

УДК 7.082: 617.7.

АСИСТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРИ ВТРАТІ ЗОРУ НА ОСНОВІ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ АНАЛІЗАТОРІВ

Акерман Дмитро Олегович

ackerman.dmytro@lil.kpi.ua

Богомолів Микола Федорович

nbogom@yahoo.com

кафедра біоінженерії

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

м. Київ, Україна

Анотація - У статті розглянуто конструктивні особливості, принципи дії та функції нового пристрою для осіб з втратою зору на основі оптоелектронних аналізаторів. Основною перевагою цієї технології є її здатність надавати інформацію з допомогою відчуття легкого тиску для користувача, не перевантажуючи інші задіяні канали відчуттів. Технологія використовує 6 ультразвукових та 4 інфрачервоних сенсори, які перетворюють імпульси в механічну силу, що дозволяє користувачам отримувати важливу інформацію про оточуюче середовище, розпізнавати об'єкти та допомагати в навігації. Конструктивно пристрій складається з трьох основних модулів: модуль збору даних, модуль обробки та модуль виводу інформації. Модуль збору даних включає ультразвукові та інфрачервоні сенсори, розташовані на корпусі пристрою. Модуль обробки використовує мікроконтролер на базі ARM Cortex-M4 для аналізу сигналів з сенсорів та генерації відповідних керуючих команд. Сигнал передається через бездротовий інтерфейс Bluetooth до модуля виводу інформації. Модуль виводу інформації забезпечує передачу цих команд у вигляді відчуттів легкого тиску на шкіру користувача через 16 мініатюрних вібромоторів.

Ключові слова: асистивна технологія, вібромотор, втрата зору, оптоелектронні аналізатори, ультразвукові сенсори.

I. ВСТУП

Від початку повномасштабного вторгнення за даними НЗСУ, у 2022-му кількість осіб з втратою або погіршенням зору зросла до 19 551 осіб. І лише за 7 місяців 2023 року вже було засвідчено понад 19 тисяч таких діагнозів [1].

Асистивні технології на основі оптоелектронних аналізаторів можуть суттєво покращити якість життя людей з порушеннями зору. Такі пристрої перетворюють інформацію про навколишнє середовище на тактильні стимули, що дозволяє користувачам орієнтуватися в просторі. Використання ультразвукових та інфрачервоних сенсорів для виявлення об'єктів і перетворення сигналів у відчуття легкого тиску дає змогу створювати ефективні асистивні пристрої.

У цій статті представлено розроблену систему асистивної технології на основі оптоелектронних аналізаторів, яка допомагає людям з втратою зору орієнтуватися в просторі та покращує їхню здатність до самостійного життя. Система включає в себе набір ультразвукових та інфрачервоних сенсорів, що інтегруються в зручну пов'язку, яка передає тактильні сигнали через вібрацію або легкий тиск, дозволяючи користувачам швидко адаптуватися до навколишнього середовища.

Така система не перевантажує слухові чи інші сенсорні канали, що є особливо важливим для людей з вадами зору, які часто покладаються на ці канали для сприйняття інформації [2]. Пов'язка працює автономно і може бути налаштована під

потреби конкретного користувача. Завдяки своїй простоті й універсальності, ця технологія може стати важливим інструментом у щоденному житті людей з втратою зору.

II. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи було розробити асистивну технологію на основі оптоелектронних аналізаторів, яка допомагає людям з втратою зору орієнтуватися в просторі, забезпечуючи ефективно та безпечно пересування без перевантаження інших сенсорних каналів.

III. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Сучасні асистивні технології для людей з втратою зору пропонують широкий спектр рішень, починаючи від простих тростин і закінчуючи складними електронними пристроями. Наприклад, такі технології, як ультразвукові тростини та GPS-навігатори, допомагають користувачам орієнтуватися в просторі, проте вони мають суттєві обмеження. Серед найбільш поширених недоліків - надмірна залежність від аудіоканалів, що може створювати додаткове навантаження на слухові рецептори, які стають критично важливими для людей із втратою зору [3].

Інші технології, такі як інтелектуальні окуляри, що використовують камери та штучний інтелект для розпізнавання об'єктів і текстів, також не позбавлені обмежень. Вони часто вимагають складного налаштування, можуть бути ненадійними в умовах поганого освітлення або великих людських зібрань і мають обмежену автономність роботи [4]. Крім того, ці пристрої часто є дорогими, що робить їх недоступними для багатьох користувачів.

На відміну від традиційних рішень, технологія на основі оптоелектронних аналізаторів, розробка якої є метою даного дослідження, пропонує унікальний підхід до вирішення проблеми орієнтації в просторі для людей з втратою зору. Використання сенсорів для фіксації інфрачервоних і ультразвукових сигналів та їхнє

перетворення у відчуття легкого тиску на шкірі користувача дозволяє знизити навантаження на інші сенсорні системи та забезпечити більш інтуїтивну взаємодію з оточуючим середовищем. (Рис. 1) Такий підхід зменшує ризик перевантаження слухового каналу, що є важливим для користувачів, які мають обмежену здатність до візуальної чи слухової адаптації.

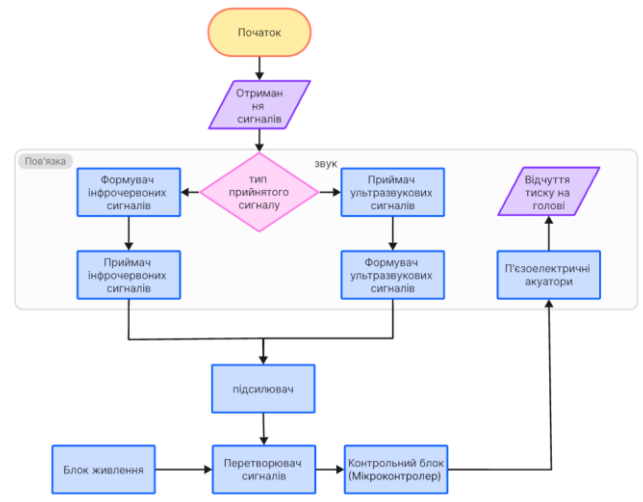


Рис. 1. - Блок-схема запропонованого приладу

Фокус даного дослідження полягає в розробці ефективного, зручного і доступного пристрою, який не тільки забезпечить високу точність і надійність роботи, але й зробить процес взаємодії з навколишнім середовищем максимально природним і комфортним. Особлива увага приділяється можливості адаптації пристрою до індивідуальних потреб користувача, що має на меті підвищити якість життя людей з втратою зору та допомогти їм ефективно орієнтуватися в просторі без використання аудіо- або візуальних інтерфейсів [5].

IV. РОЗРОБКА СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ

Пропонується технологія, що представляє собою сенсорну стрічку, яка містить інтегровані фотоелементами та ультразвуковими датчиками. Ця стрічка буде розташована на лобі користувача і проходить вище вух за потилицю, займає невелику площу. У передній частині стрічки

розташовані приймачі, які відповідають за збір інфрачервоних сигналів. Також це можуть бути ультразвукові приймачі. Вони виглядають як невеликі кристалики п'єзоелектричних датчиків розміром 5x5 мм або навіть менше, розташовані в ряди.

Система складається з ультразвукових датчиків HC-SR04 (рис. 2.) та інфрачервоних датчиків Sharp GP2Y0A21YK0F (рис. 3.), які інтегровані у пов'язку для носіння на голові. Ультразвукові датчики HC-SR04 розташовані спереду і з боків пов'язки, що дозволяє покрити поле огляду в радіусі 180 градусів. Вони вимірюють відстань до об'єктів у діапазоні від 20 см до 4 метрів, забезпечуючи користувачеві інформацію про наближення до перешкод [6]. Інфрачервоні датчики Sharp GP2Y0A21YK0F доповнюють систему, визначаючи живі об'єкти та джерела тепла на відстані до 80 см. [7].

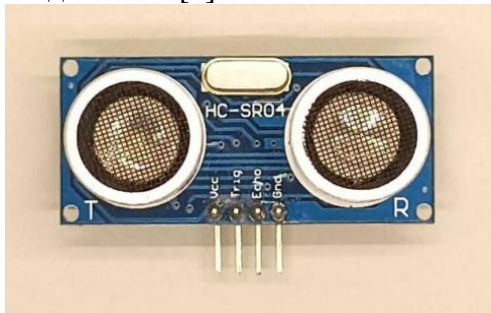


Рис.2. – Ультразвуковий датчик HC-SR04



Рис.3. - Інфрачервоний датчик Sharp GP2Y0A21YK0F

Ці датчики розташовані в передній частині пов'язки для точного розпізнавання об'єктів на ближніх дистанціях.

У рамках розробки сенсорної системи орієнтації для осіб із втратою зору було використано п'єзоелектричні датчики для забезпечення тактильного зворотного зв'язку. П'єзоелектричні датчики використовуються для створення вібрацій, що сигналізують про наближення до об'єктів. (рис. 4.) Ці датчики вбудовані в пов'язку і активуються, коли система виявляє перешкоди на шляху користувача.

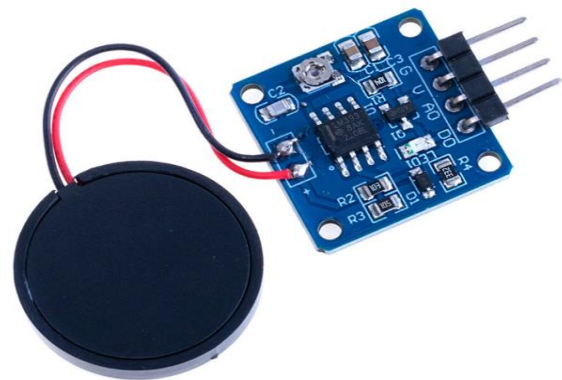


Рис.4. - Модуль вібрації побудований на п'єзоелементі

П'єзоелектричні елементи здатні генерувати легкі вібрації, які відчуються на шкірі голови, забезпечуючи інтуїтивне сприйняття відстані до об'єктів. Завдяки високій чутливості п'єзоелектричних матеріалів, користувач отримує миттєвий зворотний зв'язок у режимі реального часу, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни в оточенні. Ця система тактильного зворотного зв'язку є надзвичайно важливою для забезпечення безпечного пересування людей із втратою зору, оскільки вона не навантажує слухові чи інші сенсорні канали.

Крім того, п'єзоелектричні датчики інтегровані в систему управління через мікроконтролер Arduino Nano, який регулює інтенсивність вібрацій залежно від відстані до об'єктів. Чим ближче користувач до перешкоди, тим сильніший вібраційний сигнал створюється п'єзоелектричним елементом, забезпечуючи ефективний спосіб сприйняття оточуючого простору.

Ці датчики також мають компактні розміри, що дозволяє легко інтегрувати їх у пов'язку без втрати комфорту для користувача. Вони відрізняються надійністю та стійкістю до зносу, що робить їх ідеальними для тривалого використання у щоденних умовах.

VI. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ

Для моделювання та тестування схеми асистивного пристрою використовувалася програма Tinkercad, яка дозволяє створювати віртуальні схеми і симулювати роботу електронних компонентів. На рисунку 5 показано підключення ультразвукового датчика до контролера Arduino UNO, а також зв'язок із вібраційним мотором, який активується залежно від показань датчика.

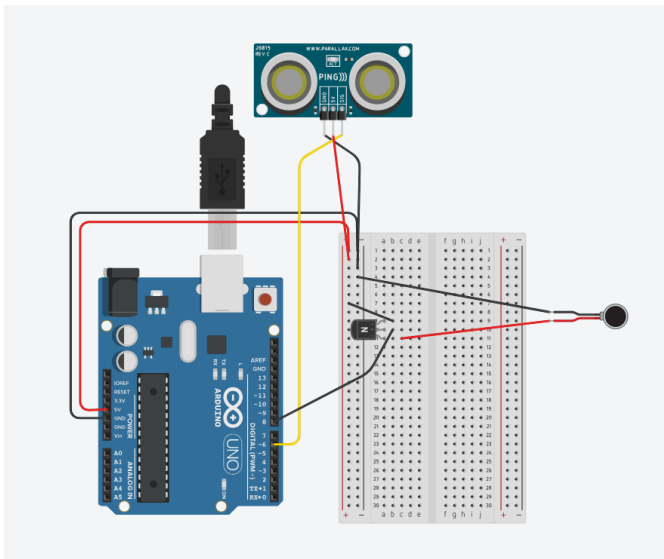


Рис.5. - Модель створена у Tinkercad для тестування основного принципу роботи приладу

Схема ілюструє принцип роботи пристрою: ультразвуковий датчик вимірює відстань до об'єкта, і якщо ця відстань становить менше заданого порогу (в даному тесті 100 см), контролер подає сигнал на вібраційний мотор, який починає вібрувати. Таким чином, пристрій генерує тактильний зворотний зв'язок, який дозволяє користувачу отримувати інформацію про наявність перешкод поблизу.

Алгоритм аналізує дані у реальному часі і порівнює нормалізовані значення з

пороговими значеннями, що визначають відстань до об'єкта, при якій потрібно активувати вібраційний зворотний зв'язок. Наприклад, якщо відстань менша за 100 см, система активує вібрації. Інтенсивність вібрації пропорційна відстані: чим ближче перешкода, тим сильніше буде вібрація.

Програмний код на Arduino UNO наведено в додатку А і реалізує наступні функції:

1. Вимірювання відстані: за допомогою функції `readUltrasonicDistance` Arduino надсилає сигнал через тригерний пін, а потім вимірює час, за який цей сигнал повертається через ехо-пін. Таким чином, обчислюється відстань до об'єкта.

2. Керування вібраційним мотором: якщо відстань до об'єкта менше 100 см, мотор активується, і чим ближче об'єкт, тим інтенсивніша вібрація. Це дозволяє адаптувати реакцію мотора відповідно до відстані.

3. Функція `read UltrasonicDistance` визначає час затримки, за який імпульс повертається до датчика, і повертає його.

4. Основний цикл `loop()` зчитує відстань, а потім контролює вібраційний мотор залежно від того, чи потрапляє об'єкт у діапазон менш ніж 100 см. Мотор активується лише тоді, коли відстань менша за цей поріг.

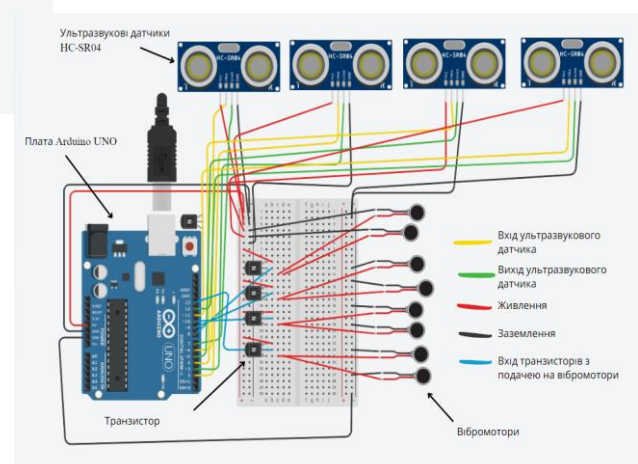


Рис.6. Модель створена у Tinkercad для тестування підключення 8 вібраторів з 4 ультразвуковими датчиками

Схема 6 ілюструє роботу пристрою з розширеним керуванням за допомогою восьми вібраційних моторів та чотирьох ультразвукових датчиків. Цей прототип дозволяє забезпечити 360-градусне виявлення перешкод навколо користувача та тактильний зворотний зв'язок. Кожен ультразвуковий датчик (HC-SR04) підключений до контролера Arduino UNO та працює незалежно. Він вимірює відстань до об'єкта шляхом надсилання звукового імпульсу і визначає час, за який він повертається, що дозволяє обчислити відстань. Для роботи восьми моторів використовується окреме джерело живлення, що забезпечує стабільність та надійність роботи пристрою. Arduino контролює роботу схеми через транзистори, що гарантує безпеку від перевантажень.

Схематичне підключення пристрою представлено на рисунку 7.

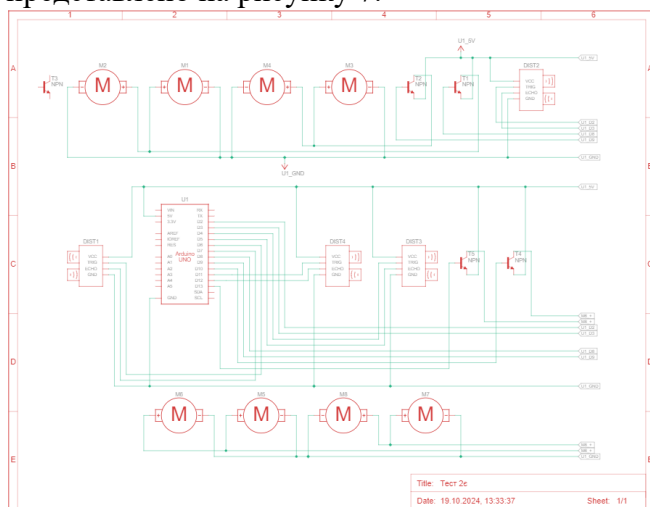


Рис. 7. Схематичне зображення з'єднань пристрою

У схемі 7 використовуються транзистори для керування живленням моторів, які підключені до джерела постійного струму. В момент, коли ультразвуковий датчик виявляє перешкоду на відстані менше порогового значення, Arduino активує транзистор, що дозволяє струму проходити через вібромотор.

Схематичне підключення складається з восьми ультразвукових датчиків HC-SR04, які підключені до мікроконтролера Arduino UNO для вимірювання відстані до об'єктів. Кожен датчик передає сигнал про наявність

перешкод, активуючи відповідні вібраційні мотори через транзистори NPN типу 2N2222. Підключення транзисторів дозволяє керувати моторами, коли на базу транзистора подається сигнал від мікроконтролера. Це забезпечує тактильний зворотний зв'язок, який допомагає користувачам з вадами зору відчувати присутність об'єктів навколо.

Наступним етапом до системи було додано драйвери L293D, які дозволяють ефективно керувати вібромоторами (рис. 2.4). Такі 2 драйвери замінюють транзистори на схемі. Основною метою використання L293D є забезпечення можливості підключення декількох вібромоторів, оскільки Arduino не може напямую забезпечити достатній струм для живлення моторів. Кожен драйвер L293D може керувати двома моторами на один канал, що дозволяє підключити вісім моторів через два драйвери. Також приєднане зовнішнє джерело живлення для вібромоторів.

Основними елементами, які були інтегровані в схему, є:

Enable пін (1-2 та 3-4) на L293D: Вони використовуються для активації кожної пари моторів. Якщо ці піни підключені до 5V, драйвер може вмикати мотори за сигналами з входів IN1-IN4. Це дозволяє контролювати, коли мотори будуть активовані.

OUT1-OUT4 на L293D підключаються до виводів моторів, що забезпечує їх живлення. Arduino передає керуючі сигнали на входи IN1-IN4, що відповідає за вмикання або вимикання моторів.

Таким чином, замість прямого підключення моторів до пінів Arduino, яке було б ризикованим через перевантаження по струму, L293D служить посередником, що дозволяє ефективно розподіляти потужність між моторами і забезпечувати їх безперебійну роботу.

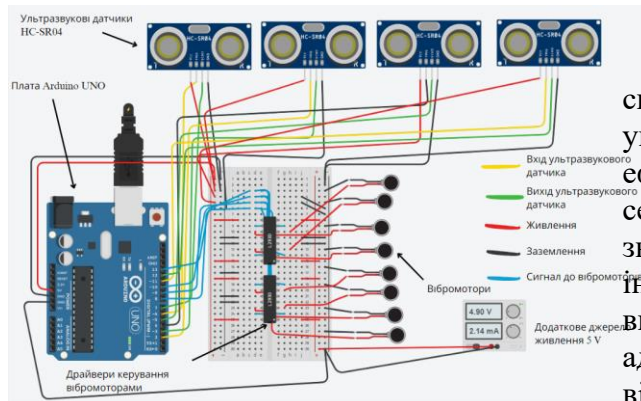


Рис.8. Фінальна схема приладу з додаванням джерела живлення та драйверів керування вібраторами

VII. КЕРУВАННЯ ДАТЧИКАМИ

Дані з кожного сенсора, таких як ультразвукові HC-SR04 та інфрачервоні Sharp GP2Y0A21YK0F, надсилаються мікроконтролером Arduino Nano до програми на мові Python через інтерфейс Serial. Програма на Python отримує ці дані у вигляді послідовності чисел, які представляють відстань до перешкод. Ці значення зберігаються у відповідні масиви для подальшої обробки.

Спочатку алгоритм отримує дані від ультразвукових датчиків HC-SR04 та інфрачервоних датчиків Sharp GP2Y0A21YK0F, розташованих на пов'язці. Ультразвукові датчики обчислюють відстань до об'єктів, використовуючи принцип ехолокації: вони випромінюють ультразвуковий імпульс та вимірюють час, за який відбитий сигнал повертається. На основі цього часу визначається відстань до об'єкта. Інфрачервоні датчики додатково уточнюють дані про розташування об'єктів, використовуючи інтенсивність відбитого інфрачервоного світла.

Після отримання даних алгоритм нормалізує їх, поділивши на максимальні значення для кожного типу датчика (400 см для ультразвукових датчиків та 80 см для інфрачервоних). Ця нормалізація дозволяє створити єдиний масштаб для обробки та порівняння даних.

VIII. ВИСНОВКИ

Таким чином, у розробленій сенсорній системі орієнтації для осіб із втратою зору увага зосереджена на забезпеченні ефективного сприйняття навколишнього середовища через тактильний зворотний зв'язок. Використання ультразвукових і інфрачервоних датчиків дозволяє точно виявляти перешкоди та створювати адаптивний зворотний зв'язок за допомогою вібраторів, що допомагає користувачеві швидко орієнтуватися в просторі без використання слухових або візуальних каналів. Такий підхід дозволяє значно покращити мобільність і безпеку осіб із вадами зору під час пересування.

Фінансування. Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Згода на публікацію. Усі автори, які мають відношення до рукопису, дали згоду на публікацію цієї праці.

ORCID ID та внесок авторів.

(A,B,D) Dmytro Akerman

0000-0002-4351-527X (C,E,F) Mykola Bogomolov

A- Концепція роботи та дизайн, B- аналіз даних, C- Відповідальність за статистичний аналіз, D- Написання статті, E- Критичний огляд, F- Остаточне схвалення статті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дані надані НСЗУ 03.08.2023 на запит ПРООН щодо даних з електронної системи охорони здоров'я за період 2021- 2023 року (липень включно) щодо кількості пацієнтів, яким вперше встановлено діагноз з групи «H54. Сліпота та знижений зір» протягом наведеного періоду.
2. Wang, L., et al. (2019). Vibration-Based Feedback for Visually Impaired Individuals. *Technology in Rehabilitation*, 22(1), 120-135.
3. 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.
4. Brillhault, A.; Kammoun, S.; Gutierrez, O.; Truillet, P.; Jouffrais, C. Fusion of artificial vision and GPS to improve blind pedestrian positioning. In *Proceedings of the 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, Paris, France, 7–10 February 2011; pp. 1–5.
5. Loomis, J.M.; Golledge, R.G.; Klatzky, R.L.; Speigle, J.M.; Tietz, J. Personal guidance system for the visually impaired. In *Proceedings of the First Annual ACM Conference on Assistive Technologies*, Marina Del Rey, CA, USA, 31 October–1 November 1994
6. Johnson, K., et al. (2016). Infrared Sensors in Assistive Technology for Blind and Visually Impaired. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 53(4), 491-501.
7. Mihankhah, E., Hosseini, S. A., & Saryazdi, S. (2017). Obstacle detection for visually impaired people using stereo vision and infrared sensors. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 7(2), 123-133.
8. Paganelli, L., Russo, R., & Prattichizzo, D. (2019). Wearable obstacle detection system with tactile feedback for blind users. *IEEE Transactions on Haptics*, 12(2), 135-144.

UDC 57.082: 617.7.

VISION LOSS ASSISTIVE TECHNOLOGY BASED ON OPTOELECTRONIC ANALYZERS

Dmytro Akerman

ackerman.dmytro@lil.kpi.ua

Mykola Bogomolov

nbogom@yahoo.com

Department of Biomedical Engineering
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine

Abstract – The article examines the design features, operating principles, and functions of a new device for individuals with vision loss based on optoelectronic analyzers. The main advantage of this technology is its ability to provide information through the sensation of light pressure to the user, without overloading other sensory channels. The technology utilizes 6 ultrasonic and 4 infrared sensors that convert impulses into mechanical force, allowing users to receive important environmental information, recognize objects, and assist with navigation. Structurally, the device consists of three main modules: data collection module, processing module, and information output module. The data collection module includes ultrasonic and infrared sensors located on the device's body. The processing module uses an ARM Cortex-M4-based microcontroller to analyze signals from the sensors and generate appropriate control commands. The signal is transmitted via a Bluetooth wireless interface to the information output module. The information output module conveys these commands in the form of light pressure sensations on the user's skin through 16 miniature vibration motors.

Key words – assistive technology, vibration motor, vision loss, optoelectronic analyzers, ultrasonic sensors.