

УДК 001.18:616-78

С.А. Лупенко, д-р. техн. наук, проф., Р.А. Буцій

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СУЧАСНІ НЕЙРОІНТЕРФЕЙСНІ ТЕХНОЛОГІЇ: АКТУАЛЬНІСТЬ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА СКЛАДНОСТІ

S. Lupenko Dr, Prof., R. Butsiy

MODERN NEUROINTERFACE TECHNOLOGIES: ACTUALITY, PROSPECTS AND COMPLEXITIES

Нейроінтерфейс або інтерфейс мозок-комп'ютер (Brain-Computer Interfaces) — це система, яка дає змогу реалізувати безпосередній зв'язок між мозком та зовнішнім пристроєм (наприклад комп'ютером). Метою застосування нейроінтерфейсів є реалізація одно- або двонаправленого інформаційного зв'язку між мозком та комп'ютерною системою.

На сьогоднішній день, концепція нейроінтерфейсів активно привертає увагу провідних університетів та компаній світу, які займаються дослідженнями в області біомедицинської інженерії, нейропротезування, тощо. Прогрес в сфері розвитку штучного інтелекту, цифрового опрацювання сигналів, нових методик інвазивної нейрохірургії, а також нові теоретичні знання про нейронні мережі, відкривають перед вченими перспективу практичної реалізації різного роду нейроінтерфейсів. Про актуальність цієї теми свідчить різке збільшення кількості публікацій та презентацій, пов'язаних з нейроінтерфейсами, у наукових журналах та конференціях. Нейроінтерфейси проникли в уяву широкої громадськості, надавши можливість звільнитися від обмежень нашого тіла, шляхом встановлення безпосередньої взаємодії між мозком та зовнішнім світом. Що ще важливіше, їх дослідження надають можливість допомогти людям з важкими сенсорними та моторними вадами краще взаємодіяти зі світом, покращуючи тим самим якість свого життя. Також це допоможе у вивченні та лікуванні неврологічних хвороб і порушень роботи мозку.

Нейроінтерфейс становить собою систему для управління комп'ютером або підключеними до нього пристроями за допомогою сигналів, які генерує мозок [1]. Професор Бранденбурзького університету прикладних наук Торстен Зандер, класифікує нейроінтерфейси за трьома основними групами [2]:

- активні нейроінтерфейси - користувач безумовно ініціює команду;
- пасивні нейроінтерфейси - користувач не ініціює команду, але система зчитує і аналізує його стан;
- реактивні нейроінтерфейси - користувач ініціює команду у відповідь на вплив системи.

Також нейроінтерфейси можна класифікувати за способом отримання інформації:

- інвазивні (вживлення електродів, електрокортикографія, тощо);
- неінвазивні (електроенцефалографія, спектроскопія в ближній інфрачервоній області, функціональна магнітно-резонансна томографія, тощо).

Більшість існуючих нейроінтерфейсів мають такі два недоліки: по-перше, кожен нейроінтерфейс потрібно індивідуально підлаштовувати під кожного пацієнта (на це може йти місяці кропіткої роботи вчених), а, по-друге, жоден з них не забезпечує повноцінної двосторонньої комунікації між людиною і машиною. Як відомо, у цьому році компанією “Neuralink” було представлено прототип нейроінтерфейсу “Link” v0.9, який покликаний вирішити вищезгадані проблеми, але на сьогоднішній день ця технологія ще потребує свого суттєвого доопрацювання.

Найбільш доступним на сьогодні неінвазивним нейроінтерфейсом є електроенцефалографія (ЕЕГ). ЕЕГ дозволяє реєструвати електричні потенціали, на поверхності шкіри голови, які пов'язані з роботою мозку. Для зчитування різниці потенціалів переважно використовують покриті сріблом електроди. Оскільки сигнал слабкий (5-100 мкВ), його потрібно підсилити і відфільтрувати.

Німецький психіатр та фізіолог Ганс Бергер виявив, що різні електричні частоти можуть бути пов'язані з діями та різними стадіями свідомості. Виділяють п'ять основних фізіологічних частотних діапазони: гама-хвилі (діапазон частот від 31 Гц і вище, відображають механізм свідомості), бета-хвилі (діапазон частот 12 - 30 Гц, часто поділяються на β_1 і β_2 щоб отримати більш конкретний діапазон, пов'язані з зосередженою концентрацією уваги), альфа-хвилі (діапазон частот 7,5 - 12 Гц, пов'язані з розслабленням), тета-хвилі (діапазон частот 3,5 - 7,5 Гц, зниження їх частоти пов'язані з неактивністю, мріянням або станом між дрімотою і сном, підвищення їх частоти виникає внаслідок розчарування або емоційного стресу), дельта-хвилі (діапазон частот 0,5 - 3,5 Гц, є найповільнішими хвилями і виникають під час сну).

Фаб'єн Лотте, Марко Конгедо, Анатоль Лекуєр та Ламарш Фабріс виділили кілька особливостей, які є спільними та критичними для нейроінтерфейсів [3]:

— шум і викиди: нейроінтерфейси шумні або містять викиди, оскільки сигнали ЕЕГ мають погане співвідношення сигнал/шум;

— висока розмірність: у системах нейроінтерфейсів вектори часто мають велику розмірність. Кілька об'єктів, як правило, витягуються з кількох каналів і з декількох часових сегментів, перш ніж об'єднуватися в єдиний вектор;

— інформація про час: нейроінтерфейси повинні містити інформацію про час, оскільки схеми мозкової діяльності, як правило, пов'язані з конкретними варіаціями часу ЕЕГ;

— нестационарність: нейроінтерфейсні сигнали є нестационарними, оскільки сигнали ЕЕГ можуть суттєво змінюватися з часом.

Існує п'ять категорій, які охоплюють більшість алгоритмів в системах нейроінтерфейсної класифікації, а саме це: лінійні класифікатори, нелінійні баєсовські класифікатори, класифікатори найближчих сусідів, нейронні мережі та комбінація класифікаторів [3]. Усі категорії дозволяють досягнути хороші результати для нейроінтерфейсів, але вони все ще мають низьку достовірність розпізнавання сигналів, спричинену високими похибками першого та другого роду. Для вирішення цієї проблеми необхідно підвищувати достовірність інформативних ознак, тобто потрібно підвищувати точнісні характеристики відповідних класифікаторів. Тому необхідність розробки нових моделей сигналів та методів їх опрацювання, зокрема гібридних (наприклад поєднання статистичних методів і систем нейронних мереж), а також методів прийняття рішень на базі розроблених моделей та методів є актуальною задачею на сьогоднішній день.

Література

1. Yang J. S. Wireless brain-computer interface for electric wheelchairs with EEG and eye-blinking signals / J. S. Yang // Int. J. Innov. Comput. Inf. Control. – 2012. – P.611-624.

2. Zander T. Towards passive Brain-Computer interfaces: applying Brain-Computer interface technology to human-machine systems in general [Електронний ресурс] / T. Zander, C. Kothe // Journal of Neural Engineering. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21436512/>.

3. A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces [Електронний ресурс] / F. Lotte, M. Congedo, A. Lecuyer, L. Fabrice // Journal of Neural Engineering. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <https://hal.inria.fr/inria-00134950>.