

## **КЛАСИФІКАЦІЯ СИГНАЛІВ ЕЕГ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СПІЛЬНИХ ПРОСТОРОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У СИСТЕМІ НЕЙРО-КОМП'ЮТЕРНОГО ІНТЕРФЕЙСУ**

***Кицун П. Г., аспірант***

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ, Україна*

Нейро-комп'ютерний інтерфейс (англ. brain computer interface, BCI) — це система, яка забезпечує пряму взаємодію людини з електронним пристроєм шляхом перетворення наміру людини, який отримується з аналізу біопотенціалів головного мозку, у керуючі сигнали [1]. Ця технологія є одним із перспективних напрямків сучасної нейрофізіології, вона дозволяє підвищити ефективність лікування та реабілітації пацієнтів з руховими та нервовими розладами.

Використання ЕЕГ у системах нейро-комп'ютерного інтерфейсу є одним з найбільш розповсюджених підходів. Ключовою задачею при цьому є задача класифікації сигналів ЕЕГ відповідно до обраних класів мозкової активності. Існує велика кількість досліджень на цю тему, але задача класифікації сигналів ЕЕГ залишається актуальною, так як універсального методу, який би мав високу точність, наразі не існує.

Метою роботи є розробка та перевірка ефективності алгоритму класифікації сигналів ЕЕГ з застосуванням методу спільних просторових моделей (англ. common spatial patterns, CSP) для ідентифікації двох класів мозкової активності — уявних рухів лівою та правою рукою.

Зазвичай задача класифікації ЕЕГ вирішується у два етапи. На першому етапі відбувається виділення з сигналу ЕЕГ характерних ознак (англ. features). Для цього широко застосовуються такі методи цифрової обробки сигналів як фільтрація, дискретне перетворення Фур'є, вейвлет перетворення, виділення головних компонент, виділення незалежних компонент тощо. На другому етапі застосовується класифікатор, який за цими ознаками встановлює належність сигналу до певного класу. Застосовуються лінійний дискримінант Фішера (англ. Fisher's linear discriminant), метод опорних векторів (англ. support vector machine), випадковий ліс (англ. random forest) та інші класифікатори.

У роботі для отримання характерних ознак сигналу ЕЕГ було застосовано метод спільних просторових моделей [2]. Цей метод відноситься до просторової фільтрації (англ. spatial filtering) і дозволяє підвищити співвідношення сигнал/шум зареєстрованого сигналу ЕЕГ шляхом знаходження такого лінійного перетворення  $X_{CSP} = W^T * X$  зареєстрованого сигналу  $X$ , яке максимізує відношення дисперсій перетворених сигналів  $X_{CSP}$  для двох різних класів сигналів. Це перетворення можна знайти вирішивши наступну

оптимізаційну задачу

$$\arg \max_W \left\{ \text{tr}(W^T (\Sigma_1 - \Sigma_2) W) \right\}, \quad W^T (\Sigma_1 + \Sigma_2) W = I,$$

де  $\Sigma_1$  та  $\Sigma_2$  — це коваріаційні матриці сигналу  $X$ , що належить до першого та другого класу відповідно.

Алгоритм для класифікації сигналів ЕЕГ складається з наступних етапів:

- фільтрація багатоканального сигналу ЕЕГ смуговими фільтрами Баттерворта 3-го порядку для виділення з сигналу складових в діапазоні частот від 6 до 24 Гц (всього 42 складові);
- застосування для кожної складової перетворення  $X_{CSP} = W^T * X$  (матриця  $W$  для кожної складової розраховується методом спільних просторових моделей під час навчання);
- розрахунок дисперсії кожної отриманої компоненти як характерної ознаки сигналу ЕЕГ;
- застосування методу опорних векторів для класифікації сигналу ЕЕГ за його характерними ознаками (класифікатор налаштовується під час навчання).

Для оцінки якості алгоритму використовувався запис ЕЕГ, відомий як BCI Competition IV dataset 2b [3]. Цей запис містить фрагменти ЕЕГ зі спонтанною мозковою активністю 9-ти здорових осіб під час уявлення рухів, які були зареєстровані з трьох відведень: C3, Cz, C4. З записів були отримані фрагменти тривалістю 2,5 с, які відповідали одному з двох класів мозкової активності. Всього було отримано біля 160 фрагментів для кожного з 9 досліджень. Одна половина з них була використана для навчання класифікатора, а інша — для визначення його ефективності.

На рис. 1а зображено взаємозалежність миттєвих значень сигналу ЕЕГ з відведень C3 та C4 для двох випадкових фрагментів, які належать до двох різних класів. Дисперсії миттєвих значень з відведення C3 для цих фрагментів склали 16,4 та 9,1 мкВ<sup>2</sup>, а їх співвідношення 1,8. Після застосування смугового фільтру 9-13 Гц значення дисперсій стали 5,4 та 0,85 мкВ<sup>2</sup> відповідно, а їх співвідношення підвищилося до 6,3 (рис. 1б). Після просторової фільтрації методом спільних просторових моделей дисперсії миттєвих значень компоненти CSP0 цих фрагментів склали 0,6 та 0,05, а їх співвідношення — 12,0 (рис. 1в). Отже, застосування просторової фільтрації підвищило співвідношення між дисперсіями миттєвих значень сигналів, які належать до різних класів, і тому їх використання у якості характерних ознак сигналу ЕЕГ є більш ефективним.

Ефективність запропонованого алгоритму порівнювалася з ефективністю алгоритму класифікації сигналів ЕЕГ, в якому не використовувався ме-

тоді спільних просторових моделей, а характерними ознаками слугували дисперсії складових сигналу, отриманих після фільтрації. При застосуванні

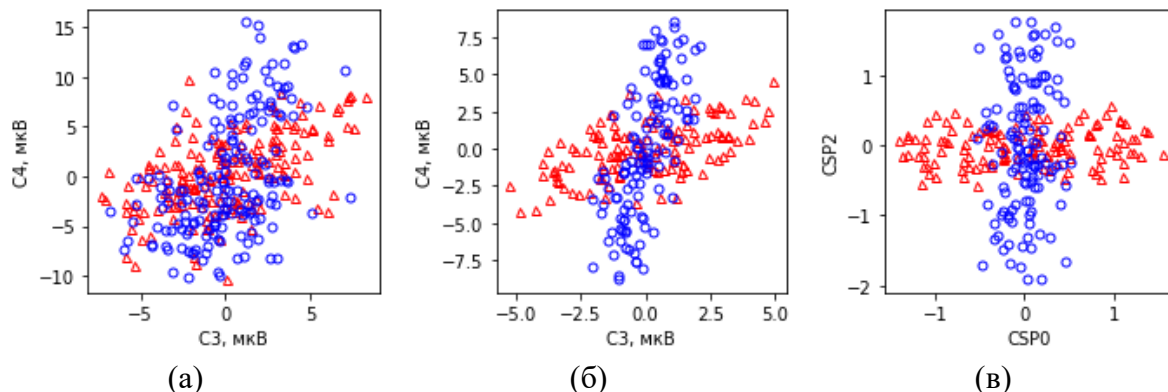


Рисунок 1. Взаємозалежність миттєвих значень сигналу ЕЕГ з відведень С3 та С4 для класу 1 (трикутники) та класу 2 (кола) у вхідному сигналі (а), у сигналі після застосування смугового фільтру 9-13 Гц (б), та після просторової фільтрації методом спільних просторових моделей (в).

методу спільних просторових моделей середня точність визначення класу мозкової активності підвищилась з 74 % до 79 %. Можна зробити висновок, що використання методу спільних просторових моделей для отримання характерних ознак покращує ефективність алгоритму класифікації ЕЕГ.

#### Перелік посилань

1. Nicolas-Alonso L. F. Brain computer interfaces, a review. / L. F. Nicolas-Alonso, J. Gomez-Gil // *Sensors* (Basel, Switzerland). — 2012. — Vol. 12, № 2. — P. 1211–79.
2. Optimizing Spatial filters for Robust EEG Single-Trial Analysis / B. Blankertz, R. Tomioka, S. Lemm et al. // *IEEE Signal Processing Magazine*. — 2008. — Vol. 25, № 1. — P. 41–56.
3. Review of the BCI Competition IV. / M. Tangermann, K.-R. Müller, A. Aertsen et al. // *Frontiers in neuroscience*. — 2012. — Vol. 6. — P. 55.

#### Анотація

В роботі запропоновано алгоритм класифікації сигналів ЕЕГ з застосуванням методу спільних просторових моделей для ідентифікації двох класів мозкової активності — уявних рухів лівою та правою рукою. Алгоритм був апробований на записах ЕЕГ та показав свою ефективність.

**Ключові слова:** ЕЕГ, класифікація ЕЕГ, нейро-комп'ютерний інтерфейс.

#### Аннотация

В работе предложен алгоритм классификации сигналов ЭЭГ с использованием метода общих пространственных моделей для идентификации двух классов мозговой активности — воображаемых движений левой и правой рукой. Алгоритм был апробирован на реальных записях ЭЭГ и показал свою эффективность.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, классификация, нейро-компьютерный интерфейс.

#### Abstract

The algorithm of EEG signal classification using Common Spatial Patterns is proposed. The method was tested on real EEG records and has shown its efficacy.

**Keywords:** EEG, classification, CSP, BCI.