

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

Dewan) проводил эксперименты по считыванию управляющих сигналов с мозга с помощью электроэнцефалографа. Испытуемые научились до определенной степени контролировать амплитуду мозгового альфа-ритма и таким образом передавали отдельные буквы при помощи азбуки Морзе. Первым словом, переданным таким образом на телетайп, было слово «кибернетика». Этот результат продемонстрировал принципиальную возможность осмысленного управления внешним устройством при помощи одних только мысленных команд.

С использованием имплантируемых в кору мозга электродов оказалось возможным получить очень впечатляющие результаты мысленного управления даже обезьянами (Schwartz, 2008). Первые результаты на людях были получены еще в 1997 г. в Университете Элмори. Там имплантировали электроды в двигательные центры нескольких полностью парализованных пациентов (в том числе потерявших способность говорить). Пациенты со временем научились передвигать курсор по экрану компьютера и таким образом общаться с врачами (например, выбирая на экране одну из простых фраз). Имплантант передавал информацию по радио, а питание получал через индукционную катушку прямо через череп – то есть без разъемов и проводов.

Однако прагматическое использование ВСИ должно базироваться на регистрации ЭЭГ с поверхностных скальповых электродов, т.к. вживление электродов в мозг возможно только по клиническим показаниям, так как сам факт вживления электродов может вызывать негативные побочные эффекты.

Повышение интереса к теме «компьютерно-мозгового интерфейса» связано с получением рядом исследователей обнадеживающих начальных результатов, позволяющих надеяться на практическое внедрение этой технологии в ближайшем обозримом будущем в медицинскую сферу, операторскую деятельность, системы безопасности, индустрию развлечений (компьютерные игры) и пр. Проводятся международные съезды по ВСИ, на которых результаты своей работы представляют десятки исследовательских групп и лабораторий.

Тем не менее нерешенных проблем в ВСИ еще очень много. Надежно распознается достаточно небольшое количество состояний, быстродействие распознавания этих состояний оставляет желать лучшего, особенно при использовании вызванных потенциалов или медленных корковых потенциалов (на распознавание одного состояния могут уходить десятки секунд), обучение испытуемого для управления своими биопотенциалами может занять несколько дней и даже недель. Поэтому создание исследовательских стендов для отладки надежных алгоритмов распознавания паттернов биопотенциалов по-прежнему является актуальной задачей. Чем более гибкие возможности имеются у стенда, тем выше вероятность получения практических результатов, позволяющих в дальнейшем внедрить эти результаты в практике.

НИИ нейрокибернетики Южного Федерального Университета (г. Ростов-на-Дону) в содружестве с НПКФ «Медиком МГД» (г. Таганрог) проводят совместную работу по созданию такого стенда, проведению экспериментов и отладке алгоритмов распознавания паттернов ЭЭГ для использования их в качестве управляющих сигналов. Компонентами экспериментальной системы для нейрокомпьютерного интерфейса являются:

1. Портативный беспроводной (телеметрический) электроэнцефалограф-регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-21/26», включающий:

– автономный блок пациента, регистрирующий до 20 сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ), 2 сигнала электроокулограммы (ЭОГ), электромиограмму (ЭМГ), электрокардиограмму (ЭКГ), положение тела испытуемого;

– программное обеспечение для регистрации сигналов, обработки и представления результатов анализа;

– программное обеспечение, моделирующее совмещенную операторскую деятельность – совмещение задачи слежения с решением логических задач;

– программное обеспечение для обучения навыкам саморегуляции (ЭЭГ-БОС-тренинг – тренировка изменения паттерна ЭЭГ на основе биологической обратной связи (БОС)) и способности за короткое время достигать требуемого ЭЭГ-паттерна, соответствующего требуемому идентифицируемому состоянию.

2. Аудиовизуальный стимулятор, включающий:

– программное обеспечение для самостоятельного формирования и воспроизведения сценариев стимуляции семантическими визуальными и звуковыми стимулами;

– светодиодный синхронизатор, устанавливаемый в нижней правой части экрана монитора испытуемого и обеспечивающий точную временную синхронизацию к обратному ходу луча развертки.

3. 5-кнопочный беспроводной датчик, обеспечивающий возможность испытуемому самому задавать номер состояния, которое он будет пытаться воспроизвести для обеспечения нейро-компьютерного интерфейса.

4. Электродный комплект «Энцефалан-КЭ» для регистрации ЭЭГ и других физиологических сигналов.

5. Выносные телеметрические акселерометрические датчики, обеспечивающие синхронную с ЭЭГ регистрацию движения пальцев левой и правой руки, стоп. Эти сигналы, отражающие двигательную активность пальцев и конечностей, используются программой для автоматического выбора фрагментов, которые будут обрабатываться для проверки алгоритмов классификации ЭЭГ-паттернов.

6. Дополнительный телеметрический автономный блок пациента «АБП-10», обеспечивающий синхронную регистрацию до 10 вспомогательных физиологических сигналов, требуется только для этапа отладки алгоритмов на основе сопоставления с другими типами сигналов.

Преимуществами указанного экспериментального стенда для отладки алгоритмов нейрокомпьютерного интерфейса являются:

- малые габариты устройств регистрации физиологических сигналов;
- радиотелеметрический режим связи – отсутствие кабелей между устройствами регистрации физиологическими сигналами и персональным компьютером;
- возможность гибкого конфигурирования устройств с расширением необходимого количества каналов регистрации;
- использование выносных телеметрических датчиков для контроля за движениями пальцев рук;
- гибкие средства по формированию сценариев с использованием физических и семантических стимулов;
- программные средства обучения навыкам саморегуляции на основе ЭЭГ-БОС-тренинга;
- возможность самодокументирования проводимых экспериментов за счет видеомониторинга, синхронизированного с регистрацией ЭЭГ и других физиологических сигналов.

Некоторые подходы ВСИ связаны с мысленным представлением испытуемым двигательных действий – идеомоторными актами, которые могут иметь, в зависимости от вида представляемого движения, те или иные индивидуальные паттерны ЭЭГ в области центральной извилины в частотных диапазонах мю-ритма (сенсомоторного ритма) и бета-ритма. На каждый из представляемых двигательных актов находится ЭЭГ-инвариант, который используется для дифференциации состояний головного мозга и управления внешними устройствами.

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, полученных в многократно проводимых сеансах обучения с БОС, подвергаются анализу с использованием обучаемых нейронных сетей. В ходе такого анализа для каждого испытуемого можно 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.) позволяет 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.

Имеются основания полагать, что разрабатываемый экспериментальный стенд с дополнительным специализированным программным обеспечением позволит продвинуться в совершенствовании алгоритмов распознавания паттернов ЭЭГ и внедрении этих алгоритмов на практике на основе более простых и малоканальных устройств.

УДК 612.821

А.А Скоморохов, Г.П. Юрьев

**ЯЗЫК КОГНИТИВНО-ЭМОТИВНО-МОТОРНЫХ КОМПОНЕНТОВ
СИНХРОННОЙ ПИКТОПОЛИГРАФИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭГОСКОПА**

Исследование личности человека, выявление возможных внутриличностных конфликтов, степень и характер рассогласования Я-структур, как причины невроза и/или неадекватного поведения, предрасположенности к аддикциям, межличностной и профессиональной согласованности является актуальной задачей. Осознание этих вопросов позволяет искать пути адаптации личности к требованиям, предъявляемым в производственной, социальной и семейной сферах.

Для повышения объективизации результатов проводимых психологических тестов используется пиктополиграфический подход, который основан на синтезе самодокументированного варианта проективных методик и тестов-опросников с использованием специального графического планшета, подключаемого к компьютеру, и психофизиологического контроля различных физиологических сигналов (ЭЭГ, КГР, ФПГ, ЭКГ и пр.) в процессе проведения исследования. Тексты заданий или графический стимульный материал показывается испытуемому на экране монитора, а задания выполняются с помощью графического сенсорного планшета. Предусмотрен вариант работы с сенсорным монитором-планшетом, совмещающим функции устройства представления инструкций и заданий и устройства ввода результатов выполнения заданий.

Пиктополиграфический подход интегрирует и наполняет новым содержанием известные ранее психологические и психофизиологические методы путем включения в них эмоционально-оценочной шкалы, которая позволяет объективно дифференцировать индивидуальную значимость стимулов по степени выраженности и согласованности реакций, относящихся к разным физиологическим и пиктографическим сигналам, синхронно регистрируемых в процессе экспериментальной микромодельной деятельности человека. В рамках пиктополиграфического метода могут использоваться и проективные методы, и