

# Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

## Gra sterowana za pomocą elektromiogramu.

Jan Foltyn

Beata Kędzierska

Mateusz Kukiela

Joanna Śliwa

Przemysław Ziółkowski

Opiekun projektu: dr. hab. Jarosław Żygierewicz

16.06.2019

### Streszczenie

Poniższy raport jest opisem przeprowadzonego projektu studenckiego, którego celem było stworzenie kontrolera gry komputerowej, operującego na sygnale elektrycznym z mięśni, mierzonego za pomocą elektromiografii. Sam kontroler został napisany w języku Python, wybranym przez wzgląd na jego przejrzystość i doświadczenie w obcowaniu z nim, posiadane przez wszystkich członków zespołu. Rejestracja sygnału oraz wykrywanie poszczególnych gestów wykonane zostało przy użyciu oprogramowania Svarog i występującej w nim funkcji tagów. Jako systemu rozpoznawania gestów użyta została metoda minimum distance to mean (MDM), bazująca na porównywaniu macierzy kowariancji w geometrii Riemanna. Ostatecznie eksperyment zakończył się ograniczonym sukcesem, oprogramowanie spełnia swoją rolę, jednak do prawidłowego działania kontroler wymaga wyjątkowo precyzyjnej sesji kalibracyjnej, która musi zostać wykonana dla każdego użytkownika. Tutaj znajduje się całość projektu: [https://github.com/MateuszKukiela/EMG\\_game\\_controller](https://github.com/MateuszKukiela/EMG_game_controller).

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
1.1	Cel projektu . . . . .	2
1.2	Założenia projektu i jego problematyka . . . . .	2

<b>2</b>	<b>Część teoretyczna</b>	<b>2</b>
2.1	Elektromiografia - EMG . . . . .	2
2.2	Źródła błędów w EMG . . . . .	3
2.3	Użyta aparatura i montaż . . . . .	3
2.4	Minimum distance to mean (MDM) . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Przebieg projektu</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Wyniki projektu i możliwe modyfikacje</b>	<b>6</b>
4.1	Wyniki . . . . .	6
4.2	Możliwe modyfikacje i zastosowanie . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Podział pracy w zespole</b>	<b>8</b>
5.1	Podział zadań . . . . .	8
5.2	Uruchamianie kontrolera . . . . .	8

# 1 Wstęp

## 1.1 Cel projektu

Celem projektu było zaprojektowanie, implementacja i przetestowanie interaktywnej gry komputerowej, której sterowanie odbywałoby się za pomocą sygnału elektrycznego z mięśni mierzonego za pomocą elektromiografii.

## 1.2 Założenia projektu i jego problematyka

Podejście do zadania opierało się na wykrywaniu wykonywanych w czasie rzeczywistym ruchów dłoni i porównywaniu ich z bazą poszczególnych gestów stworzoną podczas sesji kalibracyjnej. Przy odpowiednim poziomie zgodności między ruchem, a danym wzorcem występującym w bazie, kontroler dobierał w grze czynność adekwatną do rozpoznanego gestu.

Podstawowym problemem który napotkano, była kwestia prawidłowego dopasowania gestu z bazy, do wykonanego przez użytkownika ruchu. Na różnicę między gestem uczynionym, a zarejestrowanym wpływ ma szeroka gama czynników, takich jak błędy ludzkie podczas kalibracji, zmęczenie mięśni wraz z czasem przeprowadzania eksperymentu czy też zmiana sposobu wykonywania gestu, a co za tym idzie aktywacja innych grup mięśni. Wybrano metodę minimum distance to mean (MDM), opisaną szerzej w części teoretycznej, która zdawała się być idealnym rozwiązaniem niedogodności.

## 2 Część teoretyczna

### 2.1 Elektromiografia - EMG

Elektromiografia jest jednym z podstawowych badań w rozpoznawaniu chorób mięśni i nerwów obwodowych, zajmuje się badaniem sygnałów elektrofizjologicznych pochodzących z mięśni. Amplituda sygnału EMG wynosi od około kilkudziesięciu  $\mu V$  do 10 mV, zaś pasmo sygnału obejmuje zakres częstotliwości od 2 do 5000 Hz, przy czym największa energia sygnału znajduje się w przedziale od 50 do 150 Hz. W projekcie oparto się na badaniu powierzchniowym, które wykonuje się z użyciem elektrod samoprzylepnych, umieszczonych na powierzchni skóry. Ocenie podlegają mięśnie położone powierzchownie lub grupy mięśni.

### 2.2 Źródła błędów w EMG

Rejestracja sygnału EMG, podlega pewnym zakłóceniom ([1] Zasady wykonywania pomiarów EMG i występujące w nich źródła błędów), są to przede wszystkim:

#### **Artefakty ruchowe**

W wyniku aktywacji mięśnia, ulega on skróceniu, co powoduje przemieszczanie się względem siebie mięśnia, skóry i elektrody. Przemieszczenie to powoduje zmianę amplitudy mierzonego sygnału, zmianę potencjału DC (potencjału powstającego na granicy skóra-elektrolit) oraz rozciągnięcie skóry.

#### **Artefakty związane z obecnością zewnętrznym pól elektromagnetycznych**

Zwykle nie są obserwowane zakłócenia o jednej częstotliwości, równej częstotliwości zmian napięcia w gniazdku zasilającym, lecz również wyższe harmoniczne tej częstotliwości. W Polsce będą to częstotliwości m.in. 50 Hz, 100 Hz i 150 Hz, które znajdują się w paśmie, w którym sygnał EMG ma największą energię. Stosowanie filtrów pasmowo zaporowych nie jest wskazane, bowiem filtry nie tłumią ściśle określonych częstotliwości tylko pasma o pewnej szerokości (np. 45-55 Hz, 95-105 Hz, itd). W efekcie znaczna część istotnego pasma sygnału EMG zostałaby odrzucona. Aby zminimalizować przenikanie do rejestrowanego sygnału EMG sygnału sieciowego o częstotliwości 50 Hz należy zadbać o niską impedancję pomiędzy elektrodą a skórą oraz powinno mierzyć się sygnały różnicowe.

## **Artefakty sieciowo-ruchowe**

Podczas ruchu mięśnia ciało może ulec przemieszczeniu, co spowoduje ruch kabla w przestrzeni pomiędzy elektrodą a wzmacniaczem. Powoduje to różne zjawiska fizyczne, które można wyeliminować stosując filtr górnoprzepustowy, którego częstość odcięcia ustawia się w granicy od 10 do 20 Hz oraz używanie kabli ekranowanych. Kable tego rodzaju minimalizują wpływ zjawisk fizycznych – m.in. wpływ generowanego, niechcianego pola elektrycznego.

## **2.3 Użyta aparatura i montaż**

### **Aparatura**

Do użytej podczas realizacji projektu aparatury należą:

- preparat służący do oczyszczenia skóry i zmniejszenia rezystancji na granicy skóra elektroda,
- elektrody samoprzylepne zanurzone w żelu przewodzącym, służące do pobierania i przesyłania sygnału elektrycznego z mięśni do wzmacniacza,
- wzmacniacz odpowiednio przetwarza (m.in. amplifikuje, filtruje) zebrany przez elektrody sygnał i przesyła do komputera w formie cyfrowej,
- komputer umożliwiający przeprowadzenie analizy sygnałów, wyposażony w:
  - program Svarog do przeglądania i nagrywania sygnału,
  - program Psychopy do tworzenia sesji kalibracyjnej,
  - środowisko programistyczne w którym kontroler powstanie,
  - grę obsługiwaną przy pomocy klawiatury (pong).

### **Montaż**

Pierwszym krokiem było stworzenie prostego układu człowiek-wzmacniacz-komputer. W tym celu przygotowywano uczestnika do umieszczenia na jego skórze sześciu elektrod samoprzylepnych. Lokalizacje elektrod były indywidualnie dobierane w zależności od precyzyjnej lokalizacji znacznych mięśni warstwy powierzchniowej przedramienia takich jak, zginacz głęboki palców, prostownik palców czy prostownik promieniowy długi nadgarstka [2]. Skóra była oczyszczona przy użyciu spirytusu, a następnie pozwalano jej wyschnąć,

aby zapewnić maksymalną przyczepność i minimalną rezystancję na granicy ośrodków. Tak przygotowana osoba była za pomocą elektrod podłączana pod wzmacniacz, będący już w połączeniu z komputerem. Mając zbudowany ten prosty układ można przystąpić do eksperymentów.

## 2.4 Minimum distance to mean (MDM)

W czasie kalibracji zebrano  $N$  powtórzeń każdego z  $G$  gestów. Każdy gest powtórzono taką samą liczbę razy. Posiadając macierze przefiltrowanych i zmontowanych bipolarnie sygnałów, można utworzyć ich macierze korelacji [4]. Wartości macierzy korelacji to znormalizowane wartości macierzy kowariancji. Dzięki temu, że wartości macierzy znajdują się w przedział  $[-1, 1]$  to dalsza praca z wartościami na nich bazującymi umożliwia ustalenie thresholdu.

Dla wszystkich powtórzeń każdego gestu utworzono takie macierze - było ich w sumie  $N \times G$ . Utworzenie takich macierzy jest niezbędny aby skorzystać z algorytmu opisanego w pracy o MDM [3].

Do sklasyfikowania i odpowiedniego opisanie gestu użyto średniej w sensie Riemanna [3]. Dla każdego gestu policzono średnią z  $N$ , odpowiednich dla gestu, macierzy. Otrzymano  $G$  średnich macierzy. W efekcie otrzymano bazę sklasyfikowanych gestów, która była trójwymiarową macierzą o wymiarze  $CH \times CH \times G$ , gdzie  $CH$  to liczba kanałów.

W trakcie gry, gdy pracowano w czasie rzeczywistym tworzone ponownie macierz korelacji odpowiedniego fragmentu sygnału. Obliczano odległości w sensie Riemanna [3], macierzy utworzonej podczas gry z macierzą gestu z bazy. Otrzymano  $G$  odległości. Podczas klasyfikacji gestu wybierano ten, dla którego odległość była najmniejsza.

W dokumentacji [3] na której opierano się przy wyborze sposobu klasyfikowania sygnałów, badano algorytm pod kątem BCI. Oznacza to, że sposób był stworzony z myślą o sygnałach elektrycznych z mózgu – EEG, a nie z mięśni – EMG.

## 3 Przebieg projektu

Pierwszym etapem realizacji projektu było napisanie kodu w języku python mającego na celu umożliwienie grania w interaktywną grę, w której bazowe

sterowanie zostałyby zastąpione przez kontrolę gestami. Gest byłby rozumiany jako konkretny zestaw aktywności mięśniowej zebranej przez elektrody. W początkowej fazie pracy nad projektem korzystano ze sztucznego wzmacniacza, aby umożliwić każdemu z członków zespołu pracę nad projektem bez konieczności obecności na uczelni. Kod ten podzielony był na moduły w celu ułatwienia pracy nad nimi pojedynczym osobom, a w dalszym planie łatwiejszego złączenia w jedną, spójną całość. Dopiero po stworzeniu kontrolera oferującego zadowalający poziom działania, rozpoczęto spotkania na których używany był rzeczywisty wzmacniacz. Okres spotkań stawiał za cel dopracowanie szczegółów projektu na drodze testów oraz zaznajomienie się z czynnikiem ludzkim w eksperymencie. W finalnej wersji kodu rozróżnić można było 3 zasadnicze elementy.

Pierwszy z nich odpowiedzialny był za kalibrację kontrolera, czyli połączenie działania Svaroga i Psychopy, mające na celu wyodrębnienie fragmentów sygnału w którym wykonywany był gest. Psychopy był odpowiedzialny za wizualną komunikację z użytkownikiem przez wskazywanie jakiego typu gest powinien być w danym momencie wykonany. Natomiast Svarog używający mechaniki tagów, wyodrębniał okresy sygnału, wybrane na podstawie momentu w którym użytkownik odpowiadał gestem na zalecenia Psychopy.

Drugi fragment to przetworzenie zebranych przez program Svarog elementów sygnału na wielowymiarową bazę, która za pomocą techniki MDM jest przerabiana na bazę wzorców gestów.

Trzecia część kodu zajmuje się filtracją dostarczanego w czasie rzeczywistym sygnału, a ponadto korzysta z bazy wzorców w celu rozpoznawania ruchów wykonywanych podczas testowania gry interaktywnej i przetworzenia ich na odpowiedź, rozpoznawaną przez program gry.

Ostateczny tok działania kontrolera wygląda następująco:

- montaż układu człowiek-wzmacniacz-komputer
- przeprowadzenie kalibracji za pomocy programu Psychopy i jednoczesne zapisanie sygnałów używając oprogramowania Svarog
- korzystając z funkcji tagów rozdzielenie nagranych sygnałów na gesty

- stworzenie z pociętych sygnałów trójwymiarowej bazy gestów
- użycie MDM na przefiltrowanym sygnale rzeczywistym – klasyfikacja gestu
- wybranie odpowiedniej akcji komputera na podstawie wcześniej sklasyfikowanego gestu

## 4 Wyniki projektu i możliwe modyfikacje

### 4.1 Wyniki

Finalnie realizacja celu projektu zakończyła się powodzeniem, zespół skonstruował działający kontroler sterowany za pomocą sygnału elektrycznego, pochodzącego z mięśni. Należy jednak zaznaczyć, że funkcjonalność oprogramowania jest obarczona pewnymi wadami, główna z nich to: każdorazowa konieczność przeprowadzenia precyzyjnej kalibracji, jeżeli zmieniany jest użytkownik interfejsu. Problem ten pojawia się na skutek trudności umieszczenia elektrod w dokładnie tych samych punktach, w których znajdowały się podczas poprzedniej sesji kalibracyjnej. Istnieją również osobnicze różnice w budowie mięśni i sile skurczu, co jest czynnikiem uniemożliwiającym dobranie uniwersalnego położenia elektrod dla każdego użytkownika. Umieszczenie elektrod w innym położeniu, prowadzi do zebrania sygnału elektrycznego z innych partii mięśni, a ten czynnik ma już znaczący wpływ na analizę zebranego sygnału. Dodatkowo sama kalibracja kontrolera jest procesem dość wyczerpującym, ponieważ wymaga ona za każdym razem co najmniej pięciu minut ciągłego skupienia uwagi użytkownika i precyzyjnego wykonywania gestów w celu stworzenia dobrej bazy gestów. Część tego problemu prawdopodobnie wynika z zastosowania algorytmu MDM, który docelowo był przystosowany do analizy sygnałów EEG, a nie EMG.

### 4.2 Możliwe modyfikacje i zastosowanie

#### Modyfikacje

Po zrealizowaniu projektu, część zespołu natknęła się na metodę wykrywania gestów, bazującą na porównywaniu geometrycznych interpretacji pochodnych, gdzie pochodną funkcji nazywamy tangens nachylenia stycznej do jej wykresu z osią OX – w naszym przypadku oś czasu, odczytanego sygnału w celu ich identyfikacji. Sposób ten cechowała wyjątkowo wysoka skuteczność w poprawnym rozpoznawaniu gestów dla pomiarów elektrookulogramu czyli

badania polegającego na zapisie potencjału spoczynkowego w pobliżu gałek ocznych. Przewidujemy, że zastosowanie sposobu opartego na porównywaniu pochodnych w zastępstwie techniki minimum distance to mean pozwoliłoby na poprawienie właściwości stworzonego kontrolera.

## **Zastosowanie**

Głównym zamiarem użycia kontrolera była gra w ponga. Z powodzeniem udało się uczestnikom zagrać zarówno w trybie jednego gracza jak i dwóch graczy (przy wspólnym uziemieniu).

Osoby z niesprawnością mięśniową dla których niemożliwa jest obsługa komputera w tradycyjny sposób, mogłyby dzięki temu korzystać z niektórych jego funkcji. Jeśli w przyszłości metoda została by rozwinięta i dopracowana, być może uzyskano by pełną kontrolę przy niewielkim udziale mięśni.

## **5 Podział pracy w zespole**

### **5.1 Podział zadań**

- Napisanie głównej części kodu w języku python: Jan Foltyn, Mateusz Kukiela
- Przygotowanie i przebudowa raportu: Beata Kędzierska, Joanna Śliwa, Przemysław Ziółkowski
- Udział w spotkaniach kalibracyjnych: Beata Kędzierska, Mateusz Kukiela, Joanna Śliwa, Przemysław Ziółkowski
- Wykorzystanie metody minimum distance to mean (MDM): Beata Kędzierska, Joanna Śliwa
- Zarządzanie projektem i podział obowiązków: Jan Foltyn

### **5.2 Uruchamianie kontrolera**

Program można znaleźć pod adresem: [https://github.com/MateuszKukiela/EMG\\_game\\_controller](https://github.com/MateuszKukiela/EMG_game_controller)



## Literatura

- [1] *Zasady wykonywania pomiarów EMG i występujące w nich źródła błędów* [https://brain.fuw.edu.pl/edu/index.php/Pracownia\\_Sygna%C5%82%C3%B3w\\_Biologicznych/Zajecia\\_5\\_6](https://brain.fuw.edu.pl/edu/index.php/Pracownia_Sygna%C5%82%C3%B3w_Biologicznych/Zajecia_5_6)
- [2] Kiss-Szentàgothai, *Atlas anatomiae corporis humani Atlas anatomiczny*.
- [3] Marco Congedo, Alexandre Barachant, Anton Andreev *A New Generation of Brain-Computer Interface Based on Riemannian Geometry*.  
[https://www.researchgate.net/figure/The-Minimum-Distance-to-Mean-MDM-Classifier-We-illustrate-the-MDM-algorithm-with-the\\_fig2\\_258144410](https://www.researchgate.net/figure/The-Minimum-Distance-to-Mean-MDM-Classifier-We-illustrate-the-MDM-algorithm-with-the_fig2_258144410)
- [4] *macierz korelacji* [https://pl.wikipedia.org/wiki/Macierz\\_korelacji](https://pl.wikipedia.org/wiki/Macierz_korelacji)