

Andrzej MAJKOWSKI, Marcin KOŁODZIEJ, Remigiusz Jan RAK

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ I SYSTEMÓW INFORMACYJNO-POMIAROWYCH,
ul. Koszykowa 75, 00-661 Warszawa

Wykorzystanie potencjałów mózgowych P300 do sterowania awatarem

Dr inż. Andrzej MAJKOWSKI

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Od 1995 roku pracownik Instytutu Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych Wydziału Elektrycznego. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2000. Zainteresowania naukowe: cyfrowe przetwarzanie sygnałów, projektowanie i oprogramowanie systemów pomiarowych.



e-mail: amajk@iem.pw.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Remigiusz J. RAK

Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (specjalność Radiotechnika). Uzyskał stopień doktora nauk technicznych (1982), doktora habilitowanego (1998), tytuł naukowy profesora (2004), stanowisko profesora zwyczajnego (2009). Autor i współautor 125 publikacji. Zainteresowania naukowe: cyfrowe przetwarzanie sygnałów, wirtualne przyrządy pomiarowe, projektowanie systemów pomiarowych, rozproszone systemy pomiarowe, wirtualne laboratorium.



e-mail: remigiusz.rak@ee.pw.edu.pl

Mgr inż. Marcin KOŁODZIEJ

Asystent w Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Ukończony kierunek elektrotechnika o specjalności Automatyka i Inżynieria Komputerowa na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Przewód doktorski: Przetwarzanie analiza i klasyfikacja sygnału EEG na potrzeby interfejsu mózg-komputer. Zainteresowania naukowe: cyfrowe przetwarzanie sygnałów, data-mining, systemy ekspertowe.



e-mail: kolodzim@iem.pw.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono system BCI umożliwiający sterowanie awatarem w wirtualnym świecie gry Second Life z wykorzystaniem potencjału mózgowego P300. Do budowy systemu autorzy wykorzystali ogólnodostępne oprogramowanie BCI2000 oraz własne oprogramowanie umożliwiające sterowanie zewnętrzną aplikacją poprzez symulację naciśnięć przycisków klawiatury. Użytkownik w komfortowy sposób może sterować kierunkiem ruchu awatara. System jest uniwersalny i po drobnych modyfikacjach pozwala na sterowanie dowolnym urządzeniem. Docelowo autorzy chcą wykorzystać autorskie oprogramowanie do sterowania kierunkiem ruchu wózka inwalidzkiego.

Słowa kluczowe: BCI, interfejs mózg-komputer, sygnały EEG, potencjał P300, awatar.

Implementation of P300 potentials for controlling an avatar

Abstract

In the paper there is presented a BCI system which enables control of avatar movement in the virtual world of the Second Life game. The system consists of two PCs connected via LAN. On the first computer the BCI2000 system was launched with a modified Dochin board (Fig. 5). The interface enables choosing the direction of avatar movement (forward, backward, right, left). Next, the BCI2000 system sends the information about the avatar movement direction via UDP / IP protocol to the second computer. On that computer a program created by the authors is running. Its task is to receive information about the movement direction, and then to send the appropriate commands, in the form of simulated keystrokes, to the game. The program was written in C # (Visual Studio 2005). An important advantage of the proposed interface is that a user does not have to learn the proper generation of the EEG signal. With only one calibration session it was possible to collect features of P300 potential for a user and correctly train the classifier. The system is universal and after minor modifications can control any device. Ultimately, the authors want to use the software to control the direction of wheelchair movement.

Keywords: BCI, brain-computer interface, EEG, P300 potential, avatar.

1. Interfejs mózg-komputer

Istnieje wiele sposobów na przekazanie intencji człowieka maszynie, a w szczególności komputerowi. Większość z tych sposobów wymaga użycia mięśni do wykonania odpowiedniej czynności, np. napisanie wybranego słowa na klawiaturze komputera wymaga użycia mięśni rąk, dłoni i palców. Podobnie ma się sprawa z wypowiedzaniem słów. W tym przypadku użytkownik wykonuje odpowiednie ruchy pewnymi mięśniami krtani i wydychając powietrze z płuc, powoduje wibracje strun głosowych. Osoby w niektórych stadiach wielu chorób mają ograniczone możliwości wykonywania ruchów kończynami, czy też partiami ciała. W takich przypadkach próbuje się wykorzystywać nawet najdrobniejsze ruchy mięśni do wysterowania interfejsu, w celu przekazania intencji użytkownika maszynie. Jako przykład może tu posłużyć interfejs działający z wykorzystaniem ruchu gałek ocznych. Niestety, istnieją choroby, które uniemożliwiają nawet wykonanie ruchu okiem czy językiem. W takim przypadku jedynie interfejs mózg-komputer może zapewnić pewną formę komunikacji człowieka ze światem zewnętrznym.

W ostatniej dekadzie ubiegłego wieku w kilku ośrodkach naukowych na świecie podjęto próby wykorzystania elektroencefalografii (EEG) do komunikacji bezpośredniej między mózgiem a komputerem. Istnieje cała gama metod badania aktywności mózgu, jednak elektroencefalografia ma atuty takie jak: stosunkowo niska cena aparatury, w miarę prosty montaż elektrod i przede wszystkim nieinwazyjność (brak zabiegów operacyjnych). Ma ona również swoje wady, do których zaliczyć należy przede wszystkim niski poziom sygnału użytecznego w stosunku do szumu oraz różnego typu artefakty. Sygnały elektroencefalograficzne zapisywane są w pamięci komputera i aby mogły być wykorzystane w interfejsie mózg-komputer, wymagane jest ich szybkie przetwarzanie, analiza i klasyfikacja - niemal w czasie rzeczywistym. Jest to olbrzymie wyzwanie.

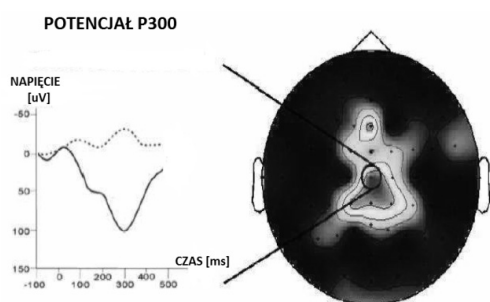
W interfejsach mózg-komputer wykorzystuje się kilka różnych potencjałów EEG. Najpopularniejsze wśród nich to: potencjał P300, stabilne potencjały wzrokowe wywołane (SSVEP) oraz potencjały związane z wyobrażaniem sobie ruchu (ERD/ERS). Wykorzystanie każdego z wymienionych potencjałów ma swoje wady i zalety. Dokładne omówienie potencjałów i możliwości ich wykorzystania można znaleźć w pracach [1, 2].

W przypadku BCI, elektryczną aktywność samych mięśni traktuje się jako niepożądaną. Generuje ona tzw. artefakty fizjologiczne. Duży problem stanowi fakt, że amplituda tych artefaktów jest o wiele większa (miliwolty) niż samego sygnału EEG (mikrowolty). Aby możliwe było wyłonienie pewnych użytecznych informacji z sygnału EEG potrzeba skomplikowanych metod przetwarzania i analizy sygnału. Na początku sygnał przechodzi etap przetwarzania wstępnego. Kolejnym etapem jest ekstrakcja cech, która prowadzi do ilościowego opisu pewnych

właściwości sygnału EEG. Dalej może być użyta selekcja, do ograniczenia liczby cech. Ostatnim etapem jest ich klasyfikacja.

2. Potencjał P300

Potencjał P300 związany jest z reakcją osoby na oczekiwane zdarzenie (bodziec). Wywołać go mogą nie tylko bodźce wzrokowe, ale również słuchowe i somatosensoryczne. Pojawia się po upływie około 300 ms od chwili wystąpienia bodźca - stąd jego nazwa (rys. 1). Jednak zarówno amplituda jak i czas trwania potencjału mogą być różne dla różnych użytkowników. Najsilniej potencjał P300 jest obserwowany na płacie ciemieniowej (elektroda Cz). Zwykle jest to symetryczna dodatnia fala o latencji 250-600 ms w stosunku do bodźca. Typowy, pojedynczy załamek potencjału P300 ma amplitudę od 2 do 5 μV i leży poniżej aktywności „tła” mózgu i opisany jest bardzo niskim poziomem stosunku sygnału do szumu.



Rys. 1. Potencjał P300 oraz jego rozkład na powierzchni głowy
Fig. 1. P300 distribution on the scalp surface

W 1964 roku dwaj naukowcy Champan i Bragdon [7] zauważyli, że odpowiedzi na bodźce wzrokowe różniły się w zależności od tego czy bodźce miały jakieś znaczenie emocjonalne, dla danej osoby, czy też nie. Użytkownik obserwował dwa bodźce: błysk i liczbę. Tylko w odpowiedziach po wyświetlanej liczbie, z opóźnieniem około 300 milisekund, pojawiał się nowy nieznanymi załamek, określony później mianem P3B. Kolejne badania nad załamekiem P300 wykonywał Sutton w latach 1965 i 1967 [8].

W połowie lat 80-tych podjęto próby wykorzystania potencjału P300 do wykrywania kłamstwa (dr Lawrence Frawell). Ponadto uważa się, że potencjał P300 pozwala ocenić jakość procesów pamięciowych, zdolność podejmowania decyzji oraz koncentracji uwagi.

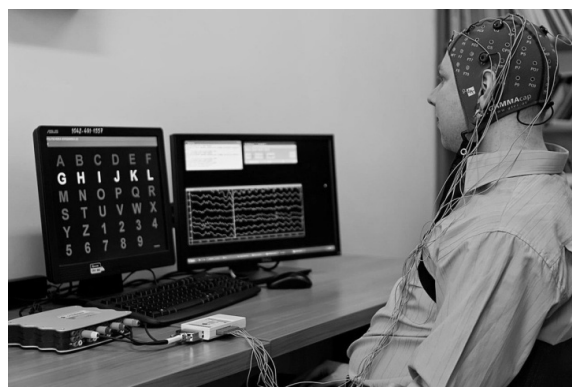
Najczęściej potencjał P300 wywołany jest z użyciem wyświetlanej na ekranie monitora tablicy znaków (np. liter), zaproponowanej przez Dochina (rys 2). Wiersze i kolumny tablicy są podświetlane losowo z częstotliwością od kilku do kilkudziesięciu błysków na sekundę. Zadaniem użytkownika interfejsu jest skoncentrowanie uwagi na wybranym znaku. Podświetlane wiersze i kolumny wywołują potencjał P300 jeśli znajdował się na nich wybrany znak. Po kilku lub kilkudziesięciu uśrednieniach rejestrowanego potencjału P300 (zależnie od użytkownika) można określić, który znak został wybrany. W ten sposób, w przypadku, gdy znakami są litery alfabetu, pisana jest pojedyncza litera, a powtarzanie procesu umożliwia pisanie słów oraz całych zdań.



Rys. 2. Tablica znaków zaproponowana przez Dochina
Fig. 2. An array of characters proposed by Dochin

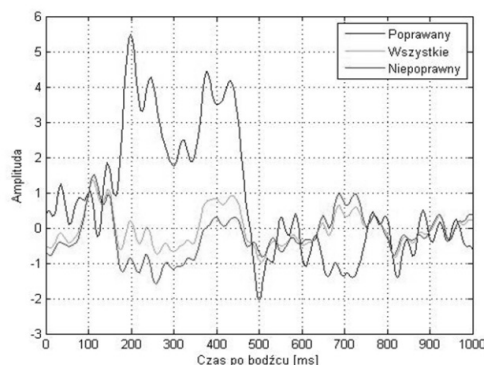
Parametry takie jak czas trwania bodźca, kolor podświetlenia, kolor tła, jak również cechy psychofizyczne użytkownika mają duży wpływ na jakość działania interfejsu. Zmiany te wpływają na opóźnienie (latencję), kształt i wartość amplitudy załamka. Stwarza to konieczność kalibracji systemu, dopasowania parametrów klasyfikacji do użytkownika. Dlatego zawsze wykonywana jest sesja treningowa, w której użytkownik skupia swoją uwagę na wskazanym symbolu. W ten sposób badane są parametry (latencja i amplituda) załamka P300, które w trybie eksploatacji systemu BCI, zostaną wykorzystane do konfiguracji klasyfikatora.

Tytułem eksperymentu autorzy zestawili i przetestowali interfejs mózg-komputer z wykorzystaniem potencjału P300 (rys. 3). Uzyskano bardzo dobre rezultaty. W zaprojektowanym systemie, wybrany znak rozpoznawany był po kilku uśrednieniach potencjału. Wybór jednego spośród 36 znaków dokonywany był w zaledwie 8 sekund. Poprawność działania interfejsu wynosiła 98%.



Rys. 3. Zestawiony przez autorów system BCI wykorzystywany do pisanie tekstu
Fig. 3. Assembled by the authors BCI system used for writing text

Interfejs pozwolił na swobodne pisanie tekstu. Okazało się, że użytkownik może korzystać z interfejsu po zaledwie minutowym przeszkoleniu. Bardzo dobre wyniki działania systemu możliwe były do osiągnięcia dzięki kilku charakterystycznym czynnikom. Ogromne znaczenie miało zastosowanie profesjonalnego wzmacniacza EEG z aktywnymi elektrodami. Do rejestracji sygnału EEG wykorzystano tylko 8 elektrod: F3 F4 T7 C3 Cz C4 T8 oraz Pz. Bardzo ważnym elementem była filtracja pasmowa sygnału (0,5Hz-30Hz) w czasie rzeczywistym, która redukowałą znacząco artefakty i szumy. Analiza sygnału obejmowała okres czasu 600 ms po wystąpieniu bodźca. Jako cechy wybrano próbki uśrednionych przebiegów sygnału. Sygnały otrzymane dla poszczególnych "zdarzeń" zamieszczono na rysunku 4. Do klasyfikacji wykorzystano liniową analizę dyskryminacyjną (LDA).

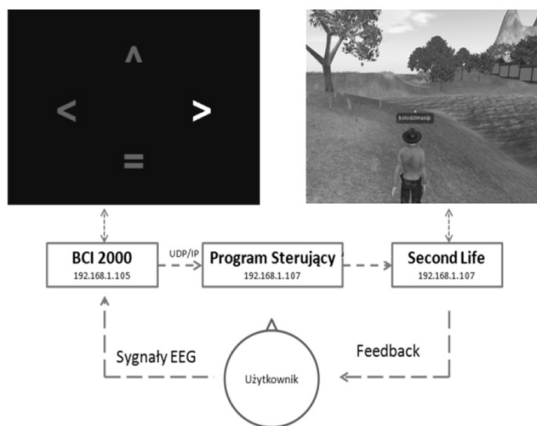


Rys. 4. Potencjały wywołane P300 otrzymane w czasie eksperymentów: poprawny - po skupieniu uwagi na znaku; niepoprawny - gdy użytkownik nie skupiał uwagi na wybranym znaku; wszystkie - średnia wszystkich odpowiedzi

Fig. 4. P300 evoked potentials obtained during experiments: correct - after focusing on the selected character; incorrect - if a user does not focus attention on the selected character, and all - the average of all responses

3. Opis systemu sterującego awatarem

Wykorzystując swoje poprzednie doświadczenia z potencjałem P300, autorzy postanowili użyć go do sterowania wybraną aplikacją komputerową – grą internetową *Second Life*. W tym celu zostało opracowane stanowisko składające się z dwóch komputerów klasy PC połączonych ze sobą poprzez sieć LAN. Na pierwszym komputerze uruchomiony został system BCI2000 ze zmodyfikowaną planszą Dochina, pozwalającą na wybór kierunków poruszania się awatara (w przód, w tył, w prawo, w lewo). System BCI2000, za pośrednictwem protokołu UDP/IP, wysyłał dane o kierunku ruchu awatara do drugiego komputera. Na komputerze numer dwa został uruchomiony autorski program, którego zadaniem było odebranie informacji o kierunku ruchu, a następnie wysłanie odpowiednich poleceń dla gry internetowej - w formie symulowanego naciśnięcia klawisza. Autorski program został zaimplementowany w języku C# (środowisko Visual Studio 2005).



Rys. 5. Schemat działania systemu sterującego awatarem
Fig. 5. Diagram of the system which enables controlling the avatar movement

Autorzy przeprowadzili testy systemu na losowo wybranym użytkowniku. Pierwszym elementem było przeprowadzenie sesji kalibracyjnej. Do rejestracji sygnału EEG wykorzystano tylko 8 elektrod. Podobnie jak w poprzednich badaniach, zastosowano filtrację pasmową sygnału (0,5Hz-30Hz) w czasie rzeczywistym, która redukowałą znacząco artefakty i szумы. Analiza sygnału obejmowała okres czasu 600 ms po wystąpieniu bodźca. Jako cechy wybrano uśrednione przebiegi sygnałów. Wykonano jedną sesję kalibracyjną, na podstawie której nauczono klasyfikator (Liniowa Analiza Dyskryminacyjna). Następnym etapem eksperymentu było przeprowadzenie testu właściwego działania systemu (eksploatacja systemu – rys. 6).



Rys. 6. Zestawione stanowisko do sterowania awatarem
Fig. 6. System for controlling the avatar movement

Docelowym zadaniem użytkownika było poruszanie awatarem w wirtualnym świecie gry *Second Life*. Użytkownikowi nie narzucano czynności, które ma wykonywać. Użytkownik patrząc na monitor z planszą P300, dokonywał wyboru kierunku ruchu, a także obserwował położenie awatara (feedback). Podczas testu

użytkownik swobodnie poruszał awatarem w wirtualnym świecie. Przykładowym zadaniem jakie sobie postawił było przeprowadzenie awatara przez most, które zostało wykonane z powodzeniem. Zdaniem użytkownika interfejsu sterowanie nie wymagało nadmiernego wysiłku.

Warto podkreślić, że gra internetowa *Second Life* może spełniać zadanie "otwarcia na świat" dla osób niepełnosprawnych. Wiele z takich osób nie ma możliwości spotykania się z innymi na co dzień i rozmów w rzeczywistym świecie. Gra społecznościowa może spełniać zadanie integracyjne. Na chwilę obecną autorzy skupili swoją uwagę na sterowaniu awatarem. Jednak opracowany program jest bardzo uniwersalny i po drobnych modyfikacjach, może pozwolić na komunikację z innymi użytkownikami świata gry.

4. Wnioski

Autorzy opracowali i przeprowadzili praktyczne testy interfejsu mózg-komputer z wykorzystaniem potencjału P300. Ważnym atutem stosowania takiego interfejsu jest to, że użytkownik nie musi uczyć się odpowiedniego generowania sygnału EEG. Wystarczy zaledwie jedna sesja kalibracyjna, aby zebrać cechy potencjału P300 dla danego użytkownika i nauczyć system poprawnej klasyfikacji.

Autorzy wykazali podczas doświadczeń, że potencjał P300 można wykorzystać nie tylko do pisania tekstów, ale również np. do sterowania kierunkiem ruchów awatara. Trzeba podkreślić, że opracowane narzędzia są bardzo uniwersalne i pozwalają na sterowanie dowolną aplikacją czy nawet urządzeniem. Docelowo autorzy zamierzają sterować robotem i wózkiem inwalidzkim. Przedstawiony interfejs mózg-komputer z wykorzystaniem potencjału P300 ma jednak pewne wady. Największe z nich to potrzeba obserwacji planszy z bodźcami oraz habituacja na te bodźce, obniżające skuteczność klasyfikacji. Należy jednak pamiętać, że interfejsy mózg-komputer są często jedyną formą komunikacji osób z otoczeniem.

Niniejsza praca była częściowo finansowana przez MNiSZW, grant nr N N510 526239. This work was partly supported by MNiSZW grant N N510 526239.

5. Literatura

- [1] Wolpaw J. R., Birbaumer N., D. J. McFarland, Pfurtscheller G., Vaughan T. M.: Braincomputer interfaces for communication and control, *Clin. Neurophysiol.*, 113: 767–791, 2002.
- [2] Wolpaw J. R., McFarland D. J., Vaughan T. M.: Brain-Computer Interface Research at the Wadsworth Center, *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, 8(2): 222–226, 2000.
- [3] Kołodziej M., Majkowski A., Rak R.: Optymalizacja doboru okien czasowych do przetwarzania sygnału EEG w interfejsach mózg-komputer, IX Szkoła-Konferencja "Metrologia Wspomagana Komputerowo" MWK'2011, Waplewo, 2011.
- [4] Kołodziej M., Majkowski A., Rak R.: Wizualizacja rozkładu potencjału EEG na głowie pacjenta w zastosowaniu do asynchronicznego interfejsu mózg MPM, X Jubileuszowe Sympozjum "Modelowanie i Pomiary w Medycynie", Krynica, 2011.
- [5] Kołodziej M., Majkowski A., Rak R.: Wykorzystanie t-statystyk do szybkiej selekcji cech sygnału EEG na użytek interfejsu mózg-komputer IX Szkoła-Konferencja "Metrologia Wspomagana Komputerowo" MWK'2011, Waplewo, maj 2011.
- [6] Patel S. H., Azzam P. N.: Characterization of N200 and P300: Selected Studies of the Event-Related Potential. *Int J Med Sci* (2005).
- [7] Chanan S., Randy S., Harnarinesingh E.S.: Comparison of Pre-Processing and Classification Techniques for Single-Trial and Multi-Trial P300-Based Brain Computer Interfaces, *American Journal of Applied Sciences* 7 (2010).
- [8] Polich J., Pollick V. E., Bloom F.E.: Meta-analysis of P300 normative aging studies, Article first published online: *Psychophysiology* (2007).
- [9] Schalk G., McFarland D. J., Hinterberger T., Birbaumer N., Wolpaw J.R.: BCI2000: a general-purpose brain-computer interface (BCI) system. *E Trans Biomed Eng.* 51 (2004).