

ПРИМЕНЕНИЕ МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ОТ ОКУЛЯРНЫХ АРТЕФАКТОВ

Ляхов П.А, Киладзе М.Р.

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, РФ

E-mail: mrkiladze@ncfu.ru

Электроэнцефалография является самым простым способом записи активности головного мозга, однако при этом возникают артефакты, которые влияют на интерпретацию сигналов электроэнцефалограммы. В статье предложен метод медианной фильтрации для очистки сигналов ЭЭГ. Проведено сравнение методов очистки от глазодвигательных артефактов с помощью медианной фильтрации и адаптивного алгоритма на основе вейвлетов Хаара, Добеши и коифлетов. Предложенный метод медианной фильтрации, примененный к сигналам электроэнцефалограммы, показал хороший результат в сравнении с известным адаптивным методом.

Ключевые слова электроэнцефалограмма, электроокулограмма, артефакты, вейвлет-преобразование, медианная фильтрация

Введение

Ежегодно увеличивается количество людей, потерявших конечности либо утративших возможность двигаться. Одним из способов улучшения их качества жизни являются интерфейсы мозг-компьютер [1]. Их используют для создания робототехнических протезов и экзоскелетов [2]. Также интерфейсы «Мозг – Компьютер» используют для создания игр виртуальной реальности [3], умных домов [4], инвалидных колясок [5] и печатных приложений [6].

В качестве входного сигнала интерфейсы «Мозг – Компьютер» применяют сигналы электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [7]. Процедура записи ЭЭГ считается самой простой для считывания сигналов с коры головного мозга, так как она неинвазивна и не требует больших ресурсных затрат [8].

При записи сигналов ЭЭГ часто возникают помехи, которые называют артефактами ЭЭГ. Артефакты разделяют на физиологические и физические [8]. Под физиологическими понимают помехи, созданные деятельностью человека, например моргание глаз, биение сердца, мышечные импульсы [9], а под физическими – помехи, созданные аппаратурой, напряжением сети и т. д. [8]. Очистка сигналов ЭЭГ от артефактов необходима для корректной работы интерфейсов «Мозг – Компьютер».

В настоящее время артефакты на сигналах ЭЭГ являются большой проблемой для врачей, ученых, занимающихся психиатрией, и разработчиков интерфейсов мозг-компьютер. Артефакты способны настолько исказить полученные данные, что результат моделирования становится непредсказуемым вплоть до его технической реализации. Чтобы решить эту проблему, необходимо проводить моделирование интерфейсов

мозг-компьютер с уже очищенными от артефактов сигналами ЭЭГ.

Существуют различные способы удаления помех с сигналов ЭЭГ, например методы шумоподавления на основе вейвлетов [10], методы временной или частотной регрессии [11; 12], анализ главных компонент [13].

В этой статье мы предлагаем использовать метод медианной фильтрации для удаления глазодвигательных артефактов. Также проведем сравнение предложенного метода с адаптивным алгоритмом, представленным в [14]. Медианная фильтрация была выбрана нами в связи с ее способностью подавлять слабо коррелированные помехи [15].

Сигналы электроэнцефалограммы и окулярные артефакты на них

Изменения напряжения, вызванные движениями глаз и морганием, преобладают над другими физиологическими загрязняющими сигналами [16]. Человеческий глаз можно смоделировать как электрический диполь, образованный положительной роговицей и отрицательной сетчаткой, и между этими двумя противоположными зарядами существует разность потенциалов около 100 мВ. Глазное яблоко действует как диполь с положительным полюсом, ориентированным вперед (роговица), и отрицательным полюсом, ориентированным сзади (сетчатка). Когда глазное яблоко вращается вокруг своей оси, оно генерирует поле переменного тока большой амплитуды, которое можно обнаружить с помощью любого электрода рядом с глазом [17]. Следовательно, моргание или движение глазами создает большой электрический потенциал вокруг глаз, который известен как электроокулограмма (ЭОГ). Это нецеребральная активность, которая распространя-

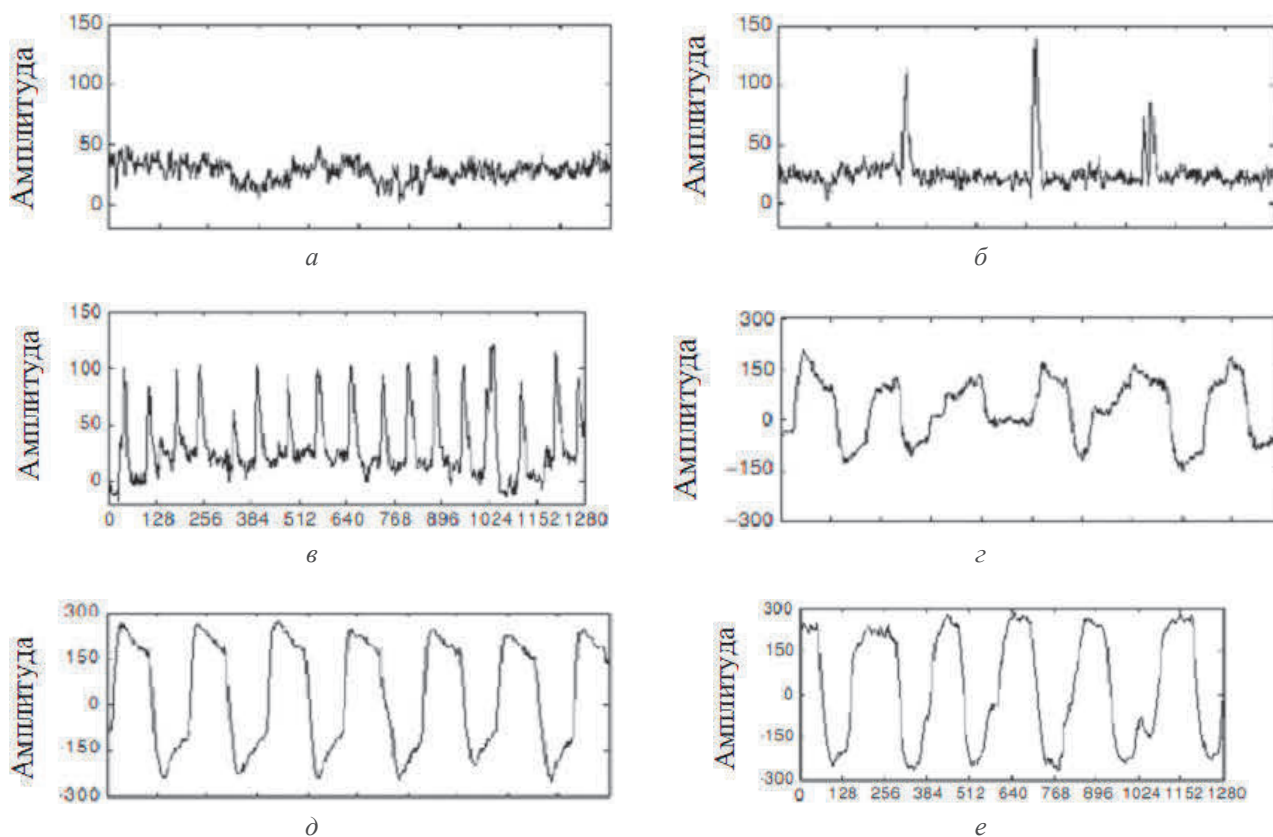


Рисунок 1. Глазные артефакты: *a* – чистая исходная ЭЭГ; *б* – ЭЭГ, загрязненная артефактом медленного мигания; *в* – ЭЭГ, загрязненная артефактом быстрого мигания; *г* – ЭЭГ, загрязненная артефактом вертикального движения глаз; *д* – ЭЭГ, загрязненная артефактом горизонтального движения глаз; *е* – ЭЭГ, загрязненная артефактом круглого движения глаз [10]

ется по коже головы и загрязняет ЭЭГ. Эти потенциалы называются окулярными артефактами (ОА) [14].

Форма волны ЭОГ зависит от направления движения глаз. Вертикальные, горизонтальные и круговые движения глаз образуют волны ЭОГ квадратной формы, в то время как моргание вызывает всплески, как показано на рисунке 1. ОА выступают в качестве основного источника шума, из-за чего врачам трудно отличить нормальную активность мозга от аномальной. Следовательно, процедура контроля для фильтрации ОА из ЭЭГ важна для правильной интерпретации ЭЭГ [14].

Среди известных методов удаления глазодвигательных артефактов наиболее точным считается адаптивный алгоритм масштабирования по времени с мягкой пороговой функцией [14].

Разработанный алгоритм подавления окулярных артефактов на электроэнцефалограмме

Предлагаемый метод удаления глазодвигательных артефактов включает в себя следующие шаги.

1. Определение наличия артефакта на потоке сигналов ЭЭГ.

2. Определение размера окна медианного окна.

3. Удаление обнаруженных артефактов медианным фильтром.

Для определения наличия артефакта на потоке сигналов ЭЭГ необходимо задать пороговое значение $x_{пор}$, которое зависит от индивидуальных особенностей организма испытуемого.

Все значения сигналов ЭЭГ, которые по модулю больше значения $x_{пор}$, являются артефактами и подлежат удалению. В потоке сигналов ЭЭГ могут быть как одинарные, так и интервальные элементы артефактов. Размер окна медианного фильтра зависит от максимального размера интервального артефакта и определяется как

$$w = n + k, \quad (1)$$

где w – размер медианного окна; n – размер интервального артефакта; k – подобранный коэффициент, задаваемый пользователем.

Следующий этап – удаление артефакта с помощью медианного фильтра. Медианная фильтрация широко используется для подавления шумов на изображении, однако медианный фильтр

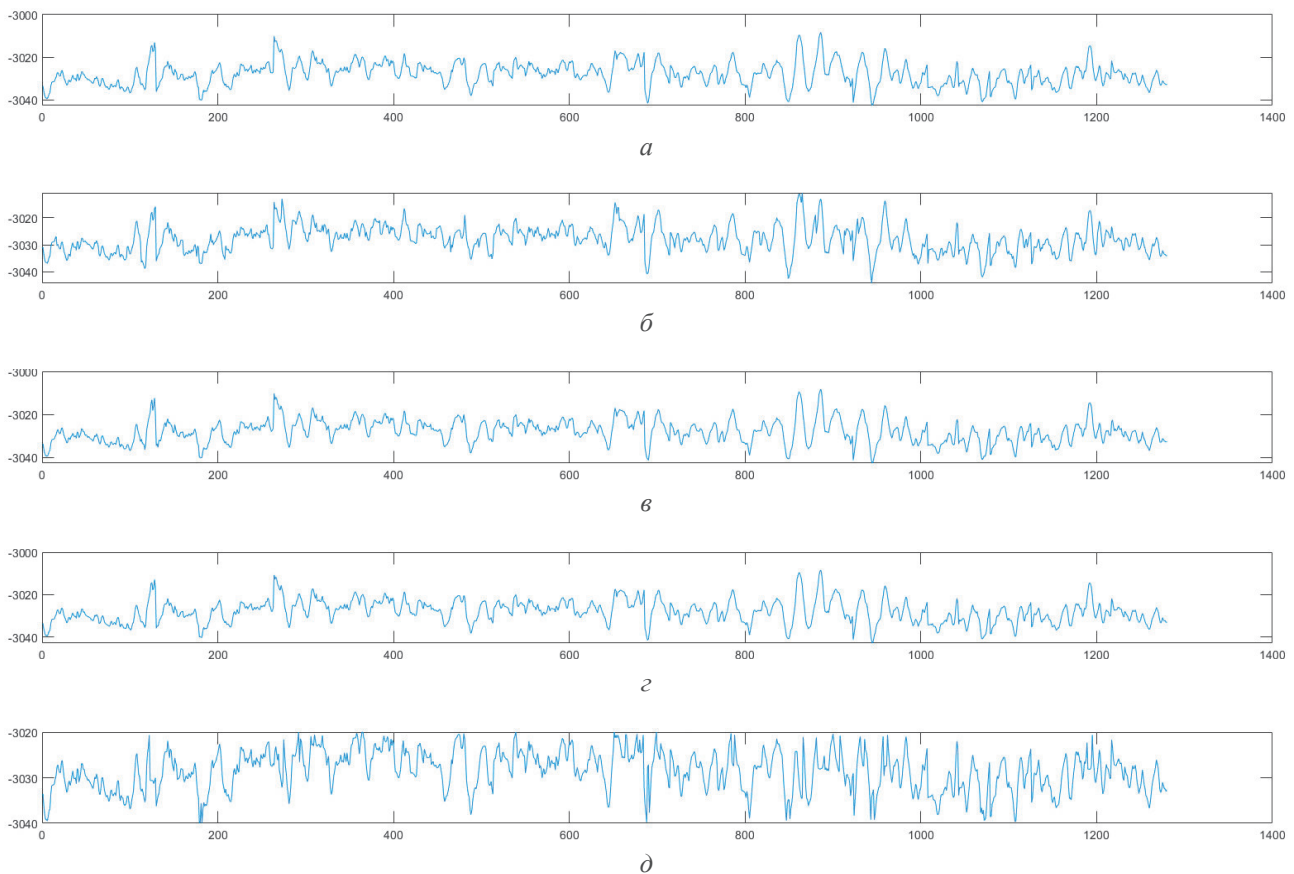


Рисунок 2. Результаты математического моделирования: *а* – ЭЭГ загрязненное; *б* – адаптивный алгоритм с вейвлет-преобразованием Коифлет; *в* – адаптивный алгоритм с вейвлет-преобразованием Добеши; *г* – адаптивный алгоритм с вейвлет-преобразованием Хаара; *д* – медианная фильтрация

также способен подавлять слабо коррелированные сигналы, что позволят нам применить этот метод для удаления артефактов с сигналов ЭЭГ [19; 20].

Медианный фильтр представляет собой оконный фильтр, последовательно скользящий по массиву сигнала ЭЭГ и возвращающий на каждом шаге один из элементов, попавших в окно фильтра.

Обозначим поток сигналов ЭЭГ в качестве массива:

$$\text{ЭЭГ}_{\text{исх}} = \{x(n-w), \dots, x(n), \dots, x(n+w)\}.$$

Сглаживающий медианный фильтр обрабатывает входной массив следующим образом:

$$\text{ЭЭГ}_{\text{очи}} = \text{median}\{x(n-x_{cp}), \dots, x(n), \dots, x(n+x_{cp})\} = \text{median}\{x_i(n), \dots, x_w(n)\},$$

где $x_i(n) = x(n-w+1-i)$, для $i = 1, 2, \dots, w$, то есть происходит упорядочивание значений, и сигналы, являющиеся артефактами, заменяются медианным значением, вычисленным из остальных сигналов окна. При четном числе сигналов ЭЭГ, не являющихся артефактами, медианное значение вычисляется по формуле

$$\text{median}\{x\} = \frac{x_{\frac{w}{2}} + x_{\frac{w}{2}+1}}{2}, \quad (2)$$

при нечетном числе:

$$\text{median}\{x\} = x_{\frac{w+1}{2}}. \quad (3)$$

Пример. Для части массива ЭЭГ, состоящего из 10 элементов. Пусть $x_{\text{ноп}} = 5$, $n = 2$, $k = 2$ и $\{-3, -4, 7, 8, 4, 4, 2, 1, -1, 0\}$.

Число сигналов с артефактом равно 2 (третий и четвертый элементы), значит, окно фильтра будет иметь размер $2 + 2 = 4$. Окно медианной фильтрации для третьего элемента примет вид $\{-4, x_1, x_2, 4\}$. Вычислим элемент x_1 :

$$x_1 = (-4 + 4) : 2 = 0.$$

Окно медианной фильтрации для четвертого элемента примет вид $\{x_1, x_2, 4, 4\}$. Вычислим элемент x_2 :

$$x_2 = (4 + 4) : 2 = 4.$$

Очищенный сигнал ЭЭГ будет иметь вид:

$$\{-3, -4, 0, 4, 4, 4, 2, 1, -1, 0\}.$$

Далее покажем, что медианный фильтр при оптимально выбранном окне может без искажений сохранить пики сигналов ЭЭГ, подавляя не-

коррелированные и слабо коррелированные помехи и малоразмерные детали.

Моделирование удаления окулярных артефактов с потока сигналов ЭЭГ

Моделирование предложенного нами метода и его сравнение с известным методом [14] было произведено в среде MatLab R2020b. Наиболее ярко артефакты ЭОГ отмечаются на датчиках ЭЭГ, расположенных ближе к глазам, а именно F7, F3, F4, F8 [21]. Для проведения моделирования нами были использованы сигналы с датчика F3.

Для реализации известного метода (адаптивного алгоритма) были использованы дискретные вейвлет-преобразования Хаара, Добеши, Коифлета. При реализации метода медианной фильтрации мы использовали $n = 10$ и $k = 2$. На рисунке 2 показаны результаты работы реализованных методов.

При визуальной оценке сигналов ЭЭГ видно, что метод медианной фильтрации качественнее удаляет артефакты. Для математической оценки предложенного метода была использована следующая формула [22]:

$$P = \left(1 - \sum \left| \frac{\text{ЭЭГ}_{\text{загр}}}{\text{ЭЭГ}_{\text{очи}}} \right| \right) \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $\text{ЭЭГ}_{\text{загр}}$ – сигнал ЭЭГ с артефактом ЭОГ; $\text{ЭЭГ}_{\text{очи}}$ – очищенный предложенным методом сигнал ЭЭГ. В таблице представлены результаты оценки методов очистки сигналов ЭЭГ.

Результаты моделирования показали, что медианный фильтр лучше очищает сигналы ЭЭГ от артефактов.

Заключение

В статье предложен новый метод для очистки сигналов ЭЭГ с помощью медианной фильтрации. Показано преимущество этого метода перед адаптивным методом с использованием вейвлетов Хаара, Добеши и Коифлета на 2–10 порядков. Полученные данные могут быть использованы для моделирования интерфейсов «Мозг – Компьютер».

Благодарности

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 19-07-00130 А), грантом Президента Российской Федерации (проект МК-3918.2021.1.6). Авторы выражают благодарность СКФУ в рамках проекта поддержки малых научных групп и отдельных ученых.

Таблица. Оценка методов удаления артефактов ЭОГ с сигналов ЭЭГ

Метод		Оценка
Известный [7]	Вейвлет Хаара	$4,4409 \cdot 10^{-14} \%$
	Вейвлет Добеши	$2,7622 \cdot 10^{-6} \%$
	Коифлет	$3,1484 \cdot 10^{-6} \%$
Предложенный метод		$1,96 \cdot 10^{-4} \%$

Литература

1. Brain-computer interfaces for communication and control / J.R. Wolpaw [et al.] // *Clinical Neurophysiology*. 2002. Vol. 113. P. 767–791.
2. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm / L.R. Hochberg [et al.] // *Nature*. 2012. Vol. 485. P. 372–375.
3. Virtual typing by people with tetraplegia using a self-calibrating intracortical brain-computer interface / B. Jarosiewicz [et al.] // *Science Translational medicine*. 2015. Vol. 7, No. 313. P. 313ra179. DOI: <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aac7328>
4. Does sample size matter in qualitative research?: A review of qualitative interviews in is research / B. Marshall [et al.] // *Journal of Computer Information Systems*. 2013. Vol. 54 (1). P. 11–22.
5. Carlson T., Millan J. del R. Brain-controlled wheelchairs: A robotic architecture // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2013. Vol. 20 (1). P. 65–73.
6. Ramsey N.F., Millan J. del R. Brain computer interfaces // *Handbook of Clinical Neurology*. 2012. Vol. 168. P. 311–328. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00023-8>
7. Continuous neural networks for electroencephalography waveform classification / M. Alfaro [et al.] // 2012 VI Andean Region International Conference. Cuenca. 2012. P. 153–156.
8. Сотников П.И. Обзор методов обработки сигнала электроэнцефалограммы в интерфейсах мозг-компьютер // *Инженерный вестник*. 2014. № 10. С. 612–632.
9. Московский С.Б., Сергеев А.Н., Лалина Н.А. Очистка сигнала от шумов с использованием вейвлет-преобразования // *Universum: Технические науки*. 2015. № 2 (15) URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958> (дата обращения: 01.12.2020).
10. Wavelet based de-noising technique for ocular artifact correction of the electroencephalogram / T. Zikov [et al.] // 24th Int. Conf. IEEE Eng. in Med. Biol. Soc. (Houston, TX). 2002.

11. Gratton G., Coles M.G., Donchin E.A. New method for off-line removal of ocular artifact Electroencephalogr // Clin. Neurophysiol. 1983. Vol. 55. P. 468–484.
12. Woestenburg J.C., Verbaten M.N. Slangen J.L. The removal of the eye movement artifact from the EEG by regression analysis in the frequency domain // Biol. Psychol. 1983. Vol. 16. P. 127–147.
13. Joliffe I.T. Principal Component Analysis. New York: Springer, 1986. 488 p.
14. Removal of ocular artifacts from EEG using adaptive thresholding of wavelet coefficients / V. Krishnaveni [et al.] // J. Neural Eng. 2006. Vol. 3. P. 338–346. DOI: <https://doi.org/10.1088/1741-2560/3/4/011>
15. Червяков Н.И., Ляхов П.А., Оразаев А.Р. Два метода адаптивной медианной фильтрации импульсного шума на изображениях // Компьютерная оптика. 2018. Т. 42, № 4. С. 667–678. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2018-42-4-667-678>
16. Quantitative evaluation of techniques for ocular artifact filtering of EEG waveforms / L. Vigon [et al.] // IEEE Proc. Sci. Meas. Technol. 2000. Vol. 147. P. 219–228.
17. Croft R.J., Barry R.J. Removal of ocular artifact from the EEG: a review // Clin. Neurophysiol. 2000. Vol. 30. P. 5–19.
18. Zhang X.P., Desai M.D. Adaptive denoising based on SURE risk // IEEE Signal Process. 1998. Lett. 5. P. 265–267.
19. Червяков Н.И., Ляхов П.А., Оразаев А.Р. Применение медианных фильтров с взвешенным центральным элементом для очистки изображений от импульсного шума // Инфокоммуникационные технологии. 2017. Т. 15, № 4. С. 325–337. DOI: <https://doi.org/10.18469/ikt.2017.15.4.03>
20. Медианная фильтрация. Национальная библиотека им. Н.Э. Баумана (Bauman National Library). URL: <https://ru.bmstu.wiki> (дата обращения: 05.01.2021).
21. Антипов О.И., Захаров А.В., Пятин В.Ф. Сравнение возможностей фрактальных методов обработки ЭЭГ для обнаружения изменения в активности головного мозга при разной внешней освещенности // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12, № 2. С. 57–63.
22. Метод удаления глазодвигательных артефактов на ЭЭГ человека при распознавании неоднозначного зрительного образа / А.Е. Руннова [и др.] // Управление в медицине и биологии. 2017. № 5. С. 105–112. DOI: <https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2017.5.1.5>

Получено 20.12.2020

Ляхов Павел Алексеевич, к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой математического моделирования (ММ) Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ). 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Тел. +7 962 028-72-14. E-mail: ljahov@mail.ru

Киладзе Мария Романовна, младший научный сотрудник кафедры ММ СКФУ. 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Тел. +7 918 763-54-77. E-mail: mrkiladze@ncfu.ru

APPLICATION OF MEDIAN FILTERING FOR CLEANING ELECTROENCEPHALOGRAM SIGNALS FROM OUTER MOTOR ARTIFACTS

Lyakhov P.A., Kiladze M.R.

North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation

E-mail: mrkiladze@ncfu.ru

Electroencephalography is the simplest way to record the activity of the brain, however, artifacts arise that affect the operation of the brain-computer interface. The article proposes a median filtering method for cleaning EEG signals. A review of existing methods for removing artifacts from electroencephalogram signals is carried out. Comparison of methods for cleaning from oculomotor artifacts using median filtering and an adaptive algorithm based on Haar, Daubechies and Coiflet wavelets has been carried out. The proposed method of median filtering, applied to electroencephalogram signals, gave a good result in comparison with the adaptive method known earlier.

Keywords: *electroencephalogram, electrooculogram, artifacts, wavelet transform, median filtration*

DOI: 10.18469/ikt.2021.19.1.06

Lyakhov Pavel Alekseevich, North Caucasus Federal University, 1, Pushkin Street, Stavropol, 3550017, Russian Federation; Head of the Department of Mathematical Modeling, Associated Professor, PhD in Physics and Mathematics. Tel. +7 962 028-72-14. E-mail: ljahov@mail.ru

Kiladze Maria Romanovna, North Caucasus Federal University, 1, Pushkin Street, Stavropol, 3550017, Russian Federation; Junior Researcher of the Department of Mathematical Modeling. Tel. +7 918 763-54-77. E-mail: mrkiladze@ncfu.ru

References

1. Wolpaw J.R. et al. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 2002, vol. 113, pp. 767–791.
2. Hochberg L.R. et al. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm. *Nature*, 2012, vol. 485, pp. 372–375.
3. Jarosiewicz B. et al. Virtual typing by people with tetraplegia using a self-calibrating intracortical brain-computer interface. *Science Translational medicine*, 2015, vol. 7, no. 313, pp. 313ra179. DOI: <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aac7328>
4. Marshall B. et al. Does sample size matter in qualitative research?: A review of qualitative interviews in is research. *Journal of Computer Information Systems*, 2013, vol. 54 (1), pp. 11–22.
5. Carlson T., Millan J., del R. Brain-controlled wheelchairs: A robotic architecture. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2013, vol. 20 (1), pp. 65–73.
6. Ramsey N.F., Millan J., del R. Brain computer interfaces. *Handbook of Clinical Neurology*, 2012, vol. 168, pp. 311–328. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00023-8>
7. Alfaro M. et al. Continuous neural networks for electroencephalography waveform classification. *2012 VI Andean Region International Conference*, Cuenca, 2012, pp. 153–156.
8. Sotnikov P.I. Overview of EEG signal processing methods in brain-computer interfaces. *Inzhenernyj vestnik*, 2014, no. 10, pp. 612–632. (In Russ.)
9. Moskovskij S.B., Sergeev A.N., Lalina N.A. Cleaning a signal from noise using a wavelet transform. *Universum: Tehnicheskie nauki*, 2015, no. 2 (15). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958> (accessed: 01.12.2020). (In Russ.)
10. Zikov T. et al. Wavelet based de-noising technique for ocular artifact correction of the electroencephalogram. *24th Int. Conf. IEEE Eng. in Med. Biol. Soc.* (Houston, TX), 2002.
11. Gratton G., Coles M.G., Donchin E.A. New method for off-line removal of ocular artifact Electroencephalogr. *Clin. Neurophysiol.*, 1983, vol. 55, pp. 468–484.
12. Woestenburg J.C., Verbaten M.N., Slangen J.L. The removal of the eye movement artifact from the EEG by regression analysis in the frequency domain. *Biol. Psychol.*, 1983, vol. 16, pp. 127–147.
13. Joliffe I.T. *Principal Component Analysis*. New York: Springer, 1986, 488 p.
14. Krishnaveni V. et al. Removal of ocular artifacts from EEG using adaptive thresholding of wavelet coefficients. *J. Neural Eng.*, 2006, vol. 3, pp. 338–346. DOI: <https://doi.org/10.1088/1741-2560/3/4/011>
15. Ozaev A.R. Two methods of adaptive median filtering of impulse noise in images. *Komp'yuternaja optika*, 2018, vol. 42, no. 4, pp. 667–678. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2018-42-4-667-678> (In Russ.)
16. Vigon L. et al. Quantitative evaluation of techniques for ocular artifact filtering of EEG waveforms. *IEEE Proc. Sci. Meas. Technol.*, 2000, vol. 147, pp. 219–228.
17. Croft R.J., Barry R.J. Removal of ocular artifact from the EEG: a review. *Clin. Neurophysiol.*, 2000, vol. 30, pp. 5–19.
18. Zhang X.P., Desai M.D. Adaptive denoising based on SURE risk. *IEEE Signal Process*, 1998, lett. 5, pp. 265–267.

19. Chervjakov N.I., Ljahov P.A., Oraziyev A.R. Applying center-weighted median filters to remove impulse noise from images. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2017, vol. 15, no. 4, pp. 325–337. DOI: <https://doi.org/10.18469/ikt.2017.15.4.03> (In Russ.)
20. Median filtering. National Library. N.E. Bauman (Bauman National Library). URL: <https://ru.bmstu.wiki> (accessed: 05.01.2021).
21. Antipov O.I., Zaharov A.V., Pjatin V.F. Comparison of the capabilities of fractal EEG processing methods for detecting changes in brain activity under different ambient light. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, no. 2, pp. 57–63. (In Russ.)
22. Runnova A.E. et al. Method for removing oculomotor artifacts on human EEG when recognizing an ambiguous visual image. *Upravlenie v meditsine i biologii*, 2017, no. 5, pp. 105–112. DOI: <https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2017.5.1.5> (In Russ.)

Received 20.12.2020

УДК 681.5(075.32)

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Матвеева Е.А., Черных О.Н.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: helen_matveeva@mail.ru, chernykh_on@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с увеличением времени работы оборудования. Выявляются проблемы, характерные практически для любого предприятия, мешающие эффективной эксплуатации станков с числовым программным управлением. Показано, что автоматизация контроля работы оборудования позволяет в автоматическом режиме подсчитать время работы станка до начала выполнения различных видов технического обслуживания и планово-предупредительных работ по ремонту оборудования, отметить дату проведения работ и осуществить контроль их выполнения. Решение проблемы предлагается за счет внедрения автоматизированной информационной системы, позволяющей в реальном времени осуществлять контроль работы оборудования с числовым программным управлением, проводить анализ и классификацию причин простоя станков. Это позволяет осуществить совместное проведение планового ремонта с ремонтом по состоянию оборудования. За счет оперативного реагирования на текущее состояние появляется возможность увеличения времени работы оборудования.

Ключевые слова: автоматизация, контроль, состояние оборудования, ремонт, время простоя, производственные предприятия

Введение

Конкуренция, стремление занять новые рынки, повысить стоимость бизнеса и увеличить прибыль приводит к расширению производства, и, как следствие, приобретению нового производственного оборудования. Однако, планируя инвестиции, необходимо ответить на вопрос, как используются имеющиеся мощности [1; 7; 10].

На современных предприятиях используется различное оборудование. Значительное место занимают станки с числовым программным управлением (ЧПУ), которые являются сложными агрегатами, состоящими из различных взаимосвязанных систем (механики, гидравлики, электрики и электроники), имеющих различные конструктивные особенности и требования к эксплуатации. Подавляющее большинство оборудования с ЧПУ в нашей стране используется на предприятиях «уникального машиностроения»

(ракетно-космическое производство, тяжелая энергетика, атомная промышленность).

Для эффективной эксплуатации станков с ЧПУ требуются повышенный контроль за их работой, оптимизации процесса планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания, что позволит повысить эффективность их использования. Возрастающая конструктивная сложность, весовые характеристики, многообразие форм и высокие требования к геометрической точности уникальных деталей создают практически невозможные условия обеспечения требований к их качеству без автоматизации функции контроля за состоянием производственного оборудования.

Постановка задачи

Анализируя данные российских предприятий, использующих станки с ЧПУ, можно обозначить