

Prof. dr hab. inż. Stanisław OSOWSKI
Politechnika Warszawska

Warszawa. 28.01.2020

Opinia

o pracy doktorskiej **mgr. inż. Urszuli Jagodzińskiej-Szymańskiej** pt.
**„Metoda klasyfikacji źródeł sygnałów elektrycznych emitowanych przez korę mózgową
człowieka - sterowanie”**

1. Dobór tematyki rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Urszuli Jagodzińskiej-Szymańskiej dotyczy aktualnego tematu budowy interfejsu człowiek-komputer (BCI). Temat ten należy obecnie do głównego nurtu badawczego na świecie w dziedzinie zastosowań sztucznej inteligencji w inżynierii, szczególnie biomedycznej. Skuteczny interfejs sterowany poprzez sygnały mózgowie ma potencjalnie ogromne zastosowanie w praktyce. Dotyczy to różnych zagadnień inżynierskich. Wymienić tu można roboty sterowane na odległość poprzez myśli człowieka, inteligentne protezy dla ludzi pozbawionych kończyn, sterowanie wózkiem inwalidzkim przez osoby pozbawione kończyn górnych, czy zastępowanie roli człowieka w rehabilitacji przez różnego rodzaju inteligentne maszyny sterowane bezpośrednio sygnałami mózgowymi przez rehabilitowanego.

Ze względu na ogromne zapotrzebowanie na tego typu produkty, tematyką tą zajmuje się obecnie wiele naukowych ośrodków badawczych na świecie, analizując temat z różnego punktu widzenia, przy zastosowaniu różnorodnych metod przetwarzania sygnałów EEG. Dominującym nurtem w tej dziedzinie jest zastosowanie zaawansowanych metod bezpośredniego przetwarzania sygnałów EEG, zarejestrowanych w odpowiednim rejonie głowy, między innymi liczne prace stosujące ślepe separację sygnałów EEG (ang. Blind Signal Separation – BSS). W podejściu BSS poszukuje się sygnałów źródłowych poprzez ślepe rozplatanie zarejestrowanych sygnałów EEG, bez potrzeby analizy rozkładu aktywnych neuronów w przestrzeni mózgowej. Ważnymi osiągnięciami w tej dziedzinie może się pochwalić zespół kierowany przez polskiego profesora Andrzeja Cichockiego, którego

dorobkiem jest między innymi pierwszy na świecie wózek inwalidzki sterowany myślami, czy sterowanie robotami poprzez wyobrażenie myślowe człowieka.

Autorka w swojej pracy zaprezentowała inne podejście. Poszukuje sygnałów źródłowych w przestrzeni mózgowej poprzez rozwiązanie zagadnienia odwrotnego metodami teorii pola. Na podstawie zbioru sygnałów EEG, które są splotem wielu różnorodnych sygnałów, autorka poszukuje sygnałów źródłowych w wybranych rejonach mózgu. Problem jest bardzo trudny, ze względu na występowanie wielu różnorodnych sygnałów źródłowych o nieznanym pochodzeniu i ogromnej skali neuronów. Autorka niniejszej rozprawy zdając sobie sprawę ze skali trudności rozważa prostszy (choć nadal niełatwy) problem rozpoznania intencji ruchu lewą bądź prawą ręką, opracowując własne podejście bazujące na problemie odwrotnym (dane rozkłady potencjałów na głowie – określić położenia źródeł oryginalnych związanych z intencją ruchu określoną ręką).

Podsumowując tę część recenzji należy pochwalić autorkę za podjęcie trudnego i ambitnego tematu. Tym nie mniej uważam, że należy podejść z dużą ostrożnością do proponowanej metody, moim zdaniem nie dającej pełnej gwarancji właściwych wyników z punktu widzenia zastosowania w praktyce.

2. Charakterystyka rozprawy

Treść rozprawy obejmująca w sumie 154 strony została podzielona na 7 rozdziałów (włączając wstęp i podsumowanie) oraz 4 załączniki.

Dwa pierwsze rozdziały stanowią wprowadzenie do tematyki i zawierają podstawowe informacje dotyczące różnych aspektów pracy (cel, teza, wkład własny autorki) jak również przegląd stosowanych i znanych na świecie rozwiązań dotyczących różnych elementów klasyfikacji sygnałów EEG. O ile cele pracy są jasno przedstawione to teza rozprawy moim zdaniem nie najlepiej koreluje z wynikami badań, stwierdzając, że opracowana metoda pozwala na **prawidłowe** rozpoznanie intencji ruchu prawą i lewą ręką. Słowo „prawidłowe” sugeruje dokładność zbliżoną do 100%, podczas, gdy najlepsze wyniki to około 88%.

Główny dorobek badawczy autorki zawarty jest w rozdziałach od trzeciego do szóstego. Rozdział trzeci opisuje metody identyfikacji sygnałów źródłowych przy wykorzystaniu rozwiązania problemu odwrotnego. Na podstawie zarejestrowanych sygnałów EEG stanowiących złożoną konwolucję wielu sygnałów pierwotnych autorka próbuje odtworzyć sygnały źródłowe w mózgu, grupując je w klastry poprzez analizę podobieństw obserwowanych danych wg przyjętych kryteriów przy zastosowaniu teorii grafów i zależności statystycznych.

Podstawą jest tu model inwersyjny problemu oparty w rozwiązaniu autorki o uproszczony model sferyczny głowy (jednorodność i izotropowość ośrodka). Powierzchnia kory mózgowej została podzielona na elementy przestrzenne (woksele). Brakuje mi informacji jak w praktyce zamodelowano model głowy: model 3D, 2D, metoda elementów skończonych?, elementów brzegowych? Jakie są wymiary układu równań wynikające z zastosowanego modelu w metodzie przekształcenia odwrotnego? Są to istotne pytania, których odpowiedź warunkuje lepsze lub gorsze działanie opracowanego systemu.

Rozdział czwarty opisuje wyniki przeprowadzonych eksperymentów na bazie danych Instytutu IDIAP oraz danych własnych headsetu Emotiv Epoc. Na bazie Idiap autorka uzyskała wynik w postaci około 70% dokładności klasyfikacji. Zdaniem autorki są to wyniki zbieżne z najlepszymi rezultatami uzyskanymi w BCI Competition III. Wyniki uzyskane na podstawie własnych pomiarów przy użyciu headsetu Emotiv Epoc są zaprezentowane dla różnych wariantów doboru przedziału czasowego i częstotliwości w postaci macierzy rozkładu klas (zwanej macierzą pomyłek). Najlepsza dokładność rozpoznania intencji (K2 i K3) to około 88% dla danych testujących. Jest to dobra dokładność, biorąc pod uwagę złożoność problemu. Tym nie mniej brakuje mi sprecyzowania czym różniły się dane uczące od testujących. Wyniki przedstawione tabelach 1-16 są słabo skomentowane. Brakuje sprecyzowania istotnych wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.

Rozdziały piąty i szósty przedstawiają szczegóły techniczne rozwiązania autorskiego systemu i sposobu komunikacji ze środowiskiem zewnętrznym. Rozdziały te pokazują osiągnięcia implementacyjne, stanowiące istotny wkład nowatorski w rozwiązanie. Opracowanie urządzenia sprzętowego opartego na platformie Arduino Uno R3 i modułu WIFI umożliwia obserwację w sposób ciągły wyników klasyfikacji dotyczącej intencji użytkownika związanych z wyobrażeniem aktywności ruchu ręki prawej lub lewej i stanowić może podstawę kontynuacji tych badań.

Rozdział siódmy stanowi podsumowanie wyników pracy z uwypukleniem głównych osiągnięć oryginalnych autorki oraz zamierzeń na przyszłość.

Podsumowując **główne osiągnięcia autorki ująłbym w następujących punktach:**

- 1) Autorka opracowała algorytmy wyznaczania źródeł sygnałów mózgowych na podstawie odczytów sygnałów EEG przy wykorzystaniu podejścia inwersyjnego, służące do rozpoznania intencji ruchu lewą i prawą ręką.
- 2) Opracowany został system klasyfikacji wykorzystujący teorię grafów, znacznie przyspieszający działanie algorytmu i umożliwiający obserwację wyników w czasie rzeczywistym.

- 3) Skonstruowano urządzenie zewnętrzne dokonujące rozpoznania ruchu ręką i wyświetlającą na bieżąco wyniki klasyfikacji na monitorze. Zastosowano przy tym komunikację poprzez Bluetooth lub WIFI.
- 4) Przeprowadzono szereg eksperymentów numerycznych testujących opracowaną metodę i związane z nią urządzenie, wykazując dobre działanie systemu.

3. Uwagi krytyczne

Przedstawiona w punkcie poprzednim charakterystyka rozprawy skupiała się na głównych elementach rozwiązania. W tym punkcie mojej recenzji chciałbym przedstawić uwagi szczegółowe dotyczące bardziej konkretnych punktów rozwiązania.

- 1) Brak jest jasnego zdefiniowania różnic między danymi uczącymi i testującymi. Ile osób brało udział w tworzeniu obu baz danych. Czy występowały jakieś różnice w warunkach otoczenia przy pomiarach. Czy zarejestrowane dane były dzielone losowo między obie bazy, itp..
- 2) W pracy przyjęto sferyczny model głowy (strona 24), bez podania bliższych szczegółów tego modelu. Ważny jest sposób stworzenia tego modelu matematycznego, rozmiary równań definiujących ten model i sposób określenia współczynników tych równań.
- 3) Autorka stosuje 14 aktywnych elektrod do rejestracji surowych sygnałów EEG bez umieszczania elektrod na korze mózgowej. Czy zwiększenie ilości tych elektrod i ich inne umieszczenie ma istotny wpływ na dokładność działania systemu?
- 4) Jaki jest wpływ doboru osoby na dokładność działania systemu? Czy jest to urządzenie specjalnie uczone na konkretnej osobie i zmiana osób wymaga ponownego procesu uczenia?
- 5) Brak precyzji w pewnych fragmentach pracy, na przykład
Str 40 – jak rozumieć zdanie „Czas trwania pomiaru określał liczbę danych potrzebnych do zebrania 12 przedziałów czasowych”
Str. 23– wzór (14) na psd jest niewłaściwy
Str 12 – nie jest prawdą, że wewnątrz marginesu separacji w SVM nie mogą znaleźć się żadne próbki uczące. Wprowadza się po to zmienne dopełniające aby algorytm uczenia sam dobierał ich położenie.
Str12 – nie rozumiem, czym różnią się strategie „jedna klasa przeciw wszystkim” i „jedna klasa przeciw pozostałym”.

Str. 8 – niezbyt zręczne jest stwierdzenie, że przesłanką do podjęcia tematyki pracy jest napisanie przez autorkę kilkunastu artykułów na temat BCI czy możliwość zastosowania teorii grafów do klasyfikacji. Myślę, że głównym powodem jest atrakcyjność i skala trudności tej tematyki, jak również duże perspektywy jej zastosowania w praktyce.

- 6) Ważną rolę w rozwiązaniu odgrywa metoda Gowera, dotycząca algorytmu budowy drzewa minimalnego. Nie znalazłem żadnego odnośnika do pozycji tego autora.

4. Konkluzja oceny

Autorka pracy podjęła się rozwiązania bardzo trudnego zadania lokalizacji i identyfikacji ze zbioru rejestracji EEG tych sygnałów, które odpowiadają za ruch lewej lub prawej ręki. Zaproponowała metodę przekształcenia inwersyjnego, opartą na identyfikacji rejonu źródeł pobudzeń neuronów, odpowiadającą ruchom odpowiedniej ręki. Uzyskała wyniki na dość dobrym poziomie dokładności. Wykazała się dużymi umiejętnościami w dziedzinie eksploracji danych pomiarowych. Zbudowała urządzenie, które implementuje jej podejście do rozwiązywanego zadania.

Uwzględniając powyższe oraz biorąc pod uwagę trudność zadania i ogrom wykonanej pracy wyrażam końcową opinię, że praca spełnia warunki określone w odpowiedniej Ustawie i może być dopuszczona do publicznej obrony.



