

ЭЭГ ПРОГНОЗ УСПЕШНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПСИХОМОТОРНОГО ТЕСТА ПРИ СНИЖЕНИИ УРОВНЯ БОДРСТВОВАНИЯ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Щукин Т.Н., – аспирант, Институт психологии РАН, Москва
Дорохов В. Б., – к.биол.н. Институт Высшей Нервной Деятельности и
Нейрофизиологии РАН, Москва.
Лебедев А.Н., – д.биол.н. профессор, Институт психологии РАН, Высшая
Школа Экономики, Москва
Луценко Е.В., – д.э.н., к.т.н., профессор, Кубанский государственный
аграрный университет, Краснодар

В статье описана постановка эксперимента, задачей которого было построение методики идентификации и прогноза успешности выполнения психомоторного теста с помощью применения классической и неклассической статистической модели к данным электроэнцефалограммы, предшествующей ответу. Эксперимент проводился в условиях, провоцирующих наступление дремоты и засыпания.

Трудно переоценить важность проблемы прогноза успешности действий человека в реальном времени. Особенно остро стоит эта проблема в условиях снижения уровня бодрствования. Последствиями ошибок, связанных с сонливостью и дремотными состояниями, являются аварии и катастрофы на производстве и транспорте.

Идентификация состояний различных уровней различных систем и системных комплексов системы человек-машина необходима для эффективной регуляции состояния этой системы. Эту информацию можно использовать как для простого предупреждения оператора или других о скором возможном наступлении проблем в деятельности, так и для использования системой управления (интерфейсом) для перестройки рабочего интерфейса таким образом, чтобы деятельность могла выполняться в новых условиях – стабилизировать состояние в необходимых рамках, построить образ для саморегуляции состояния и т.д.

На разных уровнях регуляции необходима различная скорость реагирования на возникающие проблемы. Если высшие уровни регуляции проявляются в целостности взаимодействия индивидуума с миром и могут быть идентифицированы на этапе профессионального отбора, то проблемные моменты низких уровней возникают стремительно и в наибольшей степени требуют методов идентификации и прогноза в режиме реального времени.

Эффект воздействия особых и экстремальных условий на человека определяется множеством факторов, среди которых его личностные и индивидуальные свойства, а также особенности индивидуальных механизмов

психической регуляции деятельности и саморегуляции (Л.Г.Дикая 2003; 1999.).

Качественный и количественный анализ уровней регуляции деятельности проводится методами нейрофизиологии, психофизиологии и психологии.

К первым и вторым относятся методы, направленные на исследования отдельных психических функций, оценку возможностей различных анализаторов, а также анализ таких параметров деятельности, как психическая напряженность, психофизиологические ресурсы и т.д. Для этих целей используются оценки разных психофизиологических показателей, данные субъективного шкалирования и тестов, регистрации исполнительных действий.

К последним относится группа методов, предназначенных для анализа таких психических процессов, как мотивация, принятие решений, целеобразование, планирование и прогнозирование, формирование концептуальных моделей.

Существуют и системные методы анализа, позволяющие анализировать сложную нестационарную деятельность человека за счет организации взаимодействия различных методов (Ю.Я.Голиков,Л.Г.Дикая, А.Н.Костин 1999..) Костин А.Н. 1992.).

В работах (Ю.Я.Голиков,Л.Г.Дикая, А.Н.Костин 1999.) психическую активность человека, а, следовательно, и психическую регуляцию рассматривают как состоящую из трех видов: текущей, ситуативной и долгосрочной.

Система текущей регуляции, обладающая тремя разнородными уровнями (1. Активационно - энергетической стабилизации; 2. Непосредственного взаимодействия; 3. Опосредованной координации;) способна порождать проблемные моменты и проблемные ситуации разного рода.

Таким образом, общий контекст проблемы – это изучение принципов регулирования психомоторной деятельности, представленной системой уровней. Именно прогноз проблемных моментов, порождаемых системой текущей регуляции представляет собой конкретизацию задачи изучения динамики успешности выполнения психомоторного теста в связи с изменениями ЭЭГ.

На разных уровнях регуляции необходима различная скорость реагирования на возникающие проблемы. Если высшие уровни регуляции проявляются в целостности взаимодействия индивидуума с миром и могут быть идентифицированы на этапе профессионального отбора, то проблемные моменты низких уровней возникают стремительно и в наибольшей степени требуют методов идентификации и прогноза в режиме реального времени.

Эти методы, как мы увидели, могут быть достаточно специфичными, т.е. осуществлять вычленение из всей информации о деятельности и состояниях, на фоне которых она осуществляется, лишь то, что имеет

отношение непосредственно к выбранным классам успешности. Это подтверждается целым спектром результатов экспериментальных исследований.

Эти результаты, при всей их высокой значимости, были получены в результате применения методов обработки ЭЭГ, принципиально неприменимых для работы в режиме реального времени (за исключением применения нейросетевых алгоритмов), что не позволяет использовать эти методики в существующем виде для идентификации надежности выполнения человеком действий в режиме реального времени.

В исследованиях на классических искусственных нейросетях было показано, что спектральные характеристики ЭЭГ, посчитанные на окнах шириной в несколько секунд, несомненно, являются достаточно информативными для идентификации некоторых психических состояний. Хорошее распознавание единичных спектров свидетельствует о том, что характер ритмических паттернов ЭЭГ в высокой степени специфичен для конкретных задач и конкретного индивида и устойчиво воспроизводится при их многократном решении.

Большая часть работ в описываемой предметной области ориентирована на идентификацию различных психофизиологических и психологических состояний, о связи которых с успешностью деятельности хорошо известно. Для идентификации самых крупных состояний используются специализированные опросники. Для идентификации более динамичных состояний – данные по вариабельности КГР и данные кардиограммы. Искусственные нейронные сети используются для идентификации микросостояний ЭЭГ, проявляющихся в окнах анализа менее двух секунд, что позволяет надеяться на успех и в задачах прогноза на основе анализа еще более коротких (менее 1 сек.) участков данных при условии использования более совершенных программных алгоритмов.

Признаки, являющиеся основой для прогноза, представлены вызванными потенциалами, спектральным анализом электроэнцефалограммы, а также параметрами пространственной синхронизации ЭЭГ.

Вызванные потенциалы, при том, что они представляют собой неплохой инструмент идентификации различных феноменов деятельности, не годятся для работы в системе управления, т.к. требуют многократного суммирования и, таким образом, не могут применяться в режиме реального времени. Спектральный анализ и анализ пространственной синхронизации, в отличие от ВП, может применяться для наших целей.

Из всех рассмотренных нами методов быстрой идентификации и прогноза успешности деятельности *нашим критериям* соответствуют лишь методы идентификации различных состояний по электроэнцефалограмме. По

итогах анализа, нам кажется наиболее перспективным использовать в качестве признаков, на основе которых будет осуществляться идентификация следующие параметры ЭЭГ:

- спектральные характеристики ЭЭГ
- амплитудные характеристики ЭЭГ (моментальные амплитуды, стандартные отклонения амплитуд)
- параметры пространственной корреляции ЭЭГ

Последний вид параметров был выбран нами, исходя из мнения множества специалистов о высокой значимости функциональных связей, устанавливаемой синхронной ритмикой между различными участками скальпа, для осуществления различных мыслительных операций. Также и в части рассмотренных работ именно синхронизации в некоторых диапазонах частот служили наиболее информативными признаками для различения различных состояний и деятельностей друг от друга.

Активационные процессы непосредственно участвуют в установлении временных связей между различными функциональными структурами мозга, в формировании новых ассоциативных связей, способствуют переходу на оптимальный уровень бодрствования, на более адекватный для выполняемой деятельности уровень регуляции (М ДИКАЯ).

Выбор параметров пространственной корреляции ЭЭГ также обоснован успехами нейрофизиологической модели восприятия и памяти, разрабатываемой в лаборатории А.Н.Лебедева и основанной на гипотезе о возможности динамического кодирования воспринимаемых стимулов нейронными ансамблями в виде периодически повторяющихся устойчивых узоров биоэлектрической активности. Данная модель, базирующаяся на привлечении нейрофизиологических данных, информационного и системного подходов развивалась и исследовалась в широком диапазоне условий в течении последних 20 лет в лаборатории когнитивной психофизиологии Института Психологии РАН.

В лаборатории М.Н. Ливанова была установлена связь волн электроэнцефалограммы с группами нейронных импульсов, и, главное, была доказана возможность хранения информации системой незатухающих ритмичных колебаний множества нейронных ансамблей (Лебедев А.Н., Луцкий В.А. Расчет закономерностей зрительного восприятия по частотным характеристикам электроэнцефалограммы / Эргономика. Труды ВНИИТЭ. Вып.4., 1972, стр. 95-134., Забродин Ю.М, Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М., Наука, 1977, 286 с., Lebedev A.N., Mayorov V.V., Myshkin I.Y. The wave model of memory. //Neurocomputers and attention. vol.1, Manshester, 1990, p.53-59. S.H.Strogatz, L. Stewart, "coupled Oscillators and Biological Synchronization" Scientific American, December 1993, pp 68-75, 1993.)). Наибольшей регулярностью отличаются волны альфа-

ритма. Им-то и придавалась ведущая роль в механизме хранения информации. Теперь эта идея прочно укрепилась в современной психофизиологии (Basar.E, et al. Alpha oscillations in brain functioning: an integrative theory. - International Journal of Psychophysiology, 1997, vol. 26, pp. 5-29.). Важная роль в этой модели хранения информации отводится явлению квантования периодов и фаз колебаний нейронной активности. Впервые относительную величину кванта определил М.Н. Ливанов (1980, с.44).

Статистическое исследование быстро меняющихся ритмов во множестве областей мозга невозможно с помощью традиционных методов анализа ЭЭГ, учитывающих изменения одного параметра. Поэтому особый интерес представляет применение методов многопараметрической оценки свойств ЭЭГ – сигнала, которое стало возможным с конца 80-х годов в связи с распространением компьютерной техники, обеспечивающей достаточный объем сопутствующих вычислений. Одним из таких методов является использование обучаемых классификаторов, в том числе искусственных нейронных сетей.

Была показана высокая эффективность применения искусственных нейронных сетей для распознавания по ЭЭГ различных психологических и физиологических состояний. При этом существенным недостатком нейронных сетей является невозможность содержательной интерпретации картины нейронных весов. В задачах определения надежности человека-оператора непрозрачность искусственных нейронных сетей позволяет судить лишь о том, о каком целевом состоянии (надежном или не надежном, или из большего количества классов) в системе признаков ЭЭГ (входных параметров нейронной сети) содержится больше всего информации (по результатам распознавания.)

В целом, выделить отдельные ритмы, связанные с определенными функциями, можно только в редких случаях простого поведения или при патологии, тогда как сложное поведение отражается в комбинации ритмов.

Для решения задачи дифференцированного анализа признаков требуется циклический перебор набора входных параметров нейронной сети. Только так можно установить, какие из используемых параметров содержат наибольшее количество информации о целевых состояниях. Даже в случае перебора количество информации устанавливается косвенно – по успешности распознавания целевого состояния на основе того или иного набора признаков. Перебор параметров не позволяет проводить синтез модели в реальном времени, а применение оптимальной модели, полученной в результате перебора, возможно только в строго определенных условиях – т.е. такая модель не обладает свойствами адаптивности.

Задача идентификации психофизиологических детерминант, и ЭЭГ в качестве их отражения в электрофизиологических детерминантах,

определяющих эффективность саморегуляции в разрешении проблемных моментов, порождаемых системой текущей регуляции при изменении уровня бодрствования, являющаяся темой данной работы, требует особой тестовой модели для своей реализации.

Такая модель, предназначенная для исследования психофизиологических механизмов нарушений деятельности при засыпании, была разработана в работах В.Б.Дорохова (Дорохов В.Б.. 2003. Дорохов В.Б. 2002.) и использовалась в данной работе. Это психомоторный непрерывно-дискретный тест, который довольно скоро вызывает дремотное состояние, а при углублении дремоты - «микросон».

Экспериментальная модель обладает массой положительных сторон. Монотонный характер теста очень быстро вызывает дремотное состояние, а закрывание глаз и выполнение теста в заглушенной комнате в положении лежа с минимумом двигательной активности позволяет безартефактно регистрировать электрофизиологические показатели, что особенно существенно при регистрации электрической активности мозга человека.

Мы предполагаем, что электроэнцефалограмма, сопровождающая выполнение психомоторного теста, является источником наиболее информативных данных для решения проблемы идентификации классов различной успешности в выполняемой деятельности. В пользу этого предположения говорят данные многочисленных исследований, в которых удалось на основе данных ЭЭГ производить успешное различие микросостояний ЭЭГ, характера выполняемых задач (например-пространственные и логические задачи (А.Р.Николаев, Г.А.Иваницкий, А.М.Иваницкий. 1998.)), уровня сложности задачи и т.д. С точки зрения этой модели наибольшей информативностью обладают параметры пространственной корреляции.

Отбор параметров ЭЭГ, который производится на первых этапах работы программного комплекса, обоснован в целом ряде работ и базируется на психофизиологической модели восприятия и памяти, разрабатываемой в лаборатории когнитивной психофизиологии ИПРАН под руководством А.Н.Лебедева на протяжении нескольких десятков лет.

Применение именно этой модели позволяет надеяться на положительный результат в решении задачи данной работы, т.к. с помощью этой модели уже решены задачи идентификации интеллектуальной и музыкальной одаренности человека по его ЭЭГ, а также построены модели, позволяющие идентифицировать особенности индивидуального восприятия музыкальных произведений по ЭЭГ слушателей. Применение этой модели для расчетов успешности действий человека в условиях реального времени ранее не производилось. Применение модели в таких условиях развивает и продолжает логику исследований лаборатории А.Н.Лебедева.

Мы предполагаем, что успешное предсказание характера ответов на стимул по ЭЭГ, предшествующей моменту стимула, позволит нам говорить о успешной работе модели А.Н.Лебедева в новом классе задач.

Решаемая задача является первым шагом к определению надежности выполнения более сложных заданий, и для ее решения привлечены только наиболее доступные, но и наименее алгоритмизируемые данные – электроэнцефалограмма.

Нами была поставлена задача прогноза на основе параметров ЭЭГ (амплитуда, среднее, корреляции, а также отдельно спектральные показатели) ожидаемого времени реакции испытуемого на стимул и класс реакции.

Задача выявления ЭЭГ детерминант, определяющих развитие того или иного процесса деятельности, традиционно считается весьма сложной, и плохо поддающейся решению с помощью методов классического статистического анализа.

По этой причине нами были привлечены две разные, хорошо зарекомендовавшие дополняющие друг друга модели расчетов соответствия индексов параметрам деятельности.

Модель классической статистики – регрессионного анализа, зарекомендовавшей себя в исследованиях лаборатории А.Н.Лебедева, была дополнена неклассической математической моделью.

В качестве последней нами была привлечена универсальная аналитическая система «Эйдос». Данная система объединяет преимущества искусственных нейронных сетей с возможностями интерпретации получаемых результатов, превосходящими аналогичные в методах многомерного шкалирования [13]. Она уже не впервые успешно применяется для обработки данных ЭЭГ [14].

Работа программы базируется на системной теории информации, и результаты обработки в данном исследовании представляют собой автоматически классифицированные примеры (параметры участков ЭЭГ) на основе информационных портретов классов нормальных и ошибочных действий (классов распознавания). Используемая в распознающей программе семантическая информационная модель является *непараметрической*, т.к. базируется на системной теории информации. Программная система использует робастные процедуры, обеспечивающие устойчивую работу модели на исходных данных, зашумленных артефактами, т.е. выпадающих из общих статистических закономерностей, которым подчиняется исследуемая выборка, что упрощает задачу контроля артефактов в данных.

Нами был спланирован и проведен эксперимент, задачей которого было построение методики идентификации и прогноза успешности выполнения психомоторного теста с помощью применения классической и неклассической статистической модели к данным электроэнцефалограммы, предшествующей ответу. Эксперимент проводился в условиях, провоцирующих наступление дремоты и засыпания.

Литература:

1. Дикая Л.Г. Психическая саморегуляция функционального состояния человека. Издательство «Институт психологии РАН» Москва 2003; Проблемность в профессиональной деятельности: теория и методы психологического анализа. Издательство «Институт психологии РАН» 1999. Москва
2. Голиков Ю.Я., Дикая Л.Г., Костин А.Н. Проблемы исследования психической регуляции в триаде «деятельность-личность-состояние». (В Проблемность в профессиональной деятельности: теория и методы психологического анализа. Издательство «Институт психологии РАН» 1999. Москва.)
3. Костин А.Н. Метод таксономии межсаккадических интервалов движений глаз для оценки операторской деятельности//Методики анализа и контроля трудовой деятельности и функциональных состояний. М.:Институт психологии РАН, 1992. С.14-20
4. Дорохов В.Б. Альфа- веретена и К-комплекс – фазические активационные паттерны при спонтанном восстановлении нарушений психомоторной деятельности на разных стадиях дремоты // Журн. Высшей нервной деят. 2003ю Т. 53. – с. 503-512. Дорохов В.Б. Применение компьютерных сомнологических полиграфов в психофизиологии и для клинических исследований // Физиология человека. 2002. Т 28 – С. 105-112.
5. Николаев А.Р., Иваницкий Г.А., Иваницкий А.М. Воспроизводящиеся паттерны альфа-ритма ЭЭГ при решении психологических задач. Физиология человека 1998. том 24, №3, с.5-12
6. Богомолов А.В., Гридин Л.А., Кукушкин Ю.А., Ушаков И.Б. Диагностика состояния человека: математические подходы. М, «Медицина» 2003. с 31
7. Бовин Б.Г., Лебедев А.Н., Мышкин И.Ю.. Количественная оценка психологических особенностей личности с учетом индивидуальных электрофизиологических особенностей. -В кн.: Психология и практика. Ежегодник Российского Психологического общества, 1998, том 4, вып.2, с.256-257.;
8. Lebedev A.N., O.I. Artemenko. EEG Indices of Intellectual Abilities. In: “Quantitative and Topological EEG and MEG analysis”. Third International Hans Berger Congress. Editors Herbert Witte a. oth. Druckhaus Mayer Verlag GMBH Jena-Erlangen, 1997, p. 133-135
- 9.Магнуссон Д.Назад к феноменам. // Иностранная психол. 1994. Т N1 (3), С.5-12
Electroencephalogram processing using neural networks, Claude Roberta,b,* , Jean-Franc ,ois Gaudyb, Aime´ Limogea Clinical Neurophysiology 113 (2002) 694–701
10. Лебедев А.Н., Луцкий В.А. Расчет закономерностей зрительного восприятия по частотным характеристикам электроэнцефалограммы / Эргономика. Труды ВНИИТЭ. Вып.4., 1972, стр.

95-134., Забродин Ю.М, Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М., Наука, 1977, 286 с.,

11. Lebedev A.N., Mayorov V.V., Myshkin I.Y. The wave model of memory. //Neurocomputers and attention. vol.1, Manshester, 1990, p.53-59.
S.H.Strogatz, L. Stewart, "coupled Oscillators and Biological Synchronization" Scientific American, December 1993, pp 68-75, 1993.

12. Basar.E, et al. Alpha oscillations in brain functioning: an integrative theory. - International Journal of Psychophysiology, 1997, vol. 26, pp. 5-29

13. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). –Краснодар: КубГАУ. 2002. –605 с.

14. Луценко Е.В., Лебедев А.Н. Диагностика и прогнозирование профессиональных и творческих способностей методом АСК-анализа электроэнцефалограмм в системе "Эйдос". // Научный журнал КубГАУ. – 2003.– №1(1). –5 с. <http://ej.kubagro.ru/2003/01/09/>