

Marcin JUKIEWICZ*

KONCEPCJA STEROWANIA MAŁYM POJAZDEM ZA POMOCĄ INTERFEJSU MÓZG–KOMPUTER

Interfejs mózg-komputer to system pozwalający na bezpośrednią komunikację pomiędzy mózgiem a urządzeniem zewnętrznym. Każda aktywność mózgu przejawia się w postaci pojawiającego się w nim potencjału elektrycznego. Jego pomiar możliwy jest za pomocą elektroencefalografu wyposażonego w elektrody zamontowane na powierzchni czaszki. Jest to rozwiązanie najczęściej obecnie stosowane w interfejsach mózg-komputer. Poza prezentacją aktualnego stanu wiedzy, celem niniejszej pracy jest prezentacja prostego interfejsu mózg-komputer. W tym rozwiązaniu sygnał z powierzchni czaszki jest mierzony za pomocą jednoelektrodowego urządzenia MindWave firmy NeuroSky, a następnie bezprzewodowo przekazywany do układu Arduino. Układ Arduino, na podstawie otrzymanego sygnału, steruje jeżdżącą platformą. U użytkownika skupiającego uwagę (np. na wspomnianej platformie) w sygnale pomierzonym z powierzchni czaszki, pojawiają się tzw. fale beta. Na podstawie wartości ich amplitudy (czyli przekroczenia określonego progu), układ Arduino decyduje o ewentualnym ruchu platformy.

1. WPROWADZENIE

Interfejs mózg-komputer BCI (ang. *Brain-Computer Interface*) to interdyscyplinarne zagadnienie łączące nauki z pogranicza inżynierii biomedycznej, sztucznej inteligencji oraz neuronauk. Interfejs jest wykorzystywany do bezpośredniej komunikacji pomiędzy mózgiem a otoczeniem do sterowania robotem, telewizorem, oświetleniem lub do pisania w edytorze tekstowym. Za jeden z głównych celów badań nad BCI uważa się umożliwienie komunikacji z otoczeniem pacjentom sparaliżowanym lub dotkniętym syndromem zamknięcia (ang. *locked-in syndrome*) [1]. W obecnie prowadzonych badaniach wykorzystuje się sygnał pobrany w sposób inwazyjny (z powierzchni kory mózgowej) lub nieinwazyjny z powierzchni czaszki.

2. AKWIZYCJA SYGNAŁU

Aktualnie prowadzone są badania nad interfejsami nieinwazyjnymi, w których mierzona jest aktywność elektryczna (elektroencefalograf, EEG) i magnetyczna (magnetoencefalograf, MEG) mózgu, lub odpowiedź hemodynamiczna

* Politechnika Poznańska.

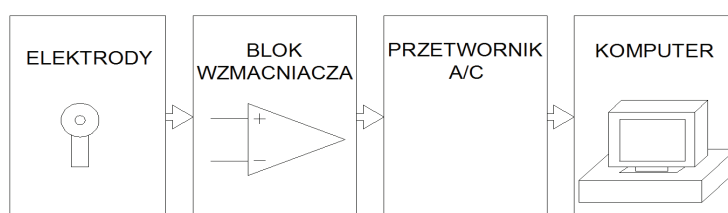
(funkcjonalny rezonans magnetyczny, fMRI lub spektroskop bliskiej podczerwieni, NIRS). Prowadzone są także badania z użyciem inwazyjnych metod pomiaru sygnału, polegające na otwarciu czaszki i pomiarze zmian elektrycznych bezpośrednio z kory mózgowej (elektrokortykografia, ECoG) [1].

Prawdopodobnie najczęściej stosowanym sposobem pozyskiwania sygnału na potrzeby interfejsu mózg-komputer jest wykorzystanie elektroencefalografu.

2.1. Elektroencefalograf

Elektroencefalograf (rys. 1) jest używany w medycynie głównie do diagnozowania uszkodzeń lub zmian patologicznych w pracy mózgu, takich jak np. padaczka.

Bioelektryczna aktywność mózgu jest mierzona za pomocą elektrod umieszczonych (na przykład za pomocą specjalnego czepka) na powierzchni głowy badanej osoby. Liczba zamontowanych elektrod jest zależna od celu badania, zwykle jest ich od 16 do 32 [2, 5]. Sygnał pobrany z powierzchni zewnętrznej czaszki przyjmuje wartości rzędu dziesiątek mikrowoltów i dlatego konieczne jest jego wzmocnienie.



Rys. 1. Schemat blokowy przedstawiający budowę typowego elektroencefalografu

Mózg generuje fale o częstotliwości od około 0,5 Hz do 100 Hz, ale do wykorzystania w interfejsach mózg-komputer za użyteczne przyjmuje się pasmo do 40 Hz. Wyróżnia się kilka charakterystycznych fal:

- fala alfa (od 8 Hz do 12 Hz), która jest podstawowym rytmem występującym w prawidłowym zapisie sygnału EEG osoby dorosłej, głównie w stanie spoczynku;
- fale beta (od 13 Hz do 30 Hz), obserwowalne w okolicy czołowej i związane ze stanem świadomego relaksu;
- fale theta (od 4 Hz do 8 Hz) i delta (od 0,5 Hz do 4 Hz) dotyczące czynności związanych z zasypianiem i snem;
- falę gamma (ponad 30 Hz), której występowanie świadczy o aktywności ruchowej i funkcjach motorycznych oraz o procesach poznawczych, takich jak: percepcja, zapamiętywanie i przywoływanie z pamięci [2].

W porównaniu do innych metod wymienionych we wstępie, komputerowo wspomaganą elektroencefalografią jest najczęściej stosowaną metodą do pozyskiwania sygnału na potrzeby interfejsu mózg-komputer ze względu na swoją nieinwazyjność (nie trzeba otwierać czaszki badanego), możliwość przenoszenia

urządzenia pomiarowego, a także niską cenę i – co jest bardzo ważne w przypadku interfejsów mózg-komputer – niewielkie opóźnienia pomiędzy wystąpieniem bodźca a dostarczeniem go do komputera.

3. POTENCJAŁY WYWOŁANE

W przeciwieństwie do wymienionych wyżej fal, które powstają spontanicznie w mózgu w związku z funkcjonowaniem organizmu, występują także tzw. potencjały wywołane. Pojawiają się one na powierzchni głowy w wyniku zarejestrowania przez człowieka zewnętrznego bodźca. Takim bodźcem może być: pojawienie się lub zmiana tonu dźwięku, błysk światła, zmiana lub pojawienie się obrazu wzrokowego, bądź dostarczenie impulsu elektrycznego do nerwu.

W podrozdziale 3.1 zaprezentowano trzy najbardziej istotne zjawiska, wykorzystywane w interfejsach mózg-komputer.

3.1. SSVEP

Wzrokowe potencjały wywołane stanu ustalonego SSVEP (ang. *Steady State Visually Evoked Potentials*) należą do najprostszych zjawisk wykorzystywanych w interfejsach mózg-komputer [8]. Działanie systemu opiera się na sygnale zebranym nad korą wzrokową.

Badana osoba obserwuje monitor: jeśli pojawia się na nim krótkotrwały bodziec, migający z określoną częstotliwością, to sygnał o tej samej częstotliwości (dominującej) zostanie zmierzony nad korą wzrokową. Wykorzystanie tego zjawiska pozwala stwierdzić, na który z obiektów patrzy badany, gdy na ekranie jest więcej bodźców i każdy pulsuje z inną częstotliwością.

Interfejsy oparte o potencjały wzrokowe działają poza percepcją użytkownika, są skuteczne dla większości osób i dzięki temu są dziś dość często stosowane. Ponieważ nie wymagają treningu, korzystanie z nich jest możliwe bez wstępnych przygotowań, co jest ich główną zaletą. Niestety niosą one ryzyko napadu padaczkowego dla niektórych osób, z powodu konieczności skupiania przez nich uwagi na pulsującym, monotonnym źródle światła [6].

3.2. Potencjał P300

Potencjał P300 należy do grupy potencjałów kognitywnych, które pozwalają ocenić procesy pamięci, podejmowania decyzji, koncentracji uwagi. Są to symetryczne dodatnie fale o latencji (250–600) ms, w zależności od parametrów bodźca i stanu skupienia osoby badanej. Interfejs wykorzystujący potencjał P300 posługuje się odpowiedzią aktywności elektrycznej mózgu na wystąpienie oczekiwanego bodźca wzrokowego lub słuchowego, pojawiającą się po około 300 ms po jego wystąpieniu.

Jako przykład można przedstawić interfejs, w którym użytkownik obserwuje podświetlane pola zawierające litery lub inne znaki. W momencie, gdy "oczekiwane" pole, czyli takie na którym użytkownik skupia swoją uwagę, zostaje podświetlone, na szczycie czaszki, po 300 ms można zmierzyć odpowiedź elektryczną o amplitudzie równej kilka mikrowoltów. W celu poprawnego "zadziałania" takiego interfejsu, badana osoba wielokrotnie skupia się na wybranym bodźcu, dzięki czemu wielokrotnie mierzone sygnały zostają uśrednione [8].

Możliwe jest wykorzystanie takiego interfejsu to pisanie „za pomocą myśli”. Według dostępnych wyników badań, w ciągu jednej minuty można napisać na komputerze jeden wyraz o długości pięciu znaków. Te same badania wykazują, że prawdopodobne jest dalsze poprawienie tego wyniku [8].

System zbudowany w oparciu o P300 jest prosty i dzięki temu często stosowany.

3.3. ERD/ERS

Ze względu na wymóg stosowania zaawansowanych metod przetwarzania sygnałów i algorytmów klasyfikujących, interfejsy asynchroniczne uważane za najtrudniejsze i stanowiące największe wyzwanie podczas realizacji. Interfejsami asynchronicznymi nazywa się takie, których działanie nie jest związane z bodźcami zewnętrznymi, jak to jest w przypadku interfejsów synchronicznych, lecz te, o których ewentualnym zadziałaniu decyduje sam użytkownik [4, 5].

Wykazano, że aktywność mózgu w przypadku, gdy został wyobrażony ruch kończyną, jest zbliżona do aktywności mózgu w sytuacji, gdy ruch ten realnie wystąpił. Zależnie od tego, która z kończyn ma zostać użyta lub ruch której z kończyn został wyobrażony, odpowiedź występuje w innym obszarze mózgu.

Analizując sygnały powstające w wyniku wyobrażania ruchu, mówi się o desynchronizacji i synchronizacji potencjałów mózgowych skojarzonych z tymi intencjami, stąd ich nazwa ERD/ERS (ang. *Event-Related Desynchronization/Synchronization*) [7].

Interfejs wykorzystujący desynchronizację i synchronizację potencjałów mózgowych można zastosować do sterowania wózkiem inwalidzkim. Wyobrażenie ruchu prawą ręką powoduje, że wózek skręca w prawą stronę, wyobrażenie ruchu lewą ręką powoduje, że wózek skręca w lewą stronę, a wyobrażony ruch stopą (niestety, nie udało się jeszcze wyodrębnić w elektrycznej aktywności mózgu każdej stopy z osobna) jazdę do przodu. Ponadto, można jeszcze wykorzystać ruch wyobrażony za pomocą języka.

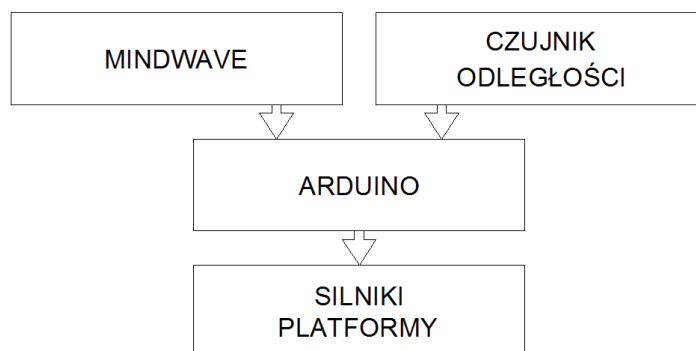
W porównaniu do dwóch wcześniej opisanych systemów, to rozwiązanie ma znaczące wady. Nauka rozpoznawania przez komputer danych fal jest procesem długotrwałym i indywidualnym dla każdego człowieka, a także jest zmienna w czasie. Naukę trzeba podjąć od nowa w przypadku długiej przerwy w nieużywaniu interfejsu. Ponadto, bardzo istotna jest ekstrakcja cech sygnału, ich selekcja i klasyfikacja.

4. STEROWANIE MAŁYM POJAZDEM

Podstawowymi komponentami proponowanego rozwiązania są: komercyjny produkt MindWave firmy NeuroSky i układ Arduino (rys. 2).

MindWave jest urządzeniem, które wykorzystuje jedną pozłacaną i suchą elektrodę (w odróżnieniu od standardowych rozwiązań, gdzie pomiędzy elektrodą a skórą umieszcza się żel przewodzący). Elektroda pomiarowa zamontowana jest na czole użytkownika, a na jego uchu zamontowana jest elektroda odniesienia. Urządzenie na swoje potrzeby używa sygnałów o częstotliwości od 0,5 do 50 Hz, z częstotliwością próbkowania 512 Hz [9].

Mobilną platformą wyposażoną w dwa silniki oraz kulkę podporową ma sterować sterownik DFRduino na bazie Arduino, wykorzystujący między innymi mikroprocesor Atmega328. Układ jest wyposażony w ultradźwiękowy czujnik odległości, mający uchronić pojazd przed ewentualną kolizją z przeszkodą. Do zestawu MindWave jest dołączany odbiornik pracujący w standardzie Bluetooth, umożliwiający komunikację tego urządzenia z komputerem. W tym przypadku odbiornik powinien zostać połączony bezpośrednio z układem Arduino [10].



Rys. 2. Schemat blokowy proponowanego rozwiązania

Niestety, MindWave nie dostarcza sygnału w sposób bezpośredni, tzn. taki, który pozwoliłby na dalszą jego analizę przy użyciu komputera. Jedyne przekazywane informacje to wartości przedstawiające poziom zrelaksowania lub poziom skupienia uwagi, tak więc sygnał budowany jest z opisanych wcześniej fal beta. Taka ilość informacji dostarczanej przez urządzenie nie pozwala na sterowanie np. wózkiem inwalidzkim (jazda prosto, skrzyty w prawo i lewo), ale w zupełności wystarcza do sterowania typu zero-jedynkowego czyli włącz-wyłącz lub jedź-nie jedź.

Do układu Arduino dostarczana jest więc wartość, w zakresie od 0 do 100, jedynie dwóch czynników. Do wystereowania pojazdu potrzebna jest znajomość wartości tylko jednego z nich. Ostatnim krokiem jest ustalenie wartości progów

zadziałania całego układu i czasu trwania przekroczenia tego progu, tak by jazda odbywała się w sposób płynny. Dodatkowo możliwe jest skorelowanie prędkości platformy z wartością otrzymywanego z MindWave sygnału.

5. PODSUMOWANIE

W pracy zaprezentowano wybrane zagadnienia związane z interfejsami mózg-komputer, które wykorzystują do akwizycji sygnału elektroencefalograf, a także opis przykładowego, prostego interfejsu do sterowania małym pojazdem.

Obecnie badania nad tą tematyką skupiają się na minimalizacji liczby stosowanych elektrod, maksymalizacji wydobycia użytecznych informacji z sygnału i optymalizacji wykorzystania algorytmów klasyfikujących. Innym kierunkiem badań jest próba wykorzystania jednocześnie dwóch urządzeń pomiarowych, np. najczęściej stosowanego w tym celu elektroencefalografu (EEG) jako urządzenia głównego i spektroskopu bliskiej podczerwieni jako urządzenia wspomagającego, co ma miejsce w badaniach prowadzonych przez japońską firmę Honda.

Niniejsza praca dotyczy wstępnego etapu podjętych prac konstrukcyjno-badawczych. W zależności od zrealizowanego rozwiązania układu możliwy będzie opis występujących w nim sygnałów oraz analiza ewentualnych oddziaływań obwodów silnopiętrowych na wejściowe elementy, w tym elektrody pomiarowe.

LITERATURA

- [1] Birbaumer N., Breaking the silence: Brain-computer interfaces (BCI) for communication and motor control. *Psychophysiology*, Volume 43, 517-532, ISSN 0048-5772, 2005.
- [2] van Drongelen W., *Signal Processing for Neuroscientists*, Academic Press, 2006.
- [3] Enzinger Ch., Ropele S., Fazekas F., Loitfelder M., Gorani F., Seifert T., Reiter G., Neuper Ch., Pfurtscheller G., Müller-Putz G., Brain motor system function in a patient with complete spinal cord injury following extensive brain-computer interface training, *Experimental Brain Research*, Volume 190, Issue 2, 215-223, ISSN 1432-1106, 2008.
- [4] Graimann B., Brendan Z., Pfurtscheller G., *Brain-Computer Interfaces: Revolutionizing Human-Computer Interaction. Brain-Computer Interfaces: A Gentle Introduction*. Springer, 2011.
- [5] Pfurtscheller G., Lopes da Silva F., Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles, *Clinical Neurophysiology*, Volume 110, 1842-1857, ISSN 1388-2457, 1999.
- [6] Rak R., Kołodziej M., Majkowski A., Interfejs mózg-komputer: wybrane problemy rejestracji i analizy sygnału EEG, *Przegląd Elektrotechniczny*, Numer 12, 277-280, ISSN 0033-2097, 2009.

- [7] Ramoser H., Müller-Gerking J., Pfurtscheller G., Optimal spatial filtering of single trial EEG during imagined hand movement. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Volume 8, Number 4, 2000, 441-446, ISSN 1063-6528, 1999.
- [8] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M., Brain–computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology*, Volume 113, 767-791, ISSN 1388-2457, 2002.
- [9] www.neurosky.com
- [10] www.dfrobot.com

CONCEPT OF SMALL VEHICLE CONTROL BY BRAIN-COMPUTER INTERFACE

The brain-computer interface makes possible to do the direct connection between brain and an external device. Every brain activity causes a rise in electrical potential. Measurement of that potential is possible by electrodes mounted on the surface of the skull. This method is the most popular and is called electroencephalography. This article presents brain-computer interface technology overview and its simple implementation. In this implementation, signal is measured by one-electrode device MindWave from NeuroSky, and then it is wirelessly transmitted to Arduino board. Microcontroller controls the mobile platform based on the received signal. When the user is focusing his attention, for example, on a mobile platform, it is possible to measure the beta waves from the surface of the skull. If the threshold value is exceeded, Arduino moves of the mobile platform.