

Bydgoszcz, 16.10.2023

Prof. dr hab. inż. Michał Choraś
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich, Bydgoszcz

Recenzja rozprawy doktorskiej

**Weryfikacja tożsamości osób na podstawie widma sygnału EEG i jego
podpasm z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego,**

której Autorką jest Pani

mgr inż. Renata Maria Plucińska

realizowanej na Politechnice Warszawskiej

1. Wprowadzenie.

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej, której Autorką jest Pani mgr inż. Renata Plucińska, została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej (Uchwała nr 495/2023 z dnia 23 maja 2023 r.) oraz na podstawie zawiadomienia o wyznaczeniu na Recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora podpisanego przez Przewodniczącego RDN ITT Politechniki Warszawskiej Pana dr hab. inż. Jarosława Arabasa, profesora uczelni (z dnia 1 sierpnia 2023).

Rozprawę odebrałem w dniu 17 sierpnia 2023 r., a recenzję wysłałem w wyznaczonym terminie dwóch miesięcy w październiku 2023 r.

Promotorem niniejszej rozprawy jest Pan dr hab. inż. Konrad Jędrzejewski, prof. uczelni. Nie wyznaczono promotora pomocniczego. Praca doktorska składa się ze streszczenia, spisów, sześciu rozdziałów, czterech dodatków oraz bibliografii.

Niniejsza recenzja (poza wprowadzeniem i wnioskiem) zawiera odpowiedzi na siedem pytań dotyczących rozprawy doktorskiej.

2. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy? Czy został on trafnie i jasno sformułowany? Jaki charakter ma rozprawa?

Rozprawa, której Autorką jest Pani mgr inż. Renata Plucińska, dotyczy biometrycznych metod rozpoznawania osób. W szczególności, Autorka zajęła się zagadnieniem

weryfikacji tożsamości na podstawie cech biometrycznych zawartych w pozyskanych sygnałach elektroencefalograficznych (EEG).

Głównym efektem i rezultatem prac Autorki jest opracowanie własnych metod weryfikacji tożsamości osób w oparciu o cechy spektralne sygnału EEG, które pomimo dziennych i długookresowych wahań w sygnale EEG zapewniają wysoką wartość dokładności oraz innych miar statystycznych klasyfikacji. W pracy wykorzystano także znane metody uczenia maszynowego, w tym sieci neuronowe.

Niniejsza praca naukowa ma charakter teoretyczny oraz koncepcyjno-eksperymentalny.

Problemy naukowe rozprawy zostały dość jasno i trafnie sformułowane, a także rozwiązane przez Autorkę.

Tezy rozprawy znajdują się w rozdziale 1.4 na stronie 19. Autorka zdecydowała się postawić aż cztery tezy do weryfikacji w niniejszej rozprawie. Moim zdaniem teza pierwsza jest tezą główną rozprawy, a tezy 2-4 dotyczą już parametrów głównej tezy, rozwiązania i ewentualnie opracowanego systemu.

Teza pierwsza do pewnego stopnia (zabrakło praktycznego zastosowania lub przypadku użycia) została potwierdzona przez Autorkę pracy w dalszych częściach rozprawy; dodatkowe tezy także zostały potwierdzone.

3. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Analiza literatury została przeprowadzona w Rozdziale 2 „Elektroencefalografia” oraz w Rozdziale 3 „Zastosowanie elektroencefalografii w biometrii”. Rozdział drugi jest ogólnym wstępem do Elektroencefalografii, w tym sposobów rejestracji, pozyskiwania, analizy oraz charakterystyk sygnałów EEG. Uważam ten rozdział za odpowiednio napisany oraz potrzebny w pracy.

Rozdział 3 to już typowy przegląd literatury przedmiotu wprost dotyczącej tematyki rozprawy (od Rozdziału 3.3 dotyczącego EEG w biometrii). Przegląd nie jest zbyt długi, co wynika z małej popularności analizowanej metody biometrycznej. Dlatego w rozdziale brakuje mi szerszej analizy metod biometrycznych, oraz dyskusji na temat skuteczności i wykorzystania metod tzw. „*soft biometrics*”. Brakuje także krytycznego przeglądu literatury oraz analizy aktualnych trendów w biometrycznym rozpoznawaniu osób.

Sama bibliografia zawiera odpowiednią liczbę źródeł (119), ale w pracy zabrakło szerszej analizy trendów oraz krytycznej oceny stanu wiedzy przedstawionego w wykorzystanych pracach.

4. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia? Czy użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiadał umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych? Czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Generalnie, Autorka w sposób odpowiedni rozwiązała problemy, których dotyczy rozprawa. Autorka posiada wiedzę dot. zagadnień związanych z systemami biometrycznymi. Autorka posiada bogatą wiedzę dotyczącą ewaluacji (w tym systemów biometrycznych) oraz analizy sygnałów EEG.

Przyjęte założenia są uzasadnione i merytorycznie poprawne, pomimo iż Autorka nie zaproponowała zbyt wielu własnych rozwiązań oraz cech/metod.

Teza rozprawy została dowiedziona, ale zabrakło konkretnego zastosowania czy prawdziwych przypadków użycia zaproponowanej metody biometrycznej.

Autorka bardziej zaangażowała się w część eksperymentalną rozprawy, niż w część ściśle naukową polegającą na propozycjach nowych metod, cech czy rozwiązań. Świadczy także o tym balans między rozdziałami, gdzie Rozdział 4 (własne metody, propozycje) jest dość krótki, a jego znaczną część zajmuje opis od dawna znanych elementów uczenia maszynowego. Natomiast Rozdział 5 jest bardzo bogaty i na słowa pochwały zasługują bogate i dobrze zaprojektowane eksperymenty oraz część rozprawy polegająca na zebraniu danych. Niestety, brakuje jakiegokolwiek odniesienia do praktycznego zastosowania metody oraz projektu systemu odnoszącego się do tego zastosowania (np. kontrola dostępu do konkretnego miejsca, itp.).

Autorka posiada duże umiejętności oraz wiedzę teoretyczną w konstruowaniu, analizie oraz wykorzystywaniu metod ewaluacji systemów biometrycznych.

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu nauki reprezentowanych przez literaturę światową?

Głównymi osiągnięciami rozprawy oraz propozycjami Autorki są między innymi:

- opracowane własnej metody weryfikacji tożsamości osób w oparciu o cechy spektralne sygnału EEG, które pomimo dziennych i długookresowych wahań w sygnale EEG zapewniają wysoką wartość dokładności oraz innych miar statystycznych klasyfikacji,
- zbadanie wpływu podziału danych na zbiory treningowe i testowe na efektywność weryfikacji tożsamości osób na podstawie sygnału EEG,
- wykazanie, że wyrażenie widmowej gęstości mocy w skali decybelowej znacząco poprawia jakość weryfikacji tożsamości osób w stosunku do zastosowania innych metod skalowania widma bądź ich braku,

- zbadanie i dobór minimalnego zestawu podpasem widma sygnału EEG, który umożliwi uzyskanie parametrów weryfikacji tożsamości na podobnym poziomie jak dla całego rozpatrywanego pasma sygnału EEG,
- analiza wpływu pojedynczych oraz wybranych zestawów elektrod na dokładność weryfikacji tożsamości osób, w szczególności przeprowadzenie badań na zbiorze sesji testowych, odbywających się w innych dniach niż sesje treningowe,
- zbadanie wpływu liczby sesji treningowych na miary jakości weryfikacji tożsamości osób,
- analiza skuteczności zaproponowanych metod weryfikacji tożsamości osób oraz sprawdzenie ich odporności na zasymulowany atak intruzów,
- przeprowadzenie badań z wykorzystaniem sygnałów zarejestrowanych w trakcie dwudziestu sesji pomiarowych EEG dla każdej z osób.

Autorka wykonała szereg testów i prac eksperymentalnych w celu zbadania i porównania zaproponowanej metody biometrycznej, wkładając bardzo dużo pracy w tę część rozprawy oraz prezentując bogaty zestaw wyników i porównań (Rozdział 5 niniejszej rozprawy).

Autorka (we współpracy z Instytutem Biologii Doświadczalnej PAN im. Marcela Nenckiego) zgromadziła zbiór danych sygnałów EEG, co jest ważnym elementem rozprawy. Niestety w Rozdziale 4.1 „Opis analizowanego zbioru rejestracji sygnałów EEG” nie ma informacji czy zbiór został opublikowany, czy jest otwarty, ani informacji na temat udostępnienia tego zbioru dla innych badaczy. Udostępnienie zbioru byłoby ważnym elementem rozprawy i zwiększyło widoczność prac Autorki.

6. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników? Jaka jest poprawność redakcyjna rozprawy?

Niniejsza rozprawa stanowi przykład profesjonalnie przygotowanej pracy doktorskiej. Praca napisana jest na wysokim poziomie edycyjnym oraz graficznym.

W pracy występują oczywiście drobne usterki, literówki i błędy językowe, ale jest ich niewiele i nie są znaczące. W pracy zdarzają się typowe dla doktorantów błędy dotyczące przedstawiania informacji na Rysunkach, itp.. Dla przykładu Rysunek 27 przedstawiający wyniki dla różnych liczb neuronów w warstwie ukrytej jest w innej skali niż Rysunek 30, co znacząco utrudnia porównanie.

Praca jest przemyślana i ma dobrą strukturę oraz układ. Z mojej perspektywy jednak, układ pracy utrudnia porównywanie wyników, gdyż wyniki znajdują się w różnych podsekcjach, poprzeplatane opisami. Zebranie i podsumowanie wyników badań w jednym podrozdziale poprawiłoby ich czytelność oraz łatwość ich porównania.

Drobne usterki nie zmieniają ogólnej opinii o bardzo dobrym i profesjonalnym poziomie językowym i edycyjnym rozprawy.

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rolą recenzenta jest zauważenie ewentualnych niedociągnięć i mankamentów przedstawianej pracy, oraz zgłoszenie uwag, które mogą być pomocne i przydatne w dalszych pracach.

Uwagi krytyczne to między innymi:

- Brak odniesienia (we wstępie, propozycji metody, badaniach czy podsumowaniu) do jakiegokolwiek praktycznego zastosowania niniejszej metody. W pracy zabrakło podrozdziału chociażby o teoretycznych przypadkach użycia czy wykorzystania metody biometrycznej. Dlatego ciężko całkowicie potwierdzić główną tezę pracy, gdyż powinna mieć ona odzwierciedlenie w praktyce (choćby na niskim poziomie TRL i niekoniecznie w warunkach produkcyjnych/rzeczywistych).
- W pracy zabrakło szerszej dyskusji na temat ograniczeń proponowanej modalności biometrycznej i wykorzystania EEG w praktyce. Rozdział 6.2 dotyczący ograniczeń zawiera jedynie szczegółowe ograniczenia proponowanej metody oraz sposobu przeprowadzenia i porównywania rezultatów.
- Kontynuując wątek dot. Rozdziału 6.2. „Ograniczenia”: Autorka odnosi się do kwestii kłopotu z porównaniem z podobnymi metodami. Zabrakło dalszej szczegółowej analizy różnic pomiędzy znalezionymi w literaturze podejściami, a propozycjami Autorki. Zabrakło także własnej propozycji ustandaryzowanego podejścia do walidacji (tak by umożliwić adekwatne porównania w przyszłości). Należałoby również wyraźnie określić przewagi wyjątkowego podejścia zaproponowanego przez Autorkę, by zainspirować przyszłych badaczy do podjęcia tego sposobu zbierania danych (wiele sesji w różnych dniach, itp.) Oczywiście rozumiem, że te „życzenia” Recenzenta mogły być już poza zakresem lub terminem niniejszej rozprawy.
- Badania prowadzone są na bardzo specyficznym zbiorze danych, który może nie być reprezentatywny w szerszym ujęciu. Zabrakło szerokich badań i testów na standardowych bazach danych.
- W części poświęconej opisowi zbioru danych (str. 44) nie jest oznaczone, czy pomiary miały miejsce o tych samych czy o różnych porach dnia. Nie zaadresowano też wspomnianej w pracy kwestii stanu psychicznego osoby (wzburzenie, stres, stan emocjonalny, itp.), co może mieć wpływ na zarejestrowany sygnał EEG i w konsekwencji na wyniki weryfikacji (a jest to typowa sytuacja dla metod i modalności behawioralnych oraz tzw. *soft biometrics*).
- W pracy podany jest jedynie średni wiek (28,17), przez co trudno określić, czy zbiór jest zbalansowany, czy jednak nie. Średnia wieku najmłodszej i najstarszej osoby to 33.5 lat. Najmłodsza badana osoba jest odległa od średniej całego zbioru

o 5 lat, najstarsza o 16 lat, co sugeruje tzw. 'bias' na osoby młodsze, a co za tym idzie użycie metryki 'accuracy' może nie oddawać rzeczywistych osiągnięć klasyfikatorów.

- W części opisującej zbiór danych brakuje także danych statystycznych: średniej, mediany, odchylenia standardowego, wariancji, itd.
- Nie umieszczono informacji czy pozyskany zbiór danych biometrycznych został opublikowany, czy jest otwarty, ani informacji na temat sposobu udostępnienia tego zbioru dla innych badaczy.
- Wykorzystywana w pracy sieć neuronowa nie jest w pełni opisana. Nie jest jasne jaki wykorzystano algorytm optymalizacji. Nie podano istotnych parametrów takich jak: liczba epok, parametr 'batch size', itp.. Nie podano motywacji dotyczącej wyboru użytej architektury ani procedury wyłaniania hiperparametrów.
- Dodatkowo z opisu wynika, że na warstwie wyjściowej są dwa neurony, gdzie cytując: "Jeden z neuronów wyjściowych miał za zadanie określać, czy dana osoba jest tą, którą sieć uczyła się rozpoznawać, drugi, że nią nie jest." Czy w takiej sytuacji drugi neuron nie jest zbędny? (jeden neuron może przekazać te informacje (wartość 1 - jest, 0 - nie jest)).
- W pracy nie zawarto dyskusji na temat ewentualnych problemów związanych z etyką wykorzystania opisywanej technologii.
- Układ pracy utrudnia porównywanie wyników, ponieważ wyniki znajdują się w różnych podsekcjach, przeplatane opisami. Zebranie wyników badań w jednym rozdziale poprawiłoby ich czytelność i porównywalność
- W pracy brakuje informacji na temat istotności statystycznej różnic między wynikami, parametrami.

Pomimo powyższych uwag (często natury dyskusyjnej lub dotyczącej życzeń recenzenta) generalnie bardzo pozytywnie oceniam dobór tematu, bardzo przemyślaną i formalnie poprawną rozprawę oraz przede wszystkim dużo pracy Doktorantki nad częścią eksperymentalną niniejszej rozprawy oraz pozyskaniem zbioru danych.

Warto zauważyć, że Doktorantka jest także współautorką kilku artykułów naukowych dotyczących tematyki niniejszej rozprawy (prace te są uwzględnione w Bibliografii (np. pozycje [58]-[63])).

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Praca dotyczy bardzo aktualnych i potrzebnych zagadnień nowoczesnej informatyki technicznej i telekomunikacji, a w szczególności metod biometrycznej identyfikacji osób, w tym z wykorzystaniem mniej popularnych modalności oraz metod tzw. *soft biometrics*.

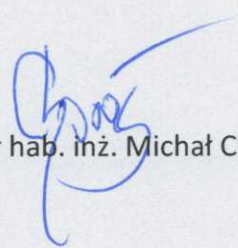
Niniejsza rozprawa i przedstawione metody mogą być szczególnie interesujące i przydatne dla komercyjnych i publicznych podmiotów wykorzystujących systemy rozpoznawania osób.

Ponadto, być może, zaprezentowane w pracy metody mogą znaleźć zastosowanie w naukach medycznych oraz społecznych (badanie stresu, psychologia), itp.

9. Wniosek

Biorąc pod uwagę przedstawioną przez Doktorantkę rozprawę stwierdzam, że recenzowana praca **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** przez obowiązujące przepisy.

Dlatego wnoszę o przyjęcie niniejszej rozprawy i **dopuszczenie** mgr inż. Renaty Marii Plucińskiej do publicznej obrony.


Prof. dr hab. inż. Michał Choraś