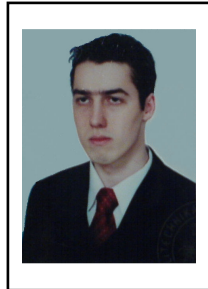


Analiza sygnału elektroencefalograficznego EEG jak medium pośredniczące w procesie komunikacji BCI

Student Szczepan PASZKIEL
Student Aleksandra KAWALA
Doktor hab. inż. Dariusz ZMARZŁY
Magister inż. Marek SZMECHTA



Szczepan Paszkiewicz jest studentem IV roku Informatyki oraz II roku Zarządzania i inżynierii produkcji na Politechnice Opolskiej. Zastępca przewodniczącego koła naukowego Nano. Stypendysta Ministra nauki i szkolnictwa wyższego za wybitne osiągnięcia w nauce. Prowadzi badania naukowe w zakresie przetwarzania sygnału EEG. Autor oraz współautor wielu publikacji naukowych.

Adres e-mail: szczepanpaszkiewicz@o2.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono aspekty komunikacji BCI (Brain Computer Interface), pomiędzy mózgiem człowieka, a stacją roboczą. Główną ideą opisaną architektury jest nawiązanie wzajemnej komunikacji oraz stworzenie interfejsu pomiędzy poszczególnymi modułami systemu [1]. Jest to możliwe poprzez wykonane pomiary wielkości medycznych, które następnie poddawane są analizie. W procesie tworzenia interfejsu zachodzi konieczność analizy sygnału elektroencefalograficznego EEG. Sygnał ten poddaje się procesowi próbkowania, a następnie wykorzystuje się szereg Fouriera w procesie detekcji poszczególnych reakcji na bodźce zewnętrzne. Wyodrębnia się fale mózgowo o określonych częstotliwościach, które odpowiadają poszczególnym impulsom zachodzącym w układzie nerwowym człowieka. Na bazie zgromadzonych pomiarów składowej elektrycznej fali elektromagnetycznej, dokonanych na wybranej grupie osób wartości mierzone są porównywane w określonych przypadkach.

Słowa kluczowe: BCI (Brain Computer Interface), EEG - elektroencefalografia, Analiza sygnałów

The analysis of signal of electroencephalographic EEG how the medium the intermediary in process of transport BCI

Abstract

It the aspects of transport in article were introduced was BCI (Brain Computer Interface), among man's brain, and working station. The connexion of mutual transport is the main idea of described architecture as well as the creation of interface among individual modules of system [1]. This possible is across executed measurements of medical sizes analysis which be subjected then. The necessity of analysis of signal electroencephalographic EEG sets in process of creating of interface. Signal this surrenders the process of testing, and Fouriera's row was used in process of detection of individual reactions on external stimuli then. It distinguishes about definite frequencies cerebral waves, which answer individual impulses setting in man's nervous arrangement. On catkin of accumulated measurements of component electric electromagnetic wave, accomplished on chosen group of persons of value they be measured compared in definite cases.

Keywords: BCI (Brain Computer Interface), EEG - electroencephalography, Analysis of signals

1. Wprowadzenie

W dobie dzisiejszego świata coraz częściej dąży się do zapewnienia należytego poziomu uproszczonej komunikacji pomiędzy człowiekiem, a maszyną cyfrową [2]. Zastosowanie nowoczesnych interfejsów komunikacji niewymagających inwazyjnej ingerencji w strukturę człowieka, a jednocześnie znacznie upraszczających poziom komunikacji to nieoceniona pomoc nie tylko dla osób niepełnosprawnych. Odpowiednie i umiejętnie rozpoznawanie sygnałów myślowych umożliwia uzyskiwanie danych, które dla wielu badanych zostają w wzajemnej korelacji. Dzięki czemu możliwe jest częściowe uogólnienie danych zachowań wynikających z pomiarów i zapamiętywanie reakcji na określone bodźce zewnętrzne. W wyniku analizy danych pobranych z czujników pomiarowych, którymi są elektrody umieszczone w sposób nieinwazyjny na głowie osoby badanej uzyskuje się wyniki badań o danych częstotliwościach, charakterystycznych dla danych stanów myślowych. Do wykonania pomiarów wykorzystuje się Elektroencefalografie (EEG), czyli nieinwazyjną metodę diagnostyczną służącą do badania bioelektrycznej czynności mózgu [3, 4, 5]. Badanie polega na odpowiednim rozmieszczeniu na powierzchni skóry czaszki elektrod, które rejestrują zmiany potencjału (odprowadzenia jednobiegunowe) lub różnice w potencjale różnych części mózgu (odprowadzenie dwubiegunowe) i po odpowiednim ich wzmocnieniu tworzą z nich zapis – elektroencefalogram [6, 7, 8, 9]. Jeśli elektrody umieści się bezpośrednio na korze mózgu (np. podczas operacji) badanie nosi nazwę Elektrokortykografii (ECoG). Zastosowanie odpowiednich silnych przetworników w urządzeniu pomiarowym, jakim jest elektroencefalograf, pozwala na dokładniejszy pomiar wartości mierzonej.

System poddawany jest procesowi ciągłej analizy, prowadzone są na nim symulacje danych uzyskanych w procesie metrologicznym.

2. Komunikacja Brain Computer Interface

Sterowanie urządzeniami za pomocą myśli jest zagadnieniem interdyscyplinarnym i łączy nauki medyczne, w szczególności neurobiologię z elektroniką i informatyką [10]. Badania nad tym zagadnieniem prowadzi się w szeregu ośrodkach badawczych, zarówno w Europie, Azji jak i Stanach Zjednoczonych. W ostatnich latach obserwuje się wzrost ilości publikacji dotyczących tego zagadnienia, coraz częściej temat tego typu interfejsów jest również poruszany na konferencjach i seminariach naukowych. Sterowanie urządzeniami za pomocą myśli powoli przestaje być fantastyczną wizją znawców tematyki SCI-FI, a staje się coraz częstszym tematem badań [11].

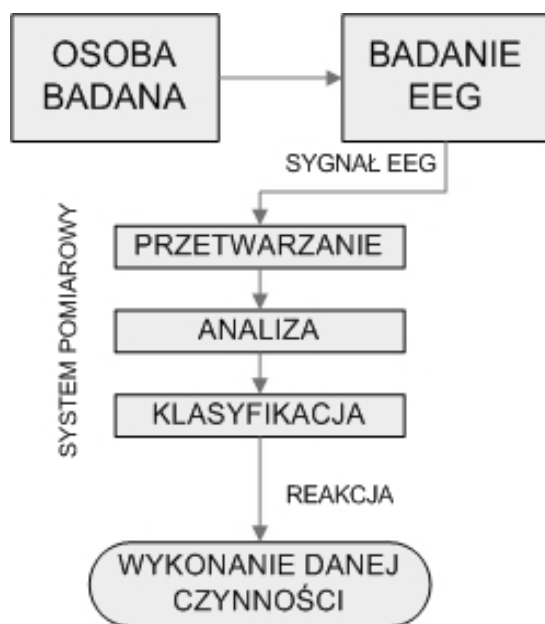
Główną przyczyną zainteresowania tą tematyką są potencjalnie duże możliwości wykorzystania w różnych dziedzinach wiedzy.

Na obecnym etapie badań do sprzęgania mózgu z komputerem BCI (brain-computer interface) lub BMI (brain-machine interface) wykorzystywane są odpowiednie sygnały pochodzące od aktywności mózgowej [12, 13]. Są to sygnały elektryczne, magnetyczne, metaboliczne a nawet optyczne.

Dane otrzymane dzięki zastosowaniu urządzenia, jakim jest elektroencefalograf poddawane są procesom analizy umożliwiając zgromadzenie odpowiednich ilości informacji, dzięki którym możliwe jest zaprojektowanie interfejsu, który ma na celu usprawnić i przyspieszyć wymianę informacji pomiędzy komputerem, a człowiekiem.

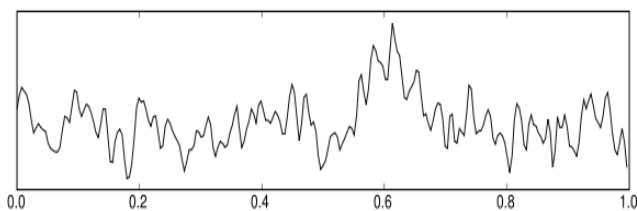
W założeniu prowadzonych badań dąży się do opracowania najbardziej optymalnego i najefektywniejszego sposobu informowania maszyny cyfrowej o przemysłeniach człowieka, co do czynności, które planuje wykonać. Eliminuje to posiadanie myszki itp. urządzeń peryferyjnych sterujących. Szczególnie przydatne okazuje się to w stosunku do osób niepełnosprawnych, które mają problemy z komunikacją za pomocą urządzeń obsługiwanych przy pomocy kończyn górnych [14, 15].

Technika pomiarów, stosowana obecnie w procesie prowadzonych badań naukowych, nie ingeruje bezpośrednio w organizm ludzki, stara się natomiast dokonywać pomiarów czynności związanych z odpowiednią aktywnością mózgu człowieka poza jego bezpośrednim obszarem.



Rys. 1. Ogólny schemat Brain Computer Interface
Fig. 1. General pattern Brain Computer Interface

Na Rys. 1. przedstawiono ogólny schemat działania idei BCI z zastosowaniem elektroencefalografu jako urządzenia pomiarowego. Przy pomocy wykorzystania aparatury medycznej możliwy jest zapis elektroencefalograficzny mózgu. Jak wynika z Rys. 1. sygnał EEG poddawany jest wstępnemu przetworzeniu w celu wyeliminowaniu artefaktów zakłóceń. W procesie długo trwałych badań zauważalny jest fakt, iż zwyczajny ruch gałki ocznej powoduje zakłócenia w transmisji sygnału. Przykład sygnału EEG przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Sygnał EEG
Fig. 2. Signal of EEG

W warunkach fizjologicznych powstają fale mózgowe o częstotliwości w zakresie 1 - 100 Hz. W przypadku wystąpienia zniszczonych komórek lub upośledzenia przewodzenia chemicznego będzie następować proces opóźniania lub przyspieszania szybkości ich przepływu, będzie to zwiększać lub zmniejszać amplitudę, zmieniać kształt fal i ich konfigurację.

3. Układ pomiarowy

Układ pomiarowy, opiera się na idei przedstawionej w punkcie drugim niniejszego artykułu. W związku z koncepcją wykorzystania BCI w komunikacji z EEG. Konieczne jest zastosowanie odpowiednio zamocowanych elektrod na czaszce osoby badanej, które pełnią rolę czujników pomiarowych. Elektrody sprzężone są z urządzeniem pomiarowym, jakim jest elektroencefalograf, następnie identyfikacja oraz analiza sygnałów potencjałów mózgowych odbywa się po stronie oprogramowania. System pomiarowy według idei Brain Computer Interface składa się z etapu wstępnego przetwarzania, następnie procesowi analizy oraz klasyfikacji otrzymanych wartości w odpowiednich przedziałach odpowiadających danym czynnościom praktycznym.

Dane pobrane podlegają procesowi przetwarzania, wyłonione potencjały mózgowe implementuje się po odpowiednim przetworzeniu w sieci neuronowe, dzięki którym otrzymuje się możliwość reakcji na dane zdarzenie myślowe [16]. W dalszym procesie jest ono wykonywane przez maszynę cyfrową, jaką jest stacja robocza z odpowiednim zainstalowanym ku temu oprogramowaniem. Program komputerowy i sieć neuronowa, która reaguje na określone bodźce płynące z mózgu osoby badanej umożliwia zapewnienie komunikacji w końcowym procesie wykonywania danej czynności.

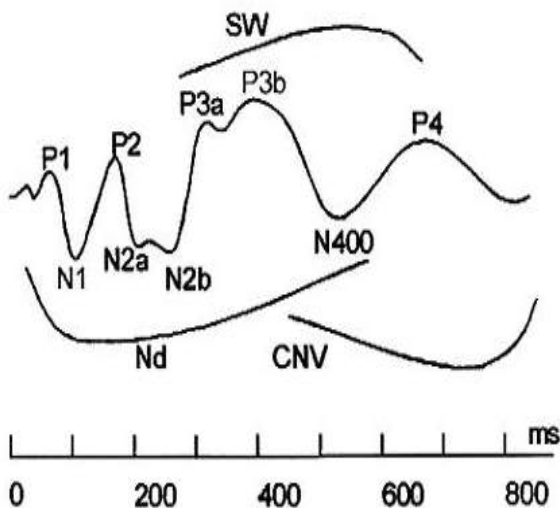
Współcześnie nie ma wątpliwości, że sztuczne sieci neuronowe nie stanowią dobrego modelu mózgu, choć różne ich postaci wykazują cechy charakterystyczne dla biologicznych układów neuronowych: zdolność do uogólniania wiedzy, uaktualniania kosztem wcześniej poznanych wzorców, dawanie mylnych odpowiedzi po przepełnieniu.

Mimo uproszczonej budowy, sztuczne sieci neuronowe stosuje się do modelowania schorzeń mózgu. Sztuczne sieci neuronowe znajdują zastosowanie w rozpoznawaniu i klasyfikacji wzorców oraz przydzielaniu wzorcom kategorii, predykcji szeregów czasowych, analizie danych statystycznych, odszumianiu i kompresji obrazu i dźwięku oraz w zagadnieniach sterowania i automatyzacji.

4. Analiza potencjałów mózgowych

Głównym potencjałem wywołanym w przypadku komunikacji BCI jest potencjał, który definiuje czas, jaki potrzebny jest dla ludzkiej świadomości, aby dotarł do niej sygnał informacyjny wykreowany na odpowiedni bodziec zewnętrzny. Czas ten kształtuje się w granicach 300 milisekund, dlatego też potencjał ten nazywany jest mianem P300. Podstawowe potencjały mózgowie skorelowane z pobudzeniem ERP (Event Related Potentials) przedstawione zostały na Rys. 3.

Z sygnału wydobyć można mózgowie sygnały skorelowane z pobudzeniem, czyli tak zwane ERP [17, 18, 19, 20]. Poprzez zastosowanie analizy korelacji czasowo-częstotliwościowej możliwe jest wnioskowanie na bazie zgromadzonych danych. Możliwe jest to poprzez zastosowanie szybkiej transformaty Fouriera. Alternatywną metodą pomiarową może być zastosowanie metody analizy falkowej.



Rys. 3. Podstawowe potencjały mózgowie skorelowane z pobudzeniem ERP
Fig. 3. Basic cerebral potentials correlated with stimulation ERP

Mózgowe potencjały ERP stanowią bardzo duży zbiór potencjałów możliwych do zaobserwowania w sygnale, co potwierdzają przeprowadzone badania naukowe.

Podczas prowadzonych badań zauważa się, iż w pewnych interwałach czasowych amplituda sygnału EEG znacznie przewyższa amplitudę sygnałów właściwych dla EEG [21, 22]. Jest to zjawisko negatywne, na które mają wpływ czynniki zewnętrzne oraz niepożądane reakcje mięśni twarzy, bądź wspomniane wcześniej ruchy gałek ocznych.

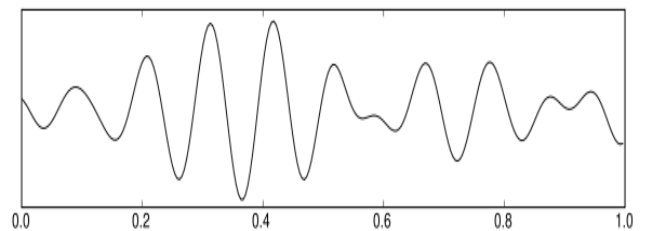
W procesie prowadzonych analiz zjawiskiem, które dodatkowo utrudnia analizę sygnałów jest latencja czasowa, czyli pojawiające się opóźnienie mózgowych potencjałów skorelowanych, które obserwujemy podczas badania elektroencefalograficznego. Problemem występującym podczas analizy sygnałów ERP jest także duża liczba szumów, którymi obciążony jest sygnał. Dlatego też w trakcie prowadzonych badań zmieniony został przetwornik sygnału, w który wyposażony był elektroencefalograf na -- bitowy.

W wyniku zawsze występującej aktywności mózgu konieczne jest mimo to uśrednianie otrzymanych wyników badań w celu uzyskania najbardziej prawidłowego wyniku [23, 24]. Wiąże się to z koniecznością powtarzanie badania, co zdecydowanie zwiększa czas potrzebny na jego przeprowadzenie.

W procesie dalszych badań przewiduje się skrócenie czasu badania osoby do minimum. Należy też zauważyć, że fale mózgowie są modyfikowane przez samo wyobrażenie ruchu.

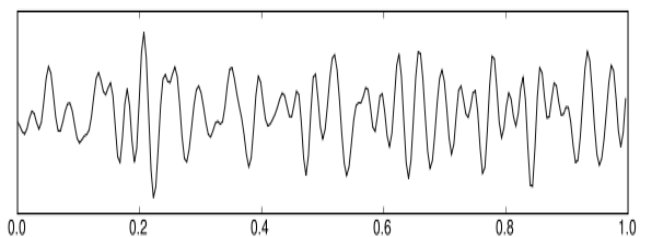
Wyróżnia się cztery podstawowe rodzaje aktywności mózgowiej, fale alpha, beta, delta i theta.

Fale alpha mają częstotliwość od 8 Hz do 13 Hz. Ich amplituda wynosi około 30-100µV. Fale alpha są dobrze widoczne przy braku bodźców wzrokowych. Zauważalnym jest fakt, iż ich tłumienie następuje podczas percepcji wzrokowej. Badając fale można zauważyć, iż fale alpha występują w wielkości dominującej, podczas gdy osoba badana znajduje się w stanie relaksu. Podobna sytuacja ma miejsce, gdy pacjent ma zamknięte oczy. Koncentracja nad danym problemem i zainteresowanie się nim powoduje, znaczne zmniejszenie, lub zanik amplitudy fal alpha [25, 26, 27]. Fale alpha przedstawiono na Rys. 4.



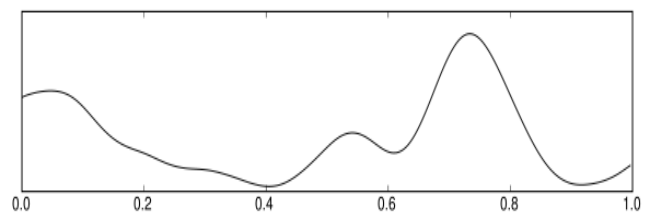
Rys. 4. Fale alpha
Fig. 4. Waves alpha

Fale beta (Rys. 5.) mają częstotliwość od 12 Hz do około 60 Hz, mają amplitudę poniżej 30 µV, występują w okolicy czołowej. Fale beta o małej amplitudzie występują podczas koncentracji uwagi.



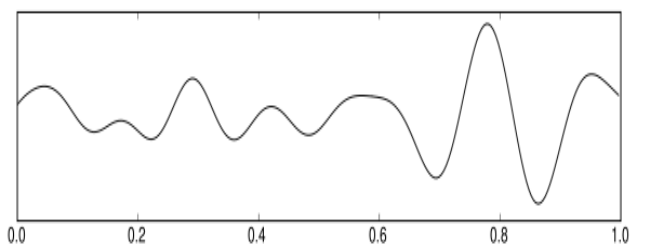
Rys. 5. Fale beta
Fig. 5. Waves beta

Fale delta (Rys. 6.) mają częstotliwość do 4 Hz. Obserwowane są w III i IV fazie snu (faza NREM).



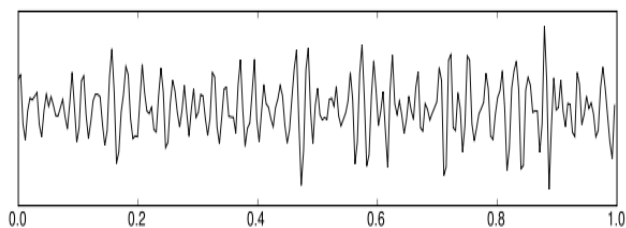
Rys. 6. Fale delta
Fig. 6. Waves delta

Fale theta (Rys. 7.) mają częstotliwość od 4 Hz do 8 Hz. Aktywność theta zaobserwowaliśmy podczas badań stanów hipnotycznych takich jak lekki sen.



Rys. 7. Fale theta
Fig. 7. Waves theta

Związane są z fazą snu REM Fale gamma (Rys. 8.) występują w zakresie częstotliwości około 26-100 Hz.



Rys. 8. Fale gamma
Fig. 8. Waves gamma

Przy przejściu ze stanu bezsenności przez etap I (drzemka), II (lekki sen), do etapu III i IV (głęboki sen) zanika aktywność alfa. W etapie II występuje aktywność beta. W etapie III i IV występują fale o niskich częstotliwościach. Po okresie głębokiego snu aktywność powraca do etapu II, w którym występują sny. Taki cykl powtarza się wielokrotnie podczas całego snu.

5. Podsumowanie

Podczas serii przeprowadzonych badań na grupie osób można zauważyć wiele potencjałów myślowych, pomiędzy którymi zachodzi korelacja wzajemnej bytności w danych stanach mózgu człowieka. Dzięki temu możliwe jest w przyszłości stworzenie systemu, który byłby adekwatny dla wszystkich osób badanych będących w normie z parametrami wejściowymi.

Ważne jest, aby zakres wartości parametrów wejściowych ograniczających możliwość korzystania z systemu, dzięki któremu możliwe będzie wyeliminowanie dotychczasowych urządzeń peryferyjnych z niektórych funkcji użytkowych a przede wszystkim ułatwienie pracy osobom niepełnosprawnym.

Dla zwiększenia efektywności prowadzonych badań konieczne było wykonanie wielokrotnie powtarzanej analizy sygnału, a co za tym idzie badań na określonej grupie osób badanych.

Aktualnie prowadzono badania nad zwiększeniem prawidłowości analizowania sygnału na etapie wejściowym. Konieczne jest usprawnienie procesu przetwarzania danych pobranych z urządzenia EEG, aby sygnał poddawany analizie, a następnie implementowany w sieci neuronowej był jak najbardziej przejrzysty i ujednolicony dla konkretnych wartości minimum oraz ekstremum, w którym ma się on zawierać.

Celem prowadzonej analizy danych potencjałów mózgowych jest stworzenie modułowego systemu komunikacji, bez konieczności uczenia sieci neuronowej reakcji na każdego z użytkowników z osobna. Dąży się do określenia paradygmatów zachowań analogicznych w wielu przypadkach badań.

6. Literatura

- [1] T. IBRAHIM, J. M. VENIN, G. GARCIA, "Brain Computer Interface in Multimedia Communication", IEEE Signal Processing Magazine, January 2003, vol. 20 (1)
- [2] Z. T. DUDEK: „Interfejs BCI – próba przełamania bariery pomiędzy człowiekiem a komputerem” Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr: 7/2003
- [3] W. SZLENBERG, „Potencjały wywołane”, Wydawnictwo Elmiko, Wydanie pierwsze 2001
- [4] J. MAJKOWSKI, „Elektroencefalografia kliniczna”, Państwowy zakład wydawnictw lekarskich, Warszawa 1989
- [5] D. A. SZABELA, „Potencjały wywołane w praktyce lekarskiej”, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Wydanie pierwsze 1999
- [6] K. WALSH, „Neuropsychologia kliniczna”, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2000

- [7] Z. T. DUDEK, „Pierwsze urządzenia bezpośrednio sterowane falami mózgowymi. Przeszkody ostatniego metra pokonane ? ” Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr: 11/2003
- [8] Z. T. DUDEK, „Bezpośrednie interfejsy mózgu - BMI”, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr: 7/2003
- [9] SCHWARTZ A. B., TAYLOR D. M., TILLERY S.I.H.: Extraction algorithms for cortical control of arm prosthetics. Curr Opin Neurobiol, Vol. 11, 2001, s. 701–708.
- [10] KLEBER B., BIRBAUMER N.: Direct brain communication: neuroelectric and metabolic approaches at Tübingen, Cogn Process, Vol. 6, 2005, s. 65-74
- [11] S. G. MASON S.G., MOORE M. M., BIRCH G.E.: A General Framework for Characterizing Studies of Brain Interface Technology, Annals of Biomedical Engineering, Vol. 33, No. 11, 2005, s. 1653–1670
- [12] HUNG C., LEE P., WU Y., CHEN L. YEH T., HSIEH J.: Recognition of Motor Imagery Electroencephalography Using Independent Component Analysis and Machine Classifiers, Annals of Biomedical Engineering, Vol. 33, No. 8, 2005, s. 1053–1070
- [13] CINCOTTI F., BABILONI F., MATTIOCCO M., ASTOL L., BUFALARI S., MARCIANI M.G., MATTIA D.: Design of a brain computer using the novel principles of output-driven operation and memory-based architecture, Cogn Process, Vol. 6, 2005, s. 75–83
- [14] MATSUMOTO G., TSUJINO H.: Design of a brain computer using the novel principles of output-driven operation and memory-based architecture, International Congress Series 1250, 2003, s. 529–546
- [15] ZEIGLER B. P.: The brain-machine disanalogy revisited, BioSystems, Vol. 64, 2002, s. 127–140
- [16] YAMASAKI H.: The future of sensor electronics, Sensor and Actuators Nr. A56, 1996, s. 129-133
- [17] SCHAAL S., SCHWEIGHOFER N.: Computational motor control in humans and robots, Current Opinion in Neurobiology, Vol. 15, 2005, s. 675–682
- [18] PERELMAN Y., GINOSAR R.: Analog frontend for multichannel neuronal recording system with spike and LFP separation, Journal of Neuroscience Methods, Vol. 153, 2006, s. 21–26
- [19] NEWELL K. M. LIU Y. T., MAYER-KRESS G.: Learning in the brain-computer interface: insights about degrees of freedom and degeneracy from a landscape model of motor learning, Cogn Process, Vol. 6, 2005, s. 37–47
- [20] NEUPER C., MÜLLER G. R., KÜBLER A., BIRBAUMER N., PFURTSCHELLER G.: Clinical application of an EEG-based brain-computer interface: a case study in a patient with severe motor impairment, Clinical Neurophysiology, Vol. 114, 2003, s. 399–409
- [21] MOORE M.M., MASON S. G., BIRCH G. E.: Analyzing Trends in Brain Interface Technology: A Method to Compare Studies: Annals of Biomedical Engineering, Vol. 34, No. 5, 2006, s. 859–878
- [22] KOIZUMI H., MAKI A., YAMAMOTO T., SATO H.: Yamamoto Y., Kawaguchi H.: Non-invasive brain-function imaging by optical topography, Trends in Analytical Chemistry, Vol. 24, No. 2, 2005, s. 147-157
- [23] KRAUSZ G., SCHERER R., KORISEK G., PFURTSCHELLER G.: Critical Decision-Speed and Information Transfer in the “Graz Brain-Computer Interface”, Applied Psychophysiology and Biofeedback, Vol. 28, No. 3, 2003, s. 233-240
- [24] CREMADES J. G., BARRETO A.: SANCHEZ F., ADJOUADI D.: Human-computer interfaces with regional lower and upper alpha frequencies as on-line indexes of mental activity, Computers in Human Behavior, Vol. 20, 2004, s. 569–579
- [25] BEGG R., KAMRUZZAMAN J.: A machine learning approach for automated recognition of movement patterns using basic, kinetic and kinematic gait data, Journal of Biomechanics, Vol. 38, 2005, s. 401–408
- [26] FERDINANDO A. MUSSA-IVALDI F. A., MILLER L. E.: Brain-machine interfaces: computational demands and clinical needs meet basic neuroscience, TRENDS in Neurosciences Vol.26 No.6, 2003, s. 329, 335
- [27] GEORGOPOULOS A. P., LANGHEIM F. J., LEUTHOLD A.C., MERKLE A. N.: Magnetoencephalographic signals predict movement trajectory in space, Exp Brain Res, Vol. 25, 2005, s. 132–135