

СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ EI, EMG ТА FMG СИГНАЛІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі представлено розробку інтегрованої системи для збору, обробки та аналізу біоелектричних та механічних сигналів, що включає сигнали електроімпедансної томографії (EI), електроміографії (EMG) та механоміографії (ФМГ).

Ключові слова: електроімпедансна томографія (EI), електроміографія (EMG), механоміографія (ФМГ), аналіз сигналів.

Abstract

The paper presents the development of an integrated system for collecting, processing, and analyzing bioelectrical and mechanical signals, including electrical impedance tomography (EI), electromyography (EMG), and mechanomyography (FMG) signals.

Keywords: electrical impedance tomography (EI), electromyography (EMG), mechanomyography (FMG), signal analysis.

Вступ

Сучасні дослідження у сфері біоніки та медичної інженерії спрямовані на розробку високоточних систем для реєстрації та аналізу біоелектричних і механічних сигналів, що відображають діяльність м'язової системи. Такі системи знаходять широке застосування у відновлювальній медицині, спортивній науці та керуванні біонічними протезами. Однією з ключових задач є забезпечення точного збору та обробки електроміографічних (ЕМГ), електроімпедансних (EI) та механоміографічних (ФМГ) сигналів, що дозволяє отримати комплексну картину роботи м'язів. Важливим аспектом є інтеграція цих сигналів у єдиний потік даних та їх аналіз у реальному часі для подальшого використання в адаптивних системах керування.

Результати дослідження

Розробка системи для дослідження біоелектричних та механічних сигналів включала кілька етапів, кожен з яких був спрямований на створення інтегрованого рішення для збору, обробки та аналізу цих сигналів.

На першому етапі було спроектовано систему отримання біоелектричних сигналів. Система реєстрації біоелектричних сигналів використовує поверхневі електроди зі стандартною площею 10 мм², виготовлені з Ag/AgCl (срібло-хлорид срібла) для забезпечення високої провідності та мінімізації шумів. Відстань між електродами становить 20 мм, що відповідає рекомендаціям для електроміографії (ЕМГ). Електричні сигнали, які генеруються м'язами під час скорочення, перебувають у частотному діапазоні 10–500 Гц. Для виділення релевантних даних використовується смуговий фільтр зі смугою пропускання 50–400 Гц. Після фільтрації сигнал підсилюється за допомогою операційного підсилювача з коефіцієнтом посилення 1000. Це забезпечує амплітуду вихідного сигналу в межах 0,5–3 В, що оптимально для подальшого оцифрування. АЦП працює з розрядністю 12 біт і частотою дискретизації 1000 Гц, що відповідає стандартам високоточної ЕМГ-реєстрації[1].

Другий етап включав розробку системи збору механічних сигналів (ФМГ). Для збору механічних сигналів використовуються п'єзоелектричні сенсори зі чутливістю 10 мВ/Н (мілівольт на ньютон) або

емнісні датчики, що вимірюють деформацію тканин. Сенсори монтуються на поверхні шкіри або безпосередньо над досліджуваними м'язами. Механічні сигнали (ФМГ) реєструються у частотному діапазоні 0,1–20 Гц, що відповідає повільним змінам у м'язах під час скорочення. Для виділення цих сигналів використовується низькочастотний фільтр зі смугою пропускання до 20 Гц і крутістю спаду 20 дБ/декада. Вихідний сигнал сенсора посилюється до амплітуди 0,5–2 В за допомогою підсилювача з коефіцієнтом посилення 500. АЦП працює з розрядністю 16 біт і частотою дискретизації 200 Гц, що дозволяє точно фіксувати повільні механічні зміни. Дані передаються через інтерфейс UART або USB до комп'ютера[2].

Третій етап полягав у розробці сенсорної системи, яка інтегрувала сигнали ЕМГ, ЕІ та ФМГ. На етапі інтеграції система об'єднує ЕМГ, ЕІ та ФМГ сигнали в один потік даних. Для цього використовуються багатоканальні аналого-цифрові перетворювачі з частотою дискретизації 1000 Гц (для ЕМГ та ЕІ) і 200 Гц (для ФМГ). Для розділення сигналів з одних і тих самих каналів застосовуються цифрові фільтри з різними характеристиками: для ЕМГ сигналів використовується смуга пропускання 50–400 Гц, а для ЕІ сигналів — низькочастотний фільтр до 50 Гц. Для передачі даних використовується інтерфейс USB 2.0 із пропускнуою здатністю 480 Мбіт/с, що забезпечує швидку синхронізацію сигналів у реальному часі[3].

Заключний тап спрямований на створення програмного забезпечення для обробки та аналізу зібраних сигналів. Оцифровані сигнали передаються на персональний комп'ютер, де вони обробляються програмним забезпеченням. Алгоритми фільтрування та аналізу реалізовані на основі швидкого перетворення Фур'є (FFT) для виділення частотних компонентів. Програмне забезпечення працює з такими параметрами: виконує частотний аналіз ЕМГ шляхом побудови амплітудно-частотного спектра в діапазоні 10–500 Гц із кроком 1 Гц, аналізує амплітуду та швидкість зміни сигналу ФМГ у діапазоні 0,1–20 Гц, забезпечуючи часову роздільну здатність 1 мс для ЕМГ і 5 мс для ФМГ. Результати аналізу виводяться у вигляді інтерактивних графіків і таблиць. Для зручності користувача підтримується експорт даних у формати CSV та MATLAB. Програмне забезпечення також дозволяє зберігати дані в хмарному сховищі для подальшого аналізу[4].

На рисунку 1 наведена структурна схема розробки. На рисунку 2 представлені графіки сигналів, зафіксованих під час виконання жесту. На рисунку 3 наведені графіки сигналів, отриманих під час виконання жесту із варіюванням інтенсивності сили.

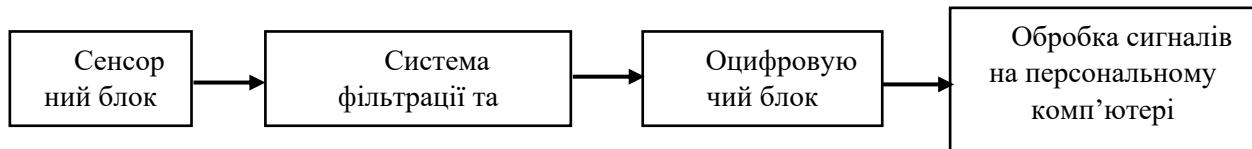


Рис. 1. Структурна схема розробки для отримання сигналів ЕІ, ЕМГ та ФМГ.

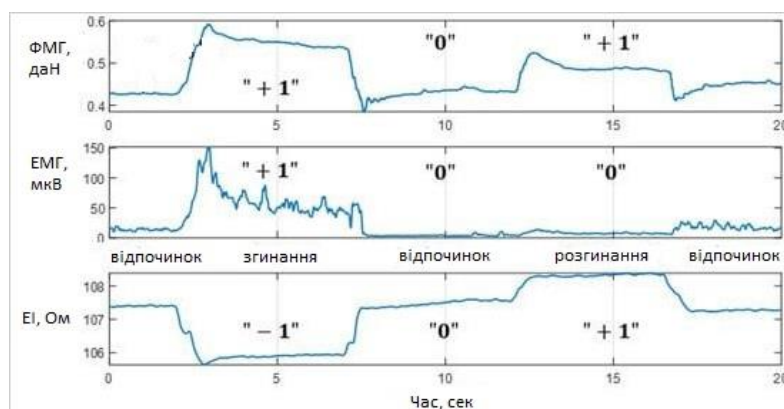


Рис. 2. Сигнали ЕІ, ЕМГ та ФМГ під час виконання жесту.

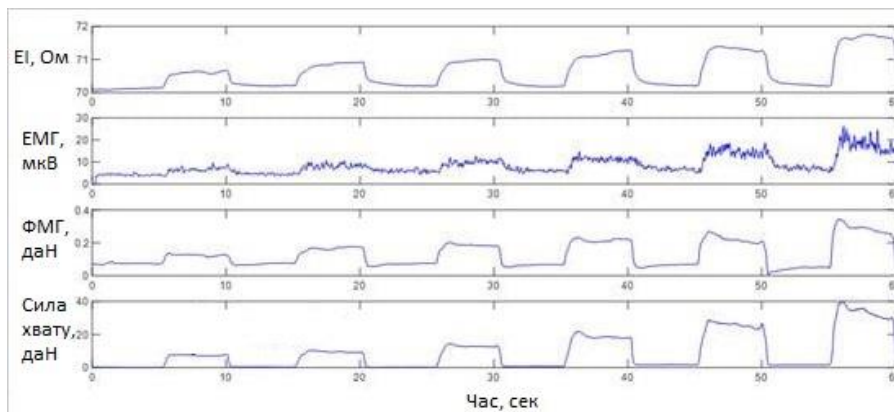


Рис. 3. Сигнали EI, ЕМГ та ФМГ під час виконання жесту з зміною сили.

Висновки

Розроблена система для збору, обробки та аналізу біоелектричних і механічних сигналів забезпечує високоточну реєстрацію активності м'язів за допомогою інтегрованих сенсорів. Використання поверхневих електродів, п'єзоелектричних сенсорів і цифрових фільтрів дозволяє ефективно виділяти релевантні сигнали та усувати шуми. Інтеграція отриманих даних у єдиний потік і їхній аналіз за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT) дає змогу точно визначати параметри м'язової активності. Реалізоване програмне забезпечення дозволяє візуалізувати та експортувати дані для подальшого дослідження. Таким чином, запропонована система відкриває нові можливості для біонічного керування, адаптивних алгоритмів та медичних досліджень у сфері реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтелектуальні системи управління мехатронними системами типу "Cobot" з використанням ML-технологій [Текст] / О. П. Манойленко, К. Р. Калініна, Ю. О. Лебеденко, М. А. Дідик // Технології та інжиніринг. - 2023. - № 6 (17). - С. 31-40.
2. Павленко Т. І., Шило Н. Ю. Аналіз колаборативних роботів. Automation and Development of Electronic Devices. 2019. Ч. 2. С. 179–182.
3. Дворакевич А. О., Гураєвський А. А., Стасишин А. Р., Гураєвський Д. А., Шевчук Д. В., Калінчук О. О. Перший досвід застосування робот-асистованої хірургії в дитячому віці в Україні. PAEDIATRIC SURGERY. UKRAINE. 2022. С. 91–95.
4. Калініна К. Р., Скідан В. В., Лебеденко Ю. О. Програмно-апаратна платформа для керування мехатронними системами за допомогою жестів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Наука, освіта, технології і суспільство в умовах глобалізації" (10.06.2023, Біла Церква). С. 19–20.

Пастушенко Антон Олександрович — аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

Науковий керівник: *Коваль Леонід Григорович* — к. т. н., доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua.

Anton Oleksandrovych Pastushenko — a graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: *Koval Leonid Hryhorovych* — Ph.D., associate professor, head of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua.