

163 БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.414.2

doi: 10.31498/2225-6733.49.2.2024.321352

© Зайцев Д.В.¹, Азархов О.Ю.², Сілі І.І.³, Єфременко Б.В.⁴

ПРИЛАД ПРОСТОРОВОЇ НАВІГАЦІЇ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

У статті представлено прототип приладу для просторової навігації, розроблений для людей із важкими порушеннями зору або сліпотою. Апаратна реалізація здійснена за допомогою сервісу TinkerCAD, а програмне забезпечення розроблено в середовищі Arduino IDE. Прилад забезпечує визначення безпечних дистанцій до перешкод та розпізнавання кольорів. Основними компонентами є Arduino UNO, ультразвукові далекоміри HC-SR04, датчик APDS-9960 і п'єзоелементи. Система враховує анатомічні особливості користувача завдяки функції калібрування. Інтеграція сучасних технологій сприяє підвищенню мобільності, впевненості та соціальної активності осіб із вадами зору.

Ключові слова: порушення зору, допоміжні пристрої, просторова навігація, Arduino UNO, далекомір, APDS-9960, TinkerCAD, Arduino IDE, C++.

D.V. Zaitsev, O.Yu. Azarkhov, I.I. Sili, B.V. Efremenko. Spatial navigation device for people with disabilities. The article discusses the creation of a prototype of a spatial navigation device for people with disabilities, namely severe visual impairment or blindness. Hardware implementation of the prototype was carried out using TinkerCAD automated design and 3D modelling. The software is created in the Arduino IDE development environment. The publications considered in the work showed that people with visual impairments can get autonomous access to important information thanks to the integration of modern technologies, which contributes to increasing their confidence, mobility and social activity. Providing easy access to texts, educational materials and digital information about the environment helps build a sense of independence and empowerment. Advances in assistive technology provide visually impaired people with up-to-date information about their surroundings, which helps improve navigation and increase safety. Some of the existing systems take into account social aspects, in particular the problems associated with the recognition of familiar faces without the use of auditory or tactile signals. This comprehensive approach not only improves navigational capabilities, but also contributes to enriching the social well-being and safety of visually impaired communities. Therefore, the development of a system capable of helping people with visual impairments in spatial navigation is an urgent topic and an important step in creating social equality. The main components of the developed device are the Arduino UNO hardware platform, HC-SR04 ultrasonic rangefinders, APDS-9960 digital sensor and active piezo elements. The control program created in the Arduino IDE ensures high efficiency of the interaction of sensors with the microcontroller. This prototype is capable of working in two modes: mainly – when safe distances to obstacles are determined and the mode of determining colors based on the RGB component. The device takes into account anatomical features, such as height -

¹ магістрант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, daniil.zaytsev.ne@gmail.com

² д-р мед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-0062-0616, azarhov_a_v@pstu.edu

³ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-6603-2174, sili_i_i@pstu.edu

⁴ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-0438-6433, efremenko_b_v@pstu.edu

for this, a calibration button is placed on the body. Thanks to piezo elements, interaction with the user is carried out in the form of a sound signal with a certain height, frequency and duration.

Keywords: *visual impairment, assistive devices, spatial navigation, Arduino UNO, range-finder, APDS-9960, Tinkercad, Arduino IDE, C++.*

Постановка проблеми. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) за останніми даними станом на 10 серпня 2023 року у світі налічується щонайменше 2,2 мільярда людей з різними типами порушення зору. Майже половину з цієї кількості випадків можна було запобігти або вилікувати. Дана проблема створює значний ефект як на життя самих людей, так і на економіку – збитки через інвалідність по зору оцінюються у 411 мільярдів доларів США. До основних причин порушення зору відносять неправильну рефракцію, катаракту, діабетичну ретинопатію, глаукому, пресбіопію та вікову макулярну дегенерацію [1]. Глобальне старіння і зростання населення, а також тенденція поширеності сліпоти та порушень зору у молодих людей призводять до суттєвого збільшення кількості людей, які стикаються з цими проблемами. Особливо значний вплив має невивражена пресбіопія [2]. У 2020 році групою вчених з Інституту дослідження зору та очей (Університет Англії Раскін, Кембридж, Велика Британія), Медичної школи Duke-NUS (Сінгапур, Сінгапур), Інституту показників і оцінки здоров'я (Університет Вашингтона, Сіетл, Вашингтон, США) методами систематичного огляду і мета-аналізу було зроблено оцінку глобальної тенденції до втрати зору завдяки простеженню її динаміки з 1990 до 2020 року [3]. Це дослідження надало змогу зробити прогнози росту важких порушень зору до 2050 року. Згідно даних, у 2020 році вже налічувалося 43,3 мільйони сліпих людей, з яких 55% (23,9 мільйони) – жінки. До 2050 року кількість людей зі сліпотою має зрости в середньому до 61 мільйона.

Порушення зору та вікові захворювання очей не лише спричиняють численні труднощі у повсякденному житті, такі як неможливість читати друкований текст, орієнтуватися у просторі чи займатися фізичною активністю (зокрема танцями, спортом або фітнесом), але й знижують економічні та освітні можливості і навіть підвищують ризик смертності [2, 4, 5]. Як наслідок, люди з важкими порушеннями зору або сліпотою мають більшу схильність до тривоги, депресії та соціальної ізоляції [1]. В багатьох дослідженнях увага переважно зосереджується на сліпоті, а також на помірних і тяжких порушеннях зору, з мінімальним висвітленням легкої форми порушень через обмеженість даних. Цей тип порушення зору визначається гостротою менше 6/12. Незважаючи на класифікацію як «легкий», такий ступінь зниження зору також суттєво впливає на повсякденне життя. У багатьох країнах з таким рівнем зору людині заборонено керувати транспортними засобами [2].

З 2022 року в Україні було зафіксовано зростання кількості людей із порушеннями зору. Згідно з даними Національного інституту охорони здоров'я, у 2021 році було зареєстровано 17478 випадків втрати чи зниження зору, тоді як у 2022 році цей показник зріс до 19551 випадків. Водночас за перші 7 місяців 2023 року вже діагностовано понад 19000 подібних випадків, що перевищує загальний показник за весь попередній рік [6]. Саме тому постає питання у застосуванні допоміжних пристроїв [7].

Поняття «допоміжні пристрої» охоплює як технічні засоби, так і програмне забезпечення, які сприяють використанню технологій людьми з інвалідністю, підвищуючи їхню якість життя [8]. Завдяки таким технологіям можна підтримувати функціональні можливості людини. Багато людей із порушеннями здоров'я застосовують ці пристрої для виконання повсякденних завдань і повноцінної інтеграції у суспільство. Допоміжні технології здатні забезпечити підтримку людей із вадами зору чи сліпотою у виявленні перешкод, навігації, розпізнаванні об'єктів, візуалізації та відстеженні їхнього положення чи руху в реальних умовах. Такі пристрої зазвичай оснащені сенсорами, які збирають інформацію, що надалі обробляється центральним процесором (CPU) або мікроконтролером. Інформація передається користувачу у формі звуку, вібрації або їх комбінації, залежно від особливостей пристрою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день над проблемою створення нових прототипів допоміжних пристроїв активно працюють багато авторів. Нові пристрої і

системи охоплюють такі сфери як мікропроцесорна техніка, сенсори, програмування, Інтернет речей (далі IoT), комп'ютерний зір та глибоке навчання [7, 9-20].

В роботі [9] представлений прототип системи, що здатний надавати підтримку в навігації з похибкою менше 0,5 метра як на відкритому повітрі, так і в приміщенні. Розроблюваний пристрій надає користувачу 2 важливі функції. По-перше, система визначає локалізації, по-друге – забезпечує безперервний моніторинг траєкторії. Для функціонування пристрій використовує монокулярну камеру, що розташовується на грудях у користувача. У порівнянні з традиційним GPS на мобільних пристроях, похибка якого складає в умовах міста до 20 м, цей прототип демонструє високу точність та ефективність.

Наступний підхід до вирішення проблеми навігації запропонований в іншому дослідженні [10], яке базується на інтеграції IoT в електронний допоміжний засіб для подорожей. Запропонований прототип, як і попередній, здатен працювати як у приміщенні, так і у відкритих місцях. Окрім цього, для детектування вибоїн та бар'єрів на відстані до 1 метра використано ультразвукові далекоміри. Система також підтримує GPS, може підключатися до Wi-Fi за допомогою ESP8266, що має вбудований інтерфейс бездротового зв'язку. Окремими опціями є можливість виявлення вологих поверхонь і виклику на мобільний телефон. Центральним керуючим елементом виступає апаратна плата Arduino UNO. Представлений у роботі прототип демонструє, як датчики з підтримкою Інтернету речей можуть сприяти покращенню повсякденного життя людей із вадами зору, забезпечуючи їм можливість самостійно орієнтуватися.

Автори інших публікації [11-19] розглядають створення мобільних додатків та систем, що базуються на технологіях оптичного розпізнавання символів (OCR), алгоритмах локалізації, алгоритмах Дейкстри, датчиків часу польоту (ToF), концепції інтеграції OCR з IoT та бездротовими сенсорними мережами (WSN), комп'ютерного зору, машинного та глибокого навчання, нейронних мереж (таких як YOLO). Варто відзначити, що всі описані в статтях системи демонструють високу ефективність. Зокрема, у роботі [16] представлено систему для виявлення об'єктів і розпізнавання обличч у реальному часі, яка здатна ідентифікувати 20 видів харчових продуктів, а також розпізнавати обличчя з точністю 83,27% і 95,64% відповідно. Окрім точності, одним з важливих параметрів систем є сигналізація про наявність можливих небезпек або відстані до них. Автори дослідження [18] застосовують бібліотеку Python перетворення тексту в мову для оповіщення. У даній публікації також звернено увагу на перспективи розвитку, а саме зменшення ваги і застосуванні більш сучасних компонентів.

Огляд сучасних досліджень у галузі допоміжних технологій показує, що завдяки впровадженню інноваційних рішень люди з вадами зору здобувають можливість самостійно отримувати важливу інформацію. Це, у свою чергу, сприяє зростанню їхньої впевненості, активній участі в суспільному житті [8, 15, 16]. Тому розробка системи, що здатна допомагати людям з вадами зору у просторовій навігації, є важливим кроком в створенні соціальної рівності.

Метою даної роботи є проектування і створення діючого прототипу приладу просторової навігації для людей з обмеженими можливостями, а саме з порушеннями зору чи повною сліпотою. Апаратна реалізація прототипу здійснена за допомогою сервісу автоматизованого проектування і 3D моделювання TinkerCAD. Програмне забезпечення створене у середовищі розробки Arduino IDE.

Виклад основного матеріалу. Як показав аналіз останніх досліджень, у якості керуючого елементу системи доцільно використати апаратну платформу Arduino UNO, що поєднує в собі чудові технічні характеристики [20], надійність та низьку вартість. Широкий спектр застосувань [10, 20, 21] показує, що Arduino UNO є гнучкою та універсальною апаратною платформою, що може бути адаптована під велику кількість завдань. Тому на основі даного мікроконтролера можна побудувати незалежний від зовнішніх підключень прилад, що дозволить полегшити навігацію людям з вадами зору.

Нижче наведено перелік компонентів системи з їх характеристиками та функціональним призначенням.

Ультразвуковий далекомір HC-SR04 – модуль, який конструктивно розрахований для визначення відстані до об'єктів у радіусі до двох метрів від нього. Цього параметру достатньо для реалізації проекту. Ще однією перевагою є його ціна – це дуже доступний датчик. Робота даного модуля заснована на принципі ультразвукової ехолокації. Далекімір HC-SR04 посилає

ультразвуковий сигнал (імпульс частотою 40 кГц) та приймає його відображення від об'єкта. Відстань до цілі визначається шляхом вимірювання часу між відправкою та отриманням імпульсу сигналу. Цей датчик забезпечує чудовий діапазон, точність, стабільність показань і кучність сигналу, поєднуючи це з зручною компоновкою на платі та малими габаритами. Вбудований штифтовий роз'єм із кроком 2,54 мм дозволяє підключати датчик до макетної плати для легкого створення прототипу. У проекті буде використано два HC-SR04: перший буде слугувати задля аналізу перешкод попереду людини (це може бути стіна, шафа, припаркований автомобіль), другий – для вчасного виявлення перешкод під ногами (бордюр, стілець, домашні тварини, велике каміння). Дане рішення зумовлено тим, що здорова людина бачить одразу центральним і периферійним зором, а отже аналізує картину попереду себе і на землі.

Цифровий датчик для безконтактного визначення жестів, наближення, RGB складових кольору та рівня освітленості навколишнього простору на чіпі APDS-9960 буде застосовано для розширення функціоналу приладу. Його використання дозволить сліпій людині використовувати прилад не тільки як далекомір, а і для визначення кольору об'єкту, що є немало важливо для людини, яка має не вроджену, а здобуту сліпоту. Окрім того, використання функції відстеження простих рухів угору-вниз, вправо-вліво, а також відстеження більш складних динамічних переміщень дасть змогу на перспективі розвитку функціоналу приладу.

Для звукового відображення небезпечної відстані і кольору слугуватимуть три активних п'єзодинаміка. Вибір п'єзодинаміків у якості звукових сигналізаторів зумовлений широким діапазоном частоти звука (до 2500 Гц), порівняно малими розмірами ($d = 12$ мм, $h = 9,6$ мм), високою інтенсивністю звукового сповіщення (75-85 дБ) та великим діапазоном робочих температур (від -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$), що є важливим, оскільки експлуатація приладу передбачає його використання переважним чином на вулиці.

Кнопки керування. Кнопка перемикача слугуватиме для калібрування приладу просторової навігації на певну дистанцію. Резистор номінальним опором 1 кОм буде використано для прибирання шумів. Кнопка живлення необхідна для відключення апаратної частини приладу від батареї. Так як людина з вадами зору буде спиратися на тактильні відчуття, кнопки керування мають різну форму та розміри.

На конструктивній схемі розроблюваного приладу просторової навігації (рис. 1) детально представлено взаємозв'язок компонентів та архітектуру приладу згідно концепту прототипу.

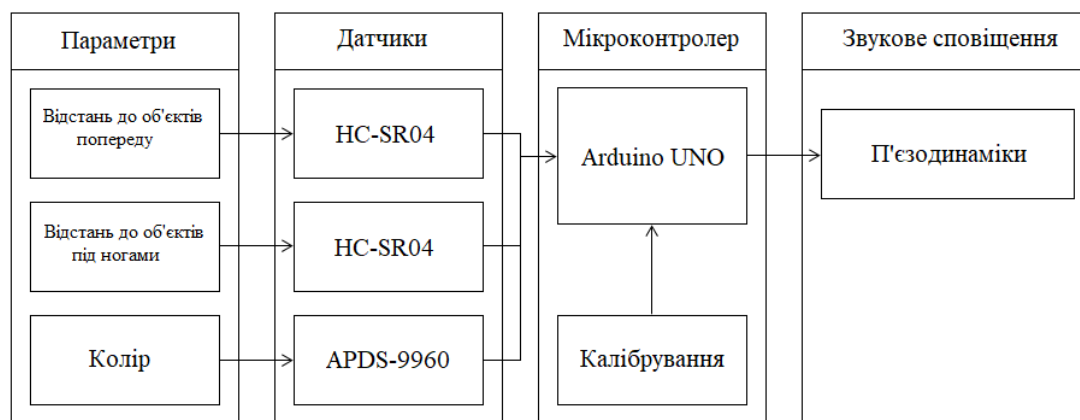


Рис. 1 – Конструктивна схема приладу просторової навігації для людей з обмеженими можливостями

Для створення та розробки принципової електричної схеми (рис. 2) підключення компонентів приладу для просторової навігації було використано середовище для роботи з 3D об'єктами та електронними схемами TinkerCAD [22]. Симуляція роботи системи проведена за допомогою функціональної схеми (рис. 3).

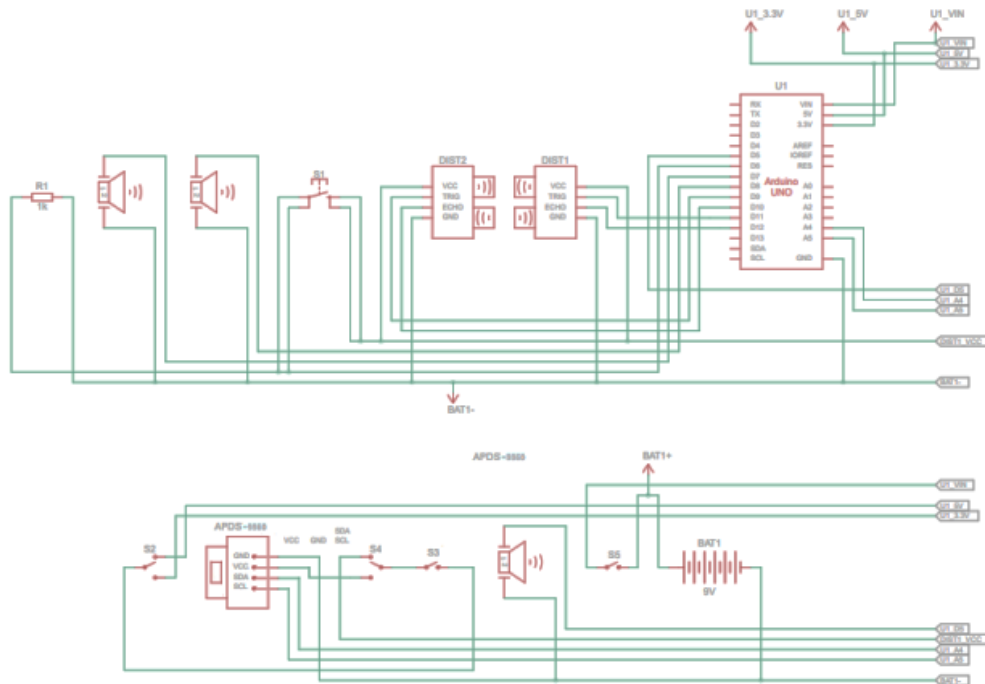


Рис. 2 – Принципова електрична схема підключення компонентів

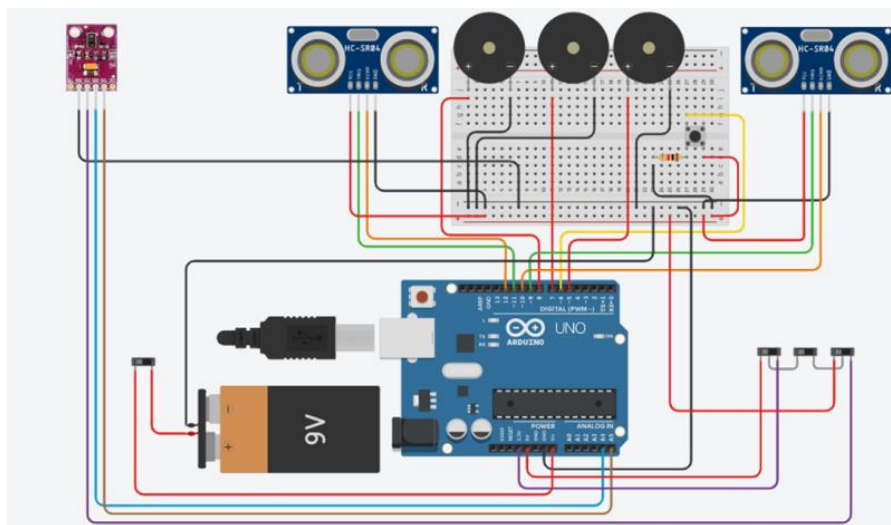


Рис. 3 – Функціональна схема підключення компонентів приладу просторової навігації

Ультразвукові далекоміри контактами TRIG та ECHO згідно специфікації підключено до цифрових портів апаратної платформи (9, 10, 11 та 12 порти відповідно). Датчик APDS-9960 з'єднано лініями зв'язку SDA і SCL з Arduino UNO, оскільки для передачі даних використовується протокол I2C. Живлення компонентів здійснено напругою в 5V за виключенням APDS-9960 – робоча напруга для нього складає 3,3V.

За допомогою середовища розробки Arduino IDE було реалізовано програмний код приладу. На блок-схемі (рис. 4) представлено алгоритм роботи одного циклу вимірювання відстаней та одного циклу визначення кольорів.

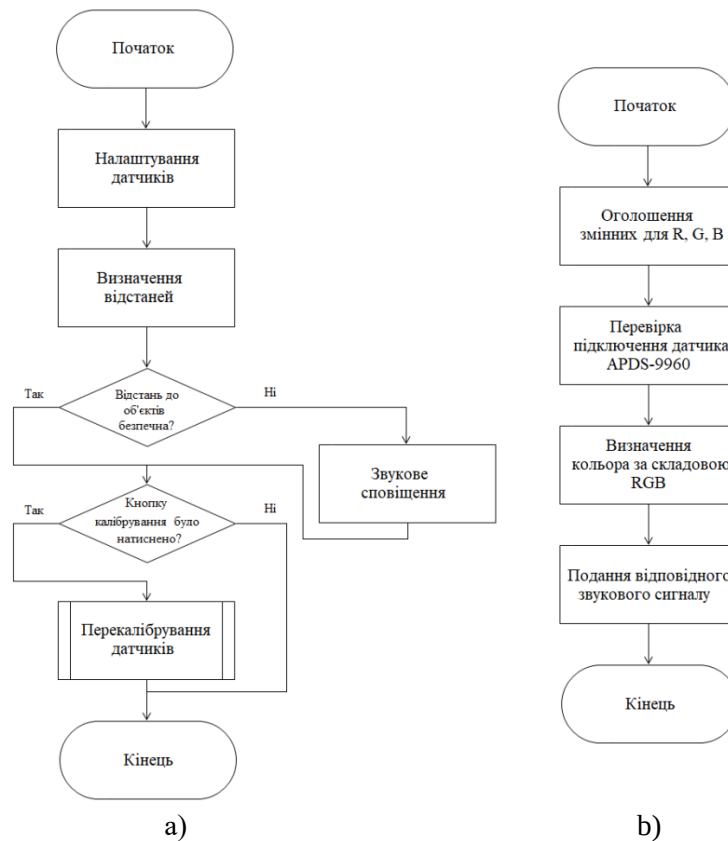


Рис. 4 – Блок-схема алгоритмів роботи: а – алгоритм вимірювання відстаней; б – алгоритм визначення кольору

Мовою програмування слугувала адаптована версія C++ для Arduino UNO, особливістю якої є швидке виконання. Програма завантажується через спеціальний порт апаратної платформи та працює наступним чином. При включенні живлення, датчики автоматично калібруються на відстані до найближчих об'єктів. Якщо значення первинних вимірів більші або дорівнюють 2 м, значення калібрування буде дорівнювати 2 м. Якщо відстань до об'єкта, до якого наблизиться людина, буде менша від каліброваного значення, спрацює звуковий сигнал відповідного ультразвукового датчика. Якщо значення на далекомірі DIST2 (рис. 2) буде більше від каліброваного ніж на 4 см, також спрацює сигнал. Це зроблено з метою визначення різного роду ям, через які людина може отримати травми. Також прилад можна перекалібрувати у процесі роботи, за необхідністю, кнопкою при її натисненні протягом 1 секунди на нове значення відстаней. Універсальний датчик APDS-9960 виконує згідно програми допоміжну функцію визначення кольору об'єкта, за перевагою одного з трьох кольорів – червоного, зеленого чи синього. Сигналізація про кольорову складову відбувається відповідним для неї звуковим сигналом. Для червоного кольору це повторення ноти «мі» (частота 330 Гц) 2 рази із запрограмованою затримкою 400 мсек. Для зеленого кольору це нота «ля» (частота 440 Гц) 3 рази із затримкою 250 мсек. Для синього кольору це нота «до» (частота 587 Гц) із затримкою 400 мсек. Під час отримання інформації стосовно кольору об'єкта датчик необхідно піднести безпосередньо до його поверхні. Перемикання між режимами роботи (вимірювання відстаней, визначення кольорів) здійснено кнопкою живлення.

Виходячи з розмірів електронних компонентів, було змодельовано у Fusion360 [23] та надруковано на FDM принтері корпус (він складається з відсіку для плати, ультразвукових датчиків, елементу живлення 9V) та кільце для кріплення APDS-9960. П'єзодинаміки змонтовано на самому корпусі. Готову модель приладу просторової навігації для людей з обмеженими можливостями показано на рисунку 5.

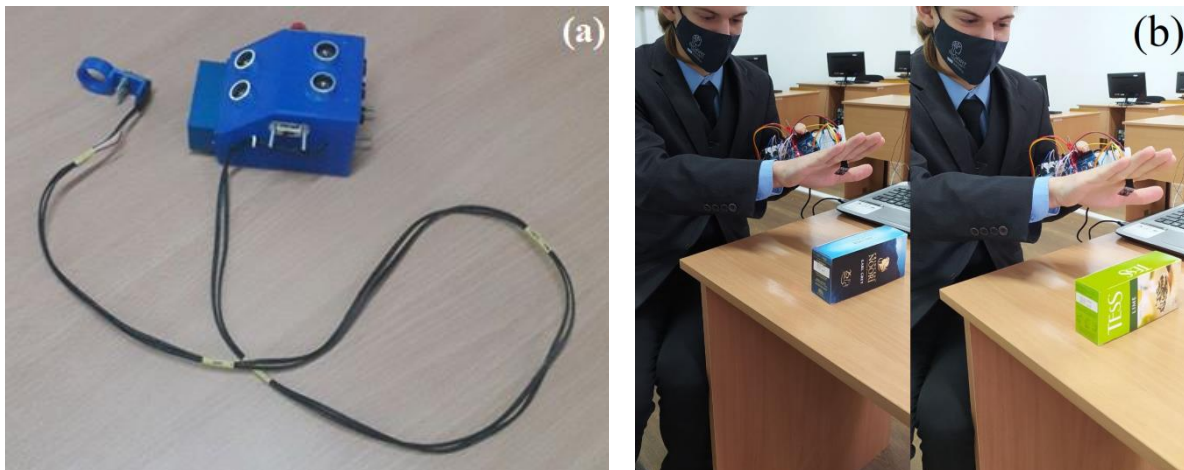


Рис. 5 – Готовий прототип приладу (а) просторової навігації для людей з обмеженими можливостями та тестування розпізнавання кольору (b) датчиком APDS-9960

Під час проведення тестування прилад мав високі показники точності. Відхилення при вимірюванні відстаней становили від 0,6 см до 1,7 см при кутності сигналу в 15° . У режимі визначення кольорів відхилень зафіксовано не було.

Висновки

Апаратна платформа Arduino UNO є потужним засобом обчислення, що знаходить широке застосування в приладобудуванні завдяки можливості підключення широкого асортименту датчиків. Завдяки своїм характеристикам, надійності та низькій ціні, апаратну платформу доцільно використовувати як центральний компонент допоміжних пристроїв для людей з інвалідністю, такою як сліпота. Проте незважаючи на переваги, основним недоліком Arduino UNO є відсутність модулів Wi-Fi та Bluetooth, що унеможливує пряме підключення розроблюваних пристроїв до IoT.

В даній роботі було проаналізовано ряд інформаційних та літературних джерел з метою виявлення основних конструктивних аспектів для майбутнього приладу просторової навігації. На основі проведеного аналізу останніх досліджень і публікацій розроблено готовий прототип, основними компонентами якого є пара ультразвукових датчиків HC-SR04 та апаратна платформа Arduino UNO на основі мікроконтролера ATmega328P-AU. Мовою для програмування послугувала адаптована для мікроконтролерів C++. Для розширення функціоналу приладу використано цифровий універсальний датчик APDS-9960, що робить можливим визначення кольору об'єктів. Для інформаційного зв'язку з користувачем встановлено три активних п'єзoelements, кожен з яких відповідає за свій датчик та сигналізує про наявність перешкод чи колір об'єкта. Проведені тести з орієнтування та визначення кольорової складової речей підтверджують високу ефективність розробленого прототипу. Окрім функціональності, важливим аспектом є економічна доцільність, яка досягається завдяки використанню недорогих і надійних компонентів. Це робить прилад доступним за ціною для широкого кола користувачів.

Перелік використаних джерел:

1. Vision impairment and blindness. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (дата звернення: 10.08.2024).
2. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis / R. R. A. Bourne et al. *The Lancet Global Health*. 2017. Vol. 5. Iss. 9. Pp. e888-e897. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(17)30293-0).

3. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study / R. Bourne et al. *The Lancet Global Health*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. Pp. e130-e143. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(20)30425-3).
4. Understanding Challenges and Opportunities in Body Movement Education of People who are Blind or have Low Vision / M. De Silva et al. *ASSETS '23 : Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, USA, 22-25 October 2023. Pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1145/3597638.3608409>.
5. Visual challenges in the everyday lives of blind people / E. Brady et al. *CHI'13: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paris, France, 27 April - 2 May 2013. Pp. 2117-2126. DOI: <https://doi.org/10.1145/2470654.2481291>.
6. Кількість людей з порушенням зору в Україні зростає: як ініціативи UNDP сприяють якісній реабілітації. UNDP. URL: https://www.undp.org/uk/ukraine/news/kilkist-lyudey-z-porushennyam-zoru-v-ukrayini-zrostaye-yak-initsiatyvy-undp-spryyayut-yakisniy-reabilitationi?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 25.06.2024).
7. Mixture reality-based assistive system for visually impaired people / J. Song et al. *Displays*. 2023. Vol. 78. Article 102449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2023.102449>.
8. Towards assisting visually impaired individuals: A review on current status and future prospects / M. Mashiata et al. *Biosensors and Bioelectronics: X*. 2022. Vol. 12. Article 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2022.100265>.
9. Detect and Approach: Close-Range Navigation Support for People with Blindness and Low Vision / Y. Hao et al. *Computer Vision – ECCV 2022 Workshops. Lecture Notes in Computer Science*. 2023. Vol. 13806. Pp. 607-622. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25075-0_41.
10. Roy M., Shah P. Internet of Things (IoT) Enabled Smart Navigation Aid for Visually Impaired. *Advanced Information Networking and Applications*. 2022. Pp. 232-244. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-99619-2_23.
11. Commute Booster: A Mobile Application for First/Last Mile and Middle Mile Navigation Support for People with Blindness and Low Vision / J. Feng et al. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*. 2023. Vol. 11. Pp. 523-535. DOI: <https://doi.org/10.1109/jtehm.2023.3293450>.
12. Floor Plan Based Active Global Localization and Navigation Aid for Persons with Blindness and Low Vision / R. G. Goswami et al. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2024. Vol. 9, Iss. 12. Pp. 11058-11065. DOI: <https://doi.org/10.1109/lra.2024.3486208>.
13. UNav: An Infrastructure-Independent Vision-Based Navigation System for People with Blindness and Low Vision / A. Yang et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22. Iss. 22. Article 8894. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22228894>.
14. Use of ToF sensors to develop Assistive Technology for visually impaired people / A. A. Ferreira et al. *ENSUS 2024 - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. 2024. Pp. 1004-1011. DOI: <https://doi.org/10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.p1004-1011>.
15. IoT-Driven Accessibility: A Refreshable OCR-Braille Solution for Visually Impaired and Deaf-Blind Users through WSN / K. K. Reddy et al. *Journal of Economy and Technology*. 2024. Vol. 2. Pp. 128-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.04.007>.
16. Real-Time Object Detection and Face Recognition Application for the Visually Impaired / K. Sanjar et al. *Computers, Materials & Continua*. 2024. Vol. 79(3). Pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.048312>.
17. Sivan Sh., Darsan G. Computer Vision based Assistive Technology for Blind and Visually Impaired People. *ICCCNT'16: Proceedings of the 7th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, Dallas TX, USA, 6-8 July 2016. Pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1145/2967878.2967923>.
18. Mohammed Fayiz Ferosh. Assistive Technology for Navigation of Visually Impaired People. *Journal of Electrical Systems*. 2024. Vol. 20. Iss. 7s. Pp. 989-996. DOI: <https://doi.org/10.52783/jes.3479>.
19. Kiruthika Devi S., Subalalitha C. Deep Learning Based Audio Assistive System for Visually Impaired People. *Computers, Materials & Continua*. 2021. Vol. 71. Iss. 1. Pp. 1205-1219. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020827>.

20. Сілі І. І., Азархов О. Ю., Єфременко Б. В. Тензосенсорна рукавиця для людей з порушенням мовлення. *Наука та виробництво*. 2023. Вип. 25. Рр. 159-167. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990252023286737>.
21. Євсєєнко О. Синтез системи виміру параметрів повітря у приміщеннях торговельного центру. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2022. Вип. 1(7). С. 28-34. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2022.01.05>.
22. Tinkercad: From mind to design in minutes. Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com/> (дата звернення: 10.08.2024).
23. Autodesk Fusion: More than CAD, it's the future of design and manufacturing. URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (дата звернення: 12.08.2024).

References:

1. Vision impairment and blindness. World Health Organization (WHO). [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. Accessed on: August 10, 2024.
2. R.R.A. Bourne et al., «Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis», *The Lancet Global Health*, vol. 5, iss. 9, pp. e888-e897, 2017. doi: 10.1016/s2214-109x(17)30293-0.
3. R. Bourne et al., «Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study», *The Lancet Global Health*, vol. 9, iss. 2, pp. e130-e143, 2020. doi: 10.1016/s2214-109x(20)30425-3.
4. M. De Silva, S. Goodwin, L. Holloway, and M. Butler, «Understanding Challenges and Opportunities in Body Movement Education of People who are Blind or have Low Vision», in Proc. 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, New York, USA, 2023, pp. 1-19. doi: 10.1145/3597638.3608409.
5. E. Brady, M. Ringel Morris, Yu Zhong, S. White, and J.P. Bigham, «Visual challenges in the everyday lives of blind people», in Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Paris, France, pp. 2117-2126, 2013. doi: 10.1145/2470654.2481291.
6. Кількість людей з порушенням зору в Україні зростає: як ініціативи UNDP сприяють якісній реабілітації. UNDP. [Online]. Available: https://www.undp.org/uk/ukraine/news/kilkist-lyudey-z-porushennyam-zoru-v-ukrayini-zrostaye-yak-initsiatyvy-undp-spryyayut-yakisniy-reabilitatsiyi?utm_source=chatgpt.com. Accessed on: June 06, 2024.
7. J. Song et al., «Mixture reality-based assistive system for visually impaired people», *Displays*, vol. 78, article 102449, 2023. doi: 10.1016/j.displa.2023.102449.
8. M. Mashiata et al., «Towards assisting visually impaired individuals: A review on current status and future prospects», *Biosensors and Bioelectronics: X*, vol. 12, article 100265, 2022. doi: 10.1016/j.biosx.2022.100265.
9. Y. Hao, J. Feng, J.-R. Rizzo, Y. Wang, and Yi Fang, «Detect and Approach: Close-Range Navigation Support for People with Blindness and Low Vision», *Computer Vision – ECCV 2022 Workshops. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13806, pp. 607-622, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-25075-0_41.
10. M. Roy, and P. Shah, «Internet of Things (IoT) Enabled Smart Navigation Aid for Visually Impaired», *Advanced Information Networking and Applications*, pp. 232-244, 2022. doi: 10.1007/978-3-030-99619-2_23.
11. J. Feng, M. Beheshti, M. Philipson, Y. Ramsaywack, M. Porfiri, J.-R. Rizzo, «Commute Booster: A Mobile Application for First/Last Mile and Middle Mile Navigation Support for People with Blindness and Low Vision», *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, vol. 11, pp. 523-535, 2023. doi: 10.1109/jtehm.2023.3293450.
12. R.G. Goswami et al., «Floor Plan Based Active Global Localization and Navigation Aid for Persons with Blindness and Low Vision», *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 9, iss. 12, pp. 11058-11065, 2024. doi: 10.1109/ra.2024.3486208.

13. A. Yang et al., «UNav: An Infrastructure-Independent Vision-Based Navigation System for People with Blindness and Low Vision», *Sensors*, vol. 22, iss. 22, article 8894, 2022. doi: 10.3390/s22228894.
14. A.A. Ferreira et al., «Use of ToF sensors to develop Assistive Technology for visually impaired people», *ENSUS 2024 – XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*, pp. 1004-1011, 2024. doi: 10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.p1004-1011.
15. K.K. Reddy, R. Badam, S. Alam, and M. Shuaib, «IoT-Driven Accessibility: A Refreshable OCR-Braille Solution for Visually Impaired and Deaf-Blind Users through WSN», *Journal of Economy and Technology*, vol. 2, pp. 128-137, 2024. doi: 10.1016/j.ject.2024.04.007.
16. K. Sanjar, S. Bang, S. Ryue, and H. Jung, «Real-Time Object Detection and Face Recognition Application for the Visually Impaired», *Computers, Materials & Continua*, vol. 79(3), pp. 1-10, 2024. doi: 10.32604/cmc.2024.048312.
17. Sh. Sivan, and G. Darsan, «Computer Vision based Assistive Technology for Blind and Visually Impaired People», in *Proc. 7th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, Dallas TX, USA, 2016, pp. 1-8. doi: 10.1145/2967878.2967923.
18. M. Fayiz Ferosh, «Assistive Technology for Navigation of Visually Impaired People», *Journal of Electrical Systems*, vol. 20, iss. 7s, pp. 989-996, 2024. doi: 10.52783/jes.3479.
19. S. Kiruthika Devi, and C. Subalalitha, «Deep Learning Based Audio Assistive System for Visually Impaired People», *Computers, Materials & Continua*, vol. 71, iss. 1, pp. 1205-1219, 2021. doi: 10.32604/cmc.2022.020827.
20. I.I. Sili, O.Yu. Azarkhov, and B.V. Yefremenko, «Tenzosensorna rukavytsia dlia liudei z porushenniam movlennia» [«Tenzosensory glove for the speech impaired people»], *Nauka ta vyrobnytstvo – Science and production*, vol. 25, pp. 159-167, 2023. doi: 10.31498/2522-9990252023286737. (Ukr.)
21. O. Yevseienko, «Syntez systemy vymiru parametriv povitria u prymishchenniakh torhovelnogo tsentru» [«Shopping mall air parameters measurement system synthesis»], *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Systemnyi analiz, upravlinnia ta informatsiini tekhnologii – Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: System Analysis, Control and Information Technologies*, vol. 1(7), pp. 28-34, 2022. doi: 10.20998/2079-0023.2022.01.05. (Ukr.)
22. Tinkercad: From mind to design in minutes. Tinkercad. [Online]. Available: <https://www.tinkercad.com/>. Accessed on: August 10, 2024.
23. Autodesk Fusion: More than CAD, it's the future of design and manufacturing. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>. Accessed on: August 12, 2024.

Стаття надійшла 14.09.2024

Стаття прийнята 01.10.2024

UDC 004.93:616.12:618.3

doi: 10.31498/2225-6733.49.2.2024.321353

© Franchevska H.¹, Yavorska E.²

MATHEMATICAL MODELING OF THE FETAL ELECTROCARDIOSIGNAL FOR THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR RELIABLE EXTRACTION IN COMPUTER CARDIODIAGNOSTIC SYSTEMS

Fetal electrocardiogram (FECG) signal extraction is a critical component of modern perinatal care, enabling continuous, non-invasive monitoring of fetal health. This approach is

¹ postgraduate student, Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Ternopil, ORCID: 0009-0001-8702-2821, franchevska.halynaa@gmail.com

² PhD, associate professor, Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Ternopil, ORCID: 0000-0001-6341-1710, yavorska_eb@yahoo.com