

SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

DOCTORAL THESIS

**Analysis of the brain activity
spatio-temporal patterns for development
of brain-computer interfaces.**

Author:

Michał PIEŁA

Supervisors:

Marian KOTAS, PhD, DSc

Sonia Helena CONTRERAS ORTIZ, PhD

*A thesis submitted in fulfillment of the requirements
for the PhD degree*

in the

Department of Cybernetics, Nanotechnology and Data Processing

February 14, 2023

Analiza przestrzenno-czasowa wzorców aktywności mózgu w celu rozwoju interfejsów mózg-komputer

Autor: Michał Piela

Streszczenie

W ramach rozprawy podjęto się opracowania nowych metod analizy przestrzenno-czasowych wzorców aktywności mózgu w celu udoskonalenia interfejsów mózg-komputer (BCI, z ang. Brain-Computer Interface). Systemy BCI umożliwiają komunikację pomiędzy człowiekiem, a komputerem za pomocą fal mózgowych, rejestrowanych przez aparaturę EEG, z pominięciem mięśni, głosu czy mimiki ciała. Te rozważane w niniejszej pracy działają w oparciu o detekcję potencjałów wzrokowych, które są wzbudzane w mózgu użytkownika na skutek prezentowanych bodźców wizualnych. Przykładem takiego bodźca wizualnego jest podświetlenie wybranego obiektu na ekranie, który zawiera również kilka lub kilkanaście innych obiektów. W danym momencie eksperymentu użytkownik skupia uwagę tylko na jednym wybranym obiekcie (co ma na celu związaną z nim, konkretną reakcję systemu BCI, np. uruchomienie określonego sprzętu domowego lub wpisanie danej litery do komputera). System podświetla losowo wszystkie widoczne na ekranie obiekty, a podświetlenie tego obserwowanego przez użytkownika powinno wywołać większą odpowiedź mózgu niż podświetlenie pozostałych, na których użytkownik się nie skupia. Badane w niniejszej pracy zagadnienia dotyczą filtracji i detekcji takich potencjałów wzrokowych wywołanych. Poprawa efektywności filtracji, prowadząca do zwiększenia dokładności klasyfikacji tych potencjałów może przyczynić się do rozwoju istniejących systemów BCI.

Celem pracy było zastosowanie metody filtracji przestrzenno-czasowej (STF, z ang. Spatio-Temporal Filtering) do przetwarzania sygnałów EEG w celu klasyfikacji odpowiedzi mózgu powstających na skutek działania bodźców wzrokowych generowanych przez rozważane systemy BCI. Metoda w jej oryginalnej formie, stosowana z powodzeniem do detekcji zespołów QRS płodu, nie była wystarczająco efektywna w przypadku przetwarzania i klasyfikacji sygnałów EEG. Dlatego istotne było opracowanie takich jej modyfikacji, które pozwoliłyby na zwiększenie jej odporności na zakłócenia. Podstawowym problemem, utrudniającym właściwy proces uczenia klasyfikatorów stosowanych w systemach BCI jest duży rozmiar wektora cech opisującego pojedynczą odpowiedź mózgu na bodziec wzrokowy i mała liczebność danych uczących, czyli takich zarejestrowanych odpowiedzi. Drugim ważnym czynnikiem mającym wpływ na etap uczenia jest występowanie w sygnale EEG nagłych zakłóceń o bardzo dużej amplitudzie. Natomiast w etapie klasyfikacji odpowiedzi mózgu dużą komplikacją jest możliwość ich różnych opóźnień (tzw. latencji) w stosunku do bodźców, co może wynikać z różnej szybkości reakcji mózgu na bodźce indywidualne.

Badania wykonane w ramach tej rozprawy pozwoliły na opracowanie rozwiązań, które w pewnym stopniu pozwoliły na przewyciężenie opisanych wcześniej trudności. Problem związany z małą liczbą danych uczących rozwiązano poprzez odpowiednie wykorzystanie całych zarejestrowanych fragmentów sygnałów EEG (nie tylko tych związanych z odpowiedziami mózgu na konkretne pobudzenia). W celu usunięcia zakłóceń o dużej amplitudzie opracowano dwie alternatywne metody ich detekcji i tłumienia (pierwsza oparta o metodę dyskretnej transformacji kosinusowej oraz druga bazująca na analizie składowych niezależnych). Kolejna modyfikacja fazy uczenia filtru STF polegała na uśrednianiu wektorów cech opisujących odpowiedzi mózgu na bodźce wizualne. Trudności wynikające z różnych opóźnień odpowiedzi mózgu na te bodźce zostały ograniczone poprzez modyfikację zasad interpretacji wyników filtracji. Głównym założeniem w tym

przypadku była konieczność analizy sygnałów wyjściowych STF nie tylko dla określonej, oczekiwanej pozycji, lecz w większym zakresie, w celu wykrycia maksymalnej odpowiedzi filtru na dane pobudzenie.

Weryfikacja metod opisanych w rozprawie przy użyciu dwóch niezależnych baz danych potwierdziła skuteczność zaproponowanych rozwiązań. Wyniki osiągnięte dla pierwszej bazy pozwoliły na przewyższenie tych uzyskanych przez większość metod referencyjnych, z minimalną stratą tylko do zwycięskiego algorytmu. Z kolei dla drugiej bazy danych wyniki uzyskane przez najbardziej efektywne rozwiązania opisane w pracy były znacznie lepsze od tych otrzymanych przez metody referencyjne.

Biorąc pod uwagę wyniki badań opracowanych rozwiązań i uzyskaną dużą dokładność klasyfikacji wizualnych potencjałów wywołanych uzasadnione wydaje się stwierdzenie, że cele pracy zostały osiągnięte. Zaproponowane rozwiązania mogą przyczynić się do rozwoju i poprawy efektywności obecnie stosowanych interfejsów mózg-komputer.