

РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ ОЧЕЙ НА ОСНОВІ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті описано систему моніторингу рухів очей, яка використовує сенсор QVar LSM6DSV16X для збору та обробки сигналів. Система, заснована на проєкті VitalCore, забезпечує ефективне розпізнавання рухів очей за допомогою фільтра Савіцького-Голя та нейронних мереж, з мінімальним енергоспоживанням.

Ключові слова: система моніторингу, рухи очей, сенсор QVar, VitalCore, нейронні мережі, фільтр Савіцького-Голя, енергоспоживання, розпізнавання сигналів, акселерометр, гіроскоп.

Abstract

The article describes an eye movement monitoring system that uses the QVar LSM6DSV16X sensor for signal acquisition and processing. The system, based on the VitalCore project, provides efficient eye movement recognition using the Savitsky-Golay filter and neural networks, with minimal power consumption.

Keywords: monitoring system, eye movement, QVar sensor, VitalCore, neural networks, Savitsky-Golay filter, power consumption, signal recognition, accelerometer, gyroscope.

Вступ

У сучасних системах для моніторингу рухів очей важливу роль відіграють точність та ефективність збору і обробки сигналів. Одним з основних завдань є використання енергоефективних технологій для збору та обробки даних у реальному часі. Для досягнення цієї мети, у даній роботі використано сенсор QVar LSM6DSV16X, який поєднує функції акселерометра та гіроскопа і має можливість виконувати попередню обробку сигналів. Система на основі відкритого проєкту VitalCore дозволяє реалізувати високу точність розпізнавання рухів очей при мініальному енергоспоживанні.

Результати дослідження

Для збору сигналів використовується сенсор QVar LSM6DSV16X[1] від STMicroelectronics, який поєднує функції акселерометра та гіроскопа, а також має можливість попередньої обробки сигналів безпосередньо на пристрої. Завдяки вбудованому підсилювачу, цей датчик може виявляти слабкі електричні сигнали, що виникають під час рухів очей. Сенсор оснащений двома електродами, які зчитують сигнали, підсилюють їх і передають мікроконтролеру в цифровому форматі. Хоча датчик характеризується низьким енергоспоживанням, його повна активація може вимагати до 650 мкА. Вся система побудована на основі відкритого проєкту VitalCore[2], що забезпечує відтворюваність і можливість масштабування для подальших досліджень. Як показано на рисунку 1, архітектура включає три основні компоненти: VitalCore, VitalPack та сенсор QVar.



Рисунок 1 : Блок-схема системи.

Основним елементом системи є VitalCore — відкритий проєкт, розроблений спеціально для застосувань, що потребують мінімального енергоспоживання. Ця платформа використовує мікросхему NRF534. Для виконання більш інтенсивних обчислювальних задач застосовується модуль

VitalPack, який містить чип GAP9 від Greenwaves. Це енергоефективний мікроконтролер, здатний виконувати штучний інтелект безпосередньо на пристрої (периферії системи). VitalPack має шість каналів підключення, що забезпечує високу гнучкість системи та дає змогу експериментувати з різними розташуваннями електродів.

VitalCore обмінюється даними з VitalPack за допомогою механізму прямого доступу до пам'яті (DMA) та FIFO-буферів, що оптимізує використання енергії. VitalPack отримує дані від QVar, фільтрує їх і передає VitalCore, який формує фіксовані часові вікна, які знову передаються на VitalPack для розпізнавання. Результати розпізнавання повертаються до VitalCore для подальшого використання.

Для розробки простого алгоритму, здатного розпізнавати рухи очей і працювати на малопотужному процесорі, використано фільтр Савіцького-Голя[3] і згорткову нейронну мережу (CNN)[4]. Отримані сигнали розбиваються на невеликі вікна, які потім стандартизуються і згладжуються за допомогою фільтра Савіцького-Голя[3].

$$y_i = \sum_{j=-m}^m c_j * y_{i+j} \quad 1$$

де y_i — згладжене значення в точці i , y_{i+j} — вхідні значення в вікні шириною $2m+1$, c_j — коефіцієнти фільтра (вони залежать від порядку полінома та розміру вікна), m — кількість точок ліворуч і праворуч від центральної точки (тобто розмір вікна: $2m+1$).

Оброблені дані передаються до нейронної мережі CNN для розпізнавання. Архітектура мережі складається з кількох етапів. Першим компонентом є вхідний шар, який приймає дані у вигляді часових вікон з п'ятьма каналами, що відповідають різним сенсорам. Далі слідує чотири згорткові шари (1D Convolutional Layers), кожен з яких має 64 фільтри та розмір ядра 7. Після згорткових шарів йдуть транспоновані згорткові шари (Transposed Convolutional Layers) з 64 фільтрами та ядром розміру 7 на 7 каналів. Наступний етап — шар вирівнювання (Flatten Layer), який перетворює багатовимірні дані в один вектор, підготовлюючи їх до подальшої обробки в повнозв'язному шарі. Потім дані передаються до повнозв'язного шару (Fully Connected Layer), який з'єднує всі нейрони між собою, дозволяючи моделі обчислити ймовірності для кожного класу рухів очей на основі вхідних даних. Для виходу використовується функція softmax, яка перетворює результати в ймовірності, де кожен клас отримує свою ймовірність, що відображає ймовірність правильного класу для поточного руху очей.

На етапі навчання модель тренується на заздалегідь підготовлених даних, де кожне вікно чітко позначено, вказуючи на початок та кінець руху очей. Модель точно знає, що в цьому вікні є рух, і повинна навчитися визначати, який саме. Це значно полегшує задачу, оскільки немає потреби вгадувати, чи відбувається рух, оскільки він вже підтверджений. Також у деяких вікнах може не бути руху, і щоб модель не давала випадкових відповідей, додається спеціальна позначка, наприклад, "немає руху" або "миготіння", що дозволяє уникнути помилкових результатів.

Висновки

Описана схема системи збору та обробки сигналів для моніторингу рухів очей на основі сенсора QVar LSM6DSV16X та відкритого проєкту VitalCore демонструє ефективне поєднання енергоефективності та високої точності розпізнавання рухів. Архітектура системи забезпечує гнучкість завдяки модулю VitalPack, який дозволяє експериментувати з різними конфігураціями електродів для зчитування сигналів. Процес обробки даних, починаючи з первинного збору сигналів, фільтрації за допомогою фільтра Савіцького-Голя та завершуючи застосуванням нейронних мереж для розпізнавання, забезпечує високу ефективність і точність при мінімальному енергоспоживанні. Всі етапи взаємодії компонентів системи, включаючи обмін даними між VitalCore і VitalPack через механізм DMA, оптимізують енергетичні ресурси, що робить систему ідеальною для використання в умовах, де важлива низька споживана потужність. Таким чином, схема є перспективною для подальших удосконалень та адаптацій у різних галузях, де потрібне моніторинг рухів очей з високою точністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалик С. В. Система відбору електроміографічних сигналів для біокерованих протезів : магістерська робота / С. В. Ковалик ; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2020. – 84 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/29791>.
2. Николайчук В. І. Розроблення засобів відбору сигналів для електроенцефалографічних діагностичних систем : магістерська робота / В. І. Николайчук ; ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2020. – 96 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/29792>.
3. Левенець С. В., Гаврилюк С. В., Боярчук О. Д. Основи нейрофізіології : навч. посіб. / С. В. Левенець та ін. – Луганськ : ЛНУ ім. Т. Шевченка, 2021. – 184 с. – Режим доступу: <https://anatomy.luguniv.edu.ua>.

Мормітко Олексій Михайлович — аспірант кафедри біомедичної інженерії та опто-електронних систем, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

Науковий керівник: ***Тимчик Сергій Васильович*** канд. техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tymchyksv@ukr.net.

Oleksiy Mykhailovych Mormitko — graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: ***Tymchyk Serhiy Vasyliovych*** — candidate. technical of Sciences, associate professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tymchyksv@ukr.net.