

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ДАННЫМ
СТРУКТУРНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ**

**DEFINING THE DYNAMICS
OF HUMAN FUNCTIONAL STATE
INDICES THROUGH STRUCTURAL
LINGUISTIC ANALYSIS
OF BRAINWAVES**

Аннотация: В настоящей статье представлена математическая модель формирования сигналов электроэнцефалограммы головного мозга человека. Приведено описание и обоснование применения метода на основе структурно-лингвистического анализа сигналов для обнаружения восприятия человеком слабых одиночных звуковых и визуальных стимулов. Обоснование опирается на известные результаты психофизиологических исследований. Электрофизиологический сигнал мозга может быть преобразован в амплитудно-фазовые паттерны. Преобразование позволяет перевести электрофизиологический сигнал в кодовую последовательность, которая обрабатывается структурно-лингвистическими методами. В соответствии с теорией Ухтомского о доминанте сигнал области мозга максимально выражен, когда она является доминантной для обработки текущего стимула. При этом происходит изменение параметров кодовой последовательности. На основании динамики параметров кодовой последовательности можно делать выводы о динамике показателей функционального состояния человека. Показаны результаты обработки данных эксперимента с использованием метода структурно-лингвистического анализа для обнаружения восприятия человеком слабых одиночных звуковых и визуальных стимулов. В результате предъявления стимула снижается энтропия кодовой последовательности.

Ключевые слова: электрофизиология; электроэнцефалография; исследование восприятия.

Сведения об авторе: Артёмов Станислав Игоревич, аспирант кафедры БТС Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ).

Место работы: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ).

Контактная информация: 196233, г.Санкт-Петербург, пр. Космонавтов, д. 80, кв. 129; тел.: 9118297373.
E-mail: thethingzero@mail.ru

Abstract: This article presents a mathematical model of the human brain electroencephalogram signals and describes and justifies the application of the method based on the structural linguistic analysis of signals used to detect the human perception of weak single sound and visual stimuli. The method is justified through the results of psychophysiological research works. Electrophysiological brain signal can be converted in the amplitude phase patterns. Such conversion allows translating electrophysiological signal into a code sequence, which can be processed via structural linguistic methods. According to the dominant theory proposed by Ukhtomsky a brain signal is most pronounced when it is dominant for processing the current stimulus. Thus there is a change of code sequence parameters. Based on the dynamics of code sequence parameters, one can draw conclusions about the dynamics of human functional state indices. The article shows the results of processing of the experimental data using the method of structural linguistic analysis to detect human perception of weak single sound and visual stimuli. As a result of stimulus the entropy of code sequence decreases.

Key words: electrophysiology; electroencephalography; study of perception.

About the author: Stanislav Igorevich Artemov, post-graduate student of Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI".

Place of employment: Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI".

Современные технические системы выходят на новый уровень взаимодействия человека и управляемого объекта, что вызывает высокий интерес к разработке интерфейса мозг-компьютер. Одним из перспективных направлений разработки неинвазивных средств получения информации о восприятии внешних воздействий на сенсорные системы человека являются устройства обработки и анализа электроэнцефалограмм (ЭЭГ). Основная гипотеза проводимых исследований сводится к выделению в сигналах ЭЭГ признаков, связанных с определенным внешним раздражителем, с использованием структурно-лингвистического

подхода. Фиксация такой связи может быть переработана в целевой управляющий сигнал конкретного технологического цикла.

Коллектив авторов проводит исследование, отличительной чертой которого является структурно-лингвистический подход к обработке и анализу данных электрофизиологических сигналов мозга [2; 3]. Сущность подхода заключена в преобразовании электрического сигнала ЭЭГ в кодовую последовательность, которая в дальнейшем исследуется методами математической лингвистики. Теоретическим фундаментом выбранного подхода является аддитивная модель формирования ЭЭГ. Сигнал E_j каждого отведения ЭЭГ представлен взвешенной суммой N сигналов различных отделов головного мозга S_i , проецируемых на точку выбранного отведения с учетом ω_{ji} — весового коэффициента, учитывающего расстояние и потери проводимости от j -го отдела мозга до электрода электроэнцефалографа.

$$E_j = \sum_{i=1}^N S_i \cdot \omega_{ji}$$

В своем исследовании авторы опирались на известный факт о том, что на уровне первой сигнальной системы восприятия сильный внешний раздражитель должен вызывать у человека электрофизиологическую реакцию определенной зоны мозга в виде повышения ее электрической активности. Это означает, что некоторый S_k сигнал определенное время τ_i будет заметно превышать остальные аддитивные составляющие $S_k \gg S_i$ ($i=1, N; i \neq k$). И найдется такая точка отведения ω_{rk} из $\langle \omega_{ji} \rangle$, для которой E_r будет иметь максимальное значение. Этот процесс описывает начальную (подсознательную) стадию обработки внешнего раздражителя. На следующем этапе мозгом вырабатывается реакция на осознаваемом уровне, т.е. включается вторая сигнальная система. Это явление достаточно изучено и представлено в работе Ухтомского [1] о распределении электрической активности мозга в зависимости от доминанты внимания. Сигнал области мозга максимально выражен, когда она является доминантной для обработки текущего стимула. Так как сигналы проходят последовательную обработку в различных областях мозга, для работы мозга характерно постоянное перераспределение активностей областей мозга.

Таким образом, реакция на внешнее раздражение последовательно складывается из функционирования первой и второй сигнальной системы и проявляется в сигнале ЭЭГ как перераспределение на отведениях электроэнцефалографа. В результате формируется временная последовательность максимумов и минимумов регистрируемой активности. Такая последовательность может рассматриваться как кодовая последовательность, характерная для текущей решаемой мозгом задачи распознавания и принятия решения. Обнаружение участков сигнала ЭЭГ (паттернов), связанных с такой реакцией в рамках структурно-лингвистического подхода, рассматривается как элемент языка сообщения, т.е. символ. Совокупность выделяемых символов, связанных с некоторым событием или рядом событий, следуя [2], будем называть *алфавитом сообщения*. Развитие структурно-лингвистического подхода к обработке ЭЭГ предполагает возможность определения динамики параметров функционального состояния (ФС) мозга, что в перспективе открывает возможность выработки сигналов человеко-машинного интерфейса по данным реакции мозга на внешнее раздражение. В качестве показателя «информационной насыщенности» сигналов ЭЭГ в проводимом исследовании используется показатель энтропии выделенного набора символов. Изменение показателя энтропии выделяемых алфавитов связывается с изменением ФС мозга, что является маркером выработки управляющего сигнала заданного технологического процесса.

Для проведения эксперимента была разработана следующая методика. Испытуемому оператору после периода покоя (релаксация 1—2 минуты) на экран монитора аperiodически предъявлялись эмоционально значимые слабые визуальные образы. Активность головного мозга фиксировалась методами стандартной электроэнцефалографии. В файле сигнала отмечались события предъявления визуальных образов. Сигналы ЭЭГ подвергались структурно-лингвистической обработке. Полученные кодовые последовательности

(сообщения) анализировались скользящим окном с расчетом показателя информационной энтропии выбранных последовательностей. Результаты динамической обработки в виде последовательно рассчитанных значений энтропии набора символов сигнала ЭЭГ, а также метки событий — моментов предъявления визуальных образов, представлены на рисунке.

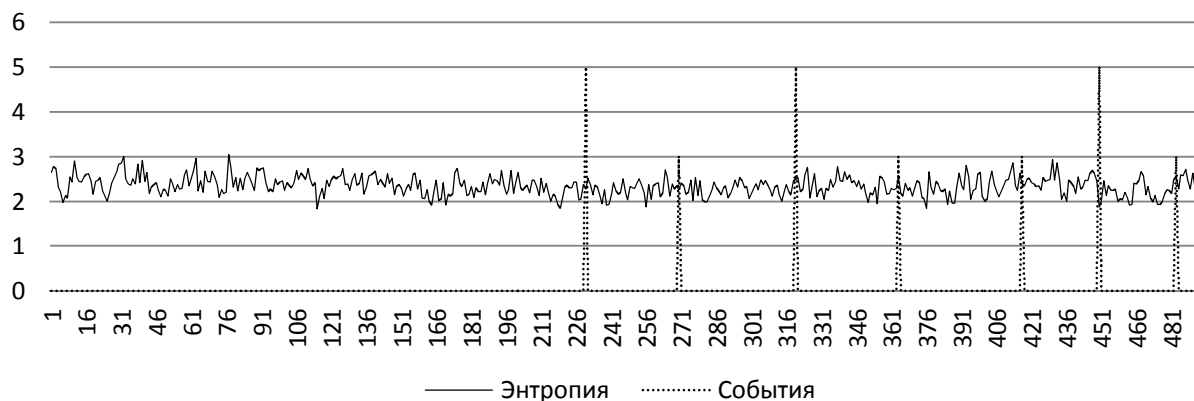


Рис. 1. Распределение интенсивности производства символов во времени

Полученные результаты обработки экспериментального материала показали, что:

- среднее значение показателя энтропии сигнала ЭЭГ от момента начала предъявления стимулов снижается по сравнению с аналогичным показателем до предъявления визуальных образов на 10%;
- снижение энтропии сигнала ЭЭГ происходит с вероятностью 0,8 после предъявления стимула;
- вероятностный характер изменения энтропии при предъявлении стимула связан с отсутствием достоверных данных психофизиологического эксперимента по оценке эмоциональной значимости стимула для испытуемого.

Полученные результаты соответствуют теоретическим представлениям о влиянии эмоционально значимых стимулов на распределение активности головного мозга человека в соответствии с доминантной теорией Ухтомского и могут рассматриваться как экспериментальное техническое доказательство известного факта, полученного в ходе психофизиологических опытов. Изменчивость параметров сигнала может быть использована для определения событий психофизиологического состояния испытуемого, а также стать основой для разработки интерфейса мозг-компьютер на базе структурно-лингвистического анализа электрофизиологических сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доминанта. СПб.; М.; Харьков; Минск, 2002.
2. Сенкевич Ю.И. Разработка математической модели и алгоритмов определения функционального состояния биологических объектов: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. СПб., 1998.
3. Сенкевич Ю.И., Дюк В.А., Попова Е.А., Артёмов С.И. Поиск устойчивых паттернов в электроэнцефалограмме человека в ответ на предъявление ему коротких подпороговых визуальных стимулов // Биотехносфера. 2013. № 1 (25).

REFERENCES

1. Dominant. St. Petersburg; Moscow; Kharkov; Minsk, 2002.
2. Senkevich Yu.I. Developing mathematical models and algorithms for determining the functional state of biological objects: Author's abstract of a dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences. Saint Petersburg, 1998.
3. Senkevich Yu.I., Diuk V.A., Popov E.A., Artemov S.I. Search for sustainable patterns in human electroencephalogram in response to short subliminal visual stimuli // Biotechnospha. 2013. № 1 (25).