

З. Р. Мичуда, Р. А. Лєвоновий, Т. І. Бешлей  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра комп’ютеризованих систем автоматичної

## РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ “ПРОВІДИР” ДЛЯ ОРІЄНТАЦІЇ У ПРОСТОРИ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ

<https://doi.org/>

© Мичуда З. Р., Лєвоновий Р. А., Бешлей Т. І., 2021

Стаття присвячена розробленню автоматичної системи «Провідир» для орієнтації у просторі незрячих людей. Досліджено стан проблеми та наведено особливості практичної реалізації системи.

Ключові слова – Автоматичної система, орієнтація, простір, незрячі люди, проблеми, реалізація.

The article is devoted to the development of an automatic system "Explorer" for orientation in the space of blind people. The state of the problem is investigated and the peculiarities of the practical realization of the system are given.

Keywords - Automatic system, orientation, space, blind people, problem, realization.

### 1. Вступ

У повсякденному житті ми дуже рідко зустрічаємо людей із суттєвими вадами зору чи незрячими, оскільки вони ізольовані через труднощі їх орієнтації у просторі. Згідно даних Всесвітньої організації охорони здоров'я у всьому світі таких людей налічується біля 285 мільйонів, причому з них повністю незрячими є 39 мільйонів. Лише в Україні незрячих людей налічується офіційно близько 70 тисяч, а неофіційно – у 3 - 4 рази більше, і з них працевлаштовано тільки 20 % [1].

В Україні міста зовсім не пристосовані до потреб людей з вадами зору і, в першу чергу, до їх пересування. Тому таких людей мало на вулицях, влада їх не бачить і здається, що проблем з незрячими немає. Проте це надзвичайно хибне враження. Адже, коли людина з вадами зору намагається отримати якісну освіту, відвідати бібліотеку чи добратися до місця праці, у неї виникає низка проблем, найбільша з яких – зручність пересування міськими вулицями [2].

Характерним для України є деякий позитивний зсув у вирішенні проблем незрячих у великих містах, але у регіонах ситуація невтішна. Значною проблемою є те, що більшість світлофорів не має звукових сигналів і людині з вадами зору важко прийняти рішення про можливість переходу дороги. Окрім того, багато світлофорів мають звукові сигнали, але ці сигнали не уніфіковані, тобто не зведені до однакового звучання. Це також затрудняє перехід дороги.

Ще одною проблемою людей з вадами зору є тротуари. Справа у тому, що в Україні згідно правил дорожнього руху можна паркуватися на тротуарах, але водії часто порушують встановлені правилами норми і перекривають вільний прохід. І незрячій людині створюється дискомфорт, оскільки їй важко пройти тротуаром навіть з використанням допоміжної тростини [2].

Проблеми пересування незрячих людей вирішують різними способами. Найпоширенішими є використання дресированих собак і допоміжної тростини, проте таким чином незряча людина не

отримує достатньої інформації для безпечного пересування. Сприяє покращенню пересування і використання орієнтирів і підказок, а також - використання нюху та слуху окремими людьми. У містах додаткові зручності пересуванню людей з вадами зору забезпечує тактильне мощення [3].

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених розробленню систем і засобів навігації та орієнтації незрячих людей, проблема підвищення їх якості та зниження вартості залишається і на далі актуальною.

## 2. Аналіз літературних джерел

Системи та засоби навігації та орієнтації незрячих людей описані в низці досліджень. Розглянемо їх основні властивості.

У роботі [4] проведено огляд сучасного стану систем і засобів комунікації незрячих людей з навколишнім світом. На основі аналізу проблем реалізації сформульовано майбутні напрями розвитку.

«Розумна» тростина для людей з вадами зору описана в роботі [5]. Вона виявляє перешкоди перед користувачем, а потім надає інструкції голосовими повідомленнями або вібраціями рук.

У роботі [6] створено на основі Android навігатор, що замінює сліпим людям очі. Описано побудову, принцип дії та макет навігатора (рис. 1). Використано ультразвукові давачі перешкод. Вартість навігатора 120 доларів.

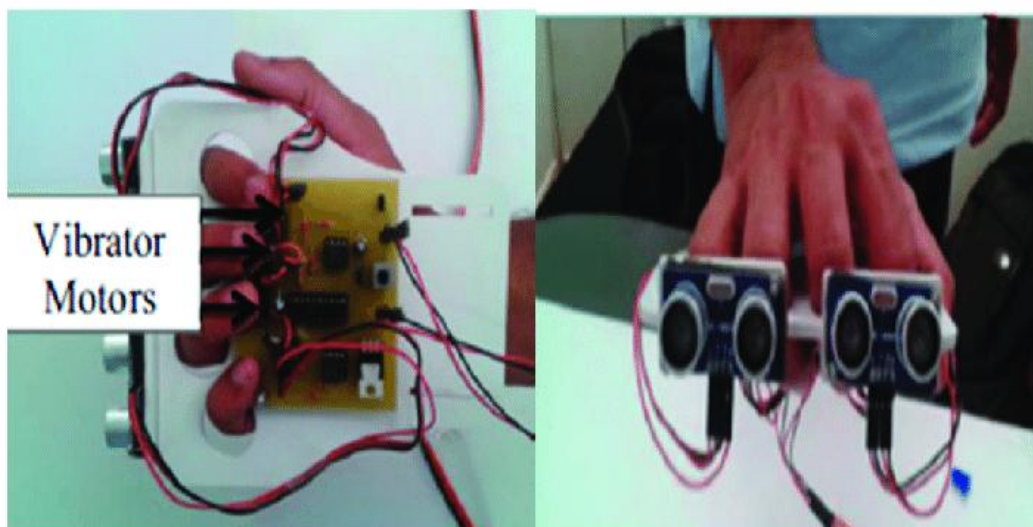


Рис. 1. Навігатор Substitute Eyes

У [7] розглянуто узагальнену структурну схему, особливості конструкції та верифікацію допоміжного пристрою для сліпих, що містить електротактильний дисплей. Конструктивно система містить три складові частини: сонцезахисні окуляри з камерою виявлення об'єктів, електротактильний пристрій і комп'ютер.

У роботі [8] для покращення позиціонування сліпих пішоходів поєднано штучний зір із GPS, причому використовуються сигнали комерційної географічної інформаційної системи (GIS) і глобальної системи місцезнаходження (GPS).

У [9] описано недорогу допоміжну навігаційну систему для сліпих людей, яка забезпечує голосові підказки та обчислює відстань між користувачем і об'єктом за допомогою гіроскопа та магнітного компаса (рис. 2).

У роботі [10] наведено результати розроблення та дослідження електронної довгої тростини для покращення пересування людей з вадами зору. Відзначено, що тростина дає змогу виявляти фізичні перешкоди вище лінії талії людини, але не допомагає у орієнтуванні.

У роботі [11] розроблено ультразвуковий допоміжний пристрій для людей з вадами зору, особливістю якого є використання давачів з ідентифікаторами у вигляді двійкового коду. За цим кодом мікроконтролер визначає, з якого давача надійшов сигнал, тобто знаходить напрям перешкоди, і видає відповідно аудіо сигнал користувачу (рис. 3).



Рис. 2. Недорога навігаційна система для сліпих людей

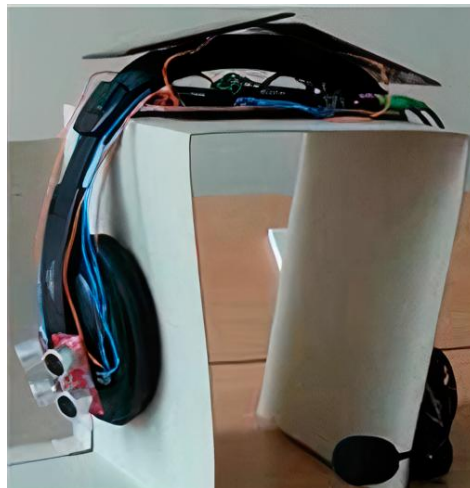


Рис. 3. Ультразвукова допоміжна гарнітура для людей із вадами зору

Особливістю навігаційного пристрою на основі GPS-GSM для людей з вадами зору є використання ємнісної сенсорної клавіатури Брайля та інтелектуального SMS [12]. Це допомагає користувачу визначити місце свого поточного знаходження за допомогою тактильного зворотного зв'язку. Окрім того, користувач може отримати інформацію про час, дату і навіть колір об'єктів перед ним у аудіоформаті.

У [13] описано пристрій для носіння на пальці, який дає змогу читати текст на ходу. У конструкції є два вібраційні двигуни з додатковим зворотним зв'язком, яким користувач спрямовується туди, куди він має спрямувати камеру.

У роботі [14] описано навігаційний пристрій для людей з вадами зору, що забезпечує отримання інформації про колір за допомогою давача RGB-D з розширенням діапазону інфрачервоною технологією.

У [15] запропоновано мобільний пристрій для сліпих із покращеною роздільною здатністю по вертикалі з використанням двох динамічних давачів зору, які діють на сітківки очей. Пристрій розміщується на голові користувача.

У роботі [16] поєднано ультразвукові давачі та комп'ютерний зір для ефективного виявлення та розпізнавання перешкод. Наведено виконаний прототип і описано принцип дії системи. Пристрій зміг ідентифікувати як статичні, так і динамічні об'єкти в приміщенні та на вулиці, незалежно від характеру об'єкта, використовуючи методи машинного навчання та комп'ютерного зору. Таким чином, пристрій надає безперервну інформацію про навколишню місцевість за допомогою звукового зворотного зв'язку та спостерігає за нерозпізнаними об'єктами.

У [17] описано систему з використанням смартфона для виявлення перешкод у реальному часі, яка допомагає автономну навігацію незрячим людям у приміщенні та на вулиці. Смартфон прикріплений до грудей сліпої людини.

У [18] запропоновано пристрій EyeRing, який носить на вказівному пальці та служить для безперебійної взаємодії користувача з оточенням. Пристрій сканує надрукований текст по одному рядку, потім відповідь надходить у тактильному зворотному та аудіоформаті.

У [19] описано ультразвуковий пристрій для людей з вадами Сонар-5УФ-В4. Пристрій допомагає орієнтації таких людей у просторі. Передбачено як кріплення пристрою на грудях, так і

можливість нести його в руці. Мікроконтролер перетворює інформацію від ультразвукових датчиків і оповіщає користувача про перешкоду вібраційним сигналом.

У [20] розроблено пристрій HelpyEyes, який дає змогу незрячим виявляти перешкоди, розпізнавати кольори та визначати рівень освітленості у приміщенні. Пристрій придатний лише для застосування у приміщенні, оскільки зона дії датчика до одного метра. Про перешкоду пристрій повідомляє користувача аудіосигналом.

У [21] запропоновано пристрій Guide, що повідомляє незрячого користувача про перешкоду на шляху руху переривчастим звуковим сигналом. Коли відстань до перешкоди стає меншою одного метра звуковий сигнал стає неперервним.

### 3. Мета роботи

Метою даної роботи є розроблення автоматичної системи «Проводир» для орієнтації у просторі незрячих людей і забезпечення її високої якості при низькій вартості.

### 4. Виклад основного матеріалу

Структурна схема автоматичної системи «Проводир» для орієнтації незрячих людей у просторі, що була розроблена нами на основі проведеного огляду аналогів, наведена на рис.4. Вона містить мікроконтролер, модуль датчиків відстані, модуль направлення датчиків, модуль системи оповіщення, мобільну аплікацію, GPS модуль і Bluetooth модуль.

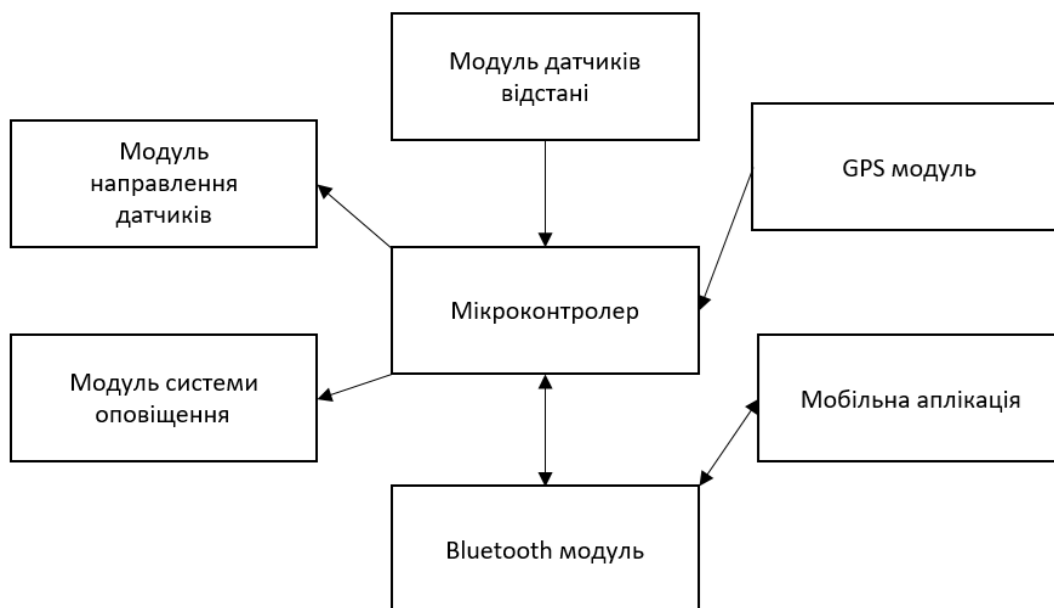


Рис. 4. Структурна схема автоматичної системи «Проводир»

Основним функціональним вузлом системи «Проводир» є мікроконтролер (МК). МК скеровує датчик відстані та приймає його вихідні дані, обробляє ці дані та вмикає систему сповіщення. Окрім того МК приймає інформацію з GPS модуля та через Bluetooth модуль передає її на мобільну аплікацію (МА), яка обробляє ці дані і передає оброблені дані через Bluetooth модуль у зворотному напрямі.

У ввімкненому стані системи «Проводир» датчики відстані вимірюють відстань до об'єктів перед користувачем і передають дані на МК. При вимірюванні відстані МК керує модулем направлення датчиків для знаходження перешкод з інших напрямків. При появі перешкоди на шляху незрячої МК посилає сигнал про неї на модуль системи оповіщення. Одночасно координати місцезнаходження користувача з GPS модуля через Bluetooth модуль передаються до МА, яка

визначає статичні перешкоди та передає дані про них через Bluetooth модуль до МК. Окрім того, МА також може подати сигнал «SOS».

Послідовність взаємодії компонентів та проходження даних у системі «Проводир» на прикладі одного циклу наведено на рис. 5.

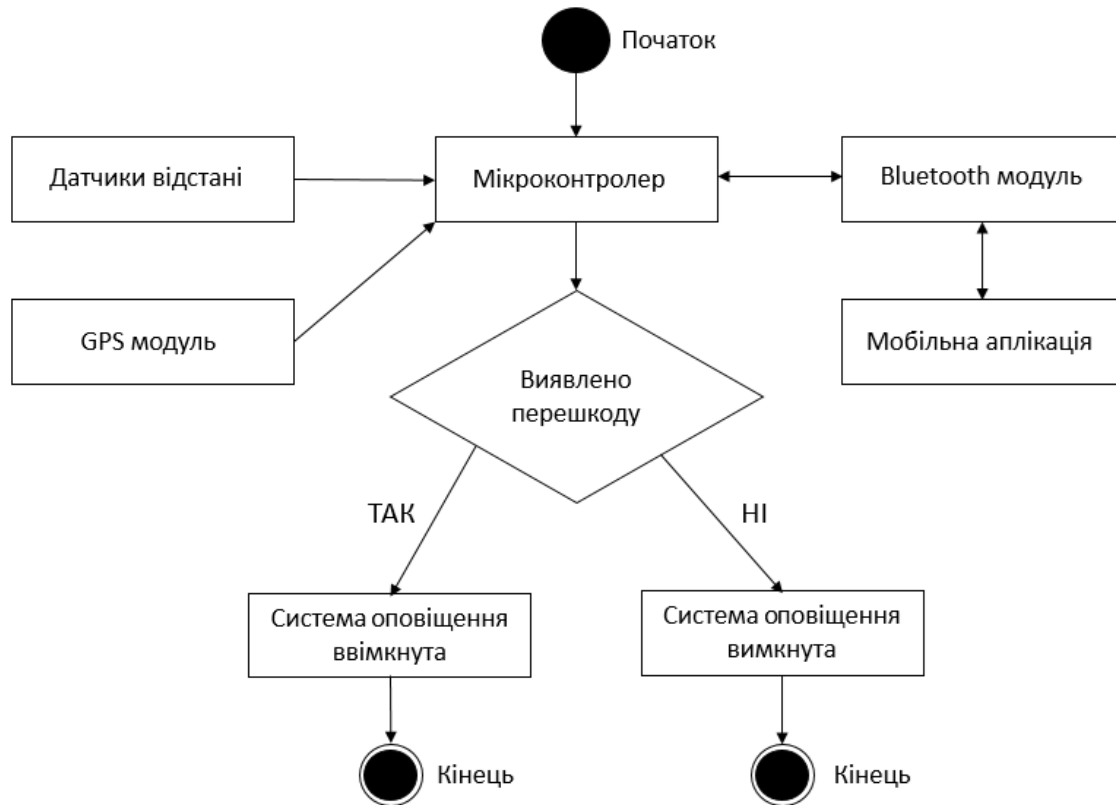


Рис. 5. Структурна схема автоматичної системи «Проводир»

Принцип дії системи «Проводир» полягає у тому, що мікроконтролер отримує дані з лазерного й ультразвукових датчиків і за допомогою вібровідклику завчасно сповіщає користувача про виявлену перешкоду попереду. Компактні датчики користувач розміщує у зручному для нього місці спереду, на ремені чи шлейці рюкзака.

Система працює автономно і необхідності ручного включення чи виключення нема. Мікроконтролер отримує дані з датчиків і при виникненні на шляху користувача перешкоди активація відбувається автоматично. Система аналізує поверхні попереду користувача та видає йому сигнал попередження на відстані до 8 метрів від перешкоди.

Система через Bluetooth модуль підключається до мобільної аплікації, яка в режимі реального часу відстежує на карті місце знаходження користувача. Мобільною аплікацією можуть користуватися люди з вадами зору та без вад. Перші прокладають собі маршрут за допомогою голосового пошуку, а другі мають змогу відслідковувати місцезнаходження незрячих людей на карті.

Розглянемо детальніше особливості мобільної аплікації системи «Проводир».

Розроблення дизайну мобільної аплікації полягало у створенні зручного в користуванні інтерфейсу. Для цього треба врахувати, що користувачі МА з вадами зору не бачать реальний дизайн і можуть відчутти його тільки тактильно. Тому меню МА поділено на 4 доволі масивні частини-кнопки, кожна з яких виконує свою функцію: навігація, моя локація, голосовий пошук і допомога (SOS). Користування такими кнопками не створить труднощів незрячій людині і вона зможе легко використовувати цю мобільну аплікацію. Для розробки дизайну використовувався сервіс Figma

Вибір мови програмування для мобільної аплікації. Оскільки операції проводяться у системі на основі мікроконтролера Arduino, то найдоцільніше було запрограмувати його на основі мови C спеціально модифікованої для Arduino.

Принцип роботи мобільної аплікації. При створенні мобільної аплікації треба мати на увазі, що в даний час немає належного вирішення проблеми навігації й оповіщення людей з вадами зору. Недоліки відомих аналогів полягають у високій вартості, неможливості доставки їх в Україну, існування їх на рівні розробки стартапу чи певного проекту, якого ще нема у продажі. Окрім того, жоден з аналогів немає можливості підключення до мобільного телефону. Мобільна аплікація не тільки полегшить життя незрячим людям, але й допоможе людям, які наглядають за незрячими.

Створення мобільної аплікації та підключення її до системи орієнтації для незрячих людей забезпечує наступні переваги: зручність навігації незрячих осіб, можливість відслідковування пристрою на карті, звукове оповіщення для користувачів з вадами зору, можливість оповіщення у випадку виникнення проблемних ситуацій, можливість збереження готових маршрутів, легкий і зрозумілий дизайн.

Робота МА протікає так.

Незрячий користувач використовує мобільний телефон для голосового оповіщення, натискаючи відповідну кнопку. Кожна кнопка спричиняє озвучення відповідної інформації за допомогою вбудованої функції перетворення тексту в мову.

Не активований додаток відображає актуальне місцезнаходження системи на карті в режимі реального часу.

У мобільній аплікації реалізовано функція прокладання маршруту. Голосом можна задати пошук конкретної вулиці та номера будинку. Навігація супроводжуватиметься голосовим озвученням за підтримки системою «Проводир», що сигналами вібромоторів зробить маршрут точнішим і унеможливить зіткнення незрячої людини з перешкодою під час маршруту.

**Принципова схема автоматичної системи «Проводир»** для орієнтації незрячих людей у просторі розроблена нами наведена на рис.6. Вона містить елементи: U1 - Bluetooth модуль ITEAD\_HC-05, U2 - платформа Arduino Mega 2560, U3-U7 – датчики оповіщення - вібромотори, U8 - GPS модуль NEO-6M, U9 – сервомотор SG90, U10 – основний датчик відстані TF-LUNA і U11, U12 – допоміжні датчики відстані HC-SR04.

Розглянемо особливості реалізації окремих функціональних вузлів системи «Проводир».

**Bluetooth модуль (U1)** – для безпроводного зв'язку системи вибрано модуль ITEAD\_HC-05. Цей модуль є енергоефективним і дає змогу здійснювати дуплексний безпроводний зв'язок двома шляхами - це 2,4 ГГц Bluetooth V2.0 і радіо.

**Мікроконтролер (U2).** В основу побудови системи «Проводир» було покладено платформу Arduino Mega 2560, яка є надзвичайно гнучкою та придатна для створення найрізноманітнішої апаратури, оскільки дає можливість поєднувати між собою різні пристрої та забезпечувати їх належну роботу. Ця платформа містить мікроконтролер ATmega2560, 16 аналогових входів, 54 цифрові входи/виходи (14 з яких слугують виходами сигналів ШІМ), 4 послідовних порти UART, кварцовий генератор на 16 МГц, USB конектор, кнопку перезавантаження, роз'єми ICSP і живлення. Платформа Arduino Mega 2560 сумісна з усіма платами розширення платформ Uno або Duemilanove.

Для забезпечення автономної роботи платформа живиться від акумуляторної батареї.

**Датчики оповіщення (U3-U7).** Оскільки сигналом оповіщення було прийнято вібрацію, то датчиком вибрано вібромотор Sony D5503 Xperia Z1 Compact mini. Перевагами цього датчика є компактність, низька вартість і простота заміни.

**GPS модуль (U8)** вибрано типу NEO-6M. Цей модуль містить керамічну антену, вбудований чіп пам'яті та резервну батареєю, причому має низьку вартість і високу продуктивність.



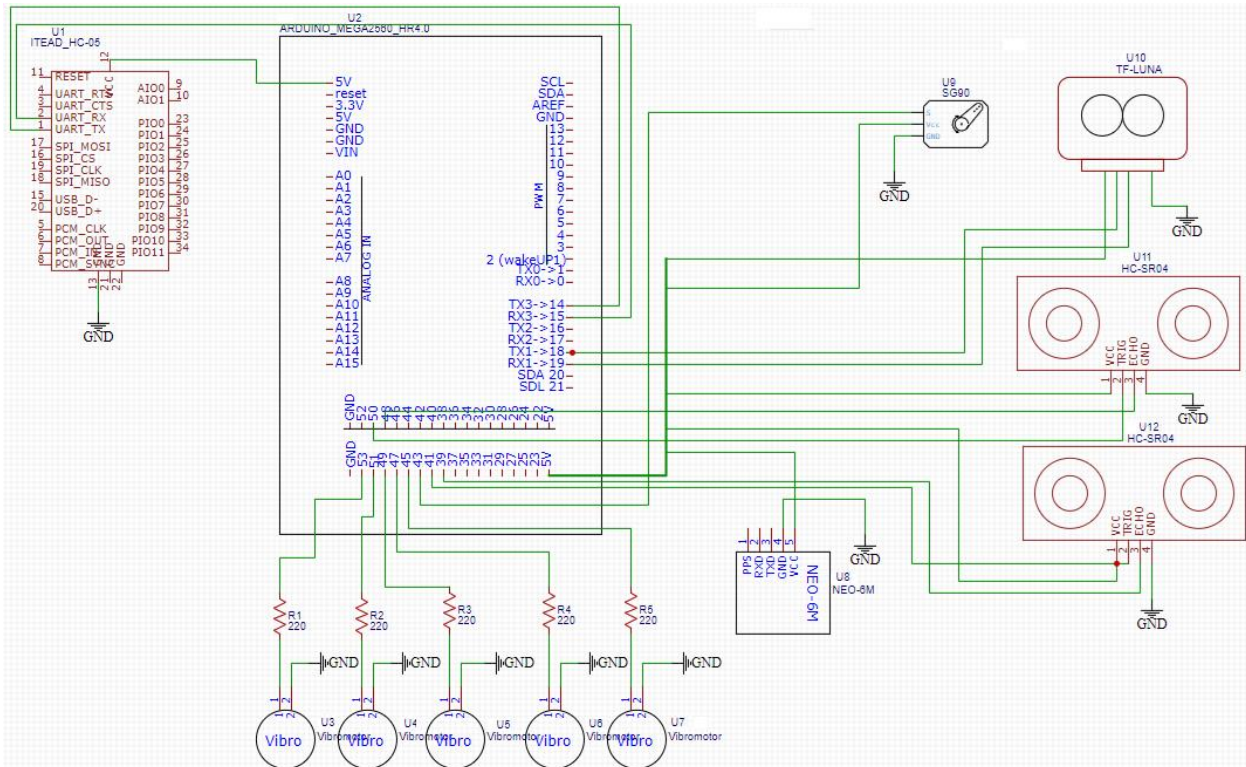


Рис. 6. Принципова схема автоматичної системи «Проводир»

**Сервомотор (U9)** вибрано типу SG90. Він забезпечує зворотний зв'язок, має високі стабільність і стійкість до перебоїв, малі габарити та широкий діапазон контролю швидкості. У прямому напрямі сервомотор є передавачем енергії, а при зворотному – передавачем інформації, що призводить до підвищення точності керування.

**Датчики відстані (U10, U11, U12)** – це основний (U10) і допоміжні (U11, U12).

**Основний датчик відстані (U10).** Для системи «Проводир» в якості основного вибрано датчик вимірювання відстані типу TF-Luna. Цей датчик виготовлений за технологією дистанційного вимірювання відстані LiDAR (Light Detection and Range), що використовує імпульс лазера для отримання інформації: вимірюється час проходження світлового сигналу до перешкоди та відбитого сигналу – до приймача і за відомою швидкістю світла (299 792 458 м/с) обчислюється відстань.

Із двох моделей DEM (Digital elevation model) та DTM (Digital terrain models) вимірювання відстані за технологією LiDAR віддано перевагу DEM, оскільки це є високоточне тривимірне зображення рельєфу та об'єктів у просторі, що отримується регулярними замірами висот шляхом сканування. Зауважимо, що модель DTM отримується подібно до DEM без врахування об'єктів і тому знаходить застосування у картографії.

Основні технічні дані давача TF-Luna: робочий діапазон від 0,2 м до 8 м; абсолютна похибка вимірювання  $\pm 6$  см (0,2 м – 3 м) і  $\pm 2\%$  (3 м – 8 м); роздільна здатність відстані 1 см; поле зору  $2^\circ$ ; робочий діапазон температур від  $-10^\circ\text{C}$  до  $+60^\circ\text{C}$ .

**Допоміжні датчики відстані (U11, U12).** Ці датчики можуть мати невисоку точність, оскільки напрями, в яких вони відслідковуватимуть відстань не є небезпечними для користувача. Тому виберемо ультразвукові датчики типу HC-SR04. Вони є дешевими та мають наступні основні характеристики датчика: робочий діапазон від 2 см до 400 см, кут огляду  $30^\circ$  (конус), робочий діапазон температур від  $-17^\circ\text{C}$  до  $+70^\circ\text{C}$ .

**Алгоритм роботи.** Після запуску системи «Проводир», починається активне сканування навколишнього середовища. Здійснюється це з допомогою сервопривода SG90 та датчика на основі технології LiDAR – TF-Luna.

Основний датчик відстані, прикріплений до сервопривода, буде повертати TF-Luna у різні боки для того, щоб розширити його кут обзору. Дані з датчиків відстані передаються до мікроконтролера та у залежності від того, чи знаходиться перешкода у небезпечній зоні, буде здійснено відповідний вібровідклик.

Активация системи відбувається автоматично при виникненні на шляху користувача перешкоди. Система виявляє перешкоди на відстані до 8 м. Сигнал про перешкоду формується за допомогою вібромоторів, причому із зменшенням відстані до перешкоди інтенсивність вібрацій збільшується.

### Висновки

Проведені нами дослідження дають змогу стверджувати наступне.

Переважає більшість відомих засобів і систем для орієнтації у просторі людей з вадами зору мають високу вартість, а окремі ж недорогі зразки розроблені на рівні стартапу чи певного проекту та ще відсутні у продажі. Загальним недоліком всіх аналогів є неможливість їх підключення до мобільного телефону, що значно обмежує функціональні можливості.

Розроблена нами автоматична система «Проводир» для орієнтації у просторі незрячих людей є перспективною для практичного застосування, оскільки поєднує високі якісні показники з низькою вартістю та забезпечує підключення до мобільного телефону, що дає низку переваг, зокрема: зручність навігації незрячих осіб, можливість відслідковування пристрою на карті, звукове оповіщення користувачів з вадами зору, можливість голосового оповіщення у випадку виникнення проблемних ситуацій, можливість збереження готових маршрутів тощо.

### Список літератури

1. Проблематика, статистика та аналіз даних про незряче населення. URL : <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/sensory-navigation-device-for-blind-people/977FA18CBCE412781DA22BA8CE708C04>
2. Умови, в яких живуть незрячі люди в Україні. URL : <https://www.radiosvoboda.org/a/25136865.html>
3. Перешкоди у повсякденному житті та способи орієнтування незрячих людей. URL : <https://brailleworks.com/mobility-tips-for-the-blind>
4. Elmannai W., Elleithy K. Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions. *Sensors* **2017**, 17, 565. <https://doi.org/10.3390/s17030565>
5. Wahab A., Helmy M., Talib A.A., Kadir H.A., Johari A., Noraziah A., Sidek R.M., Mutalib A.A. Smart Cane: Assistive Cane for Visually-impaired People. *Int. J. Comput. Sci. Issues*. 2011;**8**:4. [Google Scholar]
6. Bharambe S., Thakker R., Patil H., Bhurchandi K.M. Substitute Eyes for Blind with Navigator Using Android; *Proceedings of the India Educators Conference (TIEEC); Bangalore, India. 4–6 April 2013; pp. 38–43.* [Google Scholar]
7. Nguyen T.H., Nguyen T.H., Le T.L., Tran T.T.H., Vuillerme N., Vuong T.P. A wearable assistive device for the blind using tongue-placed electrotactile display: Design and verification; *Proceedings of the 2013 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS); Nha Trang, Vietnam. 25–28 November 2013.* [Google Scholar]
8. Brillhault A., Kammoun S., Gutierrez O., Truillet P., Jouffrais C. Fusion of artificial vision and GPS to improve blind pedestrian positioning; *Proceedings of the 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS); Paris, France. 7–10 February 2011; pp. 1–5.* [Google Scholar]
9. Xiao J., Ramdath K., Losilevish M., Sigh D., Tsakas A. A low cost outdoor assistive navigation system for blind people; *Proceedings of the 2013 8th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA); Melbourne, Australia. 19–21 June 2013; pp. 828–833.* [Google Scholar]
10. Fonseca R. Electronic long cane for locomotion improving on visual impaired people: A case study; *Proceedings of the 2011 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE); Rio de Janeiro, Brazil. 28 March–1 April 2011.* [Google Scholar]
11. 55. Aymaz Ş., Çavdar T. Ultrasonic Assistive Headset for visually impaired people; *Proceedings of the 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP); Vienna, Austria. 27–29 June 2016.* [Google Scholar]



12. Prudhvi B.R., Bagani R. Silicon eyes: GPS-GSM based navigation assistant for visually impaired using capacitive touch braille keypad and smart SMS facility; *Proceedings of the 2013 World Congress on Computer and Information Technology (WCCIT); Sousse, Tunisia. 22–24 June 2013.* [Google Scholar]
13. Shilkrot R., Huber J., Liu C., Maes P., Nanayakkara S.C. Fingerreader: A wearable device to support text reading on the go; *Proceedings of the CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems; Toronto, ON, Canada. 26 April–1 May 2014.* [Google Scholar]
14. Aladren A., Lopez-Nicolas G., Puig L., Guerrero J.J. Navigation Assistance for the Visually Impaired Using RGB-D Sensor with Range Expansion. *IEEE Syst. J.* 2016;**10**:922–932. doi: 10.1109/JSYST.2014.2320639. [CrossRef] [Google Scholar]
15. Everding L., Walger L., Ghaderi V.S., Conradt J. A mobility device for the blind with improved vertical resolution using dynamic vision sensors; *Proceedings of the 2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom); Munich, Germany. 14–16 September 2016.* [Google Scholar]
16. Mocanu B., Tapu R., Zaharia T. When Ultrasonic Sensors and Computer Vision Join Forces for Efficient Obstacle Detection and Recognition. *Sensors.* 2016;**16**:1807. doi: 10.3390/s16111807. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
17. Tapu R., Mocanu B., Zaharia T. A computer vision system that ensure the autonomous navigation of blind people; *Proceedings of the IEEE E-Health and Bioengineering Conference (EHB); Iasi, Romania. 21–23 November 2013.* [Google Scholar]
18. Nanayakkara S., Shilkrot R., Yeo K.P., Maes P. EyeRing: A finger-worn input device for seamless interactions with our surroundings; *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference; Stuttgart, Germany. 7–8 March 2013.* [Google Scholar]
19. Ультразвуковий ліхтар для незрячих Сонар-5УФ-В4. URL : <http://www.trostri.com.ua/sonar-5uf-b4.html>
20. HelpyEyes. URL : <https://dilo.net.ua/zhyttya/prystrij-dlya-nezryachyh-yakyj-pidkoryuye-svit-17-richnyj-lviv-yanyn-pro-svij-vynahid-helpyeyes/>
21. Guide. URL : <https://boomstarter.ru/projects/Guide/guide - ustroystvo dlya slepyh i slabovidyashih lyudey>

## References

1. Problematyka, statystyka ta analiz danykh pro nezriache naseleattia. URL : <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/sensory-navigation-device-for-blind-people/977FA18CBCE412781DA22BA8CE708C04>
2. Umovy, v yakykh zhyvut nezriachi liudy v Ukraini. URL : <https://www.radiosvoboda.org/a/25136865.html>
3. Pereshkody u povsiakdennomu zhytti ta sposoby oriientuvannia nezriachykh liudei. URL : <https://brailleworks.com/mobility-tips-for-the-blind>
4. Elmannai W., Elleithy K. Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions. *Sensors* **2017**, *17*, 565. <https://doi.org/10.3390/s17030565>
5. Wahab A., Helmy M., Talib A.A., Kadir H.A., Johari A., Noraziah A., Sidek R.M., Mutalib A.A. Smart Cane: Assistive Cane for Visually-impaired People. *Int. J. Comput. Sci. Issues.* 2011;**8**:4. [Google Scholar]
6. Bharambe S., Thakker R., Patil H., Bhurchandi K.M. Substitute Eyes for Blind with Navigator Using Android; *Proceedings of the India Educators Conference (TIEEC); Bangalore, India. 4–6 April 2013; pp. 38–43.* [Google Scholar]
7. Nguyen T.H., Nguyen T.H., Le T.L., Tran T.T.H., Vuillerme N., Vuong T.P. A wearable assistive device for the blind using tongue-placed electrotactile display: Design and verification; *Proceedings of the 2013 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS); Nha Trang, Vietnam. 25–28 November 2013.* [Google Scholar]
8. Brilhault A., Kammoun S., Gutierrez O., Truillet P., Jouffrais C. Fusion of artificial vision and GPS to improve blind pedestrian positioning; *Proceedings of the 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS); Paris, France. 7–10 February 2011; pp. 1–5.* [Google Scholar]
9. Xiao J., Ramdath K., Losilevish M., Sigh D., Tsakas A. A low cost outdoor assistive navigation system for blind people; *Proceedings of the 2013 8th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA); Melbourne, Australia. 19–21 June 2013; pp. 828–833.* [Google Scholar]
10. Fonseca R. Electronic long cane for locomotion improving on visual impaired people: A case study; *Proceedings of the 2011 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE); Rio de Janeiro, Brazil. 28 March–1 April 2011.* [Google Scholar]

11. Aymaz Ş., Çavdar T. *Ultrasonic Assistive Headset for visually impaired people*; *Proceedings of the 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*; Vienna, Austria. 27–29 June 2016. [Google Scholar]
12. Prudhvi B.R., Bagani R. *Silicon eyes: GPS-GSM based navigation assistant for visually impaired using capacitive touch braille keypad and smart SMS facility*; *Proceedings of the 2013 World Congress on Computer and Information Technology (WCCIT)*; Sousse, Tunisia. 22–24 June 2013. [Google Scholar]
13. Shilkrot R., Huber J., Liu C., Maes P., Nanayakkara S.C. *Fingerreader: A wearable device to support text reading on the go*; *Proceedings of the CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*; Toronto, ON, Canada. 26 April–1 May 2014. [Google Scholar]
14. Aladren A., Lopez-Nicolas G., Puig L., Guerrero J.J. *Navigation Assistance for the Visually Impaired Using RGB-D Sensor with Range Expansion*. *IEEE Syst. J.* 2016;**10**:922–932. doi: 10.1109/JSYST.2014. 2320639. [CrossRef] [Google Scholar]
15. Everding L., Walger L., Ghaderi V.S., Conradt J. *A mobility device for the blind with improved vertical resolution using dynamic vision sensors*; *Proceedings of the 2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*; Munich, Germany. 14–16 September 2016. [Google Scholar]
16. Mocanu B., Tapu R., Zaharia T. *When Ultrasonic Sensors and Computer Vision Join Forces for Efficient Obstacle Detection and Recognition*. *Sensors*. 2016;**16**:1807. doi: 10.3390/s16111807. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
17. Tapu R., Mocanu B., Zaharia T. *A computer vision system that ensure the autonomous navigation of blind people*; *Proceedings of the IEEE E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*; Iasi, Romania. 21–23 November 2013. [Google Scholar]
18. Nanayakkara S., Shilkrot R., Yeo K.P., Maes P. *EyeRing: A finger-worn input device for seamless interactions with our surroundings*; *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*; Stuttgart, Germany. 7–8 March 2013. [Google Scholar]
19. *Ультразвуковий ліхтар для незрячих Sonar-5UF-V4*. URL : <http://www.trostri.com.ua/sonar-5uf-b4.html>
20. *HelpyEyes*. URL : <https://dilo.net.ua/zhyttya/prystrij-dlya-nezryachyh-yakyj-pidkoryuye-svit-17-richnyj-lviv-yanyyn-pro-svij-vynahid-helpyeyes/>
21. *Guide*. URL : <https://boomstarter.ru/projects/Guide/guide - ustroystvo dlya slepyh i slabovidyaschih lyudey>