

Opole, 10.10.2022

dr hab. Inż. Mariusz Pelc, profesor uczelni  
Politechnika Opolska  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki  
Instytut Informatyki  
u. Prószkowska 76, 45-758 Opole

## Recenzja

rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Piotra Schneidera, zatytułowanej „Modelowanie i predykcja decyzji o prawdziwości lub nieprawdziwości informacji na podstawie bioelektrycznej aktywności mózgu”

**Promotor rozprawy: dr hab. Grzegorz Marcin Wójcik, prof. UMCS, prof. PJATK**

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę **Pani Prof. dr hab. Marii Elżbiety Orłowskiej, Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Informatyki** – pismo z dnia 29.09.2022 roku. Celem recenzji jest ocena spełnienia przez rozprawę doktorską mgr. inż. Piotra Schneidera warunków określonych w art. 13., ust. 1. Ustawy o stopniach i tytule naukowym.

### 1. Wybór tematyki pracy

Tematyka recenzowanej rozprawy mieści się w obszarze badań analizy elektrycznej aktywności mózgu z wykorzystaniem EEG z zastosowaniem metod klasyfikacji.

Wykorzystanie fal mózgowych rejestrowanych za pomocą różnego rodzaju aparatury EEG (począwszy od niespecjalistycznego, niedrogiego sprzętu, np. Open BCI aż po niezwykle drogie, ale niezwykle precyzyjne kliniczne aparaty EEG stosowane w procedurach medycznych) do pozyskania informacji o procesach zachodzących w mózgu człowieka stało się niezwykle popularne, co jest mierzalne kilkukrotnym wzrostem ilości publika w tej dziedzinie na przestrzeni ostatniej dekady.

Z jednej strony, popularność tę można przypisać istotnemu wzrostowi mocy obliczeniowych dzisiejszych komputerów, dzięki czemu możliwe jest powszechne wykorzystanie technologii, które w przeszłości wiązały się z bardzo dużymi nakładami czasu obliczeniowego potrzebnego do uzyskania wyników (np. uczenie maszynowe, czy uczenie głębokie), co w zasadzie wykluczało ich przydatność szczególnie w kontekście analizy dużej ilości danych, a z drugiej strony, co jest nawet bardziej kluczowe, można zaobserwować ogromny postęp w dziedzinie teorii przetwarzania sygnałów (pojawiły się metody, które wcześniej nie były w tym celu stosowane, np. filtry ułamkowego rzędu pozwalające na analizę w znacznie szerszym spektrum częstotliwości, itp.), metod klasyfikacji, a nawet wzrost samej dostępności danych pomiarowych (możliwych często do pobrania i analizy z ogólnodostępnych baz danych).

Dzięki tak dynamicznemu rozwojowi wspomnianych wcześniej obszarów wiedzy, można obserwować również dynamiczny wzrost różnorodności dziedzin, w których wiedzę tę z dużym powodzeniem się stosuje. Zastosowania wyników badań dotyczących badań nad elektryczną aktywnością mózgu obejmują zarówno dziedziny niezwiązane z medycyną (np. zastosowania do sterowania w grach komputerowych), aż po typowo medyczne zastosowania (do szeroko rozumianej diagnostyki medycznej, monitoringu np. stanu hipotermii, głębokości anestezji, itp.).

W recenzowanej rozprawie badania EEG wykorzystano do monitoringu obszarów mózgu zaangażowanych w podejmowanie decyzji oraz do próby predykcji decyzji dotyczącej prawdziwości lub nieprawdziwości danej informacji. Podjęto również próbę określenia wpływu nauki oraz zaobserwowania wpływu wiarygodności źródła wiadomości oraz samej wiadomości na aktywność mózgu w oparciu o opracowane modele do klasyfikacji decyzji.

Podjęcie badań oraz przygotowanie rozprawy doktorskiej w tej dziedzinie stanowi o jej **istotności oraz aktualności**.

## 2. Cele pracy

W recenzowanej pracy zostały bardzo ściśle i wyraźnie określone jej cele, o których wspomniałem wcześniej, które strukturalnie zostały podzielone na 2 zestawy eksperymentów, gdzie:

- w eksperymencie I podjęto próbę zaobserwowania obszarów mózgu biorących udział w podejmowaniu decyzji w zależności od wiarygodności informacji oraz próbę zamodelowania i predykcji decyzji odbiorcy dotyczącej prawdziwości lub nieprawdziwości informacji w oparciu o obserwację aktywności jego mózgu,

- w eksperymencie II podjęto próbę określenia wpływu nauki oraz zobserwowania wpływu wiarygodności informacji i jej źródła na aktywność mózgu w oparciu o opracowane modele klasyfikacji decyzji.

Jako że nie znalazłem jasno określonej odrębnej **tez(y) pracy**, przyjmuję, iż w założeniu chodzi po prostu o udowodnienie, iż powyższe cele pracy są możliwe do zrealizowania.

### 3. Organizacja i strona redakcyjna rozprawy doktorskiej.

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 103 strony tekstu i została podzielona na 9 rozdziałów (wraz z podsumowaniem). Dodatkowo zawarto w pracy spis rysunków oraz wykaz oznaczeń. Bibliografia liczy 106 pozycji oraz wykazano 10 dodatkowych pozycji bibliograficznych Autora (wszystkie te pozycje są pracami współautorskimi, w 2 z nich Autor występuje jako *leading Author*).

Jeśli chodzi o zawartość pracy i jej poszczególnych rozdziałów, to najistotniejsza zawartość Rozdziału 1. Stanowi zdefiniowanie problemu badawczego oraz celów pracy oraz precyzyjne określenie wkładu pracy w naukę. W Rozdziale 2. wyjaśniono wiarygodności (istotnej z punktu widzenia predykcji decyzji odbiorcy w odpowiedzi na informację. Rozdział 3. zawiera opis technologii oraz laboratorium EEG. W Rozdziale 4. zawawrto główne elementy teoretyczne pracy związane z analizą sygnału EEG oraz wyjaśnienie problematyki uczenia maszynowego oraz klasyfikacji. Rozdział 5. dotyczy szczegółów metodologii badań (eksperymentów). Rozdział 6. zawiera wyniki eksperymentów badawczych oraz analizę uzyskanych danych. W Rozdziale 7. przypomniane zostały krótko cele Eksperymentu I i Eksperymentu II oraz dodatkowa, podsumowująca dyskusja uzyskanych wyników. Rozdział 8. zawiera najistotniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Rozdział podsumowujący po części rzeczywiście stanowi podsumowanie, a po części ma pewne cechy rozdziału *Future Work*.

Rozprawa napisana została w całości w języku polskim, w sposób zrozumiały i poprawny językowo, a jej redakcję cechuje staranność, zastosowanie zasad edycyjnych oraz zauważalna dbałość o szczegóły. Doszukałem się co prawda kilku niewielkich usterek stylistycznych i technicznych, o których piszę szerzej w punkcie 5. recenzji, jednak nie jest ich ewiele. Znajdują się tam również uwagi natury merytorycznej.

### 4. Osiągnięcia naukowe i uwagi pozytywne

Główne osiągnięcia **nowatorskie i oryginalne** można znaleźć głównie w Rozdziale 6. gdzie przedstawiiono **opracowanie metodologii pomiaru i akwizycji sygnału EEG wraz z przetwarzaniem danych dla uczenia maszynowego umożliwiające identyfikację najbardziej istotnych dla problematyki pracy pól Brodmanna**, jak również **opracowanie dedykowanego modelu pozwalającego na redukcję liczby zmiennych niezależnych**. Natura tych osiągnięć stanowi o

relewantności niniejszej rozprawy dla dyscypliny **Informatyka**, a one same stanowią **główny i istotny wkład** Autora do dyscypliny.

W recenzowanej rozprawie Autor wykazał wiedzę oraz umiejętność zdefiniowania problemu naukowego, przedstawienia sposobu(ów) jego rozwiązania oraz doświadczalnej weryfikacji zaproponowanej metodologii. W celu zrealizowania celów pracy Autor:

- dokonał przeglądu / przedstawienia istniejących metod uczenia maszynowego oraz metod klasyfikacji,
- postawił, a następnie zweryfikował 6 nietrywialnych hipotez badawczych wykorzystując w tym celu algorytmy uczenia maszynowego,
- zaproponował, uargumentował, a następnie sprawdził metodologię selekcji relewantnych dla eksperymentów pól Brodmana (z wykorzystaniem metod statystycznych).

## 5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi, które nasuwają się po zapoznaniu z treścią rozprawy mają charakter tak redakcyjny, jak i merytoryczny. Nadmienię w tym miejscu, iż nie mają one wpływu na ocenę merytoryczną samej rozprawy, a ich przedstawienie ma na celu wskazanie obszarów, w których poprawki mogłyby w mojej opinii poprawić jej odbiór. Zatem od strony merytorycznej / redakcyjnej mam następujące uwagi, głównie o charakterze dyskusyjnym, aniżeli krytycznym:

### a. Uwagi redakcyjne:

- i. Rozdział 19. jest zatytułowany *EEG*. Jest to akronim, a ich używanie w tytułach rozdziałów jest ogólnie niezalecane, można było zamiast tego użyć słowa *Elektroencefalogram*. Nie jest to jedyny przypadek tytułu rozdziału stanowiącego pojedyncze słowo, innym jest np. tytuł rozdziału 4.1.2.1.
- ii. Str. 23, Rozdział 3.3 – nietypowym jest rozpoczynanie rozdziału nie od opisu, ale od rysunku. Zakładam, że było to wynikiem zastosowania Latex-a (co w pewnym sensie uzasadnia, lecz nie do końca usprawiedliwia takie przypadki), który czasem w dość zaskakujący sposób umieszcza rysunki, istnieje jednak sporo możliwości, aby tak zaplanować zawartość rozdziału / podrozdziału, aby rysunki znalazły się w mniej przypadkowych miejscach.
- iii. Str. 32, rysunek 4.2. – jest złej jakości, z całą pewnością można było przedstawić rysunek lepszej jakości. Ponadto, skoro praca jest napisana w języku polskim, to można było się posłużyć rysunkiem, w którym opisy byłyby po prostu w języku polskim (nie jest to jedyny przypadek, zastrzeżenie tej natury można także wysunąć pod

adresem rysunku 4.5., na stronie 36., czy 4.6. na stronie 37.). Poza tym, co istotniejsze, nie jest oczywiste w jaki sposób miałby on wyjaśnić naturę biologiczną i techniczną artefaktów.

- iv. Generalnie, można było rozważyć taką konstrukcję rozprawy, aby nie było konieczności korzystania z numeracji podrozdziałów do poziomu 4. (np. 4.1.2.1.).
  - v. Jako przykład podam Rozdział 6.3.4 i podrozdział 6.3.4.1. tego rozdziału – zwykle pojawienie się podrozdziału pracy ma jakieś uzasadnienie. W tym (ale także i wielu innych rozdziałach) brakuje choćby krótkiego zdania (a najlepiej całego akapitu), który zarysowałby problematykę uzasadniającą konieczność użycia podrozdziałów. W innym wypadku mamy sytuację, że tytuł rozdziału 6.3.4. brzmi „Modele uczenia maszynowego”, a podrozdziału 6.3.4.1. „Weryfikacja hipotezy 3”, co czyni (na pierwszy rzut oka) związek podrozdziału z rozdziałem całkowicie przypadkowy.
- b. Uwagi merytoryczne:
- i. W rozdziale „Cele pracy” opisano 2 różne eksperymenty, te z kolei zawierają łącznie 8 celów badawczych. Być może łatwiej byłoby ocenić (czytelnikowi) istotę rozprawy, gdyby zdefiniowano 2-3 główne cele, a dopiero w części metodologicznej ewentualnie wprowadzić i uzasadnić pozostałe cele.
  - ii. W rozdziale 4.1.2.1 Autor napisał, iż „w celu zobrazowania aktywności mózgu zastosowany został algorytm sLORETA”. Jako że nie jest to jedyny istniejący / stosowany algorytm lokalizacji źródła, brakuje choćby dyskusji jakiejś alternatywy bądź choćby zdania uzasadnienia wyboru tego algorytmu.
  - iii. Generalnie, pola Brodmanna to pola czuciowe, które zwykle rejestrują bodźce w postaci bólu, dotyku, temperatury, itp. Chciałbym się dowiedzieć, skąd wziął się pomysł na ich wykorzystanie do określenia prawdy lub nieprawdy? Autor w rozdziale Dyskusja przywołuje prace innych badaczy na ten temat oraz stwierdza, że „część odkryć jest zgodna z wynikami opublikowanymi przez innych badaczy”. W jakiej konkretnie części wyniki Autora okazały się zgodne, a w jakiej nie? No i jeśli rzeczywiście były jakieś niezgodności / rozbieżności, to kto ma rację?
  - iv. Jeśli chodzi o dobór grupy badawczej, którą stanowiły osoby płci męskiej, praworęczne. O ile w pracy znalazło się wyjaśnienie powodu (natury technicznej / pomiarowej) wykluczenia osób płci żeńskiej, o tyle nie ma jasnego uzasadnienia wyboru osób praworęcznych. Rozumiem, że rzecz jest w różnicach w budowie mózgu pomiędzy osobami prawo- i leworęcznymi. Ale nie mniej istotne różnice istnieją w budowie mózgu męskiego i żeńskiego. W związku z tym prosiłbym Autora o próbę

oceny wpływu takiego, a nie innego doboru próby na wyniki badań oraz jak te wyniki wyglądałyby w odniesieniu do typowej populacji składającej się zarówno z osób prawo- jak i leworęcznych obu płci.

- v. W rozdziale 6.2.2. uzasadniany jest dobór przedziału czasowego zarejestrowanych danych dla celów uczenia maszynowego. Autor stosuje w tym celu kryterium, którym jest różnica aktywności co najmniej 2 BA. Z jednej strony, wybór metody / testu Manna-Whitneya-Wilcoxon uzasadnia liczbę pól BA branych pod uwagę. A co uzasadnia wybór metody Manna-Whitneya-Wilcoxon? Czy prowadzone były testy porównawcze z doborem przedziału czasowego danych stosując inne kryterium, w którym jest różnica aktywności większej liczby BA? Jeśli nie, to jaki mogłoby to mieć wpływ na dobór przedziału czasowego, a dobór przedziału czasowego na ostateczne wyniki?

## 6. Konkluzja

Moim zdaniem rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Schneidera zawiera wartościowe wyniki badań i stanowi ważne osiągnięcie naukowe w rozwoju **nauk technicznych**, a opracowana metodologia badań oraz przedstawione wyniki czynią ją istotną dla dyscypliny **Informatyka**

W związku z powyższym, rozprawa ta spełnia wszelkie wymagania określone w aktualnie obowiązującej ustawie w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich i może być przedmiotem publicznej obrony w dyscyplinie **Informatyka**.

Ponadto, biorąc pod uwagę, iż w pracy w sumie przeprowadzono 2 istotne naukowo eksperymenty oraz rozwiązano więcej niż 1 problem badawczy (predykcja oraz opracowanie modelu) oraz uwzględniając dorobek publikacyjny Autora (nie chodzi tu o wykazane w pracy współautorstwo 7 publikacji w czasopiśmie naukowych, a raczej o co najmniej 2 publikacje w czasopiśmie, w których Autor występuje jako *Leading Autho* – są to publikacje z 2022 roku) **wnioskuję o wyróżnienie rozprawy**.

Recenzent



dr hab. inż. Mariusz Pelc, prof. PO