

Wykorzystanie sygnałów EEG, EOG i EMG do sterowania wózkiem inwalidzkim

Mariusz Biegaj, Kajetan Dziedziech, Mariusz Górski

Koło Naukowe Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej KiNeMaTicS, AGH

Streszczenie: Praca prezentuje wykorzystanie biosygnałów w celu sterowania wózkiem inwalidzkim. Ponadto przedstawione są napotkane problemy, fizyczne oraz techniczne podstawy pobierania sygnałów EEG, EOG oraz EMG, a także ich możliwości. Zaprezentowano również zalety oraz wady przedstawionego rozwiązania.

Słowa kluczowe: wózek inwalidzki, sterowanie, fale mózgowe, elektroencefalografia, elektromiografia

1. Fizyczne podstawy EEG

EEG to rejestracja elektrycznej aktywności kory mózgowej. Aktywność tę mierzy się w μV , tak więc aby przedstawić ją na ekranie komputera lub zapisać w inny widoczny sposób, trzeba wzmocnić tę wartość 1 000 000 razy. Prawdopodobnie większość zapisu to aktywność elektryczna neuronów wchodzących w skład kory mózgowej. Źródła tej aktywności mogą być różne, np. potencjał czynnościowy, potencjał postsynaptyczny i długotrwała depolaryzacja neuronów. Potencjały czynnościowe powodują powstawanie krótkich (10 ms lub mniej) prądów lokalnych w aksonie, które wytwarzają bardzo ograniczone pole elektryczne. Dlatego też uważa się za mało prawdopodobne, aby to właśnie one były źródłem rejestrowanego sygnału. Potencjały postsynaptyczne są bardziej wydłużone w czasie (50–200 ms), mają większe pole, i to one wydają się być głównym źródłem, które rejestrujemy podczas zapisu EEG. Długotrwała depolaryzacja neuronu/komórki nerwowej może wprowadzać zmiany w badaniu EEG, rejestrowane w wypadku uszkodzenia mózgu.

Oczywistym faktem jest generowanie złożonej elektrycznej aktywności mózgu widocznej jako nieregularnych sygnałów EEG, które mają postać pozornie przypadkowych, zmiennych fal. Mniej oczywista jest fizjologiczna przyczyna powstania rytmicznego charakteru niektórych wzorców EEG. Największy wpływ mają tu dwa procesy:

- interakcje między korą a wzgórzem (aktywność komórek rozrusznikowych wzgórza powoduje rytmiczną aktywację kory, np. komórki w jądrze siatkowatym wzgórza odpowiadają za generację wrzecion snu);
- funkcjonalne właściwości dużych sieci neuronowych kory charakteryzujących się swoistą zdolnością do wyładowań rytmicznych.

Złożenie tych dwóch procesów powoduje, iż jesteśmy w stanie zaobserwować i zarejestrować rozpoznawalny wzorec EEG.

2. Techniczne podstawy zapisu EEG

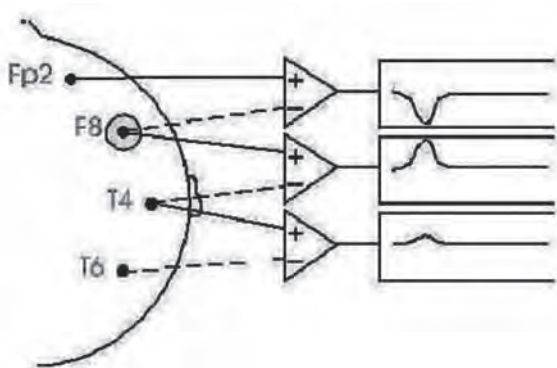
Największym problemem w elektroencefalografii jest wzmocnienie bardzo słabych potencjałów generowanych na neuronach kory mózgowej i przekształcenie ich w graficzny zapis. Dużym problemem jest wzmacnianie nie tylko sygnałów wynikających z aktywności elektrycznej kory, ale również z artefaktów takich jak ruch gałek ocznych, ruchy głowy czy napięcie mięśni żuchwy, a ich amplituda najczęściej wielokrotnie przekracza amplitudę interesującego nas sygnału.

3. Odprowadzenia elektrod

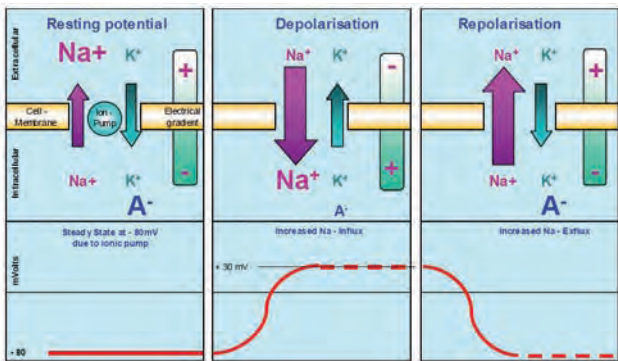
Sygnał, który wpływa z pojedynczej elektrody do wzmacniacza jest porównywany z uziemieniem, więc sygnał wychodzący jest zależny od różnicy potencjałów między elektrodą a uziemieniem. Wyjście ze wzmacniacza prezentuje elektryczną aktywność kory mózgowej, ale również wszystkie potencjały z otoczenia wpływające na elektrodę (np. artefakty związane z prądem zmiennym o częstotliwości 50 Hz). Kiedy do wzmacniacza wprowadzamy dwa aktywne odprowadzenia, czyli pomiar następuje między dwiema aktywnymi elektrodami, mówimy o wzmacnianiu różnicowym. Powoduje to redukcję lub usunięcie sygnałów działających w jednakowym stopniu na oba odprowadzenia. Efekt ten nazywamy „redukcją fazową”. Zdając sobie sprawę, iż wzmacniacz ustala różnicę między dwoma potencjałami wchodzącymi, możemy zapisywać odniesienie między elektrodami umieszczonymi na skórze głowy (obie elektrody rejestrują aktywność elektryczną mózgu, dlatego taki rodzaj odprowadzenia nazywamy dwubiegunowym).

4. Odprowadzenia dwubiegunowe

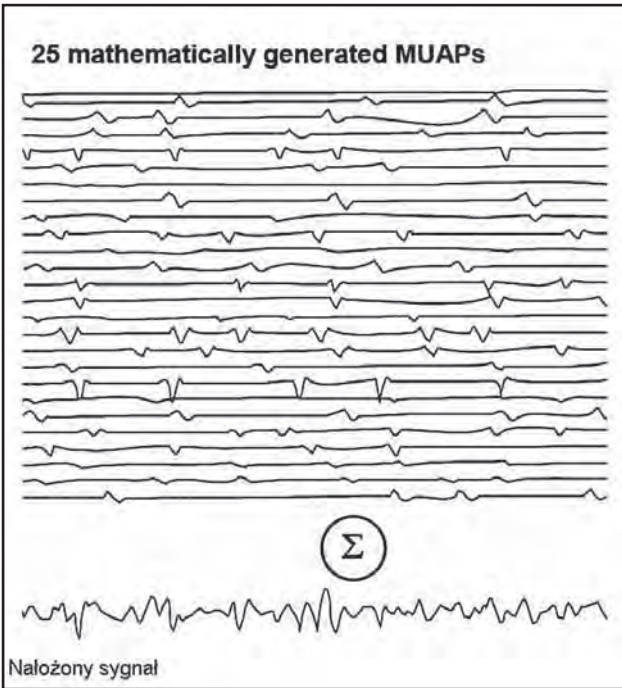
Odprowadzenia dwubiegunowe składają się z dwóch aktywnych elektrod połączonych ze sobą elektronicznie. Wielkości potencjałów są porównywane (uzyskana różnica potencjałów nie ma artefaktów lub są one w znacznym stopniu zredukowane). W praktyce oznacza to podłączenie kolejnych elektrod od wejścia odwracającego i nieodwracającego wzmacniacza. Podłączenie odwracające jednego wzmacniacza jest podłączone jednocześnie do wejścia nieodwracającego kolejnego wzmacniacza (rys. 1) [1].



Rys. 1. Podłączenie dwubiegunowe
Fig. 1. Bipolar configuration



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procesów depolaryzacji i repolarizacji w błonach komórek pobudliwych
Fig. 2. Graphical representation of depolarization and repolarization in simulative cell membranes



Rys. 3. Diagram przedstawia pojedyncze MUAP oraz ich sumę
Fig. 3. Diagram shows singular MUAP and their sum

5. Definicja EMG i powstawanie sygnału

„Elektromiografia (EMG) – badanie polegające na rejestracji za pomocą odpowiedniej aparatury czynności elektrycznej mięśni zarówno w spoczynku, jak i podczas słabego lub maksymalnego ich skurczu dowolnego” [4]. Do kontroli skurczów mięśni wykorzystywana jest tzw. jednostka motoryczna, w skład której wchodzi: ciało komórki, rozgałęzienie aksonu oraz włókna mięśniowe unerwiane przez te aksony. Określenie jednostka przychodzi na myśl symultaniczne wykonanie czynności wszystkich włókien mięśniowych wchodzących w skład jednostki motorycznej o takim samym unerwieniu.

6. Sygnał EMG

Sygnał rejestrowany w badaniu EMG jest bezpośrednim następstwem potencjałów czynnościowych, które są z kolei następstwem depolaryzacji i repolarizacji. Kluczowymi mechanizmami, które mają wpływ na wielkość i gęstość sygnału są częstość wyładowań MUAP oraz ich rekrutacja. Mechanizmy te kontrolują proces skurczu i modułują siłę mięśnia.

7. Elektrody powierzchniowe

Elektrody te są najczęściej stosowane w badaniach kinezyjologicznych ze względu na swój nieinwazyjny charakter. Ich stosowanie jest proste, ale są one jednocześnie ograniczone do rejestracji tylko mięśni powierzchniowych. Przy rejestracji mięśni położonych głębiej konieczne jest zastosowanie elektrod igłowych lub cienkoigłowych. Najczęściej stosuje się elektrody pokryte srebrem/chlorkiem srebra (SENIAM). Elektrody te są łatwe w użyciu i higieniczne (pod warunkiem ich jednokrotnego użycia) [5].

8. Fizyczne podstawy EOG

W oku ludzkim występuje stałe pole elektryczne niepowiązane z pobudzeniem oka przez światło. Pole to jest wykrywane nawet w całkowitej ciemności oraz przy zamkniętych oczach. Można je opisać jak stały dipol z biegunem dodatnim w rogówce oraz ujemnym w siatkówce. Wielkość tego potencjału szacuje się na zakres 0,4–1 mV. Nie jest on generowany przez tkankę pobudliwą, ale raczej wynika z szybszej przemiany materii w siatkówce. Taka różnica potencjału oraz rotacja oka są podstawą do pomiaru sygnału z elektrod umieszczonych na powierzchni okostnej oczodołu. Sygnał zarejestrowany na tych elektrodach nazywamy elektrookulogramem i jest on bardzo przydatny do badania ruchu oczu [3].

9. OCZ Neural Impulse Acurator

Od lat 70. prowadzone były badania nad BCI (*Brain-Computer Interface*). Uwaga badających była w większości skupiona na zastosowaniach medycznych. Potencjalne aplikacje kontrolowane przez BCI mogą być pomocne ludziom chorym i niepełnosprawnym. Większość technologii wykorzystywanych w BCI jest dopiero dopracowywana, lecz badania nad nimi dają już pierwsze efekty. Jednym z nich jest OCZ NIA (*Neural Impulse Acurator*). Firma OCZ we współpracy z Brain Actuated Technologies, Inc., opracowała NIA. Ponieważ NIA nie wymaga chirurgicznej instalacji i zapewnia komunikację z komputerem tylko w jednym kierunku, można zakwalifikować to urządzenie jako nieinwazyjne i jednokierunkowe BCI [2].

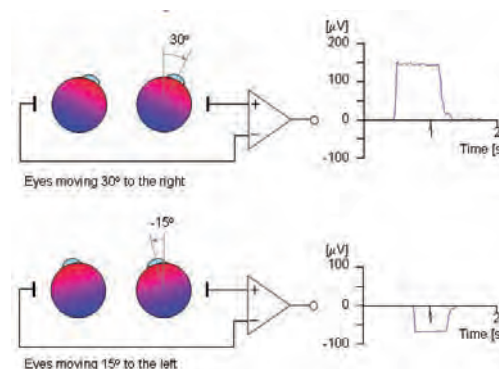
10. Działanie NIA

Neural Impulse Acurator działa na zasadzie wykrywania naturalnych biopotencjałów ciała, używając trzech sensorów przymocowanych do gumowej opaski i umiejscowionych na czole. Biopotencjały to wielkości takie jak napięcie, prąd czy pole wytwarzane przez biologiczne reakcje chemiczne. NIA poprzez elektrody wykrywa te sygnały, a następnie dzięki regułom analizowania sygnału upraszcza go, co pozwala na przypisanie poszczególnych częstotliwości sygnału do komend wykonywanych przez komputer. Oznacza to, że NIA nie odczytuje myśli, ale wykrywa najbardziej podstawowe komponenty odpowiadające za ich powstawanie. Ma to kluczowe znaczenie dla wykorzystania urządzenia podczas sterowania, ponieważ nie jest ono zdolne do przetwarzania bezpośrednich komend (np. „w lewo”) na sygnał zrozumiały dla komputera. Zamiast wysyłania takich właśnie komend do prawidłowego korzystania z NIA potrzebny jest trening nad wyodrębnieniem poszczególnych sygnałów wykrywanych przez urządzenie (zachowanie to jest podobne do kontroli sygnałów, dzięki którym poruszamy nogą czy napinamy biceps). Metoda ta ma tę zaletę, iż raz opanowana pozwala na łatwą kontrolę wszystkich aplikacji/urządzeń do sterowania, w których NIA jest używana.

NIA nie jest ograniczona tylko do odczytywania biopotencjałów generowanych przez mózg. Technicznie urządzenie to jest bowiem kombinacją prostego elektroencefalogramu, elektromiogramu oraz elektrookulogramu. Oznacza to, iż poza wykrywaniem rytmów alfa i beta wytwarzanych przez mózg, urządzenie jest w stanie wykrywać działalność elektryczną mięśni twarzy oraz wychylenia kąтового gałek ocznych od pozycji, w której człowiek patrzy na wprost [2].

11. Używanie NIA

Niestety, sposób działania urządzenia powoduje, iż potrzeba wiele czasu na opanowanie bodźców wpływających na sterowanie urządzeniem oraz wykorzystanie jego pełnego potencjału. Podstaw można się nauczyć w dosyć szybkim czasie, jednak dojście do wykorzystania pełnych możliwości urządzenia może zająć całe miesiące. Przy pierwszym kontakcie z NIA większość użytkowników będzie prawdopodobnie potrafiła kontrolować tylko sygnały mięśniowe, jednak im



Rys. 4. Pomiar napięcia w zależności od ruchu oczu kolejno w prawo i w lewo

Fig. 4. Voltage measurement with respect to movement to the right and left



Rys. 5. OCZ Neural Impulse Actuator

Fig. 5. OCZ Neural Impulse Actuator



Rys. 6. Opaska OCZ Neural Impulse Actuator

Fig. 6. OCZ Neural Impulse Actuator headband



Rys. 7. Wnętrze jednostki kontrolnej OCZ NIA

Fig. 7. Inside of control unit of OCZ NIA

więcej ćwiczeń, tym lepsze efekty w wykorzystywaniu pozostałych sygnałów (EEG oraz EOG).

12. Budowa NIA

Jak na urządzenie o takim zaawansowaniu technicznym, OCZ NIA prezentuje się dość skromnie. Urządzenie składa się tylko z dwóch części: jednostki kontrolnej i gumowej opaski. Opaska, zrobiona z rozciągliwej gumy, ma owalny kształt. Na przodzie opaski zamontowano trzy romboidalne sensory. Od opaski odchodzi kabel zakończony wtyczką z 3 pinami, którą podłącza się do gniazda na froncie jednostki kontrolnej. Przewód o długości 1 m zapewnia swobodę ruchów [2]. Część elektroniczna, usytuowana w jednostce kontrolnej, składa się z dwóch odseparowanych obwodów. Część cyfrowa jest zasilana przez USB i wykorzystuje przetwornik DC/DC, aby zapewnić zasilanie i „wirtualne” uziemienie dla części analogowej, zawierającej wzmacniacze. Sygnały z części analogowej są przekazywane do części cyfrowej przez optyczne urządzenie nadawczo-odbiorcze.

13. Oprogramowanie i sterowniki

Dostarczone z NIA oprogramowanie przeznaczone do konfigurowania i obsługi jest wyposażone w wiele modułów i funkcji, które decydują o licznych możliwościach urządzenia, aczkolwiek jest skomplikowane. Menu odpowiadające za konfigurację jest czytelne. Kalibracja jest pierwszym i koniecznym działaniem poprzedzającym użytkowanie OCZ NIA i musi być wykonywana każdorazowo po podłączeniu urządzenia. Dzięki temu procesowi mamy pewność, że wzmocnienie poszczególnych sygnałów ma odpowiednie wartości. Po ukończeniu procesu konfiguracji i kalibracji istnieje możliwość wypróbowania swoich sił i jednoczesnego wytrenowania umiejętności w dostarczonej przez producenta grze „Pong”.

14. Podsumowanie

Na obecnym etapie wczesnego prototypu używany jest tylko sygnał EMG (w celu uruchamiania silników i jazdy do przodu). Na późniejszych etapach planujemy wykorzystać sygnały EOG i EEG do sterowania skrętami wózka w prawo i w lewo. Niewątpliwą zaletą naszego przedsięwzięcia jest aspekt finansowy – całość kosztów nie przekroczyła 1500 złotych (materiały i podzespoły były kupowane okazjnie, często jako elementy używane).

W zakupionym przez nas elektrycznym wózku inwalidzkim standardowe sterowanie za pomocą joysticka zostało zastąpione opaską OCZ NIA wraz ze wzmacniaczem. Sygnały sterujące pracą silnika wysyłane są z laptopa za pomocą interfejsu RS-232. Sterowanie z poziomu laptopa jest już przystosowane do obsługi skrętów. Ważnym atutem jest niezwykle prosta obsługa sterowania. Wszyscy, którzy próbowali kontrolować wózek, nauczyli się tego w czasie krótszym niż 10 minut, aczkolwiek wprowadzenie możliwości skręcania z pewnością wydłuży ten czas. Obecnie trwają prace nad wyeliminowaniem laptopa z układu i zastąpienie

go mikrokontrolerem, oraz rozbudową sterowania o możliwości skrętów w prawo i w lewo.

Bibliografia

1. [http://astrophysics.fic.uni.lodz.pl/medtech/pakiet11/pkt_11_7.html].
2. [<http://hothardware.com/printarticle.aspx?articleid=1178>].
3. [www.bem.fi/book/28/28.htm].
4. [www.biomedical.pl/sloownik-medyczny/emg-228.htm].
5. Konrad Peter: ABC EMG. *Praktyczne wprowadzenie do elektromiografii kinezyologicznej*. Technomex, Gliwice 2007.
6. [<http://encyklopedia.pwn.pl/haslo.php?id=3947453>] ■

Using EEG, EOG and EMG signals for wheelchair control

Abstract: The work is devoted towards usage of bio signals for the purpose of controlling a wheelchair. It also covers the aspects of encountered problems the physical and technical basis of collecting EEG, EOG and EMG and the possible usage of these signals. It also discusses the pros and cons of the proposed solution.

Keywords: wheelchair, steering, brain waves, electroencefalograph, electromiograph

Kajetan Dziedzic

Student studiów jednolitych na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii Górniczo-Hutniczej. Członek Koła Naukowego Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej KiNeMaTicS. Zainteresowania naukowe: eksperymentalna analiza modalna, pomiary wibroakustyczne.

e-mail: kajtekdziedzic@gmail.com



Mariusz Biegaj

Student studiów jednolitych na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii Górniczo-Hutniczej. Członek Koła Naukowego Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej KiNeMaTicS. Zainteresowania naukowe: aeronautyka, analiza modalna, robotyka.

e-mail: biegajmariusz@gmail.com



Mariusz Górski

Student studiów jednolitych na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii Górniczo-Hutniczej. Członek Koła Naukowego Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej KiNeMaTicS. Zainteresowania naukowe: działanie ludzkiego mózgu, robotyka, sieci miedziane i optyczne.

e-mail: mgorski@lanox.pl

