

Методы вейвлетной обработки многоканальных данных ЭЭГ человека для поиска и диагностики осцилляторных паттернов, связанных с восприятием неоднозначных изображений

М.О. Журавлев^{1,2}, А.Е. Руннова^{1,2}, А.А. Короновский^{1,2}, В.В. Грубов^{1,2}, А.Е. Храмов^{1,2}

1 Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

2 Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

zhuravlevmo@gmail.com

Мозг является одним из наиболее сложных и загадочных объектов для комплексных исследований, привлекающий в последние десятилетия интерес широкой научной общественности [1 – 3]. Динамика мозга изучается специалистами из различных областей науки, в том числе нейрофизиологии, медицины, физики, математики, нелинейной динамики и т.д., и сочетание разнообразных подходов и проведение многопрофильных исследований зачастую предоставляет возможности для более глубокого понимания механизмов, лежащих в основе его динамики, и может открыть перспективные возможности в медицине и нейротехнологиях.

Одним из направлений исследования мозга является изучения визуального восприятия с помощью неоднозначных изображений (бистабильных объектов) [4 – 6]. При этом стоит отметить, что для понимания визуального восприятия и распознавания объектов восприятие бистабильных изображений является лишь одной, но весьма интересной задачей среди огромного количества различных аспектов. На сегодня основной механизм определения изображения не открыт полностью, однако, хорошо известно, что восприятие является продуктом процессов в распределенной сети затылочной, теменной и фронтальной области коры головного мозга [7, 8].

В рамках настоящей работы была проведена комплексная обработка многоканальных данных ЭЭГ человека с использованием непрерывного вейвлетного преобразования для дальнейшего поиска осцилляторных паттернов, возникающих при восприятии неоднозначных изображений (бистабильных объектов). В качестве объекта исследований бистабильных изображений был выбран куб Неккера [9, 10], который может восприниматься либо как правый куб, либо как левый куб в зависимости от интенсивности средних линий. В ходе эксперимента добровольцу предъявлялись кубы Неккера с различными значениями интенсивности средних линий, при этом куб демонстрировался в виде черных линий на белом фоне на экране компьютера. Между предъявлениями различных кубов участнику показывались фоновые цветные «размытые» картинки для отвлечения внимания. Время предъявления куба Неккера составляла 500 – 700 мс, пауза между двумя различными кубами составляла 1500 – 2000 мс. Все участники эксперимента были проинструктированы нажать левую или правую клавишу на панели управления в зависимости от первого восприятия демонстрируемого.

В дальнейшем многоканальные записи ЭЭГ были подвергнуты обработке с использованием непрерывного вейвлетного преобразования с комплексным материнским вейвлетом, которое для хаотического временного ряда осуществляется следующим образом [11, 12]:

$$W(s, t_0) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-t_0}{s} \right) dt, \quad (1)$$

где $x(t)$ – временная реализация хаотического сигнала, $\psi_{s,t_0}(t)$ – материнский вейвлет, s – временной масштаб, определяющий ширину вейвлета, символ "*" обозначает комплексное сопряжение. В качестве исследуемого сигнала $x(t)$ выступали многоканальные записи ЭЭГ, полученные с использованием программного и аппаратного оборудования Медиком МТД «Энцефалан – ЭЭГР – 19/26».

В качестве материнского вейвлета использовался комплексный вейвлет Морле [11, 12]:

$$\psi(\eta) = (1/\sqrt[4]{\pi}) \exp(j\Omega_0\eta) \exp(-\eta^2/2), \quad (2)$$

с параметром $\Omega_0 = 2\pi$, что обеспечивает однозначную взаимосвязь между временным масштабом s вейвлетного преобразования и частотой f фурье-преобразования, а именно $f = 1/s$.

С использованием непрерывного вейвлетного преобразования была проведено изучение многоканальной записи ЭЭГ человека, которому предъявляют бистабильные объекты (куб Неккера). При этом производилась оценка изменения частотной составляющей исходного сигнала ЭЭГ для каждого из каналов. С использованием вейвлетных поверхностей показано, что в записи ЭЭГ определяющим является диапазон частот от 1 Гц до 40 Гц. В дальнейшем для того, чтобы определить характерные осцилляторные паттерны, возникающие при восприятии человеком бистабильных объектов, было проведено усреднение вейвлетных поверхностей. Усреднение выполнялось для каждого значения интенсивности средних линий куба Неккера, при этом учитывалось каким был выбран куб правым или левым. Полученные усредненные вейвлетные поверхности для многоканальной записи ЭЭГ позволяют с высокой точностью детектировать осцилляторные паттерны, возникающие при решении человеком задачи о восприятии бистабильных объектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 16-12-10100), а также Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-32-00187).

ЛИТЕРАТУРА

1. A. E. Hramov, et al., *Wavelets in Neuroscience*, Springer Series in Synergetics. Springer, 2015.
2. M. F. Bear, et al., *Neroscience. Exploring the brain*. Woters Kluwer, 2015.
3. M. Chavez, et al., // *Phys. Rev. Lett.* 2010. V. 104, P. 118701.
4. D. A. Leopold, N. K. Logothetis, // *Trends in Cognitive Sciences* 1999. V. 3, P. 254.
5. R. Blake, N. K. Logothetis, // *Nature Reviews. Neuroscience* 2002. V. 3, P. 13.
6. A. N. Pisarchik, et al., // *Biological Cybernetics* 2014. V. 108, P. 397.
7. F. Tong, M. Meng, R. Blake, // *Trends in Cognitive Sciences* 2006. V. 10, P. 502.
8. P. Sterzer, et al., // *Trends in Cognitive Sciences* 2009. V. 13, P. 310.
9. L. A. Necker // *London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*. 1832. V. 5. № 1.
10. Ta'edd LK, Ta'eed O, Wright JE., // *BehavSci* 1988. V. 33, № 2, P. 97–115.
11. B. Torresani, *Continuous Wavelet Transform* Savoie, Paris, 1995
12. A.E Hramov. et. al. // *CHAOS*. 2006. V. 16, P. 043111.