

УДК: 612.821.1; 612.821.2

СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ЭЭГ В КОНТУРЕ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ-КОМПЬЮТЕР

© 2015 г. А.Э. Дубинин, Д.М. Лазуренко, В.Н. Киров, А.Д. Крутов
*НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана Академии биологии и биотехнологии
им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Россия,
Ростов-на-Дону*

Введение. Основная цель исследований в области нейроинтерфейсов (Brain-computer interface – BCI) - это развитие системы, которая предоставит частично или полностью обездвиженным людям возможность взаимодействовать с другими людьми, управлять искусственными конечностями или внешним окружением [4, 5]. Такие системы широко используют метод электроэнцефалографии (ЭЭГ), представляющий интерес для изучения нейрофизиологических механизмов психических процессов, зарекомендовавший себя как относительно дешёвый и безопасный способ получения информации о текущей электрической активности мозга человека.

Одной из его разновидностей является методика регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП). СПП представляют собой биоэлектрические ответы мозга, формирующиеся в условиях сенсорных, моторных или когнитивных нагрузок. Как оказалось, они являются результатом суммации постсинаптических потенциалов, развивающихся в достаточно локальных популяциях сходным образом ориентированных корковых нейронов, в процессе совместной обработки информации [1]. Наряду с этим, метод СПП используется при дифференциальной диагностике ряда неврологических и психиатрических заболеваний [2], оценке функционального состояния, уровня бодрствования и внимания, состояния готовности к выполнению различных движений, значимости стимулов разной сенсорной модальности [3].

Последние оказались достаточно пригодными для использования в нейроинтерфейсах, прежде всего, благодаря когнитивному компоненту P300, в том числе, отражающему процессы селективного внимания. P300-BCI имеет большое преимущество, благодаря тому, что он не требует предварительной подготовки и обучения пользователя, поскольку является типичным и естественным ответом мозга на значимые события. Широкое использование P300-BCI обусловлено, прежде всего, тем, что при наличии информации о времени предъявления стимулов возможно накопление (посредством суммации) сигналов мозга, что обеспечивает выделение даже слабых сигналов из шума, каковым является фоновая ЭЭГ. Известны попытки использования для управления в технологии ИМК единичных СПП (single trial) [6, 7], однако их надежность несколько уступает той, которая имеет место при использовании усредненных ответов.

Целью настоящей работы стала разработка модифицированной модели P300-BCI (экранной виртуальной клавиатуры) на основе зрительных СПП и сравнение эффективности ее работы с классической моделью, предложенной Farwell & Donchin (1988).

Методы. В обследованиях приняли участие 19 практически здоровых обследуемых в возрасте от 19 до 26 лет мужского (12 чел) и женского (7 чел) пола – студенты (ЮФУ). ЭЭГ регистрировали монополярно относительно ушных референтных электродов (референт объединенный) с использованием электроэнцефалографа «Энцефалан-131-03 («Медиком МТД», г. Таганрог) от 10 отведений (t5, t6, c3, cz, c4, p3, pz, p4, o1, o2) в соответствии с международной системой «10-20». Частота дискретизации составляла 250 Гц по каждому из каналов, полоса пропускания – 1-70 Гц, режекторный фильтр - 50 Гц. Для регистрации ССП в среде аудио-визуального слайдера «Энцефалан» были созданы 2 модели P3Speller_VCI, представляющие собой классическую и модифицированную матрицы, содержание по 9 символов каждая. Протокол обследования включал в себя 3 дважды повторяемых сценария, в рамках которых обследуемым надлежало вести счёт в уме количества появлений (вспышек) целевых стимулов (по 2 значимых стимула в каждом сценарии). Матрица из 3 (1-й сценарий, адаптационный) и 9 (2-й сценарий, классический и 3-й – модифицированный) символов предъявлялись в течение 30 секунд каждая. Модификация классического ИМК-спеллера заключалась в изменении схемы стимуляции, а именно, подсвечивались одновременно по 2 крайних и 1 центральный символ матрицы, тогда как, в классической методике – столбцы и строки. При реализации каждого сценария предъявлялось по 100 стимулов, среди которых количество целевых варьировало от 17 до 35 (в разных сценариях). Межстимульный интервал составлял 300 мс. Сценарий, в котором обследуемые пассивно просматривали матрицы (без счёта в уме), использовался в качестве контрольного для сравнения со сценариями 1, 2 и 3.

Результаты. Многофакторный дисперсионный анализ (Manova) показал, что имели место Main Effects практически для всех анализируемых факторов: Стимул, Сценарий и их значимое взаимодействие с переменными (Отведения). Показано, что модифицированный сценарий достоверно отличался от классического, прежде всего, в части целевых (значимых) стимулов (Таб.1, Рис.1А,1Б). Тогда как иррелевантные стимулы во всех трёх сценариях между собой не различались, равно как и при пассивном просмотре матрицы (Рис.1Б).

Repeated Measures Analysis of Variance					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Df	MS	F	p
Intercept	14692	1	14692,45	424,4612	0,00
Стимул (С)	18378	3	6126,03	176,9795	0,00
Сценарий (Сц)	7533	2	3766,64	108,8173	0,00
С*Сц	8092	6	1348,71	38,9639	0,00
Error	6144326	177508	34,61		
Отведения (О)	221	9	24,61	19,8014	0,00
О*С	3689	27	136,64	109,9408	0,00
О*Сц	299	18	16,64	13,3859	0,00
О*С*Сц	973	54	18,02	14,5018	0,00
Error	1985529	1597572	1,24		

Таблица 1. Результат многофакторного анализа вызванной активности мозга, проведённый для 3 сценариев. Анализируемые факторы: Стимул, Сценарий, переменные – Отведения. Для группы из 19 обследуемых.

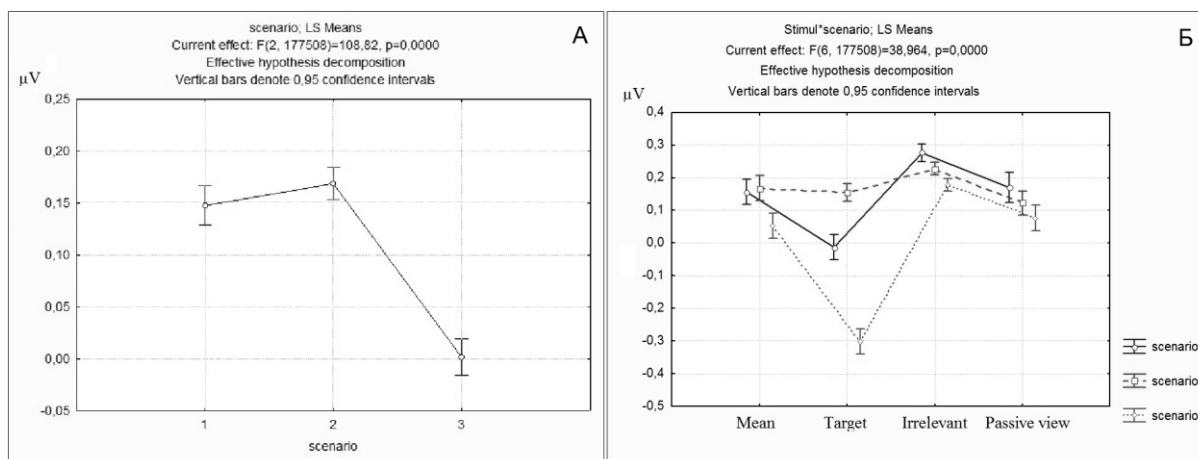


Рисунок 1. Результат 1 (А) и 2-х факторного анализа (Б) вызванной активности мозга для группы из 19 обследуемых. Анализируемые факторы: Стимул, Сценарий.

Усреднение ЭЭГ-эпох, зарегистрированных после предъявления целевых стимулов, показало, что уже в первом обследовании (в среднем) в 56% случаев в ССП формируется достаточно выраженный компонент Р300 (Рис.2). В 23% случаев обнаружить последний не удавалось.

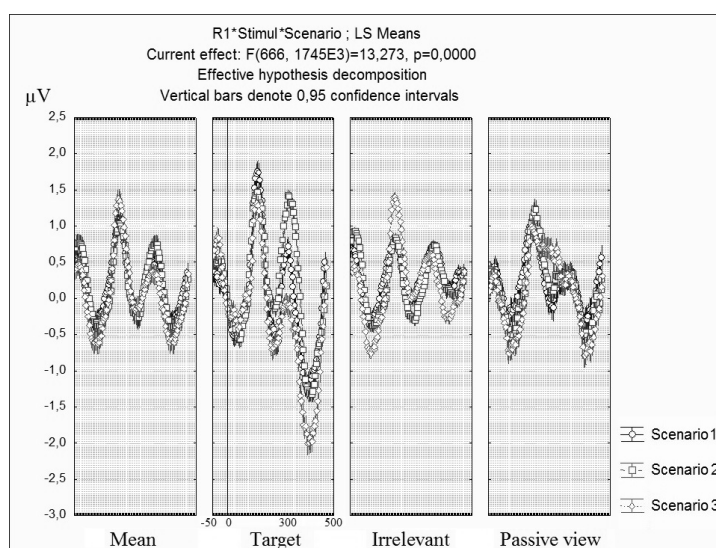


Рисунок 2. Результаты 3-х факторного анализа вызванной активности мозга для группы из 19 обследуемых. Анализируемые факторы: Стимул, Сценарий, Отведения. Вертикальная линия соответствует времени предъявления целевого стимула.

В 15% случаев обнаруживался инвертированный компонент N300, имеющий сходные с P300 характеристики (амплитуду и латентный период). Детализированный анализ показал, что компонент N300 наблюдался, преимущественно, в теменно-затылочных отведениях вне зависимости от реализуемого сценария и только у 4 обследуемых. Латентный период компонента P300 в среднем составлял 280 ± 40 мс, N300 – 260 ± 60 мс. Амплитуда

этих компонентов на значимые стимулы достигала 4 ± 2 мкВ, составляя на индифферентные стимулы лишь 2 ± 1 мкВ. Кроме того, обнаружено повышение в ответ на предъявление целевых стимулов амплитуды компонента P120, которая составляла 4 ± 1 мкВ на индифферентный стимул и до 6 ± 2 мкВ – на значимый индивидуально у отдельных обследуемых.

Сравнительный анализ показал, что если в сценарии 2 (классическая методика ИМК) для формирования позднего положительного компонента на целевой стимул потребовалось накопление 30-35 ВП, то в рамках модифицированной схемы виртуальной клавиатуры (сценарий 3) P300 отчетливо обнаруживался при усреднении уже 8-11 ЭЭГ-эпох. Это позволило существенно ускорить детектирование целевого символа и работу ИМК, одновременно снизив нагрузку на пользователя. Наконец, если при реализации сценария 2 целевые компоненты ССП, используемые для управления, не были обнаружены в ЭЭГ 5 (из 19) обследуемых, то при реализации сценария 3 – лишь у 3, что, возможно, сделает такую модификацию ИМК, работающего на основе ССП, доступной для более широкого круга пользователей.

Заключение. Таким образом, протестирована модификация ИМК, использующего ССП на зрительные стимулы в парадигме «Oddball», состоящей в изменении уровня селективного внимания пользователя. Сравнительный анализ её эффективности с классической моделью ИМК (Farwell & Donchin) показал, что она может обеспечить значимое увеличение (в 1,5-2 раза) скорости работы нейроинтерфейса за счет сокращения числа усредняемых стимулов, необходимого для идентификации целевого компонента P300, возможно, в комплексе с другими компонентами зрительных ССП. С другой стороны, она может быть доступна большему количеству пользователей, в ЭЭГ которых в рамках модифицированной модели отчетливо регистрируются поздние компоненты ССП. В настоящее время ведётся разработка программного обеспечения для описанной модификации P300-ИМК.

Работа выполнена при финансовой поддержке базовой части Госзадания № 2014/174, (2014-2016 гг.). Заказчик МОН РФ.

Литература:

1. Peterson N.N, Schroeder C. E, Arezzo J. C, et al. Neural generators of early cortical somatosensory evoked potentials in the awake monkey. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1995; 96: 248–260.
2. Sur S., Sinha V. K. Event-related potential: An overview // *Industrial psychiatry journal*. – 2009. – Т. 18. – №. 1. – С. 70.
3. Luck S. J. *An introduction to the event-related potential technique*. – MIT press, 2014.
4. Mellinger J. et al. P300 for communication: Evidence from patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS) // *Biomedizinische Technik (Sup.)*. – 2004. – Т. 49. – С. 71-74.
5. Farwell LA, Donchin E. Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Clin Neurophysiol*. 1988; 70: 510–23.
6. Li K. et al. Advances and challenges in signal analysis for single trial P300-BCI // *Foundations of Augmented Cognition. Directing the Future of Adaptive Systems*. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – С. 87-94.
7. Ganin I. P., Shishkin S. L., Kaplan A. Y. A P300-based brain-computer interface with stimuli on moving objects: four-session single-trial and triple-trial tests with a game-like task design // *PloS one*. – 2013. – Т. 8. – №. 10.