

НЕИНВАЗИВНЫЕ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ: МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Зелюкова Е.М., Дмитриев Н.В.

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

Ключевые слова: нейрокомпьютерный интерфейс, интерфейс мозг-компьютер, нейроуправление, управление роботами, робототехнические устройства, биоэлектроника.

Аннотация. В статье представлен обзор неинвазивных нейрокомпьютерных интерфейсов с исследованием возможности их использования при управлении робототехническими устройствами. Рассмотрены три основных метода: P300, SSVEP и интерфейсы на основе моторных образов. Каждый метод проанализирован с точки зрения его особенностей, преимуществ и ограничений.

NONINVASIVE NEUROCOMPUTER INTERFACES FOR CONTROLLING ROBOTIC DEVICES: METHODS AND PROSPECTS

Zelyukova E.M., Dmitriev N.V.

Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg

Keywords: neurocomputer interface, brain-computer interface, neurocontrol, robot control, robotic devices, bioelectronics.

Abstract. The article presents an overview of non-invasive neurocomputer interfaces with a study of the possibility of their use in controlling robotic devices. Three main methods are considered: P300, SSVEP and interfaces based on motor images. Each method is analyzed in terms of its features, advantages and limitations.

Интерес к нейронаукам и искусственному интеллекту растет. Это стимулирует разработку интуитивных и доступных способов взаимодействия между человеком и машинами. Нейрокомпьютерные интерфейсы (BCI) открывают новые горизонты для реабилитации и хирургии [1], промышленности [2, 3], сфере услуг и образовании [4], что улучшает качество жизни и повышает производительность.

Люди используют периферические нервы и мышцы для управления и общения с окружающей средой. Этот процесс включает сложные этапы взаимодействия между мозгом, периферической нервной системой и мышцами, отвечающими за контроль движений. В эфферентном пути сигналы мозга передаются к мышцам, а в афферентном – сенсорные импульсы направляются обратно в центральную нервную систему. Благодаря тому, что, как и прочие инструменты, робототехнические манипуляторы могут мыслиться человеком, как продолжение руки, управлять ими можно аналогичным способом через прохождение физиологических сигналов, для обеспечения считывания которых и необходим интерфейс "мозг-компьютер", который напрямую регистрирует активность мозга, связанную с намерениями пользователя.

Пример взаимодействия человека с робототехническим манипулятором для решения задачи захвата объекта показан на рисунке 1.



Рис. 1. Пример реализации BCI для решения захвата объекта

Работа мозга сопровождается электрическими и магнитными колебаниями, которые можно фиксировать различными способами – как инвазивными, так и неинвазивными. Инвазивные методы обеспечивают высокое качество получаемых сигналов, однако требуют хирургического вмешательства и постоянного подключения к аппаратуре. В отличие от них, неинвазивные методы более безопасны и предлагают хорошую временную разрешающую способность, хотя их пространственное разрешение может быть ниже. Неинвазивные приложения интерфейсов «мозг-компьютер» (BCI) можно разделить на три категории: потенциалы P300, устойчивые визуально вызванные потенциалы (SSVEP), BCI на основе моторных образов.

Метод P300 основан на регистрации специфического электрического сигнала, который появляется в мозге примерно через 300 миллисекунд после восприятия значимого стимула. Этот подход часто используется в парадигме oddball, где испытуемый получает последовательность стимулов, среди которых большинство стандартные, а некоторые — редкие и важные. Учитывая это, можно сказать, что главным преимуществом метода P300 является быстрое обучение. Однако его недостатками являются чувствительность к шуму и возможная задержка реакции, что может быть проблемой при управлении робототехническими системами в реальном времени.

Метод SSVEP основывается на регистрации электрической активности мозга в ответ на визуальные стимулы. Когда человек смотрит на мигающий объект, его мозг генерирует синхронный сигнал. Эти сигналы могут использоваться для управления роботами, создавая прямую связь между вниманием человека и действиями системы. Преимущества SSVEP заключаются в высоком временном разрешении и отсутствии необходимости в специальной

подготовке пользователя. Однако для успешного применения требуется четкий визуальный стимул и стабильное внимание, что может ограничивать использование метода в условиях с высоким уровнем отвлекающих факторов, например, на промышленных предприятиях с высокой плотностью расположения мехатронных устройств.

Технология BCI, основанная на воображаемых движениях, представляет собой неинвазивный способ взаимодействия между мозгом и компьютером. Она использует электроэнцефалограмму для регистрации электрических сигналов мозга при воображаемых движениях. С помощью этой технологии пользователь может управлять внешними устройствами просто представляя выполнение движений, что упрощает взаимодействие без необходимости физических действий. Одним из главных преимуществ этого подхода является возможность использования BCI без внешней стимуляции, что делает взаимодействие более естественным и удобным. Тем не менее, для эффективного использования требуется предварительная подготовка пользователя, а точность может быть ниже по сравнению с другими методами при текущем развитии BCI.

Неинвазивные интерфейсы «мозг-компьютер» представляют собой многообещающее направление на стыке технологий и медицины. Постоянные исследования и развитие этих систем помогут сделать их более эффективными, доступными и удобными для использования в промышленности будущего.

Список источников

1. Ярдяков В.О., Дмитриев Н.В. Современные тенденции развития хирургической робототехники // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 32-35. – doi.org/10.26160/2541-8637-2023-11-32-35.
2. Dmytriyev Y., Insero F., Carnevale M., Giberti H. Brain-Computer Interface and Hand-Guiding Control in a Human-Robot Collaborative Assembly Task // Machines. 2022, vol. 10, p. 654. doi.org/10.3390/machines10080654.
3. Suresh A., Schwager M. Brain-Swarm Interface (BSI): Controlling a Swarm of Robots with Brain and Eye Signals from an EEG Headset // ArXiv. 2016. doi.org/10.48550/arXiv.1612.08126.
4. Тарасян М.Г. Анализ возможности применения нейрокомпьютерных интерфейсов в учебном процессе // Железнодорожный транспорт и технологии: сборник трудов МНПК, Екатеринбург, 29-30 ноября 2023 года. – Екатеринбург: УрГУПС. – 2024. – С. 424-426.

Сведения об авторах:

Зелюкова Екатерина Максимовна – студент;

Дмитриев Никита Владимирович – старший преподаватель кафедры «Мехатроника».