

## Zastosowanie klasteryzacji do automatycznej detekcji artefaktów mrugania oczami w sygnale EEG

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano autorską metodę detekcji krótkich fragmentów sygnału EEG, które zawierają artefakty mrugania oczami. Autorzy, do automatycznego wskazania fragmentów sygnału EEG zawierającego artefakty mrugania oczami wykorzystali uczenie bez nadzoru (algorytm K-means) oraz cechy sygnału takie jak amplituda i statystyki wyższych rzędów. Wyniki działania algorytmu są bardzo zadowalające. Trafność detekcji wynosi 98%. Algorytm pozwala wykluczyć zaznaczone fragmenty sygnału i nie poddawać ich dalszej analizie. Takie podejście zdaniem autorów przysłuży się do efektywniejszego wykorzystania sygnałów EEG.

**Abstract.** The paper presents an original method for the detection of short fragments of the EEG signal, which contain eye blinking artifacts. The authors, to automatically identify fragments the EEG signal containing eye blinking artifacts, used unsupervised learning (K-means algorithm) and the signal features such as amplitude and higher-order statistics. The obtained results are very satisfactory. Accuracy of detection is 98%. The algorithm enables to exclude selected fragments of the signal and not analyze them further. Such an approach, according to the authors, enable more efficient use of EEG signals. **(The use of clustering for automatic detection of eye blinking artifacts in the EEG signal).**

**Słowa kluczowe:** EEG, elektroencefalografia, artefakty, mruganie oczami, K-means, uczenie bez nadzoru, klasteryzacja.

**Keywords:** EEG, electroencephalography, artifacts, eye blinks, K-means, unsupervised learning, cluster analysis.

doi:10.12915/pe.2014.08.41

### Wstęp

Elektroencefalografia (EEG) to metoda diagnostyczna wykorzystywana między innymi w medycynie i psychologii [1]. W celu rejestracji sygnału EEG, na powierzchnię głowy nakleja się elektrody umożliwiające odczytanie sygnałów pochodzących z kory mózgowej [2]. Okazuje się jednak, że jednocześnie oprócz sygnału EEG rejestrowane są zaburzenia pochodzenia technicznego oraz inne, niepożądane biopotencjały spowodowane np. mruganiem oczami, przełykaniem śliny, oddychaniem [3]. Są to tzw. artefakty techniczne i fizjologiczne, które w sposób znaczący utrudniają poprawną analizę sygnału EEG [1].

Przedmiotem rozważań prowadzonych w artykule są artefakty pochodzące od mrugania oczami. Artefakty te cechują się znacznie większą amplitudą w porównaniu z użytecznym sygnałem EEG. Problem artefaktów od mrugania jest najbardziej znaczący w przypadku rejestracji EEG ze stymulacją wzrokową (wzrokowe potencjały wywołane - VEP) [1].

Powstał cały szereg algorytmów, których zadaniem jest eliminacja artefaktów od mrugania oczami. Najpopularniejsze bazują na metodzie składowych niezależnych (ICA) [8]. Wykorzystywane są też metody regresji liniowej, gdzie stosuje się odjęcie sygnałów aktywności oczu (EOG) od sygnału EEG [4,5,6]. Okazuje się jednak, że metody te powodują jednocześnie modyfikację pożądaných składników sygnału EEG.

Celem rozwiązania tego problemu autorzy, wykorzystując swoje dotychczasowe doświadczenia w zakresie akwizycji, przetwarzania i analizy sygnałów EEG, zaproponowali prostą, automatyczną metodę detekcji artefaktów mrugania oczami oraz eliminacji fragmentów sygnału zakłóconych tymi artefaktami.

### Zarys proponowanej metody

Autorzy postanowili wykorzystać metody grupowania danych (klasteryzacji) z nadzieją automatycznego wskazania fragmentów sygnału EEG zawierających artefakty mrugania oczami. Algorytm dzieli sygnał EEG na krótkie okna czasowe. Z każdego okna generowane są specyficzne cechy sygnału. Cechy te, są poddawane grupowaniu (klasteryzacji) z wykorzystaniem algorytmu K-means. W wyniku działania algorytmu K-means, każde okno sygnału jest rozpoznawane w sposób automatyczny jako artefakt lub nie artefakt. Pozwoliło to na wskazanie

tych fragmentów sygnałów, które są lub nie są artefaktami typu mrugania oczami.

### Materiał badawczy

Na potrzeby eksperymentów dokonano rejestracji sygnałów EEG z udziałem 13 użytkowników. Ponieważ artefakty mrugania oczami występują znacznie częściej w trakcie stymulacji wzrokowej, autorzy postanowili przeprowadzić rejestrację sygnału EEG ze stymulacją wzrokową. Zadaniem badanych osób była obserwacja zdjęć, prezentowanych na ekranie monitora. Wszyscy badani byli ochotnikami, spośród studentów Politechniki Warszawskiej. Średnia wieku wynosiła 23 lata. Każda sesja rejestracji sygnału EEG trwała około 10 minut. Ochotnicy siedzieli wygodnie na krześle z rękami opartymi na udach.

Sygnały EEG zostały zarejestrowane z wykorzystaniem wzmacniacza g.USBamp i czepka z 16 zintegrowanymi, aktywnymi elektrodami: O2, AF3, AF4, P4, P3, F4, Fz, F3, FCz, Pz, C4, C3, CPz, Cz, Oz, O1. Częstotliwość próbkowania sygnału EEG wynosiła 256Hz. Sygnały były zarejestrowane z wykorzystaniem filtra pasmowego Butterwortha (0.1÷60Hz) oraz filtra środkowozaporowego (48÷52Hz) do eliminacji artefaktu technicznego od sieci elektroenergetycznej.

### Ekstrakcja cech sygnału EEG

Artefakty mrugania oczami o największych poziomach amplitud występują w sygnałach pochodzących z elektrod naklejanych na czołowej części głowy. Okazało się, że do rejestracji pożądanego sygnału EEG, wystarczyło wykorzystać tylko jedną elektrodę - AF3.

Kluczowymi parametrami algorytmu analizy były szerokość okna czasowego oraz rodzaj cech sygnału wyznaczanych w tym oknie. Warto zauważyć, że te dwa parametry są ze sobą ściśle powiązane, ponieważ niektóre cechy w sposób istotny zależą od szerokości zastosowanego okna [2,10].

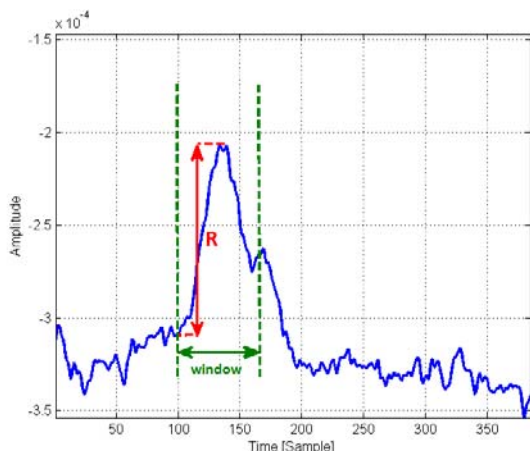
W wyniku wielu eksperymentów stwierdzono, że najlepszym jest okno o szerokości 0.25 sekundy (64 próbki). Wtedy zaznaczane są najkrótsze fragmenty sygnału, z faktycznie występującymi artefaktami mrugania. Dla szerszego okna, zbyt duża część sygnału EEG zostaje wyeliminowana i metoda przestaje być efektywna. Okno przesuwane jest z nakładaniem, co 0.0625s (16 próbek). Z każdego okna wyznaczany jest zbiór cech. Autorzy

przebadali wiele typów cech takich jak: największa wartość amplitudy i energia sygnału, wariancja, skośność oraz kurtoza [1]. Początkowo, jako najlepsze rodzaje cech wytypowano skośność ( $S$ ), kurtozę ( $K$ ) oraz różnicę wartości maksymalnej i minimalnej amplitudy próbek w oknie ( $R$ ). Okazało się jednak, że okno czasowe o szerokości  $t=0.25s$  jest zbyt krótkie, aby wyznaczyć powtarzalne wartości parametrów statystycznych takich jak skośność i kurtoza. Dlatego, ostatecznie autorzy zdecydowali się na wykorzystanie tylko jednego rodzaju cechy jaką była różnica wartości amplitudy maksymalnej i minimalnej próbek  $R$ .

Parametr  $R$  wyznaczany dla fragmentu badanego sygnału można zdefiniować jako (rys. 1):

$$(1) \quad R = |A_{\max} - A_{\min}|$$

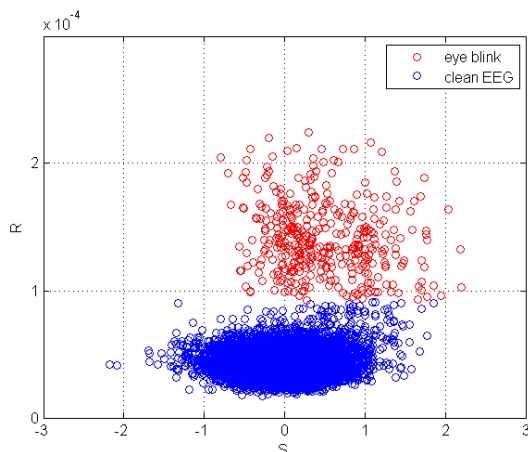
gdzie  $A$  oznacza wartość amplitudy próbki należącej do przedziału objętego oknem czasowym.



Rys.1. Przykład wyznaczenia parametru  $R$  dla wybranego okna czasowego.

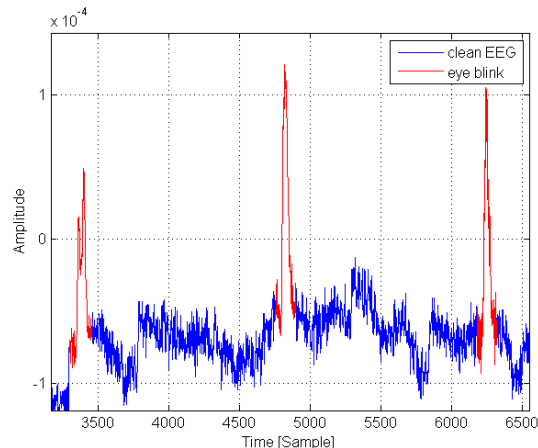
### Klasyfikacja metodą K-means

W wyniku ekstrakcji cech z sygnału EEG, dla każdej sesji użytkownika, powstaje szereg współczynników (cech) opisujących wybrane fragmenty sygnału. Autorzy postanowili zastosować ich klasyfikację (K-means) w celu automatycznego wskazania, które fragmenty analizowanego sygnału można zaliczyć do artefaktów mrugania oczami. Takie podejście (nauka bez nadzoru) nie wymaga wskazywania przez eksperta fragmentów sygnału zawierających artefakty [9,11].



Rys. 2. Przykład grupowania (klasyfikacji) sygnałów EEG na podstawie skośności  $S$  i parametru  $R$ .

W wyniku działania algorytmu K-means dane pogrupowane zostały na  $k=2$  klasy. Przykład grupowania dla dwóch cech: skośności  $S$  i parametru  $R$  przedstawia rys. 2. Fragment sygnału z zaburzeniami oznaczonymi jako artefakty mrugania oczami (kolor czerwony) zobrazowano na rys. 3.



Rys. 3. Sygnał EEG z fragmentami zaznaczonymi przez autorski algorytm detekcji artefaktów mrugania oczami (kolor czerwony).

### Wyniki eksperymentów

W trakcie eksperymentów okazało się, że najlepsze rezultaty (największe okno detekcji i zarazem najlepsze wyniki rozpoznawania artefaktów) otrzymuje się stosując jedynie parametr  $R$ . Stąd też ostatecznie zdecydowano się użyć tylko tej cechy sygnału EEG do wykrywania artefaktów mrugania oczami.

Działanie algorytmu zweryfikowano porównując wizualnie przebiegi sygnału EEG oznaczone przez autorski algorytm detekcji artefaktów mrugania oczami z fragmentami sygnałów opisanymi przez eksperta

Wyniki porównania działania autorskiego algorytmu i oceny eksperta przedstawiono w tabeli 1. Przyjęto następujące oznaczenia:

- $P$  - odsetek danych sygnału EEG zaznaczony przez algorytm jako artefakty,
- $PP$  - liczba artefaktów zaznaczonych przez algorytm jako artefakt mrugania oczami i rozpoznanych jako artefakt przez eksperta,
- $FN$  - liczba artefaktów nie zaznaczonych przez algorytm jako artefakt mrugania oczami, ale rozpoznanych jako artefakt mrugnienia przez eksperta,
- $FP$  - liczba artefaktów zaznaczonych przez algorytm jako artefakt mrugania oczami i rozpoznanych jako inny artefakt przez eksperta.

Tabela 1. Wyniki działania autorskiego algorytmu skonfrontowane z wiedzą ekspercką.

Użytkownik	$P$ [%]	$PP$	$FN$	$FP$	$\frac{PP}{PP + FN}$	$\frac{FN}{PP + FN}$
S01	4.7	68	2	1	0.97	0.02
S02	18.1	269	9	4	0.96	0.03
S03	20.3	208	0	77	1	0
S04	32.5	53	0	276	1	0
S05	20.6	268	3	24	0.98	0.01
S06	12.0	179	0	2	1	0
S07	9.1	66	0	94	1	0
S08	2.8	26	1	18	0.96	0.03
S09	10.3	133	8	18	0.94	0.05
S10	7.8	76	0	46	1	0
S11	11.4	157	4	2	0.97	0.02
S13	16.4	161	4	71	0.97	0.02
<b>Średnia</b>	<b>13.8</b>	<b>138</b>	<b>2.6</b>	<b>52</b>	<b>0.98</b>	<b>0.017</b>

Analizując tabelę 1 można zauważyć, że nie było przypadku fałszywego wykrycia artefaktu w miejscu czystego, niezaburzonego sygnału EEG.

Otrzymane rezultaty są bardzo zadowalające. Okazuje się, że prawie wszystkie fragmenty sygnału zaznaczone przez eksperta jako artefakty mrugania oczami zostały rozpoznane (98%). Ponadto, zaletą opracowanego algorytmu jest zerowa liczba artefaktów zaznaczonych przez algorytm jako artefakt mrugania, a będących czystym sygnałem EEG. Zaproponowany algorytm jest uniwersalnym, automatycznym narzędziem do detekcji fragmentów sygnału EEG zawierających artefakty mrugania oczami. Bardzo ważnym wskaźnikiem obliczanym przez algorytm jest wartość P przedstawiająca, jaki fragment sygnału stanowią artefakty mrugania oczami. Wskaźnik ten może pośrednio posłużyć jako miara automatycznej oceny jakości zarejestrowanego sygnału EEG.

### Podsumowanie

W wyniku prac powstał algorytm do automatycznej detekcji fragmentów sygnałów EEG zawierających artefakty mrugania oczami. Wyniki działania algorytmu są bardzo zadowalające. W przyszłości, autorzy chcą wykorzystać opracowany algorytm do detekcji sygnałów EEG, a następnie wykluczenia zaznaczonych fragmentów sygnału i nie poddawania ich dalszej analizie. Możliwe będzie również zastąpienie fragmentów sygnałów EEG zawierających artefakty mrugania oczami przez sygnały bez zaburzeń. Takie podejście zdaniem autorów przysłuży się efektywniejszemu wykorzystaniu sygnałów EEG, w szczególności przy badaniu wzrokowych potencjałów wywołanych (VEP).

### LITERATURA

- [1] Rak, R.J., Kołodziej, M., Majkowski, A.; Brain-computer interface as measurement and control system the review paper; *Metrology and Measurement Systems*, 19 (3), pp. 427-444, (2012).
- [2] Kołodziej, M., Majkowski, A., Rak, R.J.; Optimization of the time window of signal processing in interface between brain and

- computer; *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (9 A), pp. 142-144, (2011).
- [3] Kołodziej, M., Majkowski, A., Rak, R.J.; Matlab FE-Toolbox - An universal utility for feature extraction of EEG signals for BCI realization; *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (1), pp. 44-46, (2010).
- [4] Ghaderi, F., Kim, S.K., Kirchner, E.A. Effects of eye artifact removal methods on single trial P300 detection, a comparative study, *Journal of Neuroscience Methods*, 221, pp. 41-47 (2014).
- [5] Orhan, U., Erdogmus, D., Roark, B., Oken, B., Fried-Oken, M. Offline analysis of context contribution to ERP-based typing BCI performance, *Journal of Neural Engineering*, 10 (6), art. no. 066003 (2013).
- [6] Matsusaki, F., Ikuno, T., Katayama, Y., Iramina, K. Online artifact removal in EEG signals, *IFMBE Proceedings*, 39 IFMBE, pp. 352-355 (2013).
- [7] Haghighatpanah, N., Amirfattahi, R., Abootalebi, V., Nazari, B. A two stage single trial P300 detection algorithm based on independent component analysis and wavelet transforms, *19th Iranian Conference of Biomedical Engineering, ICBME*, art. no. 6519702, pp. 324-329 (2012).
- [8] Cichocki, A., Osowski, S., Siwek, K. Comparisons of prewhitening algorithms of noisy signals, *Przegląd Elektrotechniczny*, 81 (2), pp. 22-25 (2005).
- [9] A. Hartigan and M. A. Wong, A K-Means Clustering Algorithm, *Applied Statistics*, Vol. 28, No. 1, p100-108 (1979).
- [10] Kołodziej, M., Majkowski, A., Rak, R.J.; A new method of feature extraction from EEG signal for brain-computer interface design; *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (9), pp. 35-38, (2010).
- [11] Olszewski, D., Kołodziej, M., Twardy, M.; A probabilistic component for K-means algorithm and its application to sound recognition; *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (6), pp. 185-190, (2010).

---

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Remigiusz J. Rak, e-mail: [remigiusz.rak@ee.pw.edu.pl](mailto:remigiusz.rak@ee.pw.edu.pl); dr inż. Andrzej Majkowski, e-mail: [andrzej.majkowski@ee.pw.edu.pl](mailto:andrzej.majkowski@ee.pw.edu.pl); dr inż. Marcin Kołodziej, e-mail: [marcin.kolodziej@ee.pw.edu.pl](mailto:marcin.kolodziej@ee.pw.edu.pl); Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-661 Warszawa