

## Раздел V. Трансформационные психотехнологии

УДК 612.8

**Б.М. Владимирский, В.Н. Кирой, А.А. Скоморохов**

### **ПУТИ СОЗДАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР» ДЛЯ ЛЮДЕЙ**

Последние два десятилетия во многих развитых странах интенсивно ведутся исследования и разработки, направленные, в первую очередь, на создание методов и средств, которые могут позволить людям с тяжелыми двигательными нарушениями, например, с церебральным параличом управлять курсором на экране компьютера или использовать виртуальные клавиатуры. В качестве аппаратной основы для реализации таких технологий, как правило, используются инфракрасные стереокамеры, отслеживающие движения глаз больного человека.

Однако существует ряд ситуаций, когда требуется возможность мысленной подачи команд, например, при управлении больным человеком инвалидной коляской, на которой он сидит. О том, что выработка таких команд возможна, в принципе, было показано в экспериментах на животных (обезьянах и крысах), когда, используя электрическую активность нервных клеток мозга таких животных, стало возможным управлять движением механического манипулятора. Однако вживление электродов в мозг человека возможно только по клиническим показаниям, поэтому необходимо искать другие, неинвазивные способы для отслеживания мысленных команд.

Наиболее пригодной для этих целей является электрическая активность мозга человека, регистрируемая в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ). И подавляющее число публикаций и патентов в области создания интерфейса «мозг-компьютер» (ИМК) связаны с регистрацией и использованием тех или иных алгоритмов и анализа ЭЭГ. Есть, правда, небольшое число работ, в которых показано, что с использованием функциональной магниторезонансной томографии можно различать отдельные слова, мысленно проговариваемые испытуемыми. Однако перспективы использования томографических методов для решения практических задач, связанных с таким интерфейсом для больных людей, в обозримом будущем не существует.

Использование традиционных подходов к анализу ЭЭГ, ввиду ее сложности и неоднозначности, создает серьезные проблемы при необходимости идентификации мысленных команд за приемлемое время. Эти подходы были разработаны для интегральной оценки функционального состояния мозга человека и мало приспособлены для тонкой дифференцировки паттернов, имеющих отношение к мысленным командам. Существует точка зрения, что такая дифференцировка, в принципе, невозможна, так как ЭЭГ отражает усредненную электрическую активность очень больших нейронных популяций, из которой нельзя выделить инварианты, отражающие определенные фиксированные мысленные команды.

По нашему мнению, создание интерфейса «мозг-компьютер» с использованием ЭЭГ возможно. Эта уверенность базируется на анализе большого числа публикаций, в которых описаны данные экспериментов и наблюдений, проведенных в разных лабораториях мира и имеющих отношение к проблеме ИМК. Так, в частности, показано, что моторная деятельность, в том числе, мысленное проговаривание команд, сопровождается усилением специфической по своим характеристикам высокочастотной (гамма) активности в преде-

лах областей коры, ответственных за воспроизведение речи и реализацию двигательных реакций конечностями. После обучения на разные стимулы наблюдается четкое различие форм волн, если дается правильный двигательный ответ.

Самые разные восприятия через нервные центры связаны с одними и теми же моторными механизмами, поэтому в этих восприятиях выделяются инварианты. Такие же инварианты должны быть выделены и в ЭЭГ-активности.

Установлено, что мышцы не реагируют на любое возбуждение, приходящее от моторного нейрона. Существуют специфические формы раздражимости для каждой конкретной мышцы, которая возбуждается только от определенного паттерна импульсации. Таким образом, каждая мышца представляет собой своеобразный фильтр, который резонирует только на определенную форму возбуждения. Но при этом набор сигналов для реализации конкретной двигательной реакции должен генерироваться таким образом, чтобы во время реципторно связанных сокращений и расслаблений сгибателей и разгибателей все остальные части тела оставались неподвижными. Можно предположить, что актуализация мысленных команд, непосредственно связанных с вербальными воспоминаниями, вероятно, осуществляется одним и тем же специфическим узором биоэлектрической активности определенной области мозга. Если это так, то должен существовать инвариантный паттерн ЭЭГ-активности. Код для мысленных команд создают одновременно и пространственные и временные характеристики ЭЭГ, формирующие определенные паттерны импульсов.

Число и точную локализацию областей отведения ЭЭГ-активности, используемой в ИМК, необходимо определять, исходя из того, что ментальная установка материализуется в виде эскиза двигательной установки, поэтому ЭЭГ-инварианты следует искать в областях, связанных с организацией двигательной активности.

Параметры этой активности для существенно различающихся образов моторных команд (длина проговариваемого слова, его спектральный состав, реализация движения правой, левой или обеими конечностями и др.) существенно различаются как по своим топографическим, так и другим (частотным, временным) характеристикам. Последнее может обеспечить надежную идентификацию управляющих паттернов для сопряжения мозга человека с ПЭВМ. Факты, о которых идет речь, получены в результате апостериорного анализа биоэлектрической активности. Поэтому, чтобы воспользоваться ими для реализации ИМК, работающего в реальном масштабе времени, необходимо разработать новые подходы к анализу ЭЭГ и реализовать соответствующие алгоритмы.

Подход, который мы предлагаем использовать, базируется на представлении о физиологическом времени, позволяющем по-новому подойти к выявлению информативных паттернов ЭЭГ-активности для любых видов когнитивной деятельности, в том числе, и тех, которые возникают при мысленном представлении тех или иных моторных действий. При этом предлагаемые алгоритмы анализа не ориентированы на классические частотные диапазоны ЭЭГ-активности, используемые в известных нам подходах и решениях при создании ИМК.

Известно, что, когда вспышка света служит сигналом к мысленному представлению простой двигательной реакции, увеличивается разность потенциалов между затылочной и теменной областями мозга. Через 15–30 мс после начала ответа в зрительной области возникает вторичный потенциал в теменной коре. Это должно означать появление характерного рисунка отсчетов физиологического времени по показателям ЭЭГ-активности. С другой стороны, этот рисунок должен меняться при мысленном представлении сложной двигательной реакции.

Для обеспечения требуемой надежности воспроизведения мысленных команд необходимо учитывать индивидуальные особенности отдельных людей и тот факт, что у одного и того же человека имеет место значительная вариабельность ЭЭГ-активности в зависимости от функционального состояния. С этой целью базы данных реализаций ЭЭГ и вызван-

ной активности отдельных испытуемых в разных функциональных состояниях, полученных в многократно проводимых сеансах обучения с биологической обратной связью, должны быть подвергнуты анализу с использованием обучаемых нейронных сетей. В ходе такого анализа для каждого испытуемого возможно получить инвариантные характеристики ЭЭГ, которые затем будут использованы для настройки классификатора, используемого в качестве интерфейса между мозгом человека и компьютером. Имеющийся опыт использования такого подхода для распознавания изображений (лиц в разных ракурсах, дорожных знаков в разных погодных условиях и т.д.) позволяют надеяться на успех и при распознавании специальным образом трансформированных паттернов ЭЭГ.

Анализ внутренней динамики процесса классификации должен сопровождаться тестированием локальных изменений возбудимости корковых зон (в первую очередь проекционных). Эта процедура нужна на этапе обучения для определения минимально необходимого количества отведений ЭЭГ.

При этом следует иметь в виду, что с этой точки зрения, последовательный характер поведения, например, мышечных сокращений, которые мы хотим воспроизвести мысленно, следует понимать не как соединение движений в цепи, а как их дифференциацию, т.е. процесс декодирования ранее сформированной пространственно-временной конфигурации, определение которой и есть основная задача при создании ИМК.

УДК 612.8

**Б.М. Владимирский, С.М. Захаров**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОТЛАДКИ АЛГОРИТМОВ «КОМПЬЮТЕРНО-МОЗГОВОГО ИНТЕРФЕЙСА»**

В последние годы существенно возросло количество работ, посвященных «компьютерно-мозговому интерфейсу» (brain-computer interface – BCI). Под «компьютерно-мозговым интерфейсом» понимается программно-аппаратный комплекс для регистрации, анализа и интерпретации сигналов головного мозга и управление на этой основе какими-то внешними исполнительными устройствами – управление курсором «мышью» на экране монитора, управление инвалидной коляской или специализированными протезами и т.д. Согласно определению, BCI – это коммуникационная система, в которой сообщения или команды, посылаемые индивидуумом во внешний мир, не проходят через обычные нормальные выходные каналы мозга в виде периферийных нервов и мышц.

В основе BCI лежит распознавание паттернов биопотенциалов мозга. В качестве сигналов головного мозга используются сигналы электроэнцефалограммы (ЭЭГ), вызванные потенциалы (ВП) головного мозга или медленные корковые потенциалы. Другие физиологические сигналы, например, электроокулограмма (ЭОГ) – движение глазных яблок, электромиограмма (ЭМГ) – напряжение мимических мышц, – напрямую не относятся к подходу BCI, так как в этом случае не используется интрацеребральная активность мозга. Распознающие программы обучают дифференцировать различные паттерны биопотенциалов мозга с учетом индивидуальных особенностей каждого конкретного испытуемого для повышения надежности идентификации.

Практическая необходимость в таком интерфейсе давно назрела, в нем нуждаются десятки и сотни тысяч больных – полностью парализованные люди (с так называемым locked-in синдромом), пациенты с тяжелыми формами церебрального паралича, тяжелыми постинсультными состояниями и травмами.

Проблемой управления внешними устройствами при помощи сигналов головного мозга начали заниматься несколько десятилетий назад. Еще в 1967 г. Эдмонд Деван (Edmond