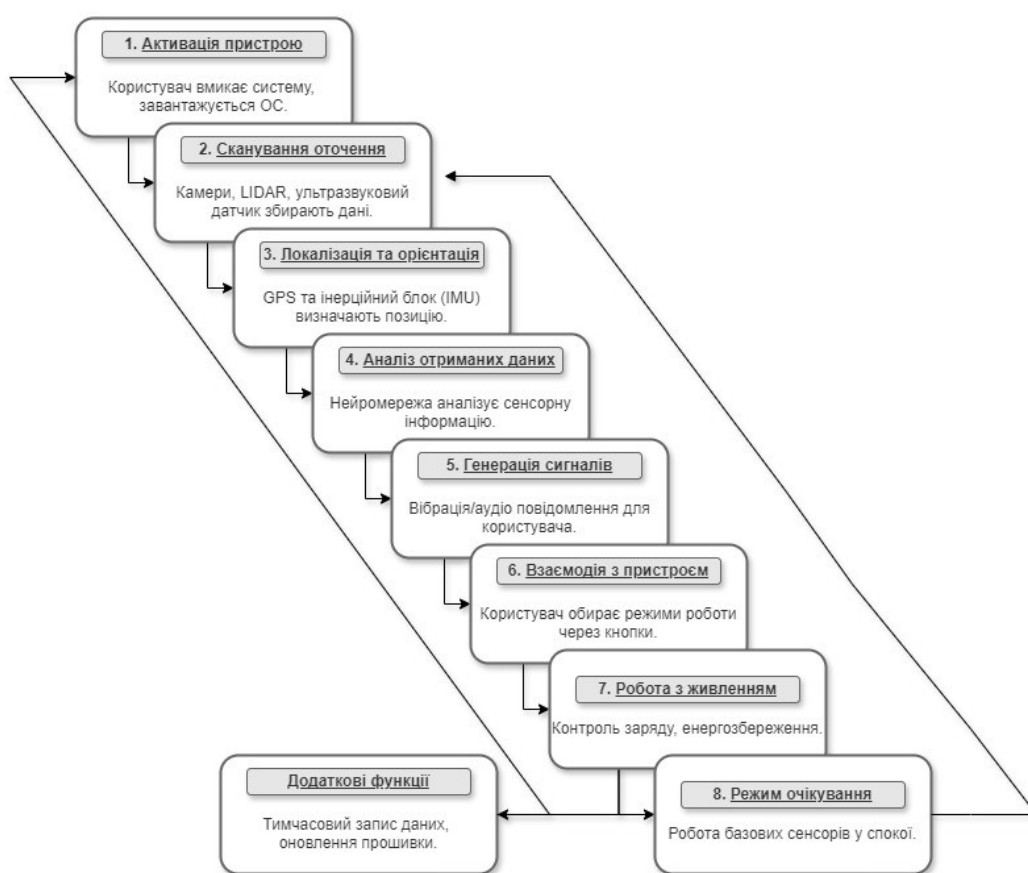


Рисунок 3.2 – Схема роботи запропонованого пристрою орієнтації

Для створення такого пристрою важливо враховувати специфіку потреб користувачів. Органи чуття, як-от слух і дотик, є особливо розвиненими у людей із вадами зору, тому взаємодія пристрою має бути побудована саме на цих каналах, що забезпечить зрозумілий і ефективний зв'язок між користувачем і пристроєм [5, 7-10].

Крім того, важливо враховувати доступність і масштабованість таких рішень – часто пристрої, створені для людей із вадами зору, не стають масовими або швидко зникають із ринку. Тому варто орієнтуватися на створення надійного, довговічного продукту, який може бути доступним для широкого кола користувачів.

Апаратні компоненти – ширококутна та тепловізійна камери. Ширококутна камера (див. рис. 3.3) забезпечує широкий огляд навколишнього середовища, дозволяючи захоплювати велику площу в одному кадрі. Така камера дозволяє ефективно аналізувати ситуацію навколо користувача, включно з виявленням перешкод, визначенням напрямків руху і розпізнаванням об'єктів.

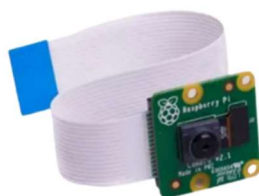


Рисунок 3.3 – Ширококутна камера Raspberry Pi Camera Module V2

Тепловізійна ж (див. рис. 3.4), навпроти, забезпечує можливість виявлення теплових об'єктів у навколишньому середовищі. Вона працює за принципом аналізу інфрачервоного випромінювання, яке випускають об'єкти залежно від їхньої температури.



Рисунок 3.4 – Тепловізійна камера FLIR Lepton 3.5

Коли камера реєструє такі сигнали, вони перетворюються на теплове зображення, де різні температурні зони відображаються у вигляді кольорової шкали, що надає

змогу ідентифікувати теплокровних істот (див. рис. 3.5), таких як люди або тварини, а також інші теплові джерела, наприклад, працююче обладнання.

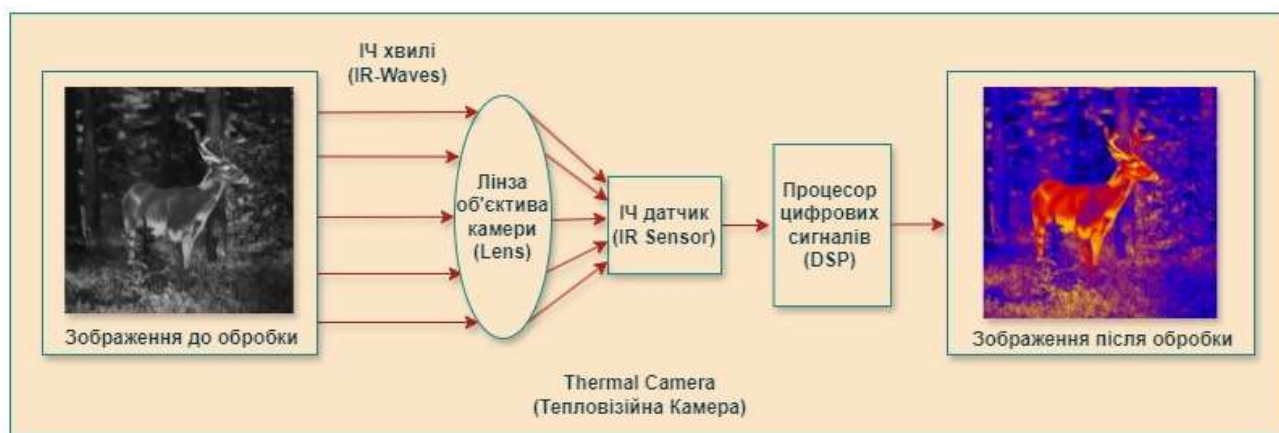


Рисунок 3.5 – Принцип роботи тепловізійної камери

Теплова камера у цьому пристрої має кілька функцій. По-перше, вона забезпечує додаткову інформацію в умовах недостатнього освітлення, наприклад, у темряві або в приміщеннях з поганою видимістю. По-друге, камера працює у парі з основною оптичною камерою, що дозволяє створити більш детальну картину навколишнього середовища шляхом поєднання теплових і оптичних зображень, що в цілому, покращує точність розпізнавання об'єктів і дає змогу розрізняти живі істоти, навіть якщо вони частково приховані або зливаються з навколишнім фоном.

Інформація, отримана з теплової камери, обробляється у реальному часі за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору. Виявлені теплові об'єкти аналізуються з точки зору їхніх розмірів, форми та теплового сліду, що дозволяє визначати, чи є об'єкт людиною, твариною або іншим джерелом тепла. У разі виявлення теплового об'єкта користувача інформують за допомогою звукового сигналу або вібрації. У разі потреби, додаткова інформація про об'єкт може бути озвучена за допомогою голосової підтримки (див. рис. 3.6).

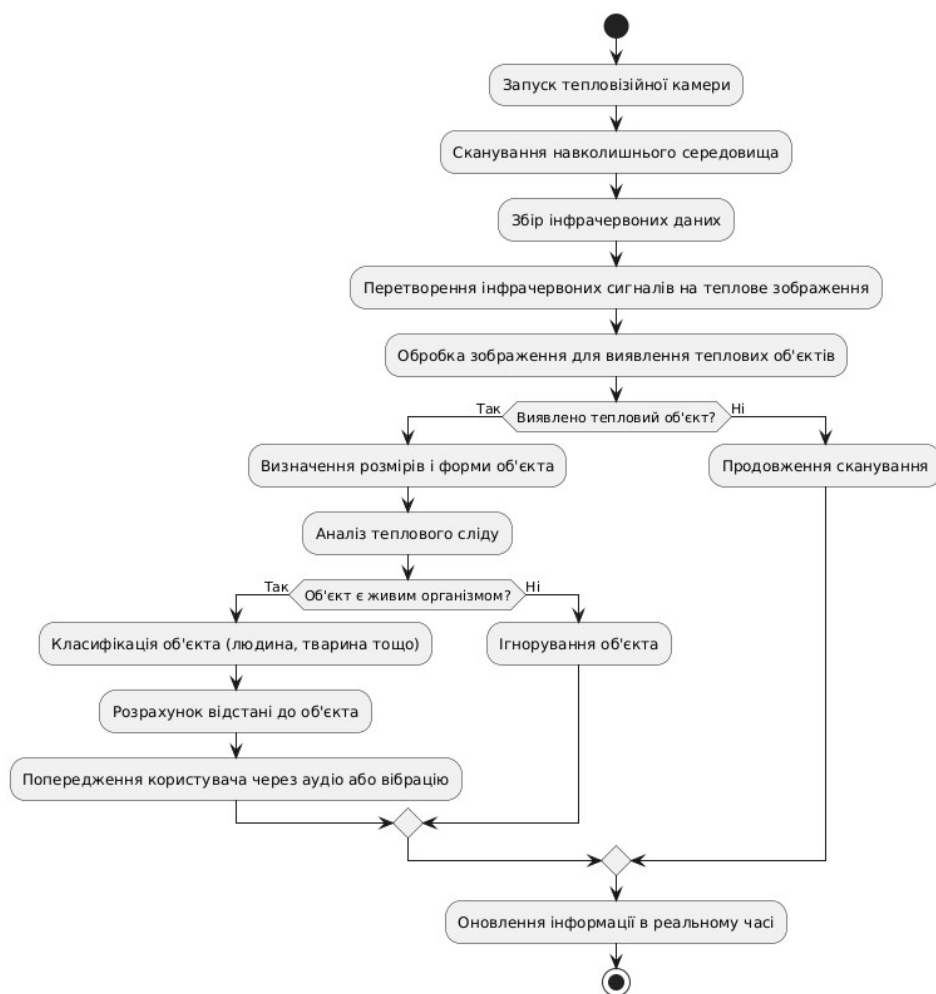


Рисунок 3.6 – Схема роботи тепловізійної камери у пристрої орієнтації

Апаратні компоненти – LiDAR, ультразвуковий та IMU датчики. Додаткові датчики, такі як LiDAR, ультразвуковий та IMU, значно розширюють функціональність пристрою, доповнюючи дані, отримані камерами.



Рисунок 3.7 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Ультразвуковий датчик (див. рис. 3.7) працює за принципом випромінювання ультразвукових хвиль і аналізу часу, який потрібен для того, щоб

ці хвилі досягли об'єкта та повернулися до приймача. Такий метод дозволяє точно вимірювати відстань до об'єктів, навіть якщо вони не відбивають світло або теплове випромінювання. Ультразвуковий датчик особливо корисний у складних умовах, наприклад, у тумані, де інші сенсори можуть втратити ефективність. Отримані дані допомагають системі попереджати користувача про перешкоди за допомогою звукових сигналів або вібрації.



Рисунок 3.8 – Датчик LiDAR RPLIDAR A1M8

LIDAR є активним датчиком (див. рис. 3.8), який використовує лазерне випромінювання для вимірювання відстані до об'єктів і створення тривимірної моделі оточення. Його принцип роботи базується на вимірюванні часу, який потрібен лазерному імпульсу для досягнення об'єкта (у нашому випадку перешкоди) та повернення до приймача – цей метод називається «time-of-flight» (час польоту) (див. рис. 3.9).

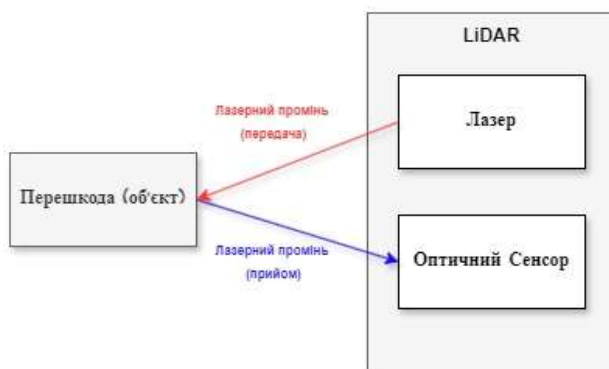


Рисунок 3.9 – Принцип роботи LiDAR

Коли LIDAR активується, він починає послідовність операцій. Спочатку лазерний діод випромінює інфрачервоний або видимий світловий імпульс у

заданому напрямку. Такий імпульс подорожує через повітря, досягаючи поверхні об'єкта, і частина його відбивається назад до сенсора. У приймачі LIDAR вбудований надчутливий детектор світла, такий як фотодіод, який реєструє відбитий сигнал. Вимірюючи час між моментом випромінювання імпульсу та його поверненням, пристрій може розрахувати відстань до об'єкта (див. рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Схема роботи LiDAR у роботі пристрою орієнтації

Для створення тривимірної карти LIDAR оснащується системою, яка дозволяє йому сканувати оточення в різних напрямках. Спершу, сенсор генерує хмару точок (Point Cloud), яка складається з безлічі координат точок у тривимірному просторі. Кожна точка представляє місце, де лазерний промінь зіткнувся з поверхнею. Інтенсивність відбиття також записується, що дає інформацію про матеріал поверхні.

LIDAR працює ефективно в умовах недостатнього освітлення, оскільки використовує активний лазерний сигнал, але може мати труднощі з точністю у

присутності дощу, туману або дзеркальних поверхонь, які поглинають або розсіюють світло.

IMU, або ж інерційний вимірювальний блок (див. рис. 3.11), є складним датчиком, який дозволяє вимірювати прискорення, кутову швидкість і, у разі наявності магнетометра, магнітне поле.

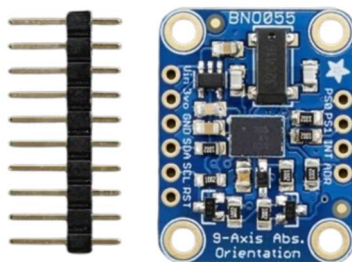


Рисунок 3.11 – Датчик IMU Adafruit BNO055

Такі дані використовуються для визначення орієнтації, руху та положення об'єкта у просторі. Основні компоненти IMU — це акселерометр, гіроскоп і магнетометр (див. рис. 3.12), кожен з яких виконує специфічну функцію, але працюють вони у тісній взаємодії.

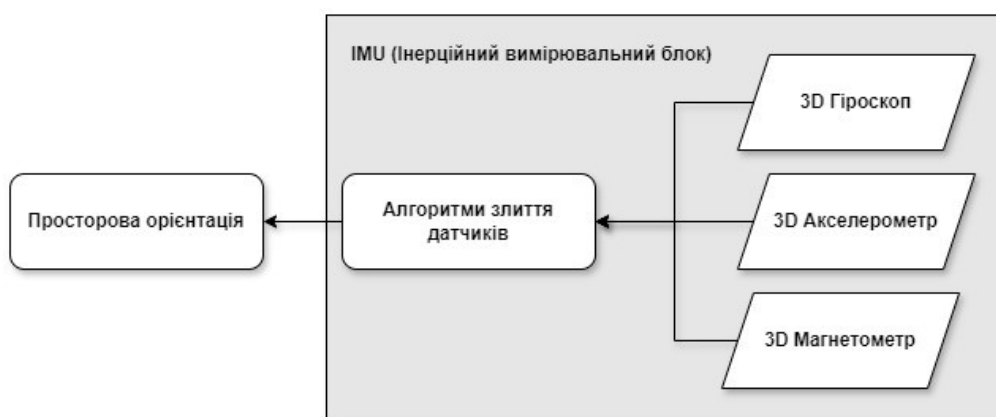


Рисунок 3.12 – Принцип роботи IMU

Акселерометр вимірює лінійне прискорення за трьома осями координат: X, Y і Z. Його робота базується на принципі реєстрації сили, що діє на мікромеханічну

масу, підвішену на пружинах. Коли пристрій змінює своє положення або піддається зовнішньому прискоренню, маса зміщується, викликаючи зміну електричного сигналу – цей сигнал потім перетворюється на дані про прискорення. Акселерометр також дозволяє фіксувати гравітаційне прискорення, що використовується для визначення нахилу пристрою щодо поверхні Землі.

Гіроскоп є ключовим компонентом для вимірювання кутової швидкості, тобто швидкості обертання пристрою навколо його осей. Принцип його роботи базується на ефекті Коріоліс – у мікромеханічних гіроскопах використовується маса, що коливається, під час обертання пристрою ці коливання змінюють напрямок через дію обертальних сил, і ці зміни фіксуються і перетворюються на дані про обертання. Гіроскоп дозволяє визначати зміни орієнтації навіть у ситуаціях, коли акселерометр не може дати точних результатів, наприклад, під час руху на високій швидкості.

Магнетометр, якщо він є частиною IMU, вимірює магнітне поле Землі, що дозволяє визначати орієнтацію пристрою щодо магнітних полюсів. Він працює подібно до компаса, але забезпечує набагато вищу точність і може враховувати локальні магнітні аномалії. У поєднанні з даними акселерометра та гіроскопа магнетометр допомагає компенсувати похибки і дрейф датчиків, забезпечуючи стабільне визначення азимуту.

Дані, які збирає IMU, обробляються за допомогою спеціальних алгоритмів. Наприклад, комплементарний фільтр використовується для поєднання швидкого відгуку гіроскопа з довгостроковою стабільністю акселерометра. Фільтр Калмана є складнішим методом, що моделює рух і дозволяє передбачати майбутні стани системи, коригуючи при цьому похибки вимірювань. Також можливе використання алгоритмів злиття, які об'єднують дані з усіх датчиків, створюючи точнішу та надійнішу картину руху і орієнтації (див. рис. 3.13).

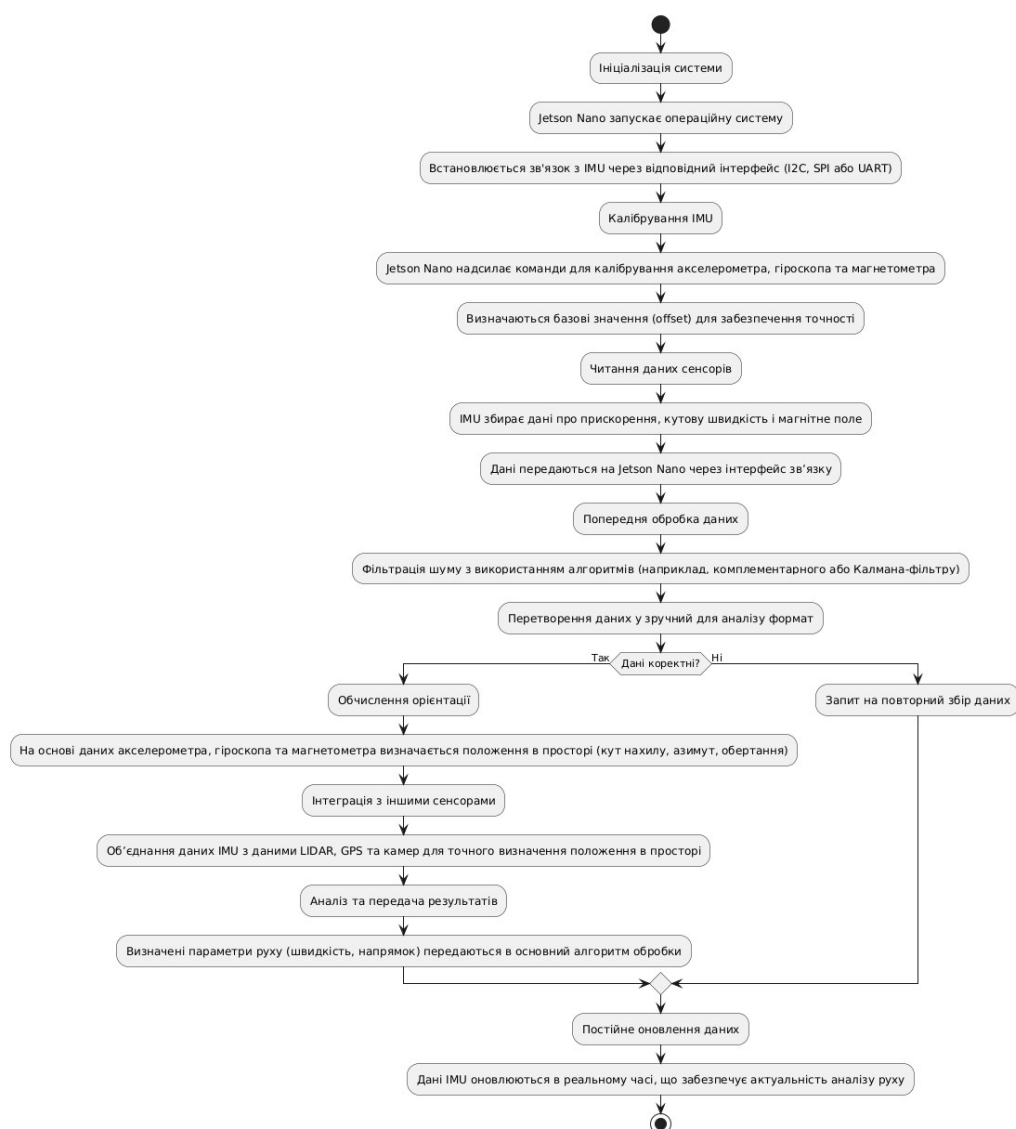


Рисунок 3.13 – Схема роботи датчика IMU у роботі пристрою орієнтації

IMU застосовується у пристроях для орієнтації завдяки своїй здатності працювати незалежно від зовнішніх сигналів, таких як GPS. Наприклад, у пристроях для людей з вадами зору IMU дозволяє визначати нахил тростини, рух користувача, а також забезпечує безперервну навігацію у середовищах із поганим сигналом GPS, таких як приміщення чи підземні тунелі. Висока швидкість реакції IMU забезпечує актуальність даних у режимі реального часу, що є критично важливим для допомоги у швидкій орієнтації та ухваленні рішень.

Апаратні компоненти – модуль GPS. Для забезпечення навігації поза приміщеннями пристрій оснащується GPS-модулем, що дозволяє (див. рис. 3.14):

- визначати місцезнаходження користувача в реальному часі;

- надсилати покрокові інструкції у формі, зрозумілій людині з вадами зору (звукові сигнали, голосові повідомлення);
- інтегруватися з картографічними програмами для кращої орієнтації в місцевості (наприклад, вказівки вздовж тротуарів чи вулиць).



Рисунок 3.14 – Модуль GPS Adafruit Ultimate GPS Breakout

В умовах, де GPS малоефективний, наприклад, у приміщеннях, можуть використовуватися додаткові технології, такі як Bluetooth-маячки чи системи локалізації на основі Wi-Fi.

Апаратні компоненти – обчислювальний модуль. Обчислювальний модуль є центральним обчислювальним вузлом пристрою, який відповідає за:

- обробку даних із камер, датчиків і GPS у реальному часі;
- використання алгоритмів машинного навчання для аналізу інформації та створення інструкцій для користувача.

Для цього пристрій може бути оснащений:

1. AI-оптимізованим процесором або GPU для виконання складних обчислень, таких як розпізнавання об'єктів і побудова маршрутів.
2. Системою, здатною працювати автономно, без необхідності в постійному підключенні до серверів, що зменшує затримки й забезпечує миттєвий зворотний зв'язок.

NVIDIA Jetson Nano Developer Kit (див. рис. 3.15) є основним таким обчислювальним модулем у пристрої орієнтації для людей із вадами зору, забезпечуючи потужну платформу для обробки даних у реальному часі. Цей модуль розроблений спеціально для роботи з алгоритмами штучного інтелекту, які

відіграють ключову роль у розпізнаванні об'єктів, аналізі навколишнього середовища та прийнятті рішень.



Рисунок 3.15 – Обчислювальний модуль NVIDIA Jetson Nano Developer Kit

Jetson Nano працює на базі чотирьохядерного процесора ARM Cortex-A57 і графічного процесора NVIDIA Maxwell із 128 ядрами CUDA. Така архітектура дозволяє виконувати паралельні обчислення, що є критично важливим для обробки великих обсягів даних, отриманих із сенсорів, таких як теплові камери, ширококутні камери, ультразвукові датчики та LIDAR. Завдяки вбудованій підтримці бібліотек для машинного навчання, таких як TensorFlow, PyTorch та OpenCV, Jetson Nano забезпечує виконання складних алгоритмів комп'ютерного зору та глибокого навчання.

У контексті пристрою орієнтації NVIDIA Jetson Nano обробляє зображення та сигнали, отримані від підключених сенсорів, і перетворює їх на зрозумілу інформацію для користувача. Наприклад, дані з теплової камери аналізуються для виявлення живих істот або інших теплових об'єктів. Одночасно обробляються зображення з оптичної камери, що дозволяє створювати комбіновану картину середовища, де враховуються як теплові, так і візуальні елементи.

Jetson Nano також використовується для реалізації алгоритмів маршрутизації та навігації. Зокрема, обчислювальний модуль виконує розрахунки на основі даних із LIDAR та ультразвукових сенсорів, дозволяючи визначати точну відстань до об'єктів і попереджати користувача про можливі перешкоди. Важливим є те, що всі

ці процеси відбуваються в режимі реального часу, що критично для забезпечення безпеки та комфорту користувача під час руху.

Крім того, Jetson Nano підтримує інтеграцію з модулями бездротового зв'язку, такими як Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє оновлювати програмне забезпечення, отримувати нові алгоритми та обмінюватися даними з іншими пристроями. Ця функція може бути корисною для підключення до мобільного додатка, який надає додаткову інформацію або дозволяє персоналізувати налаштування пристрою.

Апаратні компоненти – контролер живлення та акумулятор. Контролер заряду та літій-полімерний акумулятор (Li-Pol) є ключовими елементами в забезпеченні автономного живлення мобільних пристроїв, що потребують стабільності та тривалого часу роботи без підключення до мережі. Вони разом створюють надійну систему живлення, яка поєднує зручність використання, високу ємність та енергетичну ефективність.

Контролер заряду (див. рис. 3.16) слугує універсальним модулем для підвищення напруги з інтегрованим зарядним пристроєм. Його основна функція полягає в забезпеченні стабільної вихідної напруги для живлення різноманітних електронних компонентів, таких як мікроконтролери, сенсори чи модулі зв'язку. Завдяки інтегрованій функції підвищення напруги та можливості заряджати акумулятор одночасно з живленням пристрою, цей модуль дозволяє пристрою працювати безперервно навіть під час заряджання. Він також має вбудовані системи захисту від перенапруги, короткого замикання та перевантаження, що робить його безпечним і надійним.

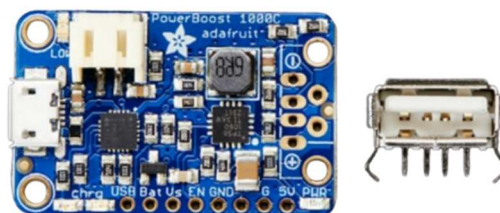


Рисунок 3.16 – Контролер заряду Adafruit PowerBoost 1000 Charger

Літій-полімерний акумулятор (Li-Pol) (див. рис. 3.17) забезпечує компактне та ефективне джерело енергії, придатне для використання в портативних пристроях. Він відрізняється високою щільністю енергії, що дозволяє забезпечити тривалий час роботи без необхідності частої підзарядки. Завдяки великій ємності акумулятор здатний живити складні системи, наприклад, ті, що потребують значного енергоспоживання для роботи обчислювальних модулів чи сенсорів.



Рисунок 3.17 – Li-Po Battery 3.7V 10000mAh 1260110

У тандемі ці два компоненти створюють універсальну систему живлення для автономних пристроїв. Контролер заряду забезпечує стабільність і ефективність перетворення енергії, а літій-полімерний акумулятор служить надійним джерелом тривалої енергії. Таке поєднання є оптимальним для будь-яких портативних або мобільних систем, де критично важливі компактність, автономність і стабільність роботи.

Апаратні компоненти – модуль Wi-Fi та Bluetooth. Модуль Wi-Fi та Bluetooth (див. рис. 3.18) у пристрої орієнтації виступає єдиною інтегрованою системою, що забезпечує безпроводний зв'язок між компонентами тростини, мобільними пристроями користувача та віддаленими сервісами. Його ключове завдання — створення гнучкого й стабільного каналу передачі даних для управління, оновлення та навігації в реальному часі.



Рисунок 3.18 – Модуль Wi-Fi та Bluetooth
ESP32 DevKit Wi-Fi Bluetooth ESP32-C3 SuperMini

Bluetooth забезпечує локальну взаємодію зі смартфоном чи планшетом, що дозволяє легко налаштовувати функції пристрою, отримувати тактильний або аудіозворотний зв'язок, а також отримувати сповіщення про навколишні об'єкти та небезпеки. Його перевага полягає у низькому енергоспоживанні та мінімальних затримках, що особливо важливо для забезпечення своєчасних попереджень.

Wi-Fi, як частина цього модуля, відповідає за передачу великих обсягів даних, таких як оновлення карт місцевості, завантаження нових моделей штучного інтелекту або отримання аналітичних даних із хмарних сервісів. Завдяки високій швидкості й пропускній здатності Wi-Fi забезпечує пристрою можливість працювати з актуальною інформацією, покращуючи його адаптивність до нових умов.

Модуль побудований на сучасній архітектурі, яка дозволяє уникати потенційних проблем, пов'язаних із перешкодами в середовищі, завдяки використанню останніх стандартів зв'язку, таких як Wi-Fi 6 та Bluetooth Low Energy (BLE). Ця інтеграція дозволяє забезпечити високу надійність з'єднання навіть у складних умовах експлуатації, наприклад, у густонаселених або інфраструктурно насичених зонах.

Завдяки поєднанню функціональності Wi-Fi та Bluetooth у єдиному модулі пристрій орієнтації стає багатофункціональним, забезпечуючи користувачам швидкий доступ до необхідної інформації та підтримку безпечної навігації в реальному часі.

Апаратні компоненти – стереодинаміки. Звуковий зворотний зв'язок за допомогою стереодинаміків (див. рис. 3.19) слугує основним способом передачі

інформації для користувачів з вадами зору. Він дозволяє створити «аудіовізуальний» простір, в якому голосові підказки, тональні сигнали та просторове аудіо допомагають сприймати навколишнє середовище та здійснювати взаємодію з пристроєм.



Рисунок 3.19 – Стереодинаміки Adafruit Stereo Enclosed Speaker Set 3W 4 Ohm

Стереодинаміки забезпечують точне та багатофункціональне звукове сповіщення. Вони дозволяють пристрою створювати просторові сигнали, що забезпечують ефективну взаємодію з користувачем. Основна їхня функція — трансформація отриманих даних у доступні та зрозумілі аудіосигнали, які можуть інформувати про наявність об'єктів, перешкод або небезпечних зон у навколишньому середовищі.

Стереодинаміки забезпечують передачу голосових підказок, тональних сигналів і просторового звуку. Голосові підказки інформують про ключові елементи навколишнього середовища, такі як: «Ліворуч бордюр через 3 метри», «Пішохідний перехід попереду» або «Поверніть праворуч через 5 метрів». Завдяки чіткості та детальності таких повідомлень користувач отримує важливу інформацію, необхідну для ухвалення безпечних рішень.

Тональні сигнали додають можливість швидкого реагування. Їх частота, тривалість чи інтенсивність допомагають визначити відстань до об'єкта або його тип. Наприклад, короткі високочастотні звуки можуть сигналізувати про наближення до небезпечної зони, а тривалі низькі тони — про більші перешкоди.

Особливе значення має технологія просторового аудіо, яка створює тривимірне звукове середовище. Завдяки стереодинамікам користувач може визначати напрямок і відстань до об'єкта: якщо перешкода знаходиться праворуч,

звук відтворюється в правому динаміку, забезпечуючи природне сприйняття простору. Це особливо важливо під час пересування в незнайомих або складних умовах, таких як вулиці міста з інтенсивним трафіком.

Інтерактивний аудіоінтерфейс дозволяє пристрою адаптуватися до індивідуальних потреб користувача, враховуючи його положення, напрямку руху та оточення. Такий підхід сприяє створенню інтуїтивно зрозумілої та доступної системи, яка не залежить від зорового сприйняття. Для забезпечення ефективності пристрій орієнтований на чіткість сигналів навіть у шумному середовищі. Голосові повідомлення доповнюються тактильними сигналами, створюючи універсальну платформу для орієнтації людей із вадами зору.

Апаратні компоненти – вібраційний мотор та контролер. Вібраційний мотор та контролер (див. рис. 3.20) забезпечують додатковий рівень сприйняття для користувачів із вадами зору. Така система особливо важлива в умовах гучного міського середовища, де звукові сигнали можуть бути недостатньо помітними через високий рівень шуму.



Рисунок 3.20 – Вібраційний контролер Adafruit DRV2605L Haptic Motor Controller та мотор Precision Microdrives 10mm LRA (C10-100)

Основна функція вібраційного модуля полягає у передачі інформації за допомогою змін інтенсивності, ритму або тривалості вібраційних сигналів. Наприклад, коли користувач наближається до перешкоди, вібрація стає поступово сильнішою, дозволяючи оцінити відстань до об'єкта. Якщо перешкода знаходиться далеко, сигнал є слабким і рідкісним, але зі скороченням дистанції його частота та інтенсивність зростають. Це схоже на принцип роботи металошукача, де сила сигналу збільшується у міру наближення до металевого предмета.

Контролер вібраційного модуля дозволяє налаштовувати точність і різноманітність сигналів. Він може генерувати різні шаблони вібрацій, які передають додаткову інформацію, наприклад, вказуючи напрямок руху. Легка вібрація зліва може сигналізувати про необхідність повернути ліворуч, тоді як посилення сигналу праворуч може означати перешкоду на цьому боці. Такий підхід забезпечує інтуїтивне сприйняття навіть без використання звукових повідомлень.

Тактильний зворотний зв'язок також використовується для взаємодії з інтерфейсом пристрою. Наприклад, під час переміщення у меню користувач може відчувати легкі вібрації, які підтверджують вибір опції або зміну налаштувань. Це створює фізичний відгук на дії, що робить управління пристроєм зручним та зрозумілим навіть без візуального контролю.

Система вібраційного зворотного зв'язку значно підвищує ефективність пристрою, надаючи користувачам із вадами зору альтернативний спосіб орієнтації та взаємодії. У поєднанні зі звуковими сигналами вона забезпечує комплексний та адаптивний підхід до навігації, що дозволяє більш впевнено пересуватися у складних умовах сучасного міста.

Апаратні компоненти – тактильні кнопки. Тактильні кнопки (див. рис. 3.21) дозволяють легко налаштовувати параметри пристрою та адаптувати його функціонал відповідно до індивідуальних потреб користувача. Завдяки тактильному відгуку кнопки надають фізичну підтверджувальну інформацію про виконану дію, що є критично важливим для людей, які не можуть покладатися на зорове сприйняття.



Рисунок 3.21 – Тактильні кнопки для управління пристроєм:

Tactile Push Button Switch Momentary

Основна перевага тактильних кнопок полягає в їх простоті та інтуїтивності. Наприклад, користувач може використовувати кнопки для регулювання параметрів зворотного зв'язку, таких як інтенсивність вібрацій чи рівень звукових сигналів. Це дозволяє персоналізувати роботу пристрою, враховуючи різні вподобання: від безперервного інформування про всі деталі оточення до періодичних оновлень, які зменшують ризик інформаційного перевантаження. Крім того, кнопки можуть забезпечувати швидкий доступ до функцій, таких як перемикання між голосовими інструкціями та тональними сигналами, зміна гучності або активація спеціальних режимів.

Тактильні кнопки також є невід'ємною частиною управління голосовими командами. Вони можуть використовуватися для підтвердження команд або активації режиму голосового керування, що особливо корисно в ситуаціях, коли фізична взаємодія з пристроєм обмежена. Наприклад, користувач може одним натисканням кнопки активувати голосове меню і сказати «Розпочати навігацію» для запуску маршруту, або «Повторити останню інструкцію», щоб отримати уточнення.

Управління через тактильні кнопки також підтримує адаптацію пристрою до різних умов середовища. У шумних міських районах або під час руху у натовпі можливість швидко вимкнути звук або переключитися на вібраційний режим дозволяє уникнути відволікань і забезпечує безпеку користувача. Завдяки чіткому фізичному відгуку кнопки дозволяють надійно керувати пристроєм навіть у стресових або складних ситуаціях.

Архітектура програмного забезпечення – операційна система. Архітектура програмного забезпечення для пристроїв орієнтації, призначених для людей з вадами зору, відіграє ключову роль у забезпеченні ефективної роботи всієї системи. Вона охоплює алгоритми обробки даних, моделі штучного інтелекту та протоколи зв'язку, які забезпечують взаємодію між апаратними компонентами пристрою. Кожен елемент архітектури сприяє наданню зворотного зв'язку в реальному часі, що є важливим для ефективного використання пристрою.

JetPack – це програмна платформа (див. рис. 3.22), створена компанією NVIDIA для роботи з одноплатними комп'ютерами серії Jetson, такими як Jetson Nano. Вона забезпечує повний програмний стек, що включає операційну систему, драйвери, бібліотеки та інструменти розробки, необхідні для створення сучасних пристроїв зі штучним інтелектом, таких як система орієнтації для людей з вадами зору. JetPack базується на Ubuntu-based OS, що забезпечує високу гнучкість, адаптивність і підтримку широкого спектра апаратних компонентів, таких як камери, LIDAR, інерціальні блоки (IMU) та інші сенсори.

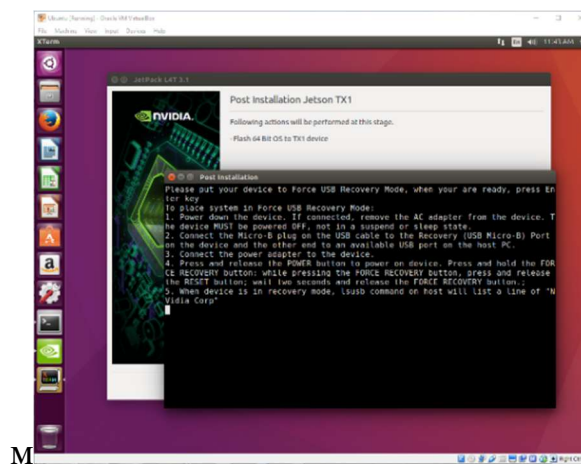


Рисунок 3.22 – Операційна система JetPack (Ubuntu-based OS)

Основною перевагою JetPack є її інтеграція з сучасними бібліотеками і фреймворками, такими як TensorRT, CUDA та OpenCV, які дозволяють реалізовувати складні алгоритми штучного інтелекту і обробки даних у реальному часі. Завдяки цьому пристрій може ефективно аналізувати навколишнє середовище, розпізнавати об'єкти, уникати перешкод і надавати користувачеві голосові підказки. JetPack також підтримує технології роботи з камерами (CSI та USB), що дозволяє інтегрувати як звичайні камери, так і тепловізійні, а також використовувати інфрачервоні камери для роботи в умовах слабкого освітлення.

Операційна система JetPack координує взаємодію між апаратними та програмними компонентами, забезпечуючи стабільну роботу пристрою навіть у складних умовах. Вона включає драйвери для ефективного використання датчиків, механізми синхронізації роботи різних модулів і інструменти для розробки та

налаштування штучного інтелекту. Завдяки RTOS-елементам, JetPack забезпечує можливість роботи в реальному часі, що критично важливо для пристроїв орієнтації.

Розробка пристрою для людей із вадами зору, що використовує технології штучного інтелекту, потребує ретельного підбору апаратних компонентів. Кожен із них відіграє ключову роль у забезпеченні функціональності, доступності та точності пристрою. Сучасний ринок на момент 2024 року може запропонувати низку готових рішень, які можуть бути інтегровані для створення такого прототипу. У додатку наведено основний перелік компонентів, їх короткі характеристики та приблизна вартість, що дозволяє оцінити загальний бюджет для розробки пристрою. (Додаток А)

Призначення та розташування компонентів запропонованого прототипу. У подальшому буде детально описано функціональне призначення, розташування ключових компонентів прототипу тростини для осіб із порушеннями зору, а також способи їх підключення до одноплатного комп'ютера (див. рис. 3.23).

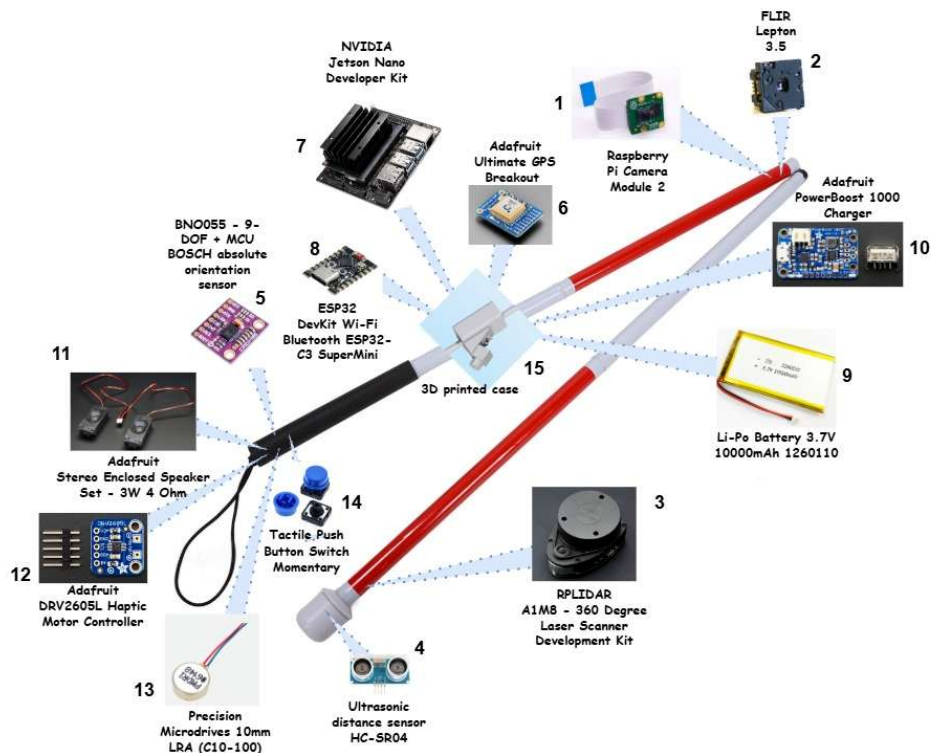


Рисунок 3.23 – Запропонований прототип розумної тростини з використанням штучного інтелекту

Камера високої роздільності кріпиться у верхній або середній частині тростини, що забезпечує широкий огляд простору перед користувачем. Вона підключається через інтерфейс CSI, спеціально розроблений для камер. Інфрачервона камера розташовується поруч із основною камерою для забезпечення роботи в умовах поганого освітлення або темряви, використовуючи SPI або USB інтерфейс для зв'язку. Для роботи інфрачервоної камери може бути передбачене додаткове джерело інфрачервоного освітлення, інтегроване поруч.

LIDAR встановлюється в нижній частині тростини з орієнтацією вперед, що дозволяє створювати тривимірну карту простору та виявляти об'єкти на шляху. Він підключається до одноплатного комп'ютера через UART або USB інтерфейс. Для забезпечення тривалого терміну служби сенсора передбачається захист від пилу, вологи та ударів за допомогою спеціального корпусу. Ультразвуковий датчик, розміщений на кінці тростини, використовується для виявлення близьких перешкод. Він підключається через 40-піновий роз'єм GPIO, а його корпус має забезпечувати надійний захист від механічних впливів.

IMU (інерціальний вимірювальний блок) інтегрується в ручку тростини, що дозволяє визначати нахили та орієнтацію пристрою під час руху. Його підключення здійснюється через UART інтерфейс. GPS-модуль розташований у корпусі біля ручки тростини для отримання точних координат користувача. Підключення модуля здійснюється через UART або USB інтерфейс. Можливе використання додаткової антени для покращення якості сигналу в умовах щільної забудови чи поганого покриття.

Одноплатний комп'ютер, який керує всією системою, закріплений у захисному корпусі неподалік ручки тростини. Корпус забезпечує вентиляцію та захист від перегріву компонентів. Bluetooth і Wi-Fi модулі розташовані в тому ж корпусі для бездротового зв'язку з іншими пристроями, такими як смартфони. Модулі використовують USB або GPIO роз'єми, а для покращення зв'язку передбачена зовнішня або вбудована антена.

Акумулятор розташований у спеціальному відсіку біля ручки тростини. Він забезпечує живлення всіх компонентів і підключений до роз'єму GPIO. Тип

аккумулятора може бути літій-іонним або літій-полімерним, що забезпечує тривалий час автономної роботи. Схема живлення, розташована поруч із аккумулятором, відповідає за управління зарядом та перемикання між режимами енергозбереження. Можливість швидкого заряджання передбачена через стандартний роз'єм USB Type-C.

Стереодинаміки інтегрується у верхню частину тростини або ручку для передачі голосових повідомлень користувачу, підключаючись до 4-пінового роз'єму. Потужність спікера дозволяє чітко чути повідомлення навіть у шумному середовищі, а також підтримується функція шумозаглушення. Вібраційний контролер та вібраційний двигун, розміщені у ручці тростини, забезпечують тактильний зворотний зв'язок. Вони підключаються через аудіо Jack 3.5 або GPIO роз'єм. Вібрація може мати кілька рівнів інтенсивності для різних сигналів, таких як наближення перешкод або зміна маршруту.

Тактильні кнопки встановлюються на ручці тростини для управління режимами роботи пристрою. Вони забезпечують зручний доступ навіть для користувачів із обмеженою моторикою. Їх підключення здійснюється через GPIO роз'єм. Нарешті, захисний футляр забезпечує збереження і захист компонентів, закріплюючись безпосередньо на тростині або в окремому відсіку. Футляр виготовлений із легкого, але міцного матеріалу, що запобігає механічним пошкодженням компонентів та дозволяє зручно переносити пристрій.

3.2 Інтеграція алгоритмів ШІ в роботу пристрою

Щоб пристрій функціонував належним чином, забезпечуючи ефективність та відповідність запланованим завданням, важливо не лише реалізувати алгоритми штучного інтелекту (ШІ), але й забезпечити їхнє правильне інтегрування, навчання та оптимізацію. Зокрема, ШІ має забезпечувати не просто накопичення даних, але й їхню обробку та трансформацію в корисну інформацію, що дозволить пристрою не лише виконувати базові функції, але й забезпечити вищу ефективність у реальному часі. Такий підхід стає особливо актуальним у створенні пристроїв для людей з вадами зору, адже саме коректна робота алгоритмів дозволяє надати користувачеві доступний і зрозумілий зворотний зв'язок, що допомагає адаптуватися до навколишнього середовища.

Створення подібного пристрою починається з визначення його основних функцій, які, у свою чергу, базуються на ретельному виборі конкретних алгоритмів ШІ – рішення, яке вплине на здатність пристрою забезпечувати виявлення об'єктів, оцінку глибини, аналіз середовища, а також орієнтацію в просторі та інформування користувача. Від того, наскільки правильно підібрано алгоритми, залежить швидкість, точність та надійність роботи пристрою. У цьому контексті застосовуються кілька типів алгоритмів, кожен з яких виконує свою специфічну роль.

Вибір та навчання алгоритмів – виявлення об'єктів. Для того щоб пристрій міг розпізнавати об'єкти в реальному часі, широко використовуються спеціалізовані моделі машинного навчання, такі як (див. рис. 3.24):

- YOLO (You Only Look Once) – дозволяє швидко розпізнавати об'єкти завдяки оптимізації обробки зображень, що робить його ідеальним для пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами;
- SSD (Single Shot MultiBox Detector) – схожий за характеристиками з YOLO, забезпечує швидке та ефективне виявлення численних об'єктів у кадрі;

- Faster R-CNN – забезпечує вищу точність розпізнавання, але потребує більше часу на обробку даних, тому його раціонально використовувати в умовах, де затримка є припустимою, наприклад, у приміщеннях.

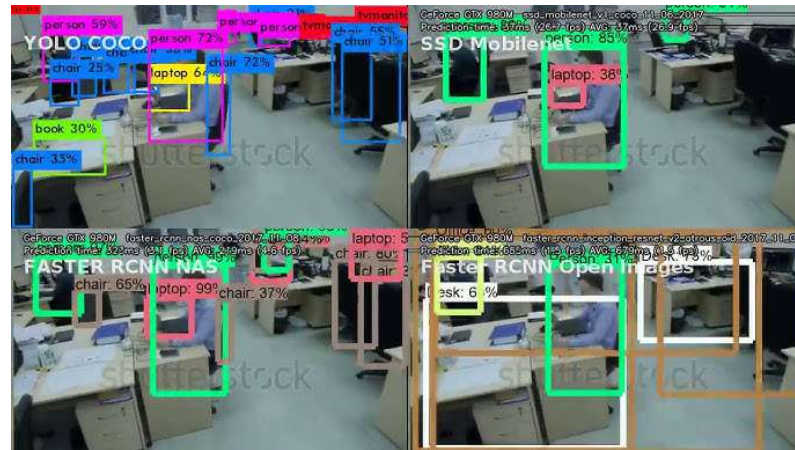


Рисунок 3.24 – Алгоритм обробки даних III: YOLO, SSD, Faster R-CNN

Такі алгоритми дозволяють класифікувати об’єкти поблизу користувача та надавати йому відповідну інформацію. Однак у зовнішньому середовищі більший акцент робиться на швидкість, тому YOLO та SSD є більш придатними.

Вибір та навчання алгоритмів – оцінка відстані. Оцінка глибини чи відстані між користувачем і об’єктами навколо нього є ще однією важливою функцією, що може бути досягнуто через (див. рис. 3.16):

- стереокарти глибини – метод, що використовує дві камери для створення точного тривимірного уявлення про середовище;
- монокулярні моделі глибини, такі як MiDaS, які застосовуються в умовах, коли пристрій оснащений лише однією камерою;
- LiDAR датчики, які дозволяють отримати деталізовану інформацію про глибину, забезпечуючи високу точність навіть у складних середовищах.

Ці алгоритми сприяють тому, щоб пристрій міг розуміти відстані до перешкод або інших важливих об’єктів і оперативно передавати цю інформацію користувачеві.

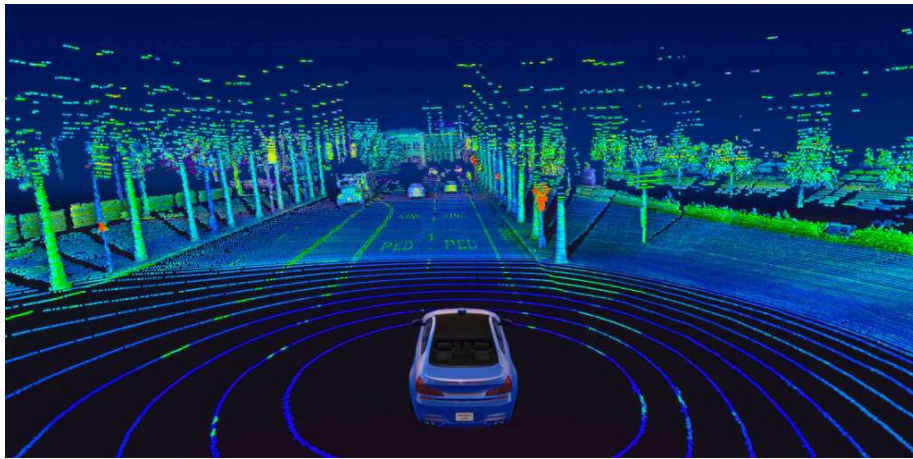


Рисунок 3.25 – Робота датчика LIDAR для визначення глибини

Для забезпечення ефективної роботи пристрою в різних умовах, які може зустріти людина з вадами зору, необхідно адаптувати алгоритми до багатьох сценаріїв. Наприклад, середовища, такі як вулиці, приміщення, станції громадського транспорту, багатолюдні площі або відкриті простори, вимагають різного підходу до обробки даних. Алгоритми пристрою мають бути здатні розпізнавати загальні перешкоди, орієнтири та інші важливі об'єкти, забезпечуючи точність у реальному часі. Для цього використовують комплексний підхід, який охоплює вибір наборів даних, попередню обробку інформації, основний процес навчання та постійне вдосконалення.

Вибір набору даних. Однією з основних умов ефективного навчання є правильний вибір наборів даних, які використовуються для тренування моделі. Серед найпоширеніших великих відкритих наборів можна виділити (див. рис. 3.17) [55]:

- MS COCO – багатофункціональний набір зображень із широким спектром об'єктів і сценаріїв;
- Open Images – великий набір анотованих даних із різними класами об'єктів;
- Waymo Open Dataset – спеціалізований набір для автономних систем, що включає високоякісні дані для складних сценаріїв.



Рисунок 3.26 – Набори даних: MS COCO, Open Images, Waymo Open Dataset

Крім загальнодоступних наборів, можуть використовуватися власні, спеціально зібрані дані, які отримують за допомогою камер і датчиків пристрою в різних реальних середовищах. Наприклад, зображення та відео, отримані у багатолюдних місцях, на вулицях чи в приміщеннях, допомагають моделі адаптуватися до специфічних умов.

Попередня обробка даних. Після вибору даних наступним етапом є їхня обробка. Для досягнення максимальної точності моделі необхідно виконати:

- 1) Анотацію даних — позначення важливих об’єктів і місць для встановлення їхньої просторової взаємодії.
- 2) Збільшення даних — застосування технік, які підвищують стійкість моделі до змін у навколишньому середовищі. Наприклад:
 - обертання, щоб модель залишалася точною при зміні ракурсу;
 - масштабування, для адаптації до різних розмірів об’єктів;
 - регулювання яскравості, щоб забезпечити роботу за умов змінного освітлення.

Ці методи дозволяють створювати стійкі моделі, які працюють у складних умовах, таких як низька видимість, яскраве світло чи динамічні сцени.

Для забезпечення ефективної роботи систем, орієнтованих на штучний інтелект, надзвичайно важливим є обробка даних у реальному часі із мінімальною затримкою, що матиме вирішальне значення при створенні пристроїв орієнтації для

людей із вадами зору, адже такі системи повинні негайно розпізнавати зміни в навколишньому середовищі та адекватно на них реагувати. Миттєвий зворотний зв'язок дозволяє забезпечити безпечну навігацію, особливо в динамічних умовах, таких як міський трафік, де присутні транспортні засоби, пішоходи та інші потенційні перешкоди.

Граничні обчислення для обробки на пристрої. Граничні обчислення дають змогу обробляти дані безпосередньо на пристрої, без необхідності передавати їх у хмару, що значно зменшує затримку, пов'язану з мережею, і підвищує швидкість прийняття рішень. Завдяки вбудованим алгоритмам штучного інтелекту на таких пристроях, як Jetson Nano або Coral від NVIDIA, пристрій може обробляти живі дані з камер або датчиків і негайно реагувати. Такий підхід забезпечує більш стабільну продуктивність у реальному часі навіть за відсутності стабільного інтернет-з'єднання.

Оптимізація моделей. Для покращення продуктивності та зменшення ресурсозатратності моделей використовуються методи оптимізації, зокрема (див. рис. 3.18) [51]:

1. Скорочення (Pruning). Видалення некритичних зв'язків у нейронній мережі для зменшення її розміру.
2. Квантування (Quantization). Перехід від 32-бітних чисел із плаваючою точкою до 8-бітних цілих чисел, що значно знижує потребу в обчисленнях і прискорює роботу моделі.
3. Дистиляція знань (Knowledge Distillation). Передача знань від великої моделі до меншої для збереження точності при зниженні обчислювальних потреб.

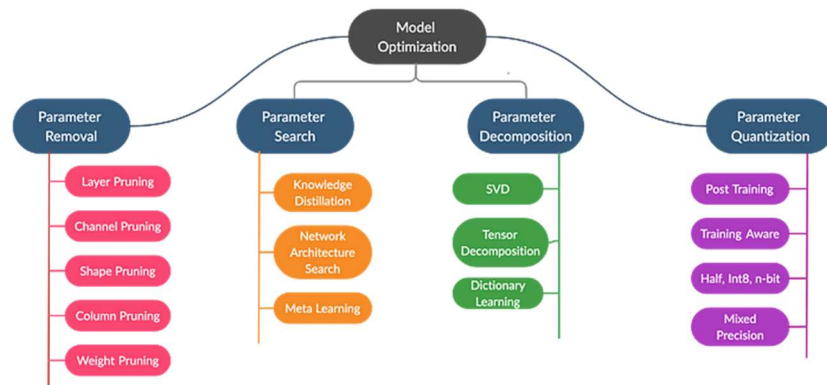


Рисунок 3.27 – Оптимізація моделей: скорочення, квантування, дистиліяція знань

Використання легких моделей. Для мобільних і периферійних пристроїв доцільно використовувати спеціально оптимізовані легкі моделі. Наприклад, такі моделі, як MobileNet (див. рис. 3.19) або Tiny YOLO, розроблені для виявлення об'єктів у режимі реального часу. Вони забезпечують відмінний баланс між точністю та швидкістю роботи, що робить їх ідеальними для малопотужних пристроїв, таких як смартфони або пристрої периферійної обробки [52].

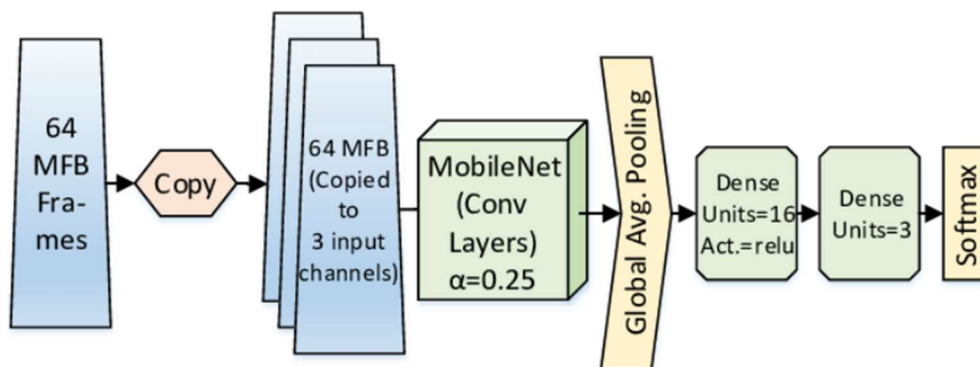


Рисунок 3.28– Легкі моделі: MobileNet

Аудіоінструкції – інтеграція синтезу мовлення з тексту (TTS). Однією з ключових функцій для забезпечення аудіоінструкцій є інтеграція технології синтезу мовлення з тексту (Text-to-Speech, TTS) (див. рис. 3.20). Ця технологія перетворює інформацію, отриману від системи, наприклад, про виявлені об'єкти, їх розташування або напрямки руху, у зрозумілі голосові інструкції, що дозволить людям із вадами зору отримувати актуальні дані про навколишнє середовище без

надмірного перевантаження їхніх органів чуття. Інструкції, створені за допомогою TTS, зазвичай є лаконічними, контекстно орієнтованими й уникають непотрібних деталей, забезпечуючи комфорт і зручність для користувачів [53].



Рисунок 3.29 – Аудіоінструкції: інтеграція синтезу мовлення з тексту (TTS)

Аудіоінструкції – спрямоване аудіо. Спрямоване аудіо створюється за допомогою спеціальних стереодинаміків, які можуть передавати сигнали відповідно до положення перешкоди. Наприклад, якщо система виявляє перешкоду з правого боку, звук лунатиме у правому вусі користувача. Такий підхід дозволяє інтуїтивно зрозуміти місце розташування об’єкта, сприяючи легшій орієнтації у просторі навіть у складних умовах (див. рис. 3.21).

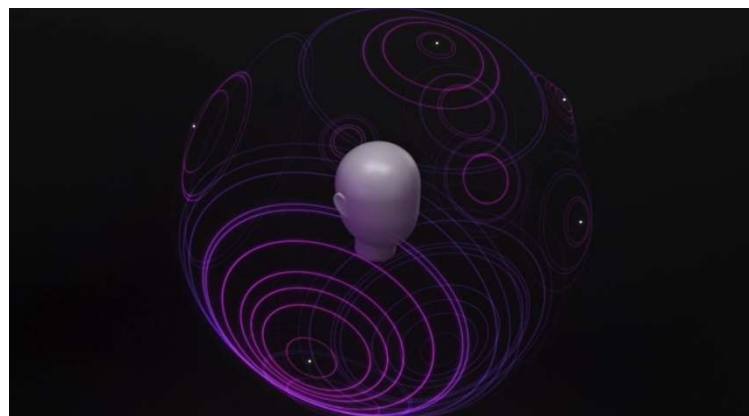


Рисунок 3.30 – Аудіоінструкції: *спрямоване аудіо*

Аудіоінструкції – пріоритетні сповіщення. Система звукових сповіщень може використовувати різні рівні пріоритетності, адаптуючись до ситуаційної важливості. Наприклад:

1. Критичні сигнали. Серія інтенсивних звукових сигналів попереджає про негайну небезпеку, таку як наближення автомобіля чи велосипедиста.
2. Інформаційні підказки. Менш уривчасті голосові повідомлення можуть інформувати про важливі орієнтири або особливості маршруту, що не вимагають миттєвої реакції.

Такий підхід допомагає користувачам із вадами зору зосереджуватись на найважливіших аспектах їхнього середовища, зменшуючи ризик небезпеки.

Вібраційний (тактильний) зворотний зв'язок – шаблони вібрації. Тактильний зворотний зв'язок надає ще один канал для передачі інформації, використовуючи вибрані шаблони вібрації. Наприклад (див. рис. 3.22) [54]:

- короткі переривчасті вібрації можуть сигналізувати про перешкоди поблизу;
- тривалі безперервні вібрації можуть вказувати на необхідність змінити маршрут через такі об'єкти, як бордюри або сходи.

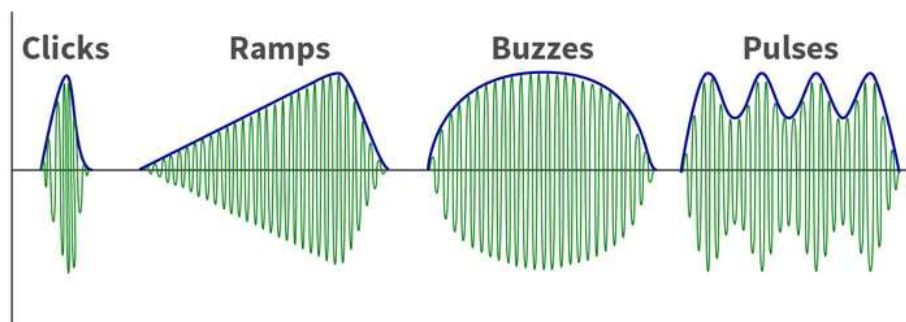


Рисунок 3.31 – Вібраційний (тактильний) зворотний зв'язок: шаблони вібрації

Це дозволяє непомітно передавати користувачеві ключову інформацію про навколишнє середовище.

Вібраційний (тактильний) зворотний зв'язок – напрямок та інтенсивність.

Для забезпечення спрямованого тактильного зворотного зв'язку вібраційні двигуни можуть бути розташовані у різних частинах пристрою. Наприклад:

1. Ліва сторона пристрою. Вібрація сигналізує про перешкоди зліва.
2. Інтенсивність вібрації. Сильніші вібрації повідомляють про ближчі об'єкти, тоді як слабкіші вказують на віддалені перешкоди.

Вібраційний (тактильний) зворотний зв'язок – регулювання частоти на основі швидкості. Частота вібрацій може автоматично змінюватися залежно від швидкості руху користувача. Наприклад:

- під час ходьби вібрація може бути менш інтенсивною;
- при швидкому русі, наприклад, у транспорті або під час бігу, частота та інтенсивність вібрацій збільшується, щоб забезпечити своєчасне попередження про перешкоди.

Тип зворотного зв'язку може змінюватися залежно від контексту. Наприклад:

1. У шумному середовищі (міський рух) тактильний зворотний зв'язок є основним способом сповіщення.
2. У тихих приміщеннях перевага надається звуковим підказкам, які є більш зручними.

Такий адаптивний підхід дозволяє забезпечити точність і зручність використання пристрою.

Надання можливості персоналізації зворотного зв'язку значно підвищує зручність використання. Користувачі можуть налаштовувати:

- гучність звуку;
- інтенсивність вібрації;
- тип зворотного зв'язку (аудіо чи тактильний).

Це робить пристрій універсальним, дозволяючи адаптувати його під індивідуальні потреби та переваги користувача.

3.3 Перспективи розробки та впровадження пристрою орієнтації на основі ШІ

Пристрої для орієнтації на місцевості, особливо з використанням штучного інтелекту, покликані стати революційним рішенням для людей із вадами зору. Вони значно покращують якість життя користувачів, сприяють їхній незалежності, мобільності та безпеці. Метою цих пристроїв є забезпечення ефективного зворотного зв'язку із зовнішнім середовищем, що дає можливість людям орієнтуватися в просторі без сторонньої допомоги.

Проте створення таких пристроїв включає кілька важливих етапів:

- розробка прототипу, який дозволяє перевірити основну функціональність;
- вдосконалення конструкції після тестувань;
- масове виробництво для широкого ринку.

Усе це супроводжується технічними, економічними та етичними викликами, які потрібно вирішувати для створення ефективного і доступного продукту:

Проблеми масового виробництва та масштабованості. Однією з найбільших проблем є висока собівартість пристроїв, що зумовлено використанням передових технологій. Наприклад:

1. Процесори зі штучним інтелектом, які забезпечують обробку даних у реальному часі.
2. LiDAR та тепловізійна камера, що аналізують навколишнє середовище.
3. Камери з високою роздільною здатністю, які дозволяють розпізнавати об'єкти навіть за умов низької освітленості.

Усі ці компоненти є технологічно складними і дорогими, що автоматично впливає на вартість кінцевого продукту. Окрім цього, витрати на розробку таких пристроїв, особливо на створення прототипів, також є значними – це стає проблемою для масового виробництва, адже пристрій може залишитися

недоступним для основної цільової аудиторії — людей із вадами зору, які часто мають обмежені фінансові можливості.

Зменшення вартості компонентів. Зменшення вартості компонентів — важливий крок для забезпечення доступності пристроїв. Цього можна досягти такими шляхами:

1. Альтернативні компоненти та матеріали. Заміна дорогих частин більш економічними, які не знижують ефективність пристрою.
2. Ефект масштабу. Великі закупівлі матеріалів та компонентів для виробництва дозволяють знизити собівартість кожної одиниці пристрою.
3. Технологічний прогрес. З часом технології стають доступнішими. Наприклад, сучасні датчики та процесори, які є дорогими зараз, у перспективі можуть здешевіти, що позитивно вплине на масове виробництво.

Тестування в реальних умовах. Перш ніж запустити пристрій у масове виробництво, необхідно провести ретельні випробування в різноманітних умовах. Такий підхід дозволяє оцінити його здатність працювати в реальних ситуаціях і виявити можливі слабкі місця.

Тестування має охоплювати:

- багатолюдні міські райони для перевірки роботи в умовах інтенсивного руху;
- закриті приміщення для оцінки навігації у вузьких просторах;
- природні ландшафти для визначення ефективності пристрою на нерівних поверхнях;
- зміни освітлення (від яскравого сонячного світла до темряви);
- вплив температурних коливань;
- робота при різних рівнях шуму, що може впливати на зворотний зв'язок із користувачем.

Довговічність і технічне обслуговування. Ще одним важливим аспектом є забезпечення довговічності пристрою та зручного технічного обслуговування. Пристрій має бути виготовлений із міцних матеріалів, які здатні витримувати:

- регулярне використання у повсякденному житті;

- вплив несприятливих кліматичних умов, таких як дощ, сніг або висока температура;
- можливі нещасні випадки, такі як падіння або удари.

Для забезпечення довговічності також важливо врахувати ремонтопридатність. Виробники мають розробляти пристрій таким чином, щоб:

1. Ремонт був простим та доступним. Наприклад, заміна пошкоджених деталей не вимагала складних операцій або високих витрат.
2. Програмне забезпечення регулярно оновлювалося. Це дозволяє підтримувати функціональність пристрою навіть через кілька років після випуску.
3. Інтегрувалася віддалена діагностика. Така можливість допоможе швидко визначити проблему та знайти її рішення без необхідності фізичного втручання.

Підтримка клієнтів також є важливою складовою – забезпечення сервісних центрів, гарячих ліній та інструкцій для користувачів сприятиме підвищенню довіри до пристрою.

Масштабованість виробництва. Перехід від створення прототипу до масового виробництва є важливим етапом у розробці будь-якого технологічного пристрою. Масштабування виробництва починається лише після того, як пристрій пройшов усі необхідні етапи тестування, включаючи випробування в різних умовах, оцінку надійності й довговічності. На цьому етапі основна мета полягає у забезпеченні стабільності й узгодженості під час створення тисяч або навіть мільйонів одиниць:

Масове виробництво пов'язане з низкою труднощів, таких як:

1. Логістичні виклики: необхідно вирішити проблеми транспортування, зберігання та постачання компонентів.
2. Точність виготовлення: навіть незначні відхилення у калібруванні датчиків або конструкції пристрою можуть суттєво вплинути на продуктивність. Для пристроїв, які орієнтовані на людей із вадами зору, це особливо важливо, адже навіть дрібна помилка може загрожувати безпеці користувачів.

Складність ланцюгів постачання особливо зростає, коли мова йде про високотехнологічні пристрої, які використовують дорогі компоненти, такі як датчики, LiDAR або високопродуктивні процесори.

Стандартизація допомагає зменшити витрати на виробництво та підвищити рівень якості. До того ж вона дозволяє забезпечити більш послідовну продуктивність пристроїв незалежно від обсягів виробництва.

Захист конфіденційності відео- та аудіоданих. Пристрої на базі штучного інтелекту, зокрема ті, що допомагають орієнтуватися людям із вадами зору, значною мірою покладаються на відео- та аудіодані для розпізнавання об'єктів і перешкод. Однак їх використання може викликати значні побоювання щодо конфіденційності, особливо в громадських місцях. Випадкові перехожі, власники майна або інші люди можуть не бажати, щоб їх записували без згоди, що створює ризики незручності та навіть юридичні конфлікти.

Для забезпечення конфіденційності потрібно зменшити обсяги оброблюваної інформації, що досягається через впровадження методів мінімізації даних:

- збір лише необхідних для негайної обробки даних;
- тимчасове зберігання даних із подальшим автоматичним видаленням.

Пристрої можуть бути спроектовані так, щоб виконувати всі необхідні обчислення локально, без передачі даних на хмарні сервери. Цей підхід:

- знижує ризик конфіденційності, оскільки дані не залишають межі пристрою;
- забезпечує швидшу обробку інформації, що важливо для навігаційних пристроїв.

Навіть якщо пристрій передбачає зберігання або передачу інформації, питання безпеки даних має бути на найвищому рівні. Особливо це важливо для захисту інформації про місцезнаходження або персональних даних користувачів.

Для цього доцільно впроваджувати:

1. Наскрізне шифрування: дані захищаються як під час передачі, так і в стані зберігання.

2. Механізми анонімізації: обробка даних без можливості ідентифікації осіб.

Розробники мають дотримуватися чинних нормативних актів у галузі захисту даних, таких як:

- GDPR (Загальний регламент захисту даних) у Європі;
- CCPA (Закон про конфіденційність споживачів) у Каліфорнії.

Вони передбачають:

- отримання згоди користувачів на збір і обробку даних;
- впровадження функцій конфіденційності, які відповідають вимогам регуляторів;
- дотримання цих правил допомагає уникнути юридичних проблем і зміцнити довіру споживачів.

Етичні моменти рішень III. Системи штучного інтелекту в пристроях орієнтації часто приймають автоматизовані рішення на основі аналізу навколишнього середовища. Тому критично важливо, щоб ці алгоритми:

- були прозорими й етичними;
- виключали будь-які упередження під час прийняття рішень.

Перспектива використання технологій VR та AR. Технологія доповненої реальності (AR), яка накладає цифрові елементи на реальне середовище, відкриває нові можливості для людей із вадами зору. На відміну від VR, яка орієнтована на повну заміну реальності, AR здатна сканувати та аналізувати оточення, надаючи користувачам додаткову інформацію в зручному форматі.

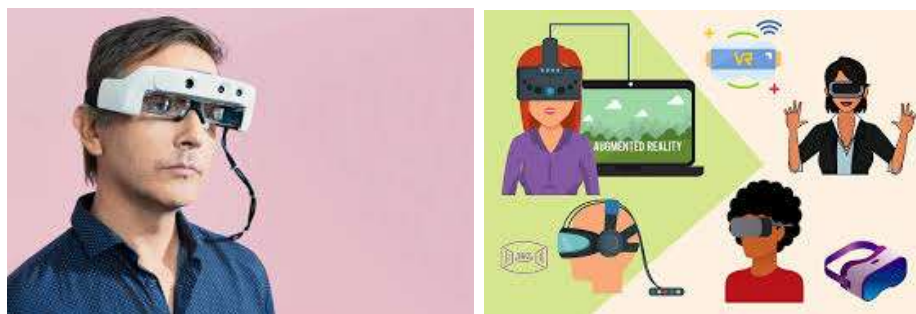


Рисунок 3.32 – Перспектива використання технологій VR та AR

Наприклад, пристрої з AR можуть створювати звукові підказки, тактильний зворотний зв'язок чи навіть використовувати технології кісткової провідності для передачі даних без необхідності використання навушників, що дозволить людям з вадами зору орієнтуватися у просторі, отримувати контекстуальні підказки та ефективніше взаємодіяти з середовищем.

Виділення об'єктів та орієнтирів. AR може допомогти в ідентифікації ключових об'єктів або орієнтирів. Наприклад, пристрій може виділяти важливі елементи середовища, такі як назви вулиць, магазини чи громадські установи, і озвучувати їх для користувача. Поєднання візуальних підказок із аудіовиводом створює багатший та зрозуміліший досвід для користувачів із порушеннями зору.

Інтерактивне керівництво. Доповнена реальність також може забезпечити інтерактивну навігацію, дозволяючи користувачам запитувати деталі про конкретні об'єкти чи місця. Системи, оснащені AR, можуть сканувати приміщення, створювати його карту та передавати користувачам інформацію через тактильний або звуковий інтерфейс. Наприклад, завдяки просторовим підказкам, пристрій може інформувати про відстань до дверей чи небезпеку на шляху.

Традиційні системи навігації, які використовують GPS, є малоефективними у приміщеннях через екранування сигналу. Майбутні рішення можуть інтегрувати спеціальні маячки на основі Bluetooth, Wi-Fi або ультраширокопосмугового зв'язку (Ultra-Wideband). Такі технології дозволять точно позиціонувати пристрій у просторі, надаючи реальні навігаційні підказки в приміщеннях, таких як торговельні центри чи лікарні.

Системи картографування та локалізації (SLAM). Алгоритми одночасного картографування та локалізації (SLAM) (див. рис. 3.24) дають змогу пристроям створювати тривимірні карти навколишнього середовища в режимі реального часу [56], що особливо важливо для великих і складних будівель, де потрібно швидко адаптуватися до нового простору. Наприклад, за допомогою зворотного зв'язку у вигляді звуків чи вібрацій, користувач може отримувати інформацію про місцезнаходження дверей, сходів або ліфтів.

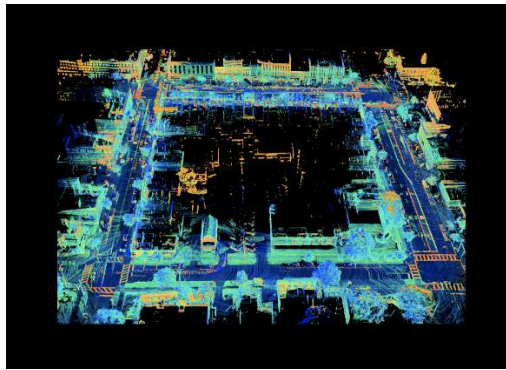


Рисунок 3.33 – Системи картографування та локалізації (SLAM)

З розвитком інфраструктури розумного міста зростає потенціал інтеграції технологій для людей із вадами зору. Наприклад, пристрої з підтримкою AI можуть взаємодіяти зі «смарт» світлофорами та пішохідними переходами, отримуючи оновлення в реальному часі про зміну сигналу світлофора або наявність перешкод.

Розумні системи громадського транспорту. Інтеграція з розумними мережами громадського транспорту дозволить людям із вадами зору отримувати повідомлення про прибуття автобусів або потягів безпосередньо на пристрій, що покращить їхню здатність планувати подорожі та знайти правильний маршрут навіть у шумному середовищі.

Адаптованість до навколишнього середовища. Системи AR можуть підлаштовуватися до змін у навколишньому середовищі, таких як недостатнє освітлення або зміна погодних умов. Пристрої, оснащені сенсорами, можуть регулювати свої функції, щоб виділяти деталі в темряві або уникати небезпечних зон.

Порівняння запропонованого прототипу між існуючими. Запропонований пристрій орієнтації для людей з вадами зору має значні переваги над існуючими прототипами, що базуються виключно на GPS-технологіях. Основна проблема GPS-пристроїв полягає в їх обмеженості функціональності. Вони надають інформацію лише про місцезнаходження користувача на карті та напрямок до заданої точки. Однак такі пристрої не враховують специфіку середовища, в якому знаходиться користувач, і не здатні ефективно реагувати на перешкоди чи зміни в оточенні. Крім того, GPS-сигнал має обмежену доступність у міських умовах,

підземних приміщеннях чи густих лісах, де сигнали супутників можуть бути заблоковані.

Запропонований пристрій орієнтації виходить за межі звичайної навігації, інтегруючи передові технології для створення багатофункціональної системи. Завдяки використанню сенсорів, таких як LIDAR, тепловізійна камера, інфрачервона камера, IMU та ультразвукові датчики, пристрій забезпечує значно вищу точність і надійність. Поєднання цих сенсорів дозволяє не лише визначати позицію користувача, але й формувати тривимірну карту оточення в реальному часі. Це дозволяє виявляти перешкоди, живі об'єкти, зміни рельєфу чи навіть визначати сходи або підйоми. GPS не має такої функціональності, оскільки він працює лише з географічними координатами.

Ще однією важливою перевагою запропонованого пристрою є його здатність працювати у складних умовах. Тепловізійна камера дозволяє розпізнавати живі об'єкти навіть у повній темряві або за поганої видимості. LIDAR та інфрачервоні сенсори забезпечують високу точність у виявленні перешкод на різних відстанях. Ультразвукові датчики ефективні для близьких об'єктів, таких як меблі, стіни чи бордюри. Водночас IMU дозволяє коригувати орієнтацію користувача навіть у разі відсутності GPS-сигналу, наприклад, у тунелях чи будівлях.

Додатково запропонований пристрій оснащений штучним інтелектом, який обробляє інформацію від сенсорів і забезпечує користувача корисною зворотним зв'язком у реальному часі. Система може не лише повідомити про наявність перешкод, але й класифікувати їх, надавати рекомендації щодо безпечного маршруту та голосові підказки. Ця функція значно полегшує орієнтацію та рух навіть у складному міському середовищі.

Нарешті, запропонований пристрій є універсальним і адаптивним. Його модульна структура дозволяє налаштовувати компоненти відповідно до потреб користувача. Наприклад, у деяких випадках може бути додано додаткові камери чи спеціалізовані сенсори. У порівнянні з GPS-пристроями, які мають обмежену функціональність і вимагають доступу до супутникового сигналу, цей пристрій є більш надійним і ефективним рішенням для людей з вадами зору (див. Табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняння запропонованого пристрою орієнтації з GPS-пристроями

Параметр	GPS-пристрій	Запропонований пристрій
Функціональність	Навігація за координатами	Навігація, виявлення перешкод, класифікація об'єктів
Працездатність у складних умовах	Обмежена в приміщеннях, тунелях, густих лісах	Висока, завдяки сенсорам (LIDAR, тепловізор, IMU)
Розпізнавання об'єктів	Відсутнє	Присутнє, включно з розпізнаванням живих об'єктів
Голосові підказки	Простий голосовий супровід	Інтерактивні та детальні голосові інструкції
Залежність від сигналу GPS	Висока	Низька, працює навіть за відсутності сигналу
Адаптивність	Відсутня	Модульна структура, можливість оновлення
Точність орієнтації	Обмежена точністю GPS (3-5 м)	Висока, з точністю до сантиметрів
Здатність виявлення перешкод	Відсутня	Присутня завдяки мультисенсорній системі
Здатність до роботи вночі	Залежність від зовнішнього освітлення	Повна автономія завдяки тепловізору та ІЧ-камерам
Штучний інтелект	Відсутній	Використання AI для аналізу середовища

Продовження таблиці 3.1 – Порівняння запропонованого пристрою орієнтації з GPS-пристроями

Параметр	GPS-пристрій	Запропонований пристрій
Інтеграція даних	Тільки GPS-сигнал	Поєднання даних від IMU, LIDAR, камер, тепловізора
Енергоспоживання	Низьке	Середнє, оптимізоване для автономної роботи
Розмір пристрою	Компактний	Компактний, але трохи більший через сенсори
Швидкість реакції	Затримка через обробку GPS	Висока швидкість завдяки обробці в реальному часі
Вартість	Доступна	Вище, через інтеграцію сучасних технологій
Додаткові функції	Відсутні	Розпізнавання типу поверхні, сходів, підйомів
Стійкість до зовнішніх умов	Схильність до втрати сигналу через погодні умови	Висока стійкість завдяки використанню різних сенсорів
Гнучкість у використанні	Лише для відкритого простору	Універсальний, для приміщень і відкритих зон
Інтерактивність	Відсутня	Висока, з можливістю персоналізації
Здатність до навчання	Немає	AI дозволяє адаптувати поведінку пристрою

ВИСНОВКИ

Розробка пристрою орієнтації для людей з вадами зору, що використовує штучний інтелект, є перспективним рішенням для підвищення мобільності та незалежності користувачів. Застосування комп'ютерного зору, таких сенсорів як тепловізійна камера, LiDAR, IMU та інші компоненти, дозволяє створити ефективну систему навігації, яка використовує звукові та тактильні сигнали для допомоги в орієнтації. Це знижує залежність від традиційних інструментів, таких як палиця або собака-поводир, і пропонує нові можливості для забезпечення безпеки та комфорту.

Проте, є ряд викликів, зокрема висока вартість компонентів, таких як NVIDIA Jetson Nano, тепловізійна камера FLIR Lepton та інші, що обмежує доступність пристроїв. Для серійного виробництва таких пристроїв важливо вирішити питання контролю якості, забезпечення довговічності та зниження вартості компонентів. Ці питання потребують інноваційних рішень та співпраці між інженерами, виробниками та користувачами.

Також важливим аспектом є етика та захист даних. Використання технологій, що обробляють дані в реальному часі, вимагає дотримання стандартів конфіденційності та забезпечення прозорості у взаємодії з користувачами. Контроль за збором та обробкою персональних даних є необхідним для побудови довіри до таких технологій.

Майбутнє таких пристроїв відкриває нові можливості, особливо завдяки розвитку розумних міст та доповненої реальності. Інтеграція з інфраструктурою міста та співпраця з міськими планувальниками може створити більш інклюзивне середовище для людей з вадами зору, сприяючи їх більшій автономії та соціальній інтеграції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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> (дата звернення: 15.10.2024).
2. 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/> (дата звернення: 15.10.2024).
3. The Unseen Challenges: Exploring Sensory Impairments. Nurseline Community Services. URL: <https://nurselinecs.co.uk/blog/sensory-impairments/> (дата звернення: 15.10.2024).
4. The Importance of Hearing Assessment – Paths to Literacy. Paths to Literacy. URL: <https://www.pathstoliteracy.org/importance-hearing-assessment/> (дата звернення: 15.10.2024).
5. 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/> (дата звернення: 15.10.2024).
6. Everything You Need to Know About White Canes. The Lighthouse for the Blind, Inc. URL: <https://lhbld.org/everything-you-need-to-know-about-white-canes/> (дата звернення: 16.10.2024).
7. Tactile Walking Surface Indicators - Cityscape Supply Group. Cityscape Supply Group. URL: <https://cityscapesupply.com/products/tactile-walking-surface-indicators/> (дата звернення: 16.10.2024).
8. 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> (дата звернення: 16.10.2024).
9. Seeing by smelling – how to enhance the experience for blind and low sighted people in a museum of ‘visual’ art. Futurist Scents. URL: <https://futuristscents.com/2020/07/14/you-see-more-when-you-smell-how-multi-sensory-storytelling-can-enhance-the-museum-experience-of-blind-and-low-sighted-people/#:~:text=You%20see%20more%20when%20you,of%20moods%20and%20weather%20conditions> (дата звернення: 16.10.2024).
10. Occupational Therapy and Sensory Integration for Visual Impairment - Lighthouse Guild. Lighthouse Guild. URL: <https://lighthouseguild.org/occupational-therapy-and-sensory-integration-for-visual-impairment/> (дата звернення: 17.10.2024).
11. 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> (дата звернення: 17.10.2024).
12. Challenges And Limitations In Cognitive Mapping - FasterCapital. FasterCapital. URL: <https://fastercapital.com/topics/challenges-and-limitations-in-cognitive-mapping.html> (дата звернення: 02.12.2024).

13. Memory Structure and Cognitive Maps. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/343697061_Memory_Structure_and_Cognitive_Maps (дата звернення: 19.10.2024). 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 (дата звернення: 19.10.2024).
14. chloetear. The emotional adjustment of getting a guide dog. Chloe Tear. URL: <https://chloetear.co.uk/2023/07/the-emotional-adjustment-of-getting-a-guide-dog/> (дата звернення: 19.10.2024).
15. Accessible Pedestrian Signals: the Ultimate Guide - Inclusive City Maker. Inclusive City Maker. URL: <https://www.inclusivecitymaker.com/guide-accessible-pedestrian-signals/> (дата звернення: 20.10.2024).
16. 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 (дата звернення: 22.10.2024).
17. 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> (дата звернення: 22.10.2024).
18. What is BlindSquare? – BlindSquare. BlindSquare. URL: <https://www.blindsquare.com/about/> (дата звернення: 02.12.2024).
19. 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/> (дата звернення: 25.10.2024).
20. 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> (дата звернення: 25.10.2024).
21. 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-Toro-Bastidas/3e29d6210fe655d6dc966bca57946f7135137634> (дата звернення: 25.10.2024).
22. American University of Sharjah. AUS students design an IoT-based smart cane for people with visual impairment. American University of Sharjah. URL: <https://www.aus.edu/media/news/aus-students-design-an-iot-based-smart-cane-for-people-with-visual-impairment> (дата звернення: 27.10.2024).
23. Sunu Band | American Printing House. American Printing House. URL: <https://www.aph.org/product/sunu-band/> (дата звернення 27.10.2024).
24. Aira and the Envision Glasses - Aira. Aira - Visual Information On Demand. URL: <https://aira.io/envision/> (дата звернення: 30.10.2024).
25. How it Works | eSight Eyewear. eSight Eyewear. URL: <https://www.esighteyewear.com/how-it-works/> (дата звернення: 30.10.2024).

26. 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(дата звернення: 02.11.2024).

27. 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/> (дата звернення: 02.11.2024).

28. Be My Eyes. WSA. URL: <https://wsa-global.org/winner/be-my-eyes/> (дата звернення: 02.11.2024).

29. 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/>(дата звернення: 04.11.2024).

30. Maintaining Independence and Quality of Life - Living Well With Low Vision. Living Well With Low Vision. URL: <https://lowvision.preventblindness.org/maintaining-independence-and-quality-of-life/> (дата звернення: 04.11.2024).

31. Florida Visually Impaired and Blind Services LLC. Empowering Independence: Explore Independent Living for Visually Impaired and Blind Individuals.LinkedIn: Log In or Sign Up. URL:<https://www.linkedin.com/pulse/empowering-independence-explore-independent-living-visually/>(дата звернення: 04.11.2024).

32. 5 ways to help a child who is blind develop social skills.Perkins School for the Blind. URL:<https://www.perkins.org/5-ways-to-help-a-child-who-is-blind-develop-social-skills/>(дата звернення: 07.11.2024).

33. India's visually impaired face several hurdles in race for jobs - Media India Group. Media India Group. URL: <https://mediaindia.eu/society/visually-impaired-jobs/> (дата звернення: 07.11.2024).

34. What Are the Best Jobs for Blind People?.Healthline. URL:<https://www.healthline.com/health/jobs-for-blind-people>(дата звернення: 14.11.2024).

35. Who We Are : World Blind Union. World Blind Union. URL: <https://worldblindunion.org/about/> (дата звернення: 14.11.2024).

36. Johnson K. AI Could Change How Blind People See the World. WIRED. URL: <https://www.wired.com/story/ai-gpt4-could-change-how-blind-people-see-the-world/> (дата звернення: 17.11.2024).

37. Real Time Multi Object Detection for Blind Using Single Shot Multibox Detector - Wireless Personal Communications. SpringerLink. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-019-06294-1> (дата звернення: 17.11.2024).

38. Papers with Code - Real-Time Object Detection. The latest in Machine Learning | Papers With Code. URL: <https://paperswithcode.com/task/real-time-object-detection> (дата звернення: 17.11.2024).

39. Roach J. Using AI, people who are blind are able to find familiar faces in a room. Microsoft News. URL: <https://news.microsoft.com/source/features/diversity-inclusion/project-tokyo/> (дата звернення: 21.11.2024).

40. A Lightweight Approach to Localization for Blind and Visually Impaired Travelers. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/5/2701> (дата звернення: 22.11.2024).
41. Assistive systems for the visually impaired based on image processing. IntechOpen - Open Science Open Minds | IntechOpen. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/56916> (дата звернення: 23.11.2024).
42. Tang W. A dataset for the recognition of obstacles on blind sidewalk. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/353939298_A_dataset_for_the_recognition_of_obstacles_on_blind_sidewalk (дата звернення: 24.11.2024).
43. KIT - ITAS - News - News overview - Navigation aid for the blind and visually impaired. KIT - ITAS - Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). URL: https://www.itas.kit.edu/english/2016_043.php (дата звернення: 24.11.2024).
44. The power of infrared thermal imaging for people detection. VisionAI Apps for Workplace Safety. URL: <https://visionify.ai/infrared-thermal-imaging-for-people-detection/> (дата звернення: 26.11.2024).
45. Sojasingarayar A. Faster R-CNN vs YOLO vs SSD – object detection algorithms. Medium. URL: <https://medium.com/ibm-data-ai/faster-r-cnn-vs-yolo-vs-ssd-object-detection-algorithms-18badb0e02dc> (дата звернення: 26.11.2024).
46. Towards assisting visually impaired individuals: a review on current status and future prospects. ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590137022001583> (дата звернення: 28.11.2024).
47. What Is Adaptive AI? Definition & Use Cases | Splunk. Splunk. URL: https://www.splunk.com/en_us/blog/learn/adaptive-ai.html (дата звернення: 28.11.2024).
48. Evans S. Researchers develop 'smart' walking stick for visually impaired. IoT World Today. URL: <https://www.iotworldtoday.com/robotics/researchers-develop-smart-walking-stick-for-visually-impaired-> (дата звернення: 29.11.2024).
49. Assistive systems for the visually impaired based on image processing. IntechOpen - Open Science Open Minds | IntechOpen. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/56916> (дата звернення: 29.11.2024).
50. Image classification with mobilenet | built in. Built In. URL: <https://builtin.com/machine-learning/mobilenet> (дата звернення: 30.11.2024).
51. Model optimization techniques (pruning, quantization, knowledge distillation, sparsity, openvino... Medium. URL: https://medium.com/@VK_Venatkumar/model-optimization-techniques-pruning-quantization-knowledge-distillation-sparsity-2d95aa34ea05 (дата звернення: 30.11.2024).
52. Countants. Leveraging machine learning in text-to-speech tools and applications. Medium. URL: <https://medium.com/gobeyond-ai/leveraging-machine-learning-in-text-to-speech-tools-and-applications-fe40ea661b0d> (дата звернення: 01.12.2024).
53. Which haptic effects should you use? - Precision Microdrives. Precision Microdrives. URL: <https://www.precisionmicrodrives.com/which-haptic-effects-should-you-use> (дата звернення: 01.12.2024).

54. 1st place solutions of waymo open dataset challenge 2020 -- 2D object detection track. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/343441386_1st_Place_Solutions_of_Waymo_Open_Dataset_Challenge_2020_--_2D_Object_Detection_Track (дата звернення: 02.12.2024).

55. LiDAR SLAM : spotlight on Kitware's open source library. Kitware Inc. - Delivering Innovation - Customized Software Solutions for Complex Scientific Challenges. URL: <https://www.kitware.com/lidar-slam-spotlight-on-kitwares-open-source-library/> (date of access: 02.12.2024).

56. Хамко А.С., Вечерковська А.С. Пристрої орієнтації на основі ШІ для людей із вадами зору. «Проблеми комп'ютерної інженерії» : Науково-практ. конф., м.Київ, 3 грудня 2024 р. С.134-136.

57. Хамко А.С., Вечерковська А.С. Штучний інтелект як ключ до інклюзії: можливості для людей із вадами зору. «Проблеми комп'ютерної інженерії» : Науково-практ. конф., м.Київ, 3 грудня 2024 р. С.129-133.

Перелік компонентів для розробки пристрою орієнтації

Таблиця А.1 – Перелік компонентів для збору даних із навколишнього середовища

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
1	Камера високої роздільності	Raspberry Pi Camera Module 2	Знімає зображення для розпізнавання об'єктів і перешкод. Широкий об'єктив	\$30
2	Інфрачервона камера	FLIR Lepton 3.5	Зйомка теплових зображень для роботи в умовах слабкого освітлення	\$170
3	LIDAR	RPLIDAR A1M8 - 360 Degree Laser Scanner Development Kit	Лазерне вимірювання відстаней до об'єктів для точного виявлення перешкод	\$125
4	Ультразвуковий датчик	Ultrasonic distance sensor HC-SR04	Виявлення перешкод на близьких відстанях за допомогою звукових хвиль	\$1
5	IMU	BNO055 - 9-DOF + MCU BOSCH absolute orientation sensor	Відстеження руху, орієнтації та прискорення для навігації та стабілізації	\$22
6	GPS-модуль	Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel w/10 Hz updates - PA1616S	Дані про місцезнаходження для навігації	\$30

Таблиця А.2 – Перелік компонентів для обробки та зв'язку

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
7	Одноплатний комп'ютер	NVIDIA Jetson Nano Developer Kit	Головний обчислювальний модуль для запуску алгоритмів ШІ	\$220
8	Bluetooth та Wi-Fi	ESP32 DevKit Wi-Fi Bluetooth ESP32-C3 SuperMini	Підключення по Блутузу (до смартфона) та Інтернету для хмарної обробки та оновлень	\$5.5

Таблиця А.3 – Перелік компонентів для живлення

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
9	Акумулятор	Li-Po Battery 3.7V 10000mAh 1260110	Акумуляторна батарея	\$12
10	Схема живлення	Adafruit PowerBoost 1000 Charger	Контроль заряду та живлення компонентів	\$20

Перелік компонентів для розробки пристрою орієнтації

Таблиця А.4 – Перелік компонентів для зворотнього зв'язку

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
11	Спікер	Adafruit Stereo Enclosed Speaker Set - 3W 4 Ohm	Відтворення звукових інструкцій і повідомлень	\$7.5
12	Вібраційний контролер	Adafruit DRV2605L Haptic Motor Controller	Керує LRA мотором.	\$25
13	Вібраційний двигун	Precision Microdrives 10mm LRA (C10-100)	Тактильний зворотний зв'язок через вібрацію	\$7.6
14	Кнопки	Tactile Push Button Switch Momentary	Взаємодія з пристроєм, активація функцій	\$1

Таблиця А.5 – Перелік компонентів для фіксації

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
15	Захисний футляр	3D printed case	Захист електронних компонентів від пошкоджень	\$30

Таблиця А.6 – Перелік ОС та ПЗ для роботи пристрою

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
1	Операційна система	Ubuntu-based OS (JetPack)	Базове програмне середовище для пристрою	\$0
2	AI Frameworks	TensorFlow, PyTorch, OpenCV	Бібліотеки для комп'ютерного зору та розробки алгоритмів ШІ	\$0

Рекомендоване розміщення компонентів на традиційній білій тростині

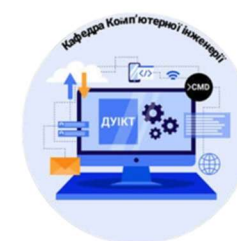
Таблиця Б.1 – Розміщення компонентів на традиційній білій тростині та інтерфейси підключення

№	Компонент	Розміщення на тростині (орієнтовне)	Інтерфейс з'єднання (зі одноплатним комп'ютером)
1	Камера високої роздільності	Кріпиться біля верхньої частини тростини або в середній частині	Підключення через CSI (для підключення камер)
2	Інфрачервона камера	Кріпиться разом із основною камерою для кращого покриття	Потребує драйверів для SPI або USB інтерфейс
3	LIDAR	Розташовується в нижній частині тростини, орієнтований вперед	Підключення через UART або USB інтерфейс
4	Ультразвуковий датчик	Встановлюється на кінці тростини, орієнтований у напрямку руху	Підключення до 40 пінового роз'єму GPIO
5	IMU (інерціальний блок)	Інтегрується в ручку тростини	Підключення через UART інтерфейс
6	GPS-модуль	Розміщується в корпусі біля ручки тростини	Підключення через UART або USB інтерфейс
7	Одноплатний комп'ютер	Закріплюється в захисному корпусі ближче до ручки тростини	-
8	Bluetooth та Wi-Fi	Встановлюється у корпусі разом із одноплатним комп'ютером	Підключення через USB інтерфейс або до 40 пінового роз'єму GPIO
9	Акумулятор	Закріплюється у спеціальному відсіку біля ручки тростини	Підключення до 40 пінового роз'єму GPIO
10	Схема живлення	Розміщується поруч із акумулятором у тому ж відсіку	
11	Спікер	Вбудовується у верхню частину тростини або в ручку	Підключення до 4 пінового роз'єму на передній частині
12	Вібраційний контролер	Інтегрується у ручку тростини для передачі вібрацій	Підключення через аудіо Jack 3.5 або до 40 пінового роз'єму GPIO
13	Вібраційний двигун	Інтегрується у ручку тростини для передачі вібрацій	Підключення через аудіо Jack 3.5 або до 40 пінового роз'єму GPIO
14	Тактильні кнопки	Встановлюються на ручці тростини для легкого доступу	Підключення до 40 пінового роз'єму GPIO
15	Захисний футляр	Кріпиться на тростині або в окремому відсіку	-

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра комп'ютерної інженерії**



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА на здобуття освітнього ступеня магістра

**НА ТЕМУ: «ПРИСТРІЙ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЛЮДЕЙ
З ВАДАМИ ЗОРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ»**

Виконав студент групи КСДМ-62

Хамко Андрій Сергійович

Керівник дипломної роботи:

Вечерковська Анастасія Сергіївна,

канд,техн.наук, доцент

Київ – 2025

Мета, об'єкт, предмет дослідження

Мета роботи – розробка пристрою орієнтації для людей з вадами зору, що використовує штучний інтелект для полегшення навігації на місцевості

Об'єкт дослідження – технології орієнтації та навігації для людей з вадами зору

Предмет дослідження – алгоритми штучного інтелекту для розпізнавання об'єктів і навігації в просторі, інтегровані в пристрій для людей з порушеннями зору

Актуальність роботи

Дослідження присвячено створенню інноваційного пристрою, що допоможе людям з вадами зору впевненіше орієнтуватися у світі, повному перешкод. Завдяки використанню штучного інтелекту, пристрій здатен розпізнавати навколишні об'єкти, повідомляти про їхні розміри та відстань, а також підказувати безпечний маршрут. Це не просто технологічний інструмент – це підтримка, яка дарує більше свободи і впевненості у повсякденному житті, дозволяючи людині не відчувати себе обмеженою через проблеми із зором.

У ході дослідження ретельно опрацьовано вибір технологій, які зроблять пристрій зручним і надійним у користуванні: сенсори, що вловлюють інформацію про простір, та інтелектуальні алгоритми для аналізу навколишнього середовища. Завдяки цій роботі людям з вадами зору стає доступною орієнтація у просторі в реальному часі, а кожен крок – більш безпечним і впевненим.

Актуальність розробки пристрою орієнтації для людей з вадами зору



Рис. 1.16 – Технології у орієнтації: мобільні додатки

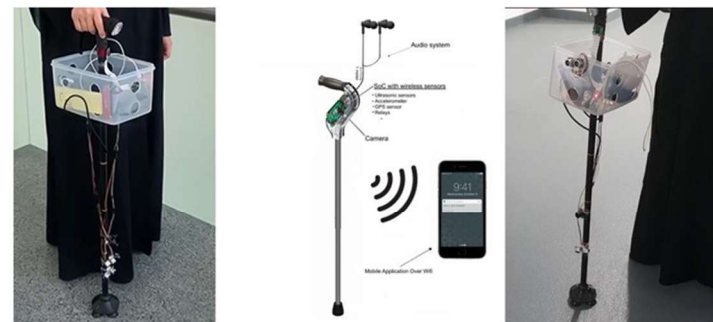


Рис. 1.21 – Розроблений прототип носимого пристрою: розумна тростина



Рис. 1.22 – Пристрій, що вийшов у масове виробництво: браслет з ультразвуковим датчиком



Рис. 1.23 – Пристрій, що вийшов у масове виробництво: розумний гарнітур зі інтеграцією підказок агента-волонтера (у режимі дзвінка)

Запропонований прототип пристрою орієнтації з використанням штучного інтелекту

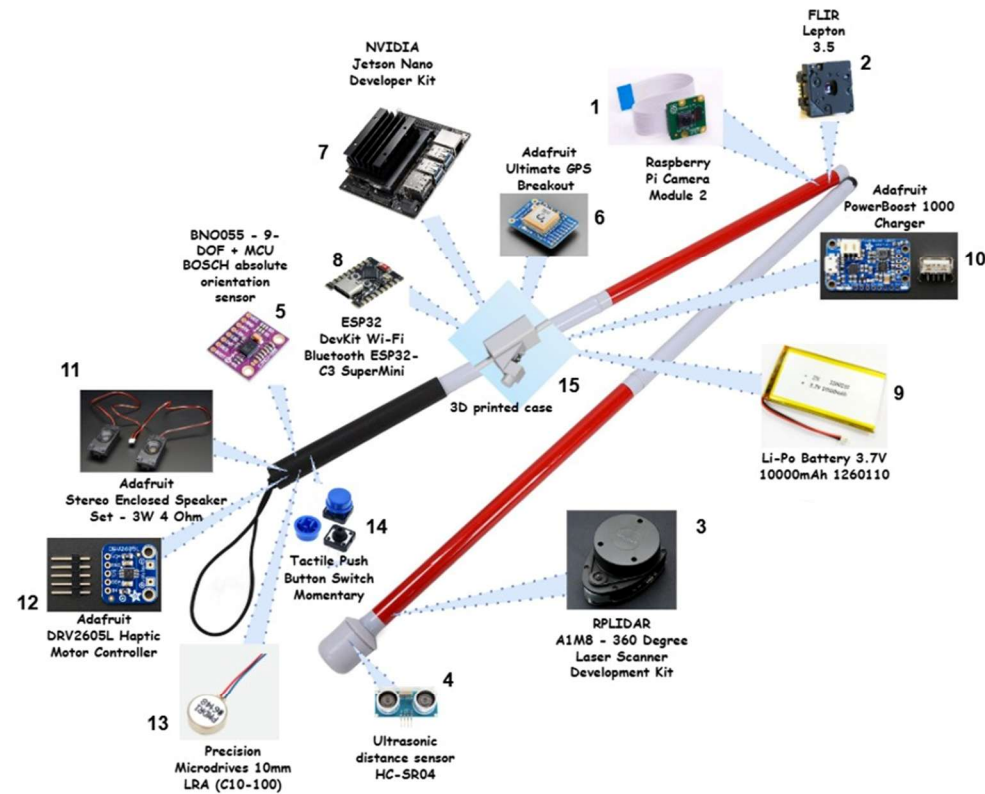


Рис. 3.23 – Запропонований прототип розумної тростини з використанням штучного інтелекту

Лінійна діаграма роботи пристрою орієнтації для людей з вадами зору

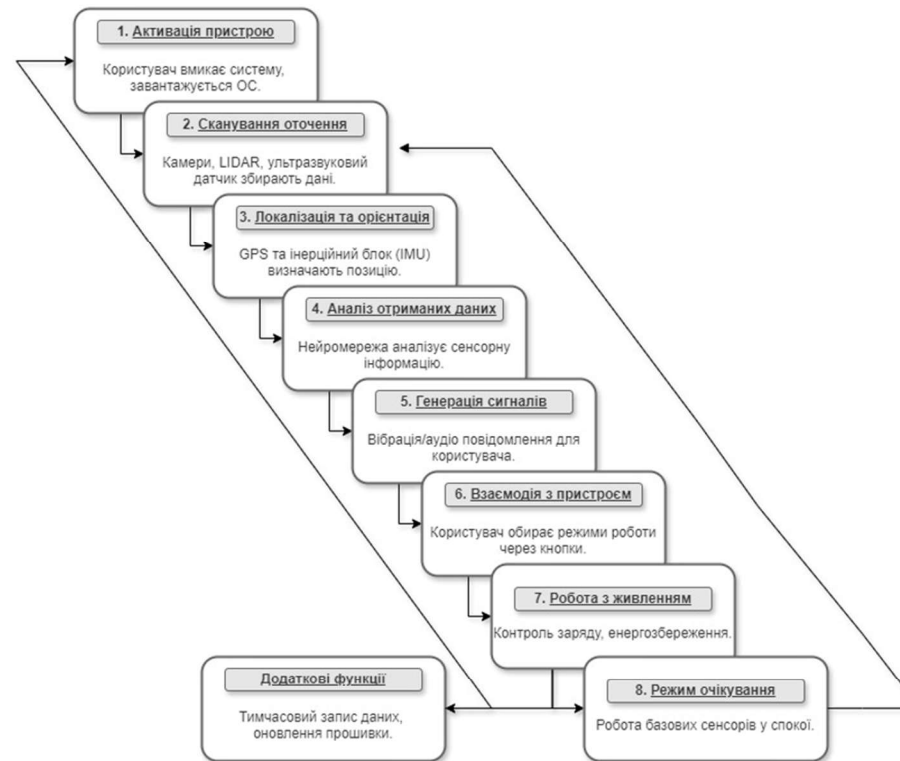


Рис. 3.2 – Схема роботи запропонованого пристрою орієнтації

Роль тепловізійної камери у навігації в умовах слабкого освітлення



Рис. 3.4 – Тепловізійна камера FLIR Lepton 3.5

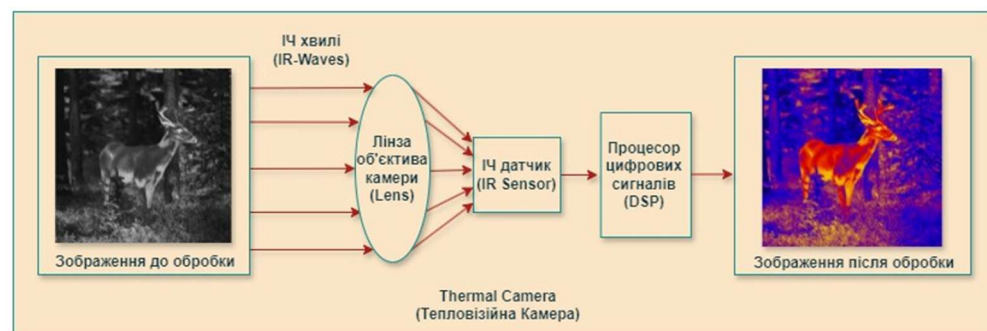


Рис. 3.5 – Принцип роботи тепловізійної камери

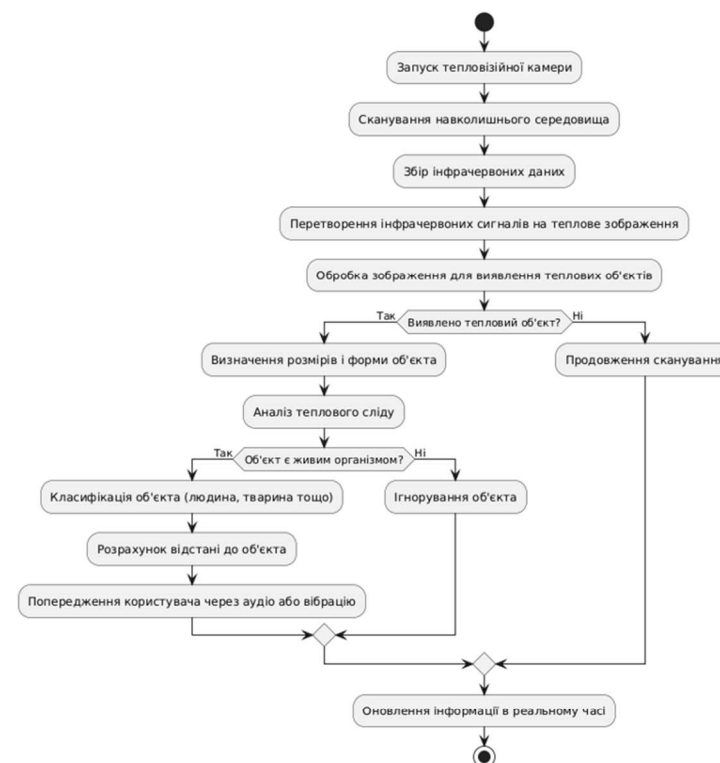


Рис. 3.6 – Схема роботи тепловізійної камери у пристрої орієнтації

Точне вимірювання відстаней для виявлення перешкод

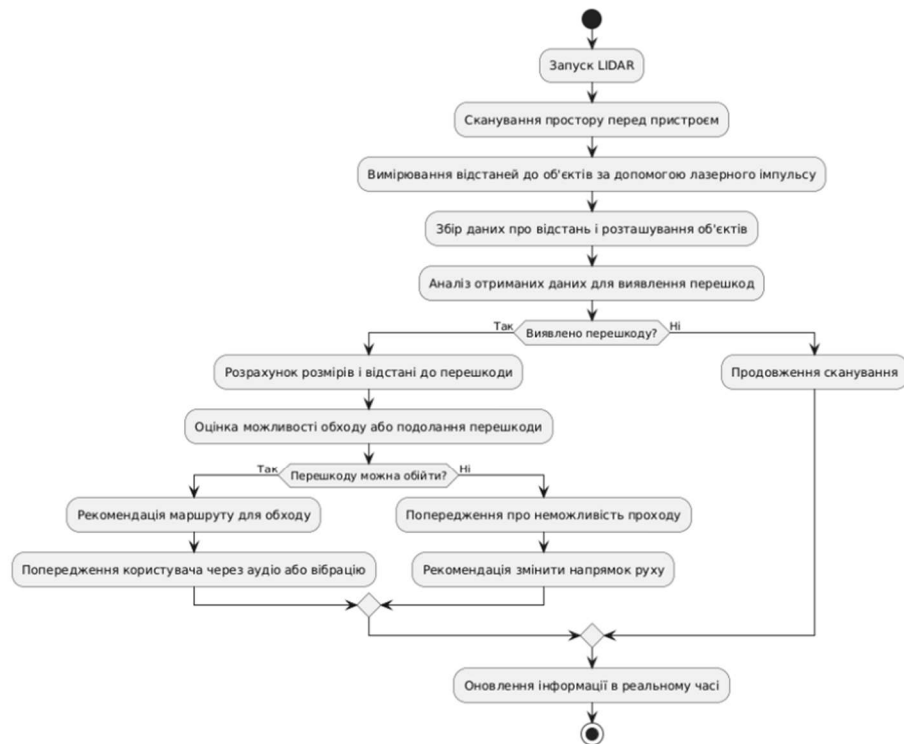


Рис. 3.10 – Схема роботи LiDAR у роботі пристрою орієнтації



Рис. 3.8 – Датчик LiDAR RPLIDAR A1M8

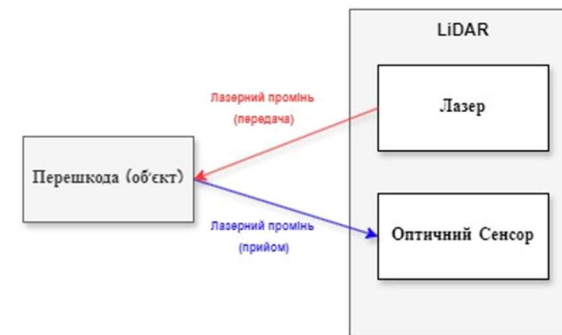


Рис. 3.9 – Принцип роботи LiDAR

Відстеження руху та орієнтації для стабільності пристрою

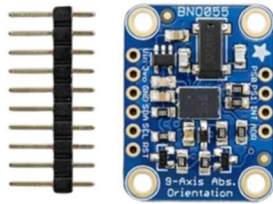


Рис. 3.11 – Датчик IMU Adafruit BNO055

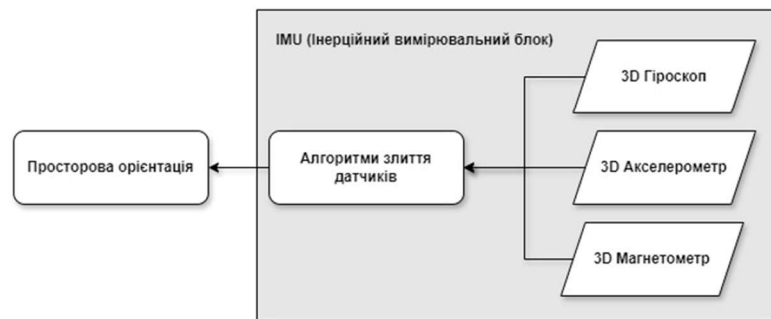


Рис. 3.12 – Принцип роботи IMU

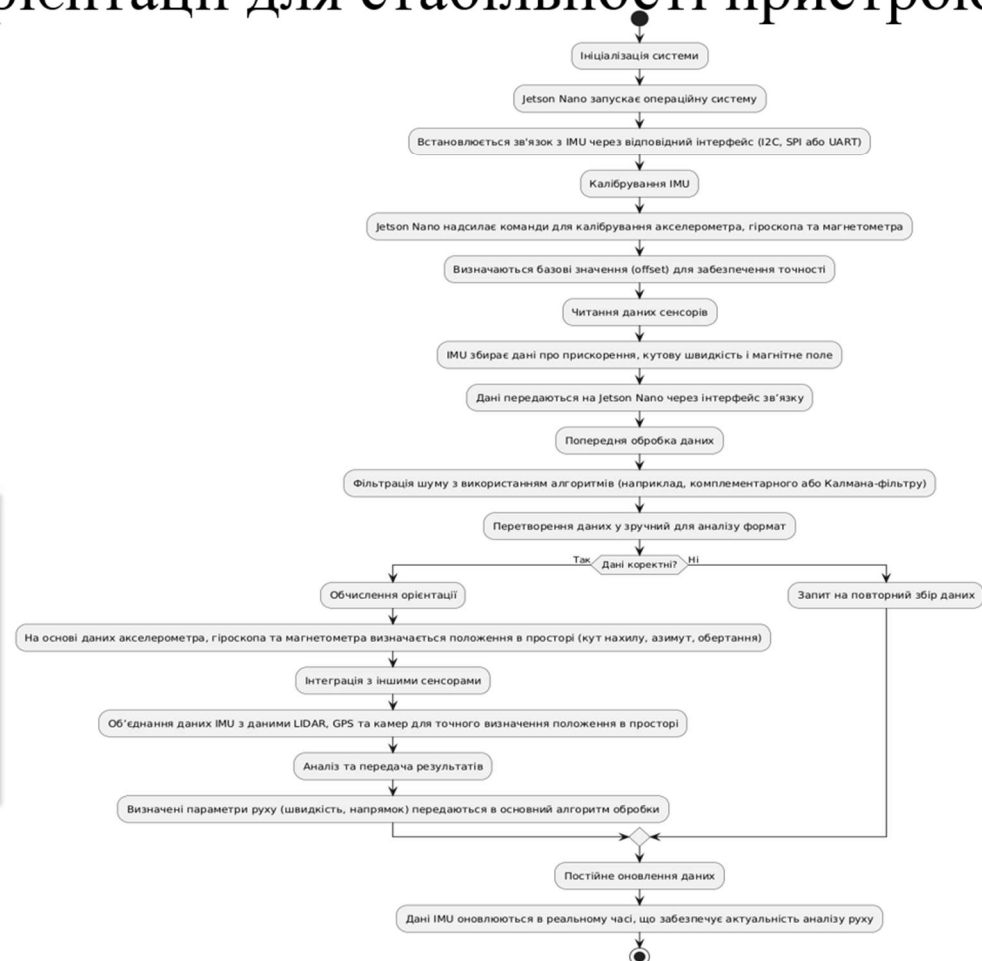


Рис. 3.13 – Схема роботи датчика IMU у роботі пристрою орієнтації

Основний обчислювальний модуль для запуску алгоритмів ШІ за допомогою NVIDIA Jetson Nano



Рис. 3.15 – Обчислювальний модуль NVIDIA Jetson Nano Developer Kit

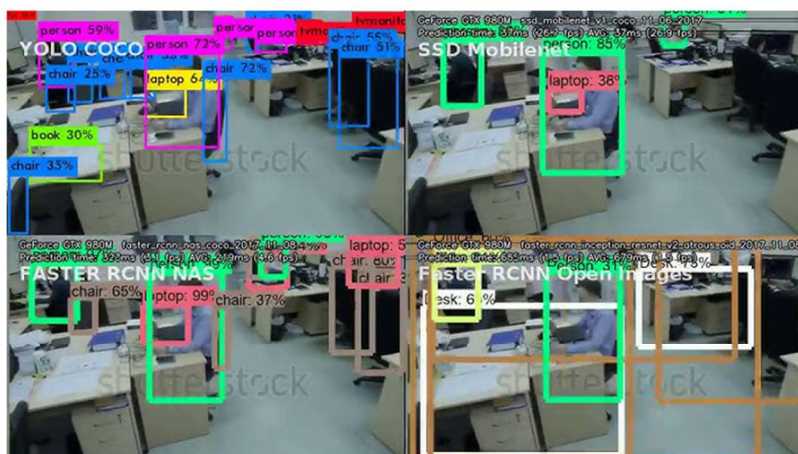


Рис. 3.24 – Алгоритм обробки даних ШІ: YOLO, SSD, Faster R-CNN

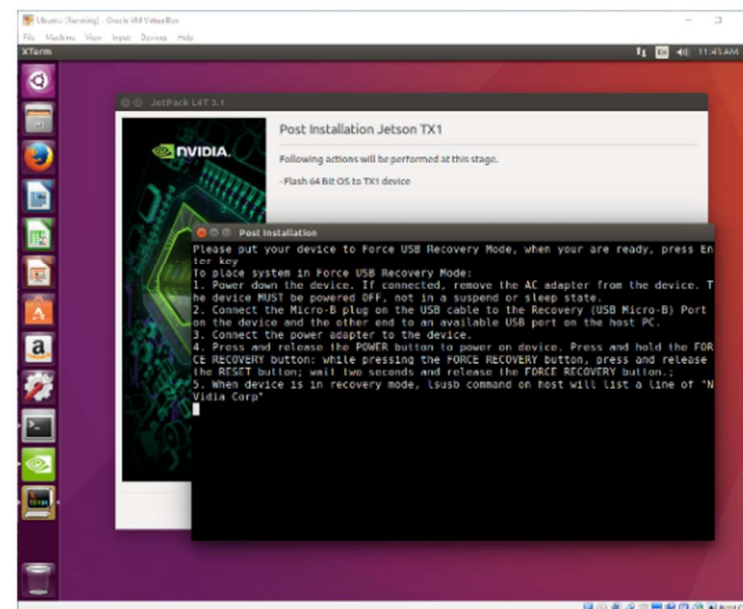


Рис. 3.22 – Операційна система JetPack (Ubuntu-based OS)

Фінансовий аналіз вартості компонентів та їх доступності

Табл. А.1 – Перелік компонентів для збору даних із навколишнього середовища

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
1	Камера високої роздільності	Raspberry PI Camera Module 2	Знімає зображення для розпізнавання об'єктів і перешкод. Широкий об'єктив	\$30
2	Інфрачервона камера	FLIR Lepton 3.5	Зйомка теплових зображень для роботи в умовах слабкого освітлення	\$170
3	LIDAR	RPLIDAR A1M8 - 360 Degree Laser Scanner Development Kit	Лазерне вимірювання відстаней до об'єктів для точного виявлення перешкод	\$125
4	Ультразвуковий датчик	Ultrasonic distance sensor HC-SR04	Виявлення перешкод на близьких відстанях за допомогою звукових хвиль	\$1
5	IMU	BNO055 - 9-DOF + MCU BOSCH absolute orientation sensor	Відстеження руху, орієнтації та прискорення для навігації та стабілізації	\$22
6	GPS-модуль	Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel w/10 Hz updates - PA1616S	Дані про місцезнаходження для навігації	\$30

Табл. А. 2 – Перелік компонентів для обробки та зв'язку

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
7	Одноплатний комп'ютер	NVIDIA Jetson Nano Developer Kit	Головний обчислювальний модуль для запуску алгоритмів ШІ	\$220
8	Bluetooth та Wi-Fi	ESP32 DevKit Wi-Fi Bluetooth ESP32-C3 SuperMini	Підключення по Блютузу (до смартфона) та Інтернету для хмарної обробки та оновлень	\$5.5

Табл. А. 3 – Перелік компонентів для живлення

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
9	Акумулятор	Li-Po Battery 3.7V 10000mAh 1260110	Акумуляторна батарея	\$12
10	Схема живлення	Adafruit PowerBoost 1000 Charger	Контроль заряду та живлення компонентів	\$20

Табл. А. 4 – Перелік компонентів для зворотного зв'язку

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
11	Спікер	Adafruit Stereo Enclosed Speaker Set - 3W 4 Ohm	Відтворення звукових інструкцій і повідомлень	\$7.5
12	Вібраційний контролер	Adafruit DRV2605L Haptic Motor Controller	Керує LRA мотором.	\$25
13	Вібраційний двигун	Precision Microdrives 10mm LRA (C10-100)	Тактильний зворотний зв'язок через вібрацію	\$7.6
14	Кнопки	Tactile Push Button Switch Momentary	Взаємодія з пристроєм, активація функцій	\$1

Табл. А. 5 – Перелік компонентів для фіксації

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
15	Захисний футляр	3D printed case	Захист електронних компонентів від пошкоджень	\$30

Табл. А. 6 – Перелік ОС та ПЗ для роботи пристрою

№	Компонент	Модель	Опис	Вартість
1	Операційна система	Ubuntu-based OS (JetPack)	Базове програмне середовище для пристрою	\$0
2	AI Frameworks	TensorFlow, PyTorch, OpenCV	Бібліотеки для комп'ютерного зору та розробки алгоритмів ШІ	\$0

ОРІЄНТОВНА ВАРТІСТЬ РОЗРОБКИ ПРОТОТИПУ:

~ 706.6\$ або 29269,12 грн (на момент 01.12.2024 р.)

Порівняння запропонованого пристрою з існуючими

Параметр	GPS-пристрій	Запропонований пристрій
Функціональність	Навігація за координатами	Навігація, виявлення перешкод, класифікація об'єктів
Працездатність у складних умовах	Обмежена в приміщеннях, тунелях, густих лісах	Висока, завдяки сенсорам (LIDAR, тепловізор, IMU)
Розпізнавання об'єктів	Відсутнє	Присутнє, включно з розпізнаванням живих об'єктів
Голосові підказки	Простий голосовий супровід	Інтерактивні та детальні голосові інструкції
Залежність від сигналу GPS	Висока	Низька, працює навіть за відсутності сигналу
Адаптивність	Відсутня	Модульна структура, можливість оновлення
Точність орієнтації	Обмежена точністю GPS (3-5 м)	Висока, з точністю до сантиметрів
Здатність виявлення перешкод	Відсутня	Присутня завдяки мультисенсорній системі
Здатність до роботи вночі	Залежність від зовнішнього освітлення	Повна автономія завдяки тепловізору та ІЧ-камерам
Штучний інтелект	Відсутній	Використання AI для аналізу середовища

Параметр	GPS-пристрій	Запропонований пристрій
Інтеграція даних	Тільки GPS-сигнал	Поєднання даних від IMU, LIDAR, камер, тепловізора
Енергоспоживання	Низьке	Середнє, оптимізоване для автономної роботи
Розмір пристрою	Компактний	Компактний, але трохи більший через сенсори
Швидкість реакції	Затримка через обробку GPS	Висока швидкість завдяки обробці в реальному часі
Вартість	Доступна	Вище, через інтеграцію сучасних технологій
Додаткові функції	Відсутні	Розпізнавання типу поверхні, сходів, підйомів
Стійкість до зовнішніх умов	Схильність до втрати сигналу через погодні умови	Висока стійкість завдяки використанню різних сенсорів
Гнучкість у використанні	Лише для відкритого простору	Універсальний, для приміщень і відкритих зон
Інтерактивність	Відсутня	Висока, з можливістю персоналізації
Здатність до навчання	Немає	AI дозволяє адаптувати поведінку пристрою

Табл. 3.1 – Порівняння запропонованого пристрою орієнтації з GPS-пристроями

Висновки

Розробка пристрою орієнтації для людей з вадами зору, що використовує штучний інтелект, є перспективним рішенням для підвищення мобільності та незалежності користувачів. Застосування комп'ютерного зору, таких сенсорів як тепловізійна камера, LiDAR, IMU та інші компоненти, дозволяє створити ефективну систему навігації, яка використовує звукові та тактильні сигнали для допомоги в орієнтації. Це знижує залежність від традиційних інструментів, таких як палиця або собака-поводир, і пропонує нові можливості для забезпечення безпеки та комфорту.

Проте, є ряд викликів, зокрема висока вартість компонентів, таких як NVIDIA Jetson Nano, тепловізійна камера FLIR Lepton та інші, що обмежує доступність пристроїв. Для серійного виробництва таких пристроїв важливо вирішити питання контролю якості, забезпечення довговічності та зниження вартості компонентів. Ці питання потребують інноваційних рішень та співпраці між інженерами, виробниками та користувачами.

Продовження висновків

Також важливим аспектом є етика та захист даних. Використання технологій, що обробляють дані в реальному часі, вимагає дотримання стандартів конфіденційності та забезпечення прозорості у взаємодії з користувачами. Контроль за збором та обробкою персональних даних є необхідним для побудови довіри до таких технологій.

Майбутнє таких пристроїв відкриває нові можливості, особливо завдяки розвитку розумних міст та доповненої реальності. Інтеграція з інфраструктурою міста та співпраця з міськими планувальниками може створити більш інклюзивне середовище для людей з вадами зору, сприяючи їх більшій автономії та соціальній інтеграції.

Публікації та апробація роботи

1. Хамко А.С., Вєчерковська А.С. Пристрої орієнтації на основі ШІ для людей із вадами зору. «Проблеми комп'ютерної інженерії» : Науково-практ. конф., м.Київ, 3 грудня 2024 р. С.134-136
2. Хамко А.С., Вєчерковська А.С. Штучний інтелект як ключ до інклюзії: можливості для людей із вадами зору. «Проблеми комп'ютерної інженерії» : Науково-практ. конф., м.Київ, 3 грудня 2024 р. С.129-133

