

Модификация метода AWICA для подавления помех в сигналах ЭЭГ

Гужов В.И., Арешкин В.В., Винокуров А.А., Давыдов А.М.

ФГБОУ ВО НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация: Статья посвящена этапу работы нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ) - автоматической цифровой обработке сигналов электроэнцефалограмм (ЭЭГ). Поступающие сигналы ЭЭГ в нейрокомпьютерный интерфейс имеют большое количество шумов и артефактов различного происхождения (шумы от технических устройств, посторонние сигналы организма), поэтому этап обработки требует качественной автоматической фильтрации сигналов для успешного последующего анализа. Часть обработки производится средствами численных методов с помощью вычислительной техники. В данной статье рассмотрен метод «Автоматический анализ независимых вейвлет-компонент» (англ. Automatic Wavelet Independent Component Analysis, AWICA) для полностью автоматического процесса подавления помех и артефактов в сигналах электроэнцефалограмм, который основан на совместном использовании дискретного вейвлет-преобразования и метода независимых компонент (анализ независимых компонент). В методе AWICA количественная оценка шума вейвлет коэффициентов отрезков сигналов ЭЭГ основана на подсчете таких характеристик, которые также используются в качестве пороговых метрик: энтропия Реньи, коэффициент эксцесса. Для улучшения работы рассматриваемого метода в данной статье был предложен вариант модификации алгоритма его работы для повышения качества результата обработки сигналов за счет добавления дополнительной пороговой метрики: стандартная ошибка среднего на основе выборочной дисперсии. В статье приведены результаты эксперимента, в котором был применен улучшенный метод с использованием реальных данных снятых с помощью установки «ЭНЦЕФАЛАН 131-03». Результаты показали, что улучшенный метод применим для работы с реальными данными, и успешно подавляет артефакты различного происхождения и помехи в сигналах ЭЭГ.

Ключевые слова: обработка сигналов, нейрокомпьютерный интерфейс, электроэнцефалография (ЭЭГ), вейвлет-преобразование, метод независимых компонент.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы возникла необходимость разработки систем, обеспечивающих выработку управляющих воздействий от сигналов мозга на внешние устройства. Такие системы управления получили название - нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ, англ. *brain-computer interface, BCI*), принцип работы которых основан на обработке и анализе информации сигналов мозга для последующего управления различными объектами (виртуальными объектами, роботизированными протезами и т. д.).

Наиболее часто используемым методом записи активности головного мозга является электроэнцефалография (ЭЭГ, англ. *Electroencephalography, EEG*) – процесс снятия электрических потенциалов группы нейронов с поверхности головы [1, 2]. Но регистрация таких сигналов имеет ряд недостатков, одним из которых является большое количество помех и наличие сигналов, которые не связаны с активностью головного мозга. Такие сигналы, которые являются помехой, принято называть артефактами. Процесс предварительной обработки сигналов предполагает удаление артефактов из сигналов для эффективности последующего анализа.

Устройства нейрокомпьютерных интерфейсов предполагают работу в режиме реального времени, вследствие чего этап

обработки сигналов ЭЭГ должен быть полностью автоматическим.

В области обработки цифровых сигналов физиологического происхождения в последнее время чаще всего используются вейвлет-преобразование и метод независимых компонент (МНК, или анализ независимых компонент, АНК; англ. *Independent Component Analysis*) [3].

La Foresta и другие в своей работе [4] представили метод подавления артефактов WICA, основанный на совместном использовании дискретного вейвлет-преобразования и метода независимых компонент. Метод был успешно применен для удаления артефактов электрокардиографии (методики регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца.). Недостатком является отсутствие полной автоматизации работы, поскольку метод требует участие человека в процессе выбора зашумленных компонент в результатах вейвлет-преобразования.

Nadia Mammone в своей работе [5] представили автоматический вариант метода на основе использования дискретного вейвлет-преобразования и метода независимых компонент и назвали его AWICA (англ. *automatic wavelet independent component analysis*). Метод позволяет автоматически подавлять артефакты из многоканальных записей ЭЭГ. Данный метод показал хороший результат при работе с искусственно

созданными записями ЭЭГ, в которых моделировались артефакты от электрического источника питания, помехи от мышечной активности и от моргания глаз.

В данной статье рассмотрен улучшенный метод автоматического подавления артефактов AWICA [4] и приведен результат экспериментальной проверки работы метода с использованием данных, полученных на электроэнцефалографе «Энцефалан 131-03» [6].

I. РИТМЫ МОЗГА И ВИДЫ ПОМЕХ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Электроэнцефалография (ЭЭГ) - метод исследования деятельности головного мозга животных и человека; основан на суммарной регистрации биоэлектрической активности отдельных зон, областей, долей мозга [1]. Ритмы активности головного мозга, которые представляют собой полезные сигналы для НКИ, приятно делить на несколько групп.

Альфа-ритм представляет собой колебания частотой 8–13 Гц и амплитудой в пределах 40–100 мкВ. Проявляется в моменты расслабленного состояния бодрствования, покоя организма.

Бета-ритм – колебания частотой 14–40 Гц и амплитудой в пределах 5–20 мкВ. Проявляется в моменты активного бодрствования, сосредоточении, стадии быстрого сна или при решении сложных вербальных задач.

Гамма-ритм – колебания потенциалов электроэнцефалограммы в диапазоне от 30 Гц до 120–170 Гц с амплитудой до 10–15 мкВ. Гамма-ритм проявляется в моменты решения различных задач, требующих максимального сосредоточенного внимания.

Дельта-ритм – колебания частотой от 1 до 4 Гц с амплитудой в пределах 20–200 мкВ. Возникает в моменты сна и низким уровнем активности.

Тета-ритм – колебания частотой от 4 до 8 Гц с амплитудой от 20 до 100 мкВ. Проявляется при расслабленном бодрствовании и в начальном и конечном этапе сна.

Помимо различных ритмов активности мозга, в ЭЭГ отражаются и другие сигналы, которые принято считать помехами. Помехи по

их происхождению принято делить на две основные группы [7, 8].

К первой группе помех относятся сигналы физической природы, например, помехи от внешних электрических полей, шумы средств измерения, аппаратные неисправности электроэнцефалографической установки и т. д. С данной группой шумов справляются классические методы фильтрации сигналов, например, линейные фильтры или непосредственное исправление аппаратных недостатков НКИ.

Ко второй группе помех относят помехи физиологической природы, которые принято называть артефактами. Артефакты появляются вследствие жизнедеятельности организма человека, с которого происходит запись ЭЭГ. Например, физиологическими артефактами является движение мышц, движение головы, сердцебиение и пульсация кровяных сосудов вблизи датчиков электроэнцефалографа. Но наиболее заметными артефактами для записей ЭЭГ являются сигналы, которые появляются в результате движения и моргания глаз пациента и проявляются в виде высокоамплитудных медленных колебаний потенциала (частотой порядка 1–3 Гц) [7, 8]. Такие сигналы принято называть электроокулограммами (ЭОГ). Артефакты физиологической природы являются основной проблемой при обработке записей ЭЭГ из-за наибольшего искажения исходного сигнала и из-за сложности распознавания.

II. МЕТОД AWICA

Метод автоматического подавления помех на основе использования вейвлет-преобразования и метода независимых компонент (AWICA) представлен в работе [6] и предложен для автоматической цифровой обработки сигналов ЭЭГ. Метод основан на неавтоматическом методе удаления артефактов WICA [4], основная идея которого заключается в поиске независимых компонент в отобранных наборах коэффициентов вейвлет преобразования, в которых присутствуют компоненты помехи.

Полная схема работы метода AWICA представлена на Рис. 1.

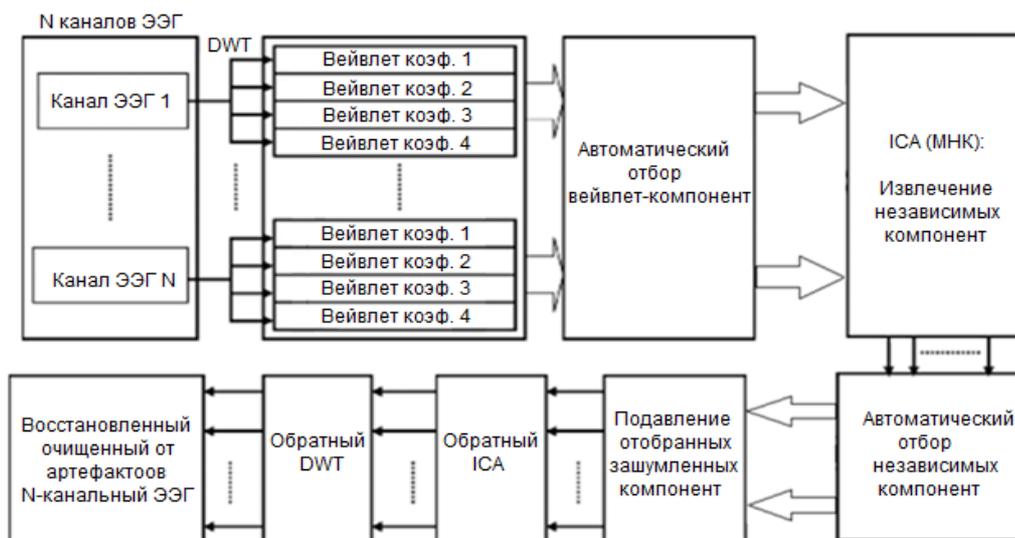


Рис. 1. Схема алгоритма метода AWICA

Входными данными являются N векторов каналов ЭЭГ с фиксированной длиной, которая должна соответствовать значению определенной степени двойки. Каждый сигнал по отдельности подвергается многоуровневому дискретному вейвлет-преобразованию (*DWT*, англ. *discrete wavelet transform*) с использованием пирамидального алгоритма Малла [9], результатом которого является набор векторов вейвлет-коэффициентов, каждый из которых описывает частоту на определенном масштабе.

Вейвлет-преобразование получило широкое распространение в области нейрофизиологических исследований из-за своих достоинств при работе с нестационарными временными рядами, примерами которых и являются сигналы ЭЭГ. Методы, основанные на вейвлет-преобразовании, обеспечивают лучшую точность и разрешение чем методы, основанные на преобразовании Фурье [10–12].

Вектора вейвлет-коэффициентов проходят автоматический отбор компонент, в которых присутствует составляющие помех, который заключается в расчете для каждого вектора значения двух пороговых характеристик: энтропия Реньи и коэффициент эксцесса. Энтропия Реньи – обобщение энтропии Шеннона, является количественной мерой неопределенности или случайности системы (сигнала):

$$H_{\alpha}(X) = \frac{1}{1-\alpha} \log \left(\sum_{i=1}^n p_i^{\alpha} \right). \quad (1)$$

Коэффициент эксцесса – мера остроты пика распределения случайной величины:

$$K = \left(\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right) - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}. \quad (2)$$

После подсчета пороговых значений характеристик для каждого вектора коэффициентов вейвлет разложения, производится нормирование результатов

расчетов к нулевому среднему и единичной дисперсии.

Если нормированное значение энтропии Реньи или коэффициента эксцесса вектора вейвлет коэффициентов превышает значение первого изначально заданного порога, то это значит, что данный вектор содержит составляющие артефакта, который необходимо удалить из сигнала.

После отбора вектора коэффициентов разных каналов ЭЭГ группируются по длине и подвергаются следующему этапу обработки – поиску независимых компонент.

Метод независимых компонент (*ICA*, англ. *independent component analysis*) – метод нахождения преобразования с независимыми компонентами входных векторов данных [3, 10]. МНК является классическим методом решения задачи слепого разделения источников (*BSS*, англ. *Blind source separation*). Суть метода заключается в поиске в наборе входных сигналов, представляющего смесь независимых источников, независимые компоненты, обладающие статистической независимостью и негауссовым распределением.

В основе стандартного метода независимых компонент лежат следующие допущения:

- независимые компоненты статистически независимы;
- независимые компоненты должны иметь негауссово распределение.

В матричной форме суть метода можно выразить следующим образом:

$$X = AS, \quad (3)$$

где X – набор наблюдаемых векторов, A – матрица коэффициентов смещения (или матрица весов для перехода из пространства S в пространство X), S – матрица значений векторов независимых компонент.

Суть метода заключается в поиске значений матрицы S и A , при только известных значениях наблюдаемой матрицы X .

На сегодняшний день имеется множество алгоритмов, которые реализуют метод независимых компонент. Наиболее известные из них *Infomax*, *FastICA* [3].

Метод независимых компонент применяется для отобранных векторов вейвлет коэффициентов, результатом которого являются вектора независимых вейвлет компонент. Полученные вектора подвергаются очередному отбору посредством подсчета энтропии Реньи, коэффициента эксцесса с уже вторыми пороговыми значениями данных характеристик. Процесс удаления составляющих артефакта из сигналов заключается в занулении значений отобранных векторов независимых вейвлет компонент в матрице S .

Затем производится восстановление исходных сигналов ЭЭГ посредством подсчета новой матрицы X и применения обратного дискретного вейвлет преобразования.

III. МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА AWICA

Для улучшения качества поиска компонент артефактов в вейвлет коэффициентах предложено ввести дополнительную пороговую метрику – стандартную ошибку среднего на основе выборочной дисперсии, которая рассчитывается следующим образом:

$$SE_x = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где s – стандартное отклонение, n – количество отсчетов сигнала.

Низкочастотные помехи увеличивают разброс среднего значения вейвлет коэффициентов в последних уровнях разложения, что фиксирует значение стандартной ошибки.

Добавление дополнительной пороговой метрики на обоих этапах отбора зашумленных компонент алгоритма *AWICA* увеличивает количество выбираемых векторов низкочастотных компонент. В результате чего производится более качественное подавление низкочастотных артефактов.

Для увеличения производительности работы алгоритма предложено использование алгоритма *FastICA* для выполнения метода

независимых компонент, поскольку данный алгоритм имеет большую скорость выполнения [8], чем используемый алгоритм *Infomax*, который в настоящее время используется в методе *AWICA*.

IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Для снятия сигналов с поверхности головы использовался электроэнцефалограф-анализатор «Энцефалан-131-03». В данной модификации устройства имеется 19 каналов для записи ЭЭГ с чувствительностью датчиков с диапазоном от 0.1 до 200 $\mu\text{В/мм}$ (Рис. 2). Датчики располагаются по международной системе размещения электродов «10–20» [5].

Для обработки сигналов в устройстве используется фильтр низких частот с окном в 5–70 Гц и фильтр верхних частот с окном в 0.016–16 Гц . Также используется режекторный фильтр с полосой 50–60 Гц . Связь устройства с компьютером обеспечивается средствами интерфейса *USB*.

Модифицированный алгоритм *AWICA* был реализован в виде программной библиотеки, написанной с использованием низкоуровневого языка *C*.



Рис. 2. Внешний вид аппарата «Энцефалан» и шапочки с электродами.

Для экспериментальной проверки работы алгоритма, в качестве входных данных была произведена запись 19-канальной ЭЭГ длиной в 2048 отсчетов с частотой дискретизации в 250 Гц . Графики записей исходных сигналов с наличием артефактов, приведены на Рис. 3.

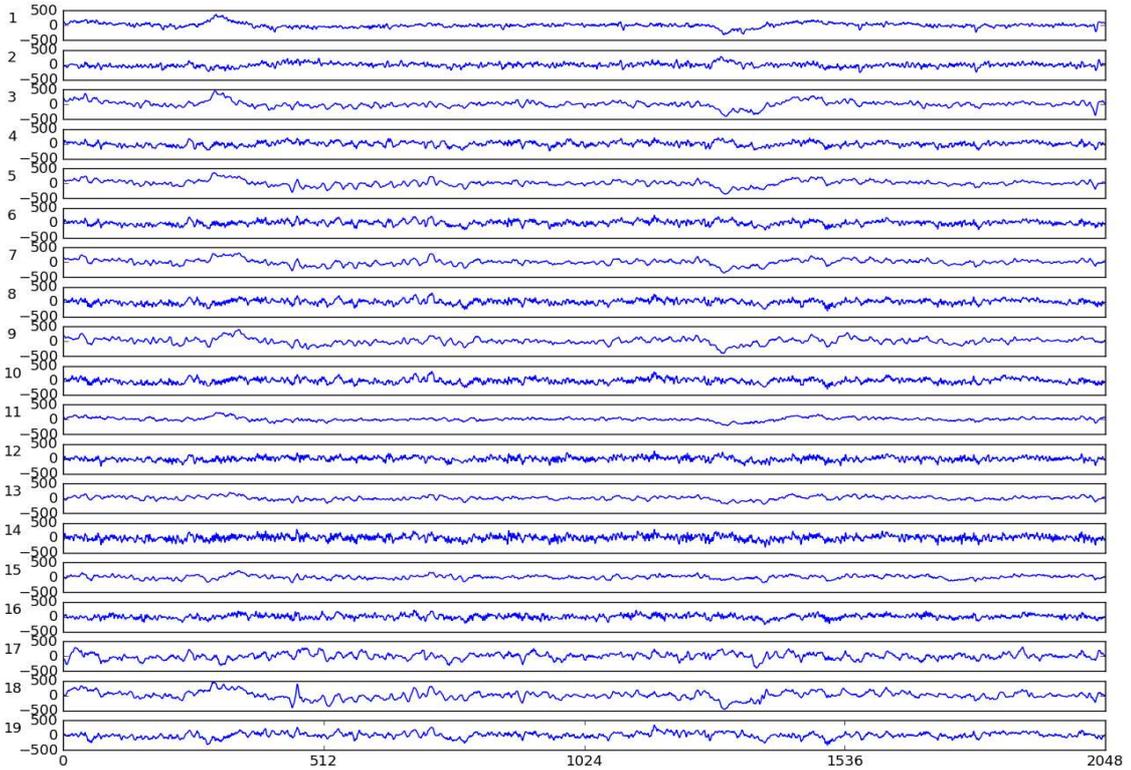


Рис. 3. Исходные записи ЭЭГ с устройства «Энцефалан-131-03»

Результат работы библиотеки по подавлению помех приведен на Рис. 4, на котором синем цветом отмечен исходный

сигнал ЭЭГ, а зеленым отмечен сигнал после обработки.

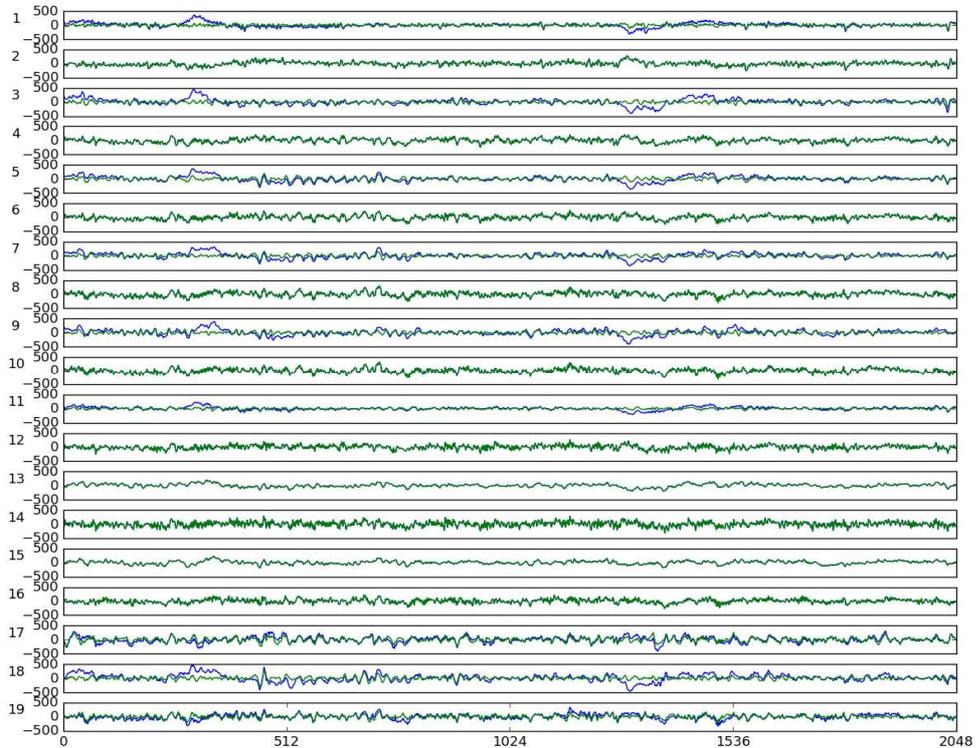


Рис. 4. Синий – исходный сигнал, зеленый – результат обработки улучшенным методом AWICA

На Рис. 5 приведен увеличенный масштаб канала №3 ЭЭГ где синим цветом отмечен

исходный сигнал, зеленым отмечен обработанный сигнал.

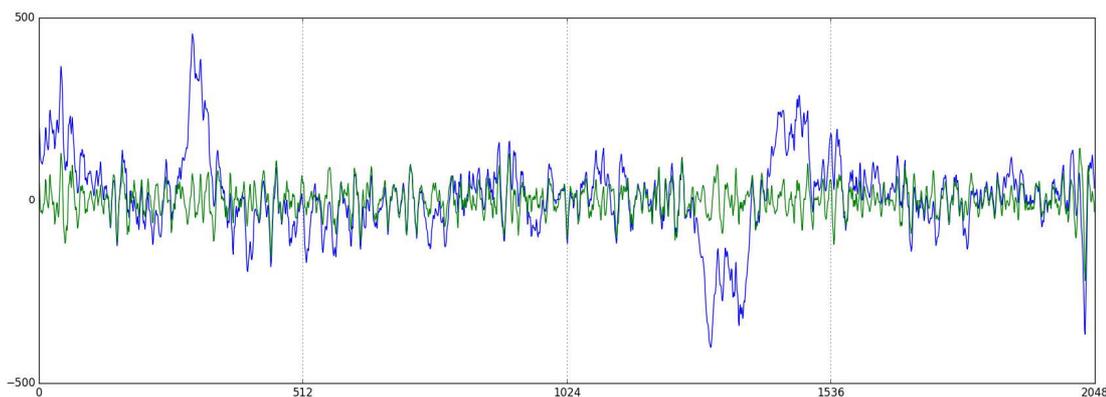


Рис. 5. Увеличенный масштаб канала №3; синий – исходный сигнал, зеленый – сигнал после обработки

Как видно из результатов, на основе визуальной оценки можно сказать, что каналы (под номерами 1, 3, 5, 7, 9, 11, 17, 18, 19), содержащие артефакты, были подвержены процедуре обработки, в результате которой наблюдается подавление резких скачков напряжения. Каналы, пороговые характеристики которых не превысили заданные значения (2, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16), не были подвержены обработке.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрен модифицированный метод подавления помех в сигналах электроэнцефалограмм AWICA, который основан на совместном использовании дискретного вейвлет-преобразования и метода независимых компонент. Введение в алгоритм подсчета дополнительной пороговой метрики – стандартного отклонения, значительно улучшило его характеристики.

Осуществлена программная реализация алгоритма в виде программной библиотеки на языке C.

Проведена экспериментальная проверка работы модифицированного алгоритма, которая показала, что метод хорошо устраняет артефакты, вызванные нежелательными движениями или морганием глаз в процессе съемки сигналов ЭЭГ. Полученные результаты позволяют использовать этот алгоритм для устранения и других артефактов

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Методы исследования структуры и функционального состояния головного мозга. / Гужов В.И., Винокуров А.А. // Автоматика и программная инженерия, Новосибирск, – 2014.- №3(9) – С. 80 – 88.
- [2] Пространственная локализация функций в коре головного мозга. / А.А. Винокуров, В.И. Гужов, И.О. Марченко, М.А. Савин // Инженерный вестник Дона : электрон. науч. журн. - 2015. - № 4. (ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3343)
- [3] Independent Component Analysis / Aapo Hyvärinen, Juha Karhunen, Erkki Oja // ISBN: 978-0-471-40540-5 2001 504p.
- [4] Wavelet-ICA methodology for efficient artifact removal from electroencephalographic recordings,

N. Mammone, F. C. Morabito, G. Inuso, and F. La Foresta // inProc. Int. Joint Conf. Neural Networks (IJCNN 2007), Orlando, FL, pp. 1524–1529.

- [5] Automatic Artifact Rejection From Multichannel Scalp EEG by Wavelet ICA / Nadia Mammone, Fabio La Foresta, Francesco Carlo Morabito // IEEE sensors journal. – 2012. – Vol. 12, no. 3. – doi: 10.1109/JSEN.2011.2115236 .
- [6] Электроэнцефалографы-анализаторы ЭЭГА-21/26 "Энцефалан-131-03" [Электронный ресурс] : официальный Web-сайт компании Медиком МТД // URL: http://www.medicom-mtd.com/htm/Products/eega_temp.html (дата обращения 10.01.2018)
- [7] Обзор методов обработки сигнала электроэнцефалограммы в интерфейсах мозг-компьютер / Сотников П.И. // Инженерный вестник № 10, октябрь 2014, Издатель ФГБОУ ВО "МГТУ им. Н.Э. Баумана".
- [8] Артефакты при электроэнцефалографическом исследовании: выявление и дифференциальный диагноз / С.А. Гуляев, И.В. Архипенко // Рус. жур. дет. невр.: т. VII. вып. 3, 2012. – 15 с.
- [9] Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. / Яковлев А.Н. // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
- [10] Вейвлеты в нейродинамике и нейрофизиологии / Короновский А.А., Макаров В.А., Павлов А.Н., Ситникова Е.Ю., Храмов А.Е. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 272 с.
- [11] Фильтрация цифровых сигналов в режиме непрерывного поступления данных / К. В. Аксенов, В. П. Алексеев // Компьютерные исследования и моделирование. – 2012. – №1. – С. 55-61.
- [12] Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 440 с.



Владимир Гужов - профессор кафедры ССОД Новосибирского Государственного Технического университета, профессор, доктор технических наук. Автор более 200 научных работ. Область научных интересов: высокоточные интерференционные измерения, биотехнические системы. E-mail: vigguzhov@gmail.com

630073, Новосибирск, просп.
К.Маркса, д. 20



Владислав Арешкин – магистр кафедры вычислительной техники НГТУ.
E-mail: avladislavv@gmail.com
630073, Новосибирск, просп.
К.Маркса, д. 20



Александр Давыдов – аспирант кафедры систем сбора и обработки данных НГТУ.
E-mail: dabbidob.ajiekc@gmail.com
630073, Новосибирск, просп.
К.Маркса, д. 20

Статья поступила 25 января 2018 г.



Андрей Винокуров – аспирант кафедры систем сбора и обработки данных НГТУ.
E-mail: awin56rus@gmail.com
630073, Новосибирск, просп.
К.Маркса, д. 20

Modification of the AWICA Method for Suppressing Interference in Electroencephalography Signals

V.I. Guzhov, V.V. Areshkin, A.A. Vinokurov, A.M. Davidov

Abstract. The article is devoted to phase of brain-computer interface (BCI) operation - automatic digital signal processing of electroencephalograms (EEG). The signals processing phase requires high-quality automatic filtering for successful further analysis because EEG signals have a large number of noise and artifacts of various origins (noises from technical devices, noncerebral signals, etc). In this paper a method Automatic Wavelet Independent Component Analysis (AWICA) for fully automates process of EEG artifacts removal based on the joint use of the Wavelet Transform and of Independent Component Analysis is considered. In the AWICA method, the noise estimation of the wavelet coefficients of signals is based on the threshold metrics: Reni's entropy and kurtosis. In the article improvement the operation of the AWICA method by adding an additional threshold metric of standard error is presented. In the article the results of the experiment of using the improved AWICA method with using of the real EEG data is presented. The EEG data were obtained by using an «Encephalan-131-03» device. The results show that the improved AWICA method is applicable for working with real data, and successfully rejects EEG signals artifacts of various origins.

Key words: signal processing, neurocomputer interface, electroencephalography (EEG), wavelet transform, independent component method.

REFERENCES

- [1] Metody issledovaniya struktury i funktsional'nogo sostojaniya golovnogogo mozga. / Guzhov V.I., Vinokurov A.A. // Avtomatika i programmnaja inzhenerija, Novosibirsk, - 2014.-№3(9) – S. 80 – 88.
- [2] Prostranstvennaja lokalizacija funkcionij v kore golovnogogo mozga. / A.A. Vinokurov, V.I. Guzhov, I.O. Marchenko, M.A. Savin // Inzhenernyj vestnik Dona: jelektron. nauch. zhurn. - 2015. - № 4. (ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3343)
- [3] Independent Component Analysis / Aapo Hyvärinen, Juha Karhunen, Erkki Oja // ISBN: 978-0-471-40540-5 2001 504p.
- [4] Wavelet-ICA methodology for efficient artifact removal from electroencephalographic recordings./ N. Mammone, F. C. Morabito, G. Inuso, and F. La Foresta // inProc. Int. Joint Conf. Neural Networks (IJCNN 2007), Orlando, FL, pp. 1524–1529.
- [5] Automatic Artifact Rejection From Multichannel Scalp EEG by Wavelet ICA / Nadia Mammone, Fabio La Foresta, Francesco Carlo Morabito // IEEE sensors journal. – 2012. – Vol. 12, no. 3. – doi: 10.1109/JSEN.2011.2115236 .
- [6] Jelektrojencefalografy-analizatory JeJeGA-21/26 "Jencefalan-131-03" [Jelektronnyj resurs] : oficial'nyj Web-sajt kompanii Medikom MTD // URL: http://www.medicom-mtd.com/htm/Products/eega_temp.html (10.01.2018)
- [7] Obzor metodov obrabotki signala jelektrojencefalogrammy v interfejsah mozg-komp'juter / Sotnikov P.I. // Inzhenernyj vestnik N 10, oktjabr' 2014, Izdatel' FGBOU VO "MGTO im. N.Je. Baumana".
- [8] Artefakty pri jelektrojencefalograficheskom issledovanii: vyjavlenie i differencial'nyj diaznos / S.A. Guljaev, I.V. Arhipenko // Rus. zhur. det. nevr.: t. VII. vyp. 3, 2012. – 15 s.
- [9] Vvedenie v vejevlet-preobrazovanija: Ucheb. posobie. / Jakovlev A.N. // Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2003. – 104 s.
- [10] Vejevlety v nejrodinamike i nejrofiziologii / Koronovskij A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Ju., Hramov A.E. // M.: FIZMATLIT, 2013. – 272 s.
- [11] Fil'tracija cifrovyh signalov v rezhime nepreryvnogo postuplenija dannyh / K. V. Aksenov, V. P. Alekseev // Komp'juternye issledovanija i modelirovanie. – 2012. – №1. – S. 55-61.
- [12] Rangajjan R. M. Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskij podhod / Per. s angl. pod red. A.P. Nemirko – M.: FIZMATLIT, 2007. 440 s.



Vladimir Guzhov is professor at the Novosibirsk State Technical University, Professor, Doctor of technical sciences. The author of more than 200 scientific works. Area of scientific interests: high-precision interference measurements, biotechnical systems.

E-mail: vgguzhov@gmail.com

630073, Novosibirsk, prosp. K.Marksa, house 20



Vladislav Areshkin is a master of computer science at the Novosibirsk State Technical University.

E-mail: avladislavv@gmail.com

630073, Novosibirsk, prosp. K.Marksa, house 20



Andrey Vinokurov is postgraduate student of the Department of Data Acquisition and Processing Systems at the Novosibirsk State Technical University.

E-mail: awin56rus@gmail.com

630073, Novosibirsk, prosp. K.Marksa, house 20



Alexander Davydov - postgraduate student of the Department of Data Acquisition and Processing Systems at the Novosibirsk State Technical University.

E-mail: dabbidob.ajiekc@gmail.com

630073, Novosibirsk, prosp. K.Marksa, house 20

The paper was received on January 25, 2018.