

mgr inż. Marcin Jurczak
Politechnika Warszawska
Wydział Elektryczny

Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych
Zakład Systemów Informacyjno-Pomiarowych

Warszawa, dn. 30-07-2025 r.

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. „Zastosowanie uczenia głębokiego na użytek usuwania artefaktów mięśniowych z sygnału EEG”

promotor: dr hab. inż. Marcin Kołodziej

Celem pracy doktorskiej jest opracowanie metody eliminacji artefaktów mięśniowych z sygnałów elektroencefalograficznych (EEG) z wykorzystaniem technik uczenia głębokiego. W początkowej części pracy przedstawiono podstawowe pojęcia związane z elektroencefalografią oraz szczegółowo scharakteryzowano zakłócenia pojawiające się w trakcie akwizycji sygnałów EEG. Analiza literatury przedmiotu pozwoliła na identyfikację głównych kierunków rozwoju metod eliminacji artefaktów, od rozwiązań klasycznych, takich jak regresja liniowa, analiza składowych niezależnych czy filtracja adaptacyjna, po podejścia nowoczesne, wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe oraz modele hybrydowe.

W ramach badań zaprojektowano i przetestowano autorską sieć hybrydową składającą się z sieci konwolucyjnej i rekurencyjnej (CNN-LSTM), której zadaniem była eliminacja artefaktów mięśniowych. Opracowano i przetestowano generator sygnałów EEG i EMG, umożliwiający skuteczne przygotowanie danych treningowych. Na potrzeby treningu i testowania sieci CNN-LSTM przeprowadzono eksperymenty z udziałem 17 ochotników, podczas których rejestrowano sygnały elektroencefalograficzne i elektromiograficzne.

Opracowana sieć neuronowa CNN-LSTM została porównana z klasycznymi metodami oczyszczania sygnałów EEG. Wprowadzono nową miarę jakości oczyszczania sygnałów polegającą na analizie potencjałów wywołanych bodźcami wzrokowymi w stanie ustalonym (SSVEP). Analiza przeprowadzona na rzeczywistych sygnałach EEG wykazała, że proponowana sieć CNN-LSTM skutecznie usuwa zakłócenia spowodowane występowaniem artefaktów, jednocześnie zachowując istotne informacje w sygnale EEG we fragmentach pozbawionych zakłóceń.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały przewagę opracowanej sieci nad tradycyjnymi metodami oczyszczania sygnałów EEG, zarówno pod względem skuteczności eliminacji artefaktów, jak i dokładności rekonstrukcji oczyszczonego sygnału. Proponowana hybrydowa sieć CNN-LSTM skutecznie poprawia jakość sygnałów EEG, a krótki czas jej działania umożliwia zastosowanie w aplikacjach wymagających przetwarzania w czasie rzeczywistym. Wyniki uzyskane w pracy potwierdzają postawioną tezę o skuteczności wykorzystania hybrydowej sieci neuronowej oraz dodatkowej rejestracji źródeł EMG w eliminacji artefaktów mięśniowych z sygnału EEG.

Słowa kluczowe

EEG, EMG, artefakty, głębokie uczenie, sieci neuronowe, CNN, LSTM, SSVEP

