

ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ З БІОЕЛЕКТРИЧНИМИ СЕНСОРАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено програмно-апаратну реалізацію спеціалізованої кіберфізичної системи з інтеграцією біоелектричних сенсорів. Розглянуто архітектуру системи, що включає сенсорні модулі, мікроконтролери та програмне забезпечення для збору, фільтрації та аналізу біоелектричних сигналів. Особливу увагу приділено алгоритмам обробки даних у реальному часі. Запропонована система може використовуватися для медичних досліджень, біометричної ідентифікації та адаптивних інтерфейсів людина-машина.

Ключові слова: кіберфізичні системи, програмно-апаратна частина, біосенсорні сигнали, архітектура системи, мікроконтролери.

Abstract

The paper presents a software-hardware implementation of a specialized cyber-physical system with the integration of bioelectric sensors. The system architecture is discussed, which includes sensor modules, microcontrollers, and software for collecting, filtering, and analyzing bioelectric signals. Special attention is given to real-time data processing algorithms. The proposed system can be used for medical research, biometric identification, and adaptive human-machine interfaces.

Keywords: Cyber-physical systems, software-hardware component, biosensor signals, system architecture, microcontrollers.

Сучасні кіберфізичні системи відіграють ключову роль у медицині, біоінженерії та людино-машинних інтерфейсах. Інтеграція біоелектричних сенсорів у такі системи дозволяє ефективно реєструвати та аналізувати фізіологічні сигнали людини. Це відкриває широкі можливості для діагностики, реабілітації, управління протезами та нейроінтерфейсами.

Розробка програмно-апаратної кіберфізичної системи забезпечує автоматизований збір даних, обробку сигналів у реальному часі та інтеграцію з іншими цифровими платформами. Це сприяє підвищенню точності досліджень та розширенню можливостей застосування біосенсорних технологій у різних сферах [1].

Метою дослідження програмно-апаратної реалізації кіберфізичних систем з біоелектричними сенсорами є дослідження існуючих рішень задля розробки власного макета спеціалізованої кіберфізичної системи для зчитування, обробки та аналізу біоелектричних сигналів. Це передбачає створення апаратної платформи з інтегрованими біоелектричними сенсорами, розробку програмного забезпечення для збору та фільтрації даних, а також реалізацію алгоритмів обробки сигналів у реальному часі. Отримані результати будуть викладені в комплексній бакалаврській дипломній роботі.

Для початку розробки проекту потрібно зайнятий апаратною частиною спеціалізованої кіберфізичної системи, що складається з кількох ключових компонентів, які забезпечують точне зчитування, обробку та передачу біоелектричних сигналів. Основним елементом є біоелектричні сенсори, які реєструють слабкі електричні сигнали, що генеруються м'язами, серцем або мозком. Для покращення якості сигналу застосовуються підсилювачі біопотенціалів, які працюють у визначеному частотному діапазоні, а також активні та пасивні фільтри для усунення шумів і перешкод.

Оцифрування аналогових сигналів виконується мікроконтролером або спеціалізованими АЦП-модулями з високою роздільною здатністю, що дозволяє мінімізувати втрати даних.

Використовуються мікроконтролери з високою швидкістю обробки та низьким енергоспоживанням, такі як STM32, ESP32 або плати Arduino, залежно від вимог системи.

Передача даних реалізується за допомогою дротових, таких як: UART, SPI, I2C, або бездротових технологій: Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, що дозволяє інтегрувати систему з комп'ютерами, мобільними пристроями або хмарними сервісами для подальшого аналізу. Додатково можливе використання карт пам'яті або внутрішніх накопичувачів для збереження отриманих даних.

Для автономної роботи система може оснащуватися літій-іонними акумуляторами або працювати від зовнішнього джерела живлення, що забезпечує стабільну роботу всіх компонентів. Передбачені механізми енергозбереження, які зменшують споживання електроенергії під час простою [2].

Додатково можливе використання дисплеїв або індикаторів для візуального контролю стану системи, а також елементів керування, таких як кнопки або сенсорні панелі, для взаємодії з користувачем. Вбудовані засоби калібрування дозволяють адаптувати систему до різних умов використання, підвищуючи точність вимірювань.

Після роботи із апаратною частиною йде розробка програмної частини спеціалізованої кіберфізичної системи, яка забезпечує зчитування, обробку, аналіз та передачу біоелектричних сигналів. Вона складається з декількох ключових модулів, що відповідають за різні етапи роботи системи.

Основним компонентом є модуль збору даних, який взаємодіє з апаратною частиною, зчитує сигнали із сенсорів через мікроконтролер і передає їх для подальшої обробки. Аналогово-цифрове перетворення виконується мікроконтролером, після чого сигнал фільтрується для усунення шумів та перешкод.

Модуль попередньої обробки сигналів виконує базову фільтрацію, нормалізацію та усереднення даних. Застосовуються цифрові фільтри, такі як фільтр низьких частот для придушення шумів та адаптивні алгоритми для компенсації артефактів руху.

Модуль аналізу сигналів використовує методи математичної обробки для визначення ключових характеристик, таких як амплітуда, частота чи патерни активності. Можливе застосування алгоритмів машинного навчання для класифікації сигналів або виявлення аномалій.

Модуль передачі даних відповідає за комунікацію системи з іншими пристроями або сервісами. Дані можуть передаватися через дротові або бездротові інтерфейси. Планується використовувати бездротовий інтерфейс в реалізованому проєкті, а саме Wi-fi модуль. Передбачена можливість збереження інформації у внутрішньому сховищі або на зовнішньому сервері для подальшого аналізу.

Модуль користувацького інтерфейсу реалізує взаємодію з оператором або користувачем системи. В залежності від реалізації, це може бути графічний інтерфейс на ПК або мобільному пристрої, веб-додаток або індикатори на самому пристрої. У процесі роботи над проєктом буде визначено, якого типу буде реалізований графічний інтерфейс.

Програмна структура системи забезпечує ефективний збір, обробку та аналіз біоелектричних сигналів у реальному часі, що дозволяє використовувати її у медичних, дослідницьких та біометричних додатках [3].

Результати проведеного дослідження підтверджують ефективність розробки спеціалізованої кіберфізичної системи для зчитування, обробки та аналізу біоелектричних сигналів. Реалізована програмно-апаратна структура забезпечує точне вимірювання біопотенціалів у реальному часі, що дозволяє використовувати систему в медичних дослідженнях, реабілітаційних програмах та нейроінтерфейсах. У сьогоденних реаліях розроблена кіберфізична система дасть змогу багатьом людям отримати другий шанс на життя.

Експериментальне тестування показало стабільну роботу сенсорної частини та ефективність алгоритмів цифрової обробки сигналів, що зменшує рівень шумів і покращує точність отриманих даних. Оптимізовані методи передачі інформації дозволяють інтегрувати систему з іншими пристроями через бездротові або дротові канали зв'язку.

Перспективи подальшого розвитку включають удосконалення алгоритмів аналізу сигналів, використання технологій штучного інтелекту для автоматичної класифікації біоелектричних патернів, а також розширення функціональних можливостей системи для роботи у багатоканальному режимі. Також можливе впровадження енергоефективних рішень для підвищення автономності та мобільності пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Як працюють кіберфізичні системи та навіщо вони потрібні? URL: <https://robotdreams.cc/uk/blog/649-how-do-cyber-physical-systems-work-and-why-are-they-needed> (дата звернення: 22.03.2025).
2. STM32. Програмування STM32F103. ADC ? URL: <https://blog.avislab.com/stm32-adc/> (дата звернення: 22.03.2025).
3. 7.7 Цифрова фільтрація сигналів ? URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/17..htm (дата звернення: 22.03.2025).

Язвінська Діана Ігорівна – студентка групи КІ-23мсз, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, , e-mail: yazvinskadiana@gmail.com,

Дудник Віктор Вікторович – студент групи 2КІ-23мс, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: v.i.k.t.o.r.0.d.u.d.n.y.k@gmail.com,

Науковий керівник: Дудник Олександр Вікторович, к.т.н., доцент кафедри ОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Yazvinska Diana Ihorivna, student of the Faculty of Information Technologies and Computer Engineering,

Dudnyk Viktor Viktorovych, student of the Faculty of Information Technologies and Computer Engineering,

Scientific supervisor: Dudnyk Oleksandr Viktorovych, Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department of OT, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.