Ministry of Education and Science of Ukraine
Odesa Polytechnic National University
Institute of Medical Engineering

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська політехніка»
Інститут медичної інженерії

MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

PROCEEDINGS OF THE 4th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
MAY 07-09, 2025

МАТЕРІАЛИ IV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
07-09 ТРАВНЯ 2025 РОКУ

Under the general editorship of
I. Prokopovich, N. Manicheva

За загальною редакцією
І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої

Odesa, Ukraine / Одеса, Україна
“Astroprint” / «Астропринт»
2025

УДК 615.47:616-89
М 78

Under auspice of the
Social Organization "All Ukrainian Society of Biomedical Engineers and Technologists"
За сприяння
Громадської організації «Всеукраїнська асоціація біомедичних інженерів і технологів»

CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE:

Oborskyi H. (Ukraine) – Organizing Committee Chairman
Prokopovych I. (Ukraine) – Organizing Committee Deputy Chairman
Titova N. (Ukraine) – Organizing Committee Deputy Chairman
Manicheva N. (Ukraine) – Organizing Committee Deputy Chairman

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Оборський Г.О. (Україна) – голова оргкомітету
Прокопович І.В. (Україна) – заступник голови оргкомітету
Тітова Н.В. (Україна) – заступник голови оргкомітету
Манічева Н.В. (Україна) – заступник голови оргкомітету

INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE:

Avrunin O. (Ukraine)
Azarkhov O. (Ukraine)
Diadiura K. (Ukraine)
Filatova A. (Ukraine)
Galkin A. (Ukraine)
Khudetskyy I. (Ukraine)
Kovalenko O. (Ukraine)
Levashenko V. (Slovakia)
Liashenko A. (Ukraine)
Mamyrbayev O. (Kazakhstan)
Maksymenko V. (Ukraine)
Pavlov S. (Ukraine)
Shlykov V. (Ukraine)
Storchun E. (Ukraine)
Suchkov H. (Ukraine)
Sukhodub L. (Ukraine)
Sydorenko I. (Ukraine)
Timchyk S. (Ukraine)
Vassilenko V. (Portugal)
Vysotska O. (Ukraine)
Wójcik W. (Poland)
Yavorska E. (Ukraine)
Yavorskyy B. (Ukraine)
Zaitseva E. (Slovakia)

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:

Аврунін О.Г. (Україна)
Азархов О.Ю. (Україна)
Вассіленко В. (Португалія)
Висоцька О.В. (Україна)
Вуйцік В. (Польща)
Галкін О.Ю. (Україна)
Дядюра К.О. (Україна)
Зайцева О. (Словаччина)
Коваленко О.С. (Україна)
Левашенко В. (Словаччина)
Ляшенко А.В. (Україна)
Мамирбаєв О. (Казахстан)
Максименко В.Б. (Україна)
Павлов С.В. (Україна)
Сідоренко І.І. (Україна)
Сторчун Є.В. (Україна)
Суходуб Л.Ф. (Україна)
Сучков Г.М. (Україна)
Тимчик С.В. (Україна)
Філатова Г.Є. (Україна)
Худецький І.Ю. (Україна)
Шликов В.В. (Україна)
Яворська Є.Б. (Україна)
Яворський Б.І. (Україна)

Recommended for publication by Scientific Council Institute of Medical Engineering of the Odesa Polytechnic National University, minutes No. 10, April 30, 2025

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту медичної інженерії Національного університету «Одеська політехніка», протокол № 10 від 30 квітня 2025 року

The authors are responsible for the uniqueness of the text of the materials and compliance with the requirements of academic integrity

Автори несуть відповідальність за унікальність тексту матеріалів та відповідність вимогам академічної доброчесності

Free online access to printed materials at:
https://drive.google.com/file/d/1wqcp2ax_Qy9aRLK9v71kthoGZTc4vr_5/view?usp=drive_link

Комп'ютерна версія опублікованих матеріалів за адресою:

М 78 **Modern** technologies of biomedical engineering : proceedings of the 4th international scientific and technical conference (May 07–09, 2025, Odesa, Ukraine) = Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції (07–09 травня 2025 р., м. Одеса, Україна) / Under the gen. ed. of I. Prokopovich, N. Manicheva ; Ministry of Education and Science of Ukraine ; Odesa Polytechnic National University ; Institute of Medical Engineering. — Odesa : Astroprint, 2025. — 306 с.

ISBN 978-617-8515-53-9

The collected volume of scientific reports presented at the international scientific and technical conference is a scientific and practical publication that contains scientific articles by students, graduate students, candidates and doctors of sciences, teachers, researchers, scientists and practitioners from Europe, Ukraine and from neighboring countries, and beyond. The topics of reports are very diverse and cover many topical problems of modern fundamental sciences related to biomedical engineering. Based on the relevance of the topics and the high level of the presented reports, the conference materials should be recommended to the relevant organizations of the countries for use and implementation of research results in the field of biomedical engineering and informatics.

UDC 615.47:616-89

Збірник наукових доповідей міжнародної науково-технічної конференції є науково-практичним виданням, яке містить наукові статті студентів, аспірантів, кандидатів та докторів наук, викладачів, науковців та практиків з різних країн та регіонів України. Тематика доповідей дуже різноманітна та охоплює багато актуальних проблем сучасних фундаментальних наук, пов'язаних з біомедичною інженерією. Виходячи з актуальності тематик і високий рівень представлених доповідей, матеріали конференції доцільно рекомендувати відповідним організаціям для використання та впровадження результатів досліджень в практичну та наукову діяльність.

УДК 615.47:616-89

ISBN 978-617-8515-53-9

© Odesa Polytechnic National University, Institute of Medical Engineering, 2025
© Social Organization "All Ukrainian Society of Biomedical Engineers and Technologists", 2025

Андрій СОКОЛОВ, аспірант
Олег АВРУНІН, д-р техн. наук, професор
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: andrii.sokolov@nure.ua; oleh.avrunin@nure.ua

РОЗРОБКА МОДУЛЯ ЗВОРОТНЬОГО ТАКТИЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ

Анотація. У статті представлено досвід розробки модуля тактильного дисплею як складової системи навігації для людей із порушеннями зору. Розглянуто принципи побудови модуля, вибір виконавчих елементів, особливості керування вібраційними моторами з використанням широтно-імпульсної модуляції, а також питання живлення та бездротового зв'язку з мобільним пристроєм. Проведено експериментальні дослідження з визначення ефективного діапазону параметрів ШІМ, виявлено вплив інерційності моторів та протестовано зв'язок між мікроконтролером ESP32 і додатком Android через Bluetooth Low Energy. Отримані результати підтверджують функціональну спроможність запропонованої архітектури та її перспективність для застосування в адаптивних системах зворотного тактильного зв'язку.

Ключові слова: навігація незрячих людей, тактильний зв'язок, ERM-мотори, широтно-імпульсна модуляція, ESP32, Bluetooth Low Energy, Android

Актуальність дослідження

Забезпечення автономної навігації для осіб із порушеннями зору є важливим викликом сучасної біоінженерії та інформаційних технологій. Розвиток доступних, простих у використанні та недорогих засобів тактильного зворотного зв'язку, як частини навігаційних систем, дозволяє суттєво підвищити якість життя незрячих людей. У цьому контексті особливого значення набуває створення модулів тактильного дисплею, що інтегруються з мобільними пристроями.

Метою дослідження є розробка функціонального прототипу модуля тактильного зворотного зв'язку, що здатен передавати просторову інформацію користувачам із порушенням зору. Передбачено використання економічно доступних компонентів, реалізацію адаптивного керування та забезпечення надійного бездротового з'єднання з мобільним додатком.

Основні матеріали досліджень

Запропонована архітектура[1, 2] передбачає використання двокомпонентної системи: мобільного додатку (на платформі Android), який виконує основні обчислення, та модуля зворотного зв'язку, який реалізує передачу інформації через тактильні сигнали. Останній містить матрицю ERM-моторів[3, 4], розміщених на гнучкій текстильній або полімерній основі, що закріплюється на передпліччі користувача (рис. 1). Такий спосіб кріплення є зручним для тривалого носіння, не обмежує рухливість руки й дозволяє забезпечити щільний контакт для якісної передачі вібраційних імпульсів.

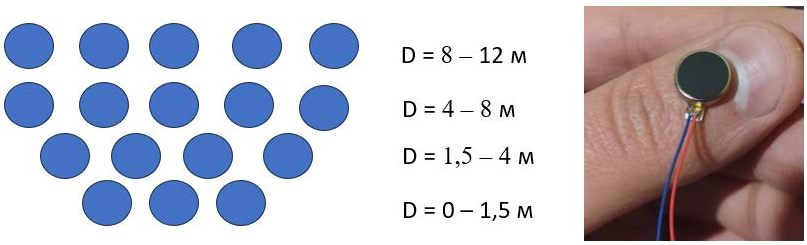

Рис. 1. Організація матриці моторів

Під час проектування та тестування було встановлено, що просте керування мотором за допомогою включення/вимкнення з таймером є неефективним. Через механічну інерційність ERM-приводів сигнали не мають чіткої форми: короткі імпульси не відчуваються, а довгі – викликають надмірний дискомфорт. Було обрано широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) як основний метод керування. У тестовому стенді використовувалась частота 500 Гц. При скважності нижче 5% мотор не вібрує, а чітка вібрація починається орієнтовно з 20% скважності.

Інерційність при цьому виконує функцію природного фільтрування, згладжуючи сигнали та забезпечуючи стабільне та комфортне відчуття. Це дозволило сформувати різні градації тактильних сигналів і створити базу патернів для передачі кількох типів інформації (напрямок, відстань, небезпека).

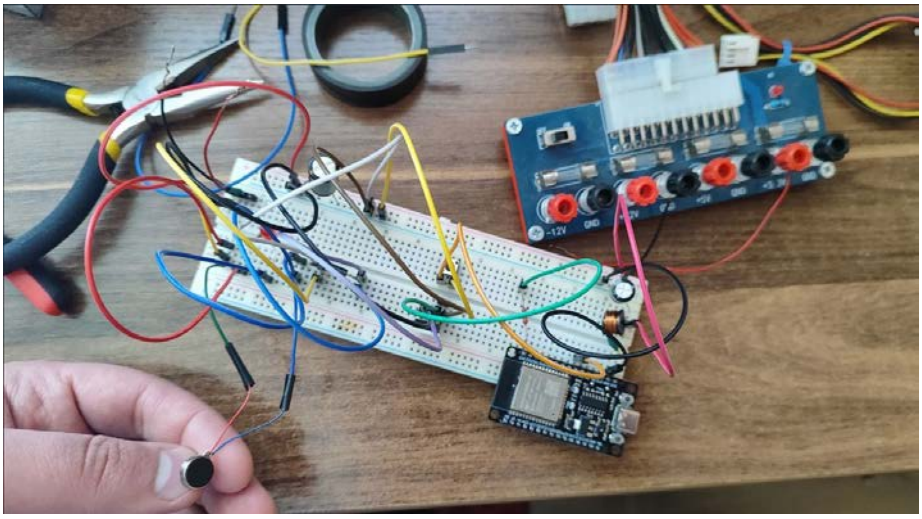

Рис. 2. Тестовий стенд

Під час тестування виявлено паразитні пульсації живлення при активації моторів, що проявлялися як мерехтіння світлодіода живлення на платі мікроконтролера. Для усунення цих ефектів був застосований LC-фільтр, що складався з дроселя 470 мГн та конденсатора 470 мкФ. Фільтр ефективно знижував візуальні прояви пульсацій, однак його параметри потребують подальшого уточнення шляхом спектрального аналізу та осцилографічних вимірювань. Можливе також включення фільтрів на рівні окремих каналів живлення моторів.

З точки зору передачі даних між смартфоном і модулем, було реалізовано обмін через протокол Bluetooth Low Energy (BLE), що є енергоефективним і достатнім за швидкістю для завдань передачі масиву частот. В якості керуючого пристрою обрано ESP32, який має вбудовану підтримку BLE і апаратну реалізацію ШІМ на багатьох цифрових виводах. Всі обчислення виконуються на Android-пристрої, а на модуль передається лише масив скважностей, який використовується для оновлення стану моторів у реальному часі (рис. 3).

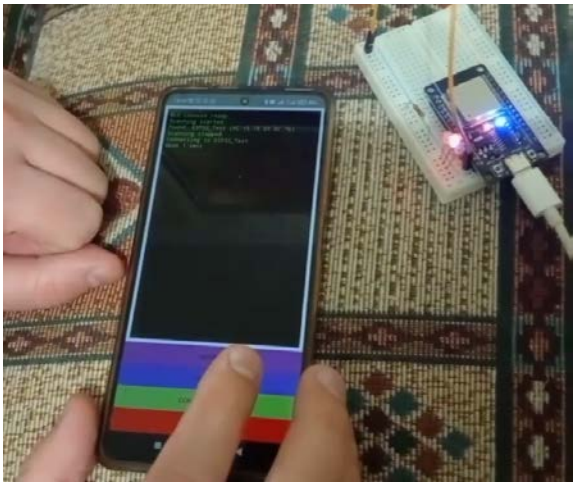

Рис. 3. Тест зв’язку

У програмній реалізації з microPython було виявлено нестабільність – з’єднання переривалося після кількох команд. У той же час, прошивка на базі фреймворку Arduino працювала стабільно. Однак у ній було виявлено обмеження щодо використання глобальних змінних у callback-функціях обробки BLE[5]. Було реалізовано альтернативний підхід – передача вказівника на змінну через конструктор класу обробника BLE, що дозволило уникнути помилок з некоректним доступом до пам’яті.

Окремо відзначено необхідність подальшого тестування комфортності вібросигналів у різних анатомічних зонах, а також можливість індивідуального налаштування амплітуди і тривалості патернів для конкретного користувача.

Результати

Кожен мотор матриці відповідає певному сектору простору, і активується у відповідь на наявність об'єкта або перешкоди в цьому секторі. Встановлено зв’язок між глибиною, напрямком та типом виявленої перешкоди й патерном активації моторів. Це дозволяє кодувати інформацію не лише про наявність об’єкта, а й про його характеристику — що критично для безпечного пересування.

Висновки

Розроблений модуль тактильного дисплею продемонстрував життєздатність запропонованої архітектури. Усі ключові компоненти — керування мотором через ШІМ, стабілізація живлення, та BLE-зв’язок зі смартфоном — працюють належним чином і забезпечують базову функціональність системи.

Система є масштабованою, її можна адаптувати до різної кількості моторів, типів патернів і навіть перемикатися між режимами передачі даних. Надалі планується доповнити модуль алгоритмами адаптації під зворотний зв’язок від користувача, оптимізувати енергоспоживання, дослідити зони кріплення й інтегрувати систему в повноцінну платформу для навігації незрячих людей.

Література

1. Sokolov A., Avrunin O., Selivanova K. and Shushliapina N. Application of Augmented Reality Technologies for Determining Distances in Navigation System for the Blind // 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Oct. 2024, pp. 530–533. doi: https://doi.org/10.1109/tcset64720.2024.10755743.
2. Sokolov A., Avrunin O. Evaluation of ARCORE library capabilities for determining the distance to objects in the frame // Optoelectronic Information-Power Technologies. 2024. Vol. 47, no. 1. P. 58–65. doi: https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-47-1-58-65.
3. Оцінка можливостей бібліотеки ARCORE для визначення дистанції до об’єктів у кадрі / А. А. Соколов, О. Г. Аврунін // Опт-ел. інф-енерг. техн. 2004. Вип. 47, № 1. С. 58–65. DOI: 10.31649/1681-7893-2024-47-1-58-65.
4. Sokolov, A., Avrunin, O. (2025). Using the ARCore library to visualize keypoint clouds in navigation systems. Radiotekhnika, (219), 53–58. https://doi.org/10.30837/rt.2024.4.219.06.
5. Bot Challenge. Bot Challenge. URL: https://esp32.com/viewtopic.php?t=30332 (date of access: 22.04.2025).