

SILESIAIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science  
Department of Data Science and Engineering



**Silesian  
University  
of Technology**

**Application of EEG signals for prediction of delay  
in response time to unexpected events**

Thesis submitted for the degree of Philosophiae Doctor

MSc Eng. Bartosz Binias  
supervisor: Professor Henryk Palus, Ph.D., DSc.

**Gliwice, August 2024**

# Application of EEG signals for prediction of delay in response time to unexpected events

mgr inż. Bartosz Binias

Głównym celem tej rozprawy doktorskiej jest zbadanie związku między pomiarami sygnałów EEG pochodzących od osoby badanej, a jej zdolnością do szybkiego i precyzyjnego podejmowania decyzji w reakcji na nieoczekiwane zdarzenia. Wprowadzono i potwierdzono kompleksową procedurę przetwarzania sygnałów EEG, ekstrakcji istotnych informacji i przewidywania czasu reakcji człowieka na nieoczekiwane zdarzenia. Badania poszerzają rozumienie procesów poznawczych i stanowią fundament dla praktycznych zastosowań (przykładowo w systemach wspierających pilotów). Dodatkowo, zbadano wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego do rozróżniania między dwoma stanami aktywności związanymi ze zdarzeniami: oczekiwaniem i następującą po nim akcją. Przydatności tych algorytmów oceniono w perspektywie opracowywania systemów detekcji zdolnych do rozpoznawania nieoczekiwanych zdarzeń podczas wykonywania powtarzalnych zadań. Ważnym aspektem niniejszej pracy jest ocena korelacji między mocą pasma sygnału EEG osób badanych, a czasem reakcji, co pozwala poznać aktywności mózgu występujące podczas wykonywanych zadań. Wyniki te zwiększają rozumienie procesów poznawczych związanych z podejmowaniem decyzji podczas zdarzeń wymagających natychmiastowej reakcji. Dodatkowo, badanie umożliwia identyfikację czynników przyczyniających się do spadku wydajności w tak krytycznych działaniach.

W pracy sformułowano następujące tezy naukowe. Po pierwsze, możliwym jest przewidywanie czasu reakcji na nieoczekiwane zdarzenia na podstawie zapisów danych EEG. Po drugie, metody statystycznej analizy danych umożliwiają identyfikację aktywności mózgu związanej z reakcjami na nieoczekiwane zdarzenia. Wreszcie, zastosowanie algorytmów klasyfikacji do danych EEG pozwala na rozróżnianie stanów mentalnej czujności związanych z antycypacją i reakcją na nieoczekiwane zdarzenia.

Badania eksperymentalne przedstawione w tej rozprawie prowadzą do istotnych wniosków. Algorytm SVMRBF wykazał obiecującą zdolność przewidywania czasu reakcji, osiągając średnią wartość MAE wynoszącą 114 ms oraz najniższe odchylenie standardowe błędów bezwzględnych wynoszące 68 ms. Potwierdza to możliwość przewidywania czasu reakcji na nieoczekiwane zdarzenia na podstawie EEG. Metody statystyczne dostarczyły wglądu w aktywność mózgu związaną z szybkimi reakcjami na nieoczekiwane zdarzenia. Zaobserwowano dodatnie korelacje między czasem reakcji, a mocą Theta, Beta i Alpha w różnych płatach mózgu, bez istotnych korelacji ujemnych. Najważniejsze cechy wykorzystane do przewidywania czasu reakcji obejmowały moc sygnału Gamma w płacie czołowym, Beta i Alpha w płacie czołowym oraz Gamma w płacie skroniowym. Ponadto, istotne statystycznie zmiany w aktywności mózgu, mierzone miarami ERC (ang. *Event-Related Change*, zmiana związana ze zdarzeniem), z powodu zdarzeń nieoczekiwanych były widoczne w różnych płatach mózgu i zakresach EEG. Wyniki te dowodzą możliwości wykrywania zmian aktywności EEG związanych z reakcją na nieoczekiwane bodźce. Badania wykazały również możliwość rozróżniania między stanami oczekiwania, a reakcji za pomocą modeli uczenia maszynowego. Klasyfikator oparty na sieci neuronowej, osiągając średnią dokładność wynoszącą 77,77 %, okazał się najskuteczniejszy.

Rozprawa składa się z trzech głównych artykułów ułożonych w logicznej kolejności, współdzielących tematykę: analizy sygnałów EEG związanych z reakcją na zdarzenia nieoczekiwane, cyfrowego przetwarzania sygnałów i ich korelacji z określonymi stanami aktywności mózgu. Dodatkowo, dołączone są trzy artykuły wspomagające. Dostarczają one dodatkowych informacji na temat założeń i wniosków płynących z głównych artykułów.

W Rozdziale 1 przedstawiono podstawowe informacje na temat sygnału EEG i jego zastosowań, przegląd aktualnej literatury oraz sformułowanie trzech głównych tez pracy. Rozdział 2 przedstawia podstawowe koncepcje, zasady teoretyczne oraz metody przetwarzania sygnałów EEG i analizy predykcyjnej oraz szczegółły przeprowadzonego eksperymentu. Rozdział 3 przedstawia przeprowadzone badania opisane w wybranych publikacjach naukowych oraz oferuje kompleksowe spojrzenie na tezy naukowe. Rozdział 4 to szczegółowa analiza uzyskanych wyników, porównująca je z najnowszą literaturą. Rozdział 5 zawiera wnioski, podsumowanie osiągnięć i przedstawia potencjalne kierunki dalszych badań.