

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani magister inżynier Urszuli Jagodzińskiej-Szymańskiej zatytułowana: "*Metoda klasyfikacji źródeł sygnałów elektrycznych emitowanych przez korę mózgową człowieka – sterowanie*". Recenzja jest sporządzona na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Elektronika Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, prof. dr hab. inż. Andrzeja Dobrowolskiego, przedstawione pismem WYCH/N/00029/2020 z dnia 17.01.2020. Recenzowana rozprawa została napisana pod kierownictwem pana prof. dr hab. inż. Edwarda Sędka w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie w 2019 roku.

1. Zawartość rozprawy

Praca doktorska pani magister Urszuli Jagodzińskiej-Szymańskiej składa się ze Wstępu, pięciu rozdziałów i Podsumowania, czterech załączników, a także spisu rysunków, spisu tabel, spisu załączników i spisu pozycji bibliograficznych. We Wstępie Autorka krótko przedstawia powody podjęcia tematyki badawczej związanej z interfejsami mózg-komputer, formułuje cel i tezę rozprawy, przedstawia wkład własny (to dość niecodzienne w tym miejscu rozprawy) oraz przedstawia zawartość dalszej części rozprawy.

W rozdziale drugim Autorka dokonuje przeglądu aktualnego stanu wiedzy w zakresie selekcji i klasyfikacji sygnałów EEG w BCI szczególnie w ostatnich dziesięciu latach i wkład autorki na tym tle. Od razu wspomnę, że w spisie zabrakło nazwisk np. prof. Materki (Politechnika Łódzka), a nazwiska grupy z Uniwersytetu Warszawskiego wymienione są jedynie w związku ze skryptem o EEG. Wadą tego ośmiostronicowego przeglądu jest jednak to, że (wbrew tytułowi) tylko niektóre odniesienia dotyczą algorytmów użytych do rozpoznawania wzorców w interfejsach BCI, podczas, gdy większość treści to '*Przegląd algorytmów klasyfikacji używanych od dawna*' (str. 12).

W Rozdziale trzecim Doktorantka przedstawiła opis algorytmów zastosowanych w zaproponowanym systemie BCI, których rolą była identyfikacja źródeł sygnału typowych dla aktywności kory ruchowej. W rozdziale tym znajduje się też opis wstępnego przetwarzania sygnałów (ograniczonego do wyznaczenia widmowej gęstości mocy) oraz opis problemu prostego i odwrotnego w elektroencefalografii. Opis ten (str. 25-32) jest przepełniony niespójnym wywodem matematycznym i stwierdzeniami opartymi na doświadczeniu Autorki. Przykładowo czytając: '*W EEG wykorzystana jest na ogół wersja makroskopowa wzorów...*', następnie: '*Analizując problem ... autorka stosowała też algorytm LORETA*' (str. 30) a później: '*Stwierdzono, że najlepszą metodą jest...*' (str. 32) mam wątpliwości kogo Autorka ma na myśli – czy był to jej eksperyment, czy może w tekście zabrakło odnośnika do literatury. Niejasny jest też podrozdział 3.4: czy 'cechy' wyznaczone są na podstawie sygnału EEG? Szkoda, że Autorka zdawkowo potraktowała temat synchronizacji i desynchronizacji rytmów, jako że jest to jeden z podstawowych paradygmatów interfejsów BCI. W rozdziale tym przedstawiona jest również procedura klasyfikacji nadzorowanej z użyciem drzewa rozpinającego grafu, którego wierzchołkami są punkty pomiarowe (obszary kory). Autorka proponuje użycie algorytmu Gowera i jest to moim zdaniem najciekawszy z naukowego punktu widzenia element rozprawy.

W rozdziale czwartym zaprezentowane zostały wyniki uzyskane w testach, które Autorka przeprowadziła dla sygnałów pozyskanych z zasobów zawodów BCI Competition III (Data Set V) oraz dla sygnałów zarejestrowanych samodzielnie z urządzenia nagłownego Emotiv. W przypadku danych konkursowych Autorka przedstawia załącznik z rezultatami konkursu, który może być użyty do porównania jej metody z rezultatami prac innych zespołów. Niestety opis uzyskanego przez Nią wyniku jest ograniczony do jednej wartości: *'Podczas testowania na danych Idiap opracowanego przez siebie algorytmu autorka uzyskała w około 70% testów poprawną klasyfikację.'* (str. 40). Odrębną kwestią pozostaje, że przytoczone przez Autorkę wyniki konkursu zostały ogłoszone w połowie czerwca 2005 roku, przedstawiają więc stan wiedzy sprzed ponad 14 lat. W przypadku danych zarejestrowanych samodzielnie brak informacji o przebiegu i skali eksperymentu praktycznie wyklucza interpretację jego wyniku (tab. 1-14).

Rozdział piąty przedstawia realizację sprzętową systemu BCI prezentowanego w rozprawie. Autorka przedstawiła skonstruowane przez Nią proste urządzenie testowe, którym można sterować przy pomocy aktywności myślowych aktywujących korę ruchową. Urządzenie jest rodzajem 'demonstratora' wykazującego możliwość (bezprzewodowego) sterowania za pomocą interfejsu BCI np. urządzenia inteligentnego otoczenia. Jest ono skonstruowane poprawnie, jednak nie zawiera elementów innowacyjnych z punktu widzenia dyscypliny elektronika.

W rozdziale szóstym Autorka przedstawia zaprojektowane oprogramowanie służące do klasyfikacji wyników pomiarów aktywności myślowych i sterowania urządzeniem zewnętrznym. Przedstawiono schematy programu opracowanego przez autorkę w środowisku prototypowania i eksperymentów Matlab oraz przykładowe fragmenty kodu. Rozdział ten ma charakter raportu technicznego dotyczącego implementacji zaproponowanego algorytmu, interfejsu użytkownika oraz urządzenia opartego na mikrosterowniku Arduino. Rozdział szósty nie zawiera rezultatów naukowych osiągniętych przez Autorkę, natomiast sukcesem konstrukcyjnym (inżynierskim) jest działający system wraz z oprogramowaniem.

Rozprawę kończy Podsumowanie, które przynosi zdanie: *'W rozprawie wykazano, że wykorzystanie do klasyfikacji intencji ruchu K2 i K3 algorytmu opartego na teorii grafów i na informacjach o źródłach sygnałów EEG (po rozwiązaniu zagadnienia odwrotnego) pozwala na prawidłową klasyfikację tych intencji, mimo że w headsecie Epcoc nie ma elektrod na korze ruchowej.'* Niestety, w mojej opinii nie znajduje ono uzasadnienia w uzyskanych wynikach. W rozprawie wykazano, że zaproponowany algorytm może być nauczony rozpoznawania wzorców na podstawie zapisów Idiap, choć brakuje rezultatów cząstkowych dla poszczególnych badanych. Autorka raportuje jedynie *'około 70% zgodność rezultatu algorytmu z opisem w bazie'*. Nb. zupełnie nie rozumiem powodu umieszczenia porównania z rezultatami BCI Competition III z załączniku, to zasadnicza informacja porównująca osiągnięcie Autorki ze światowym stanem wiedzy (jak sprawdziłem już nieaktualnym).

Opis badań z urządzeniem Emotiv jest niekompletny: nie wiadomo ile osób w nim uczestniczyło, ani jakie dokładnie instrukcje otrzymali. Brakuje zatem punktu odniesienia poprawności detekcji wyobrażenia ruchu prawą lub lewą ręką. Z opisu wynika, że wyobrażenie dotyczyło ruchów jednoczesnych, podczas, gdy w innych podobnych eksperymentach używa się bodźca wizualnego wskazującego kończynę, której ruch jest wyobrażany. W konsekwencji tabele pomyłek 1-14 przedstawiają mało wiarygodne wyniki. Znaczną część rozprawy zajmują rozważania konstrukcyjne i programistyczne niebędące de facto pracą naukową (rozdziały 5 i 6).

2. Znaczenie dokonań Autorki dla rozwoju dyscypliny

Przeprowadzone badania mają na celu poprawę detekcji zdarzeń ERD/ERS związanych z ruchem lub wyobrażeniem ruchu w korze wzrokowej. Ten cel jest właściwie sformułowany, choć rozwój interfejsów mózg-komputer, jako wymagający podstaw fizjologicznych, kwalifikuje się raczej do osiągnięć dyscypliny inżynieria biomedyczna, niż do dyscypliny elektronika. **Za oryginalne osiągnięcie Autorki uważam propozycję opartą na teorii grafów polegającą na wykorzystaniu drzewo rozpinającego do rozpoznawania w sygnale**

cech charakterystycznych dla intencji ruchu lewą i prawą ręką. Propozycja ta nie została niestety zweryfikowana w oparciu o bieżący stan wiedzy. Dodatkowo osiągnięciem naukowym mogłoby być pominięte przez Autorkę porównanie skuteczności klasyfikatora opartego na teorii grafów z wynikami BCI Competition III (innymi metodami), ale brakuje opisu jakich metod używały poszczególne współzawodniczące zespoły. W mojej opinii należało zaimplementować kilka algorytmów konkurencyjnych (na podstawie opisów literaturowych) a następnie przeprowadzić test z wykorzystaniem sygnałów zapisanych (np. BCI Competition) i własnych z dobrze opisanego eksperymentu BCI. Wynikiem takiego testu byłoby ilościowe porównanie zaproponowanej metody (w moim odczuciu – ciekawej) z innymi istniejącymi i wykazanie wkładu Autorki w rozwój nauki.

Nie zgadzam się ze zdaniem Autorki zaliczającej do osiągnięć '*Implementację algorytmów klasyfikacji intencji ruchu w środowisku Matlab*' gdyż jest to osiągnięcie techniczne, a nie naukowe.

Autorka pisze w Wstępie, że motywacją do podjęcia tematyki było: '*napisanie przez autorkę niniejszej rozprawy kilkunastu artykułów na temat BCI*'. Pomijając rekursywny charakter tego następstwa stwierdzam, że wśród przywoływanych 11 publikacji 4 są doniesieniami konferencyjnymi Urządzenia i Systemy Radioelektroniczne (w edycjach 2012-15) a 6 jest publikacjami w czasopiśmie Elektronika Konstrukcje Technologie Zastosowania (recenzowanym, ale nie indeksowanym wydawanym w j. polskim). Wyjątek stanowi publikacja z 2013 w j. angielskim w International Journal of Telecommunications indeksowanym w bazie Web of Sciences (dopiero od 2017 roku), ale bez współczynnika IF. Spośród dokonań Autorki jedynie praca '*The implementation of algorithms for inverse solutions in EEG brain-computer interfaces*' opublikowana w 2013 roku na IEEE Signal Processing Symposium (SPS) jest widoczna w bazie WoS, ale bez cytowań.

Analizując wpływ pracy Autorki na rozwój dyscypliny chciałbym sformułować następującą wątpliwość: **dłaczego Autorka publikuje w tym samym czasopiśmie (z jednym wyjątkiem) i w materiałach tej samej konferencji (z jednym wyjątkiem) dość odległych tematycznie od poruszanych przez Nią zagadnień?** Wyjaśnia to brak odniesień do prac innych autorów, liczne błędy związane z terminologią w rozprawie oraz brak odpowiedzi środowiska naukowego na Jej działania. Nie rozumiem dlaczego Doktorantka nie wspomina w rozprawie o skromnej objętościowo (54 str.) monografii autorstwa U. Jagodzińska – Szymańska, E. Sędek pt.: *Wireless device control by means of brain signals*, wydanej przez SIA OmniScriptum Publishing, Riga, Latvia, w 2018, ani o dostępnym w IEEEExplore artykule tych samych autorów i o identycznym tytule w materiałach 2018 Baltic URSI Symposium odbywającego się 15-17 maja 2018 w Poznaniu.

3. Szczegółowe uwagi krytyczne

Rozprawa napisana jest niestarannie, Autorka używa wyrażeń żargonowych, których występowanie w mowie potocznej jest uzasadnione, nie powinno jednak być przenoszone do oficjalnego języka publikacji. Najważniejsze błędy rzeczowe i nieścisłości dostrzeżone w tekście rozprawy są następujące:

- str. 22: '*wybierane są prążki od 1 Hz do 40 Hz*' - jak wybierane są prążki od 1 Hz jeśli rozdzielczość widma wynosi 2 Hz ?
- str. 23: '*prąd jest rozłożony równomiernie w przekrojach poprzecznych elementu tego obwodu*' - to założenie nie zawsze jest spełnione (np. zjawisko naskórkowości w prądach w. cz.).
- str. 24: '*Powierzchnia kory mózgowej została podzielona na hipotetyczne elementy przestrzenne zwane woksalami*' - pojęcie woksela (ang. *volume pixel*) jest używane do określenia jednostki objętości, a nie powierzchni.
- str. 35: '*W tym przypadku klasyfikacja polega na tym, że aby rozdzielić obiekty wykorzystano maksymalne podobieństwo cech*' - sformułowanie nieścisłe: (a) klasyfikacja ma na celu przyporządkowanie obiektów do znanych klas,

- (b) klasteryzacja ma na celu grupowanie i rozdzielanie obiektów na podstawie odległości w określonej metryce.
- str. 35: '*do klasyfikacji wykorzystano zjawisko ERD/ERS*' - zjawisko wykorzystano do identyfikacji ruchu lub zamiaru ruchu natomiast detekcja jego wystąpienia i lokalizacja wymaga klasyfikacji sygnałów.
 - str. 37: '*Jeżeli suma wag krawędzi drzewa rozpinającego jest ujemna*' - Opisany sposób konstruowania drzewa rozpinającego gwarantuje osiągnięcie maksymalnej wartości sumy krawędzi wag dlatego jej stosowanie do detekcji obiektu K3 (suma ujemna) wydaje się niewłaściwe.
 - str. 39: '*Dane EEG z bazy Idiap ... częstotliwość próbkowania 512Hz*' - Czy sygnały testowe Idiap miały inną częstość próbkowania (512 Hz) niż sygnały z urządzenia Emotiv EPOC (128 Hz)? Jeśli tak, to jakiego przetwarzania wstępnego użyto, aby następnie zastosować ten sam algorytm klasyfikacyjny?
 - str. 41: '*Przed przeprowadzeniem testów dokonano nauki klasyfikatora oraz wykonano testy wstępne dla osoby badanej*' - ile osób przebadano? czy dla każdej z osób trening klasyfikatora odbywał się odrębnie? jeśli tak, to na ile wyniki klasyfikacji były lepsze w porównaniu z uniwersalnym, najlepszym dla grupy, zbiorem parametrów treningowych?
 - str. 42: '*wyniki pomiarów dla czterech przedziałów czasowych, dla częstotliwości 12Hz i 20Hz*' - opis niekompletny: nie wiadomo jaka wielkość była mierzona i co oznaczają częstotliwości 12 oraz 20 Hz. Poprzednie odniesienie do widmowej gęstości mocy wymaga podanie przedziału (pasma) częstotliwości.
 - str. 43: '*Wyniki klasyfikatora dla danych uczących*' - Niezrozumiałe jest przedstawienie wyników. W wyniku analizy sygnału (sumy wartości krawędzi) zajęć mogą trzy sytuacje: rozpoznanie zamiaru ruchu lewą ręką, nierozpoznanie zamiaru ruchu oraz rozpoznanie ruchu prawą ręką. W tabelach 1-14 sytuacja braku rozpoznania wydaje się pominięta.
 - str. 44: '*Całkowity błąd dla danych testujących*' - jak Autorka wyznaczyła 'całkowity błąd' w tab. 5 i 6 ?
 - str. 48: '*Przy projektowaniu sterowania wykorzystana została technologia Bluetooth*' - technologia Bluetooth służy do cyfrowej łączności bezprzewodowej, a nie do projektowania urządzeń elektronicznych.
 - str. 48: '*na komunikację poprzez Wi-fi*' – komunikację jakich urządzeń?
 - str. 48: '*mobilny punkt dostępowy*' - jaki dostęp Autorka ma na myśli? dlaczego jest on potrzebny?
 - str. 49: '*Dwa typy komunikacji: Wi-fi i Bluetooth, używają osobnych zestawów diod*' - w jakim celu zrealizowano dwa zestawy połączeń bezprzewodowych?
 - str. 50 rys. 13: '*diod do komunikacji Wi-fi*' użyte sformułowanie sugeruje, że diody LED służą do komunikacji radiowej
 - str. 52: stwierdzenia dotyczące porównania łączności WiFi i Bluetooth zamieszczone w p. 5.2 są oczywiste.
 - str. 64: '*Częstotliwość analizowanego sygnału.*' - czy chodzi o częstość próbkowania, czy o zakres analizowanych częstotliwości?
 - str. 65: '*Biblioteka eegloglib.dll podłącza się do headsetu Emotiv,*' - jak zrealizowane jest połączenie urządzenia Emotiv z komputerem?
 - str. 65: '*Liczność próby danych wejściowych wynosi 64*' - czy chodzi o liczbę kolejnych próbek sygnału? Przy okazji: jaka jest liczba elektrod (sygnałów) rejestrowanych współbieżnie?
 - str. 65: '*dyskretnej transformaty Fouriera z próby, na poszczególnych częstotliwościach.*' - w jaki sposób wyznaczana jest widmowa gęstość mocy dla wybranych pasm częstotliwości?

- str. 66: '*Poprawny wynik klasyfikacji*' - czy o detekcję zjawiska fizjologicznego reprezentującego zamiar ruchu? Jak obsługiwane są wystąpienia wzorców niewystarczająco podobnych do nauczonych (poniżej progu)?
- str. 66: '*możliwość generowania raportów poprawności klasyfikacji*' - czy podczas badań z wykorzystaniem urządzenia Emotiv osoba badana jest stymulowana do wyobrażenia ruchu? jeśli tak - brak opisu sposobu, jeśli nie, nie można mówić o poprawności klasyfikacji, gdyż brak referencji.

4. Wniosek końcowy

Doktorantka poprawnie sformułowała problem naukowy, istotny z punktu widzenia alternatywnych metod komunikacji człowiek-komputer i zaproponowała jego oryginalne rozwiązanie. Rozwiązanie to nie zostało jednak zweryfikowane w oparciu o istniejący stan wiedzy, a opisane próby weryfikacji nie przynoszą przekonujących dowodów na dokonanie postępu w nauce, w szczególności w dyscyplinie elektronika. Ponadto na podstawie lektury rozprawy stwierdzam, że Autorka nie ma kompetencji w zakresie przetwarzania sygnałów elektrofizjologicznych, ani prowadzenia eksperymentów z udziałem człowieka. Istotnym mankamentem rozprawy jest brak odniesień do współczesnych prac dotyczących interfejsów BCI opartych na paradygmacie ERD/ERS, w tym także prac prowadzonych w Polsce. Sugeruje to brak kontaktu Autorki ze środowiskiem, co skutkuje powtarzaniem pracy (i błędów) innych badaczy, brakiem krytycznego wpływu audytorium i czytelników na prace Autorki, wreszcie brakiem wpływu działań Autorki na rozwój nauki (brak cytowań).

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: „*Metoda klasyfikacji źródeł sygnałów elektrycznych emitowanych przez korę mózgową człowieka – sterowanie*”, mimo pewnej zawartości nowatorskiej, zawiera liczne błędy i nie spełnia wymagań Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (z dnia 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595) w zakresie stopnia doktora nauk technicznych. Recenzent wnioskuje do Komisji **o niedopuszczenie rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Urszuli Jagodzińskiej-Szymańskiej do publicznej obrony.**