



Prof. dr hab. inż. Khalid Saeed
Wydział Informatyki
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
Tel. (+48-85) 746 9196
k.saeed@pb.edu.pl

Białystok, 16.10.2023 r.

RECENZJA rozprawy doktorskiej
mgr inż. Renaty Marii Plucińskiej

z Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechniki Warszawskiej

*zatytułowanej "Weryfikacja tożsamości osób na podstawie analizy
widma sygnału EEG i jego podpasz z wykorzystaniem metod
uczenia maszynowego"*

Promotor:

dr hab. inż. Konrad Jędrzejewski, prof. uczelni
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechnika Warszawska

Niniejszą recenzję przygotowałem na zlecenie zawarte w piśmie, które otrzymałem od Profesora Jarosława Arabasa przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej. Recenzję dokonałem na podstawie dostarczonej mi rozprawy doktorskiej dnia 21.08.2023.

I. Wstęp – omówienie i ocena zawartości rozprawy

Celem rozprawy doktorskiej mgr inż. Renaty Plucińskiej i umieszczonych w niej badań naukowych było opracowanie nowych rozwiązań zwiększających jakość weryfikacji tożsamości osób na podstawie ich sygnału EEG. Autorka postawiła cztery ważne tezy - najważniejsza z nich to, zdaniem recenzenta, eksperymentalne udowodnienie możliwości opracowania podejścia do weryfikacji tożsamości osób na podstawie analizy widmowej sygnału EEG z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego, niezależnej od dziennych lub długookresowych zmian w sygnale.

Rozprawa zawiera 144 strony tekstu, rysunków i tabel, składa się z sześciu rozdziałów, bibliografii oraz czterech dodatków zawierających istotne i ważne tabele uzupełniające materiały z rozdziału 5. Doktorantka podaje na początku manuskryptu wykazy skrótów i najważniejszych symboli stosowanych w rozprawie, która ma charakter raczej doświadczalny.

Rozdział pierwszy to wprowadzenie do tematyki pracy, w którym doktorantka wyjaśnia biometryczne podejścia do weryfikacji tożsamości osób. Dodatkowo opisuje sygnał EEG jako cechę biometryczną oraz dokładnie analizuje jego szczególne cechy. Tu również podano cel i tezy rozprawy doktorskiej. Tezy są jasno sformułowane.

Rozdział drugi pracy przedstawia sposób powstania sygnału EEG, charakterystykę i rytm oraz metody akwizycji tego sygnału.

Rozdział trzeci zawiera podstawowe pojęcia biometrii i metody oceny jakości klasyfikacji oraz szczegółowy przegląd metod rozpoznawania człowieka na podstawie jego sygnału EEG. Ponadto autorka wykazała się dobrą znajomością tematyki dotyczącej sygnału EEG, przeanalizowała ponad 60 prac dotyczących sygnału EEG.

W *rozdziale czwartym* przedstawiono metody przetwarzania sygnału EEG – zbiór rejestracji, wstępne przetwarzanie i ekstrakcję cech. Opisano również stosowane w rozprawie metody maszynowego uczenia z nadzorem – drzewa decyzyjne, metody KNN, SVM oraz ANN. Podano tu wybrane z literatury metody, które wykorzystwała autorka w swoich badaniach w obliczaniu wymaganych parametrów oraz elementów wektora cech. W rozdziale tym oczekiwałem własnego podejścia doktorantki, którego niestety brak. W zamian, w rozdziale piątym, jest obszerny opis sposobu wykorzystywania innych podejść z analizą przykładów i tabel.

W *rozdziale piątym* doktorantka pokazuje opis przeprowadzonych badań oraz ich wyniki. Ten rozdział jest obszerny i stanowi najważniejszą część rozprawy - przeprowadzono analizy na dużym zbiorze rejestracji sygnałów EEG, w którym dla każdej z osób nagrano po 20 sesji pomiarowych rejestrowanych na przestrzeni wielu dni. Każda z sesji była rejestrowana innego dnia. Przeprowadzenie analiz na zbiorze zawierającym tyle sesji pomiarowych, wykonanych w różnych dniach, dla wielu osób, wyróżnia się na tle innych prac przedstawionych w literaturze. Do tego rozdziału należą również tabele umieszczone w dodatkach A, B, C i D z danymi dotyczącymi dodatkowych wyników prac.

Część merytoryczną zamyka *rozdział szósty*, który opisuje i podsumowuje przeprowadzone badania, ich wyniki oraz wnioski końcowe. Doktorantka w tym rozdziale podaje również ograniczenia, jakie zaistniały podczas realizacji swoich tez oraz przedstawia kierunki dalszych badań.

Ciekawą cechą manuskryptu jest to, że każdy rozdział kończy się podsumowaniem, gdzie autorka podaje streszczenie rozdziału oraz najważniejsze wnioski o badaniach i ich wynikach w danym rozdziale.

Całość pracy kończy *bibliografia*, która zawiera 119 pozycji, a 8 z nich to współautorstwo doktorantki. Dobór literatury świadczy o szczegółowej wiedzy doktorantki w badanym obszarze naukowym, co oceniam pozytywnie.

Brakuje mi jednak oddzielnego rozdziału, jak wspomniałem, poświęconego własnym metodom i podejściom autorki, o których jest mowa w jej założeniach i które były niezbędne do realizacji tej rozprawy. Doktorantka pisze o wkładzie własnym (cytat ze str. 19 rozprawy doktorskiej autorki): „*Poniżej przedstawiono oryginalny wkład autorki w dziedzinie weryfikacji tożsamości osób na podstawie sygnału EEG i wymienia między innymi: opracowanie 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,*”.

Niemniej jednak w analizach przedstawionych w rozprawie wykorzystywane znane metody obliczeniowe zostały łączone ze sobą w jasny sposób przy weryfikacji tożsamości osób na podstawie sygnału EEG. Jako przykład zaproponowano, by wyekstrahowane cechy sygnału EEG będące współczynnikami widma gęstości mocy wyrażać w skali decybelowej. Prowadzi to do uwypuklenia składowych sygnału o niskich energiach. Umożliwiło to doktorantce uzyskanie lepszych wyników w porównaniu do innych znanych z literatury metod normalizacji sygnału.

II. Ogólna ocena pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Renaty Plucińskiej przedstawia wkład doktorantki w rozwój metod weryfikacji tożsamości osób na podstawie analizy widmowej sygnału EEG z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego. Autorka eksperymentalnie pracowała nad metodami poprawienia jakości weryfikacji tożsamości osób na podstawie ich sygnału EEG. Rozdział 5. w całości poświęcony jest wynikom różnych i obszernych badań doktorantki w zakresie analizy sygnału EEG, a w szczególności jako cechy biometrycznej do weryfikacji osób w pewnych sytuacjach życiowych.

Według mojej oceny temat pracy autorki jest aktualnym kierunkiem badań naukowych. Dostyc popularne są zastosowania sygnału EEG w interfejsach mózg-komputer umożliwiającymi między innymi sterowanie urządzeniami za pomocą myśli. Doktorantka osiągnęła wyznaczony cel rozprawy doktorskiej, który wnosi ważne aspekty do nauk technicznych w zakresie informatyka. Doktorantka wykazała się dobrą znajomością technik i metod analizy sygnału EEG w celu weryfikacji człowieka. Cytowana literatura jest interesująca, starannie i prawidłowo dobrana. Praca prezentuje szeroką wiedzę, jaką posiada doktorantka z zakresu biometrycznego rozpoznawania tożsamości osób za pomocą analizowanego sygnału EEG. Ważnym wkładem badań własnych

doktorantki, poza tymi wymienionymi powyżej, jest zbadanie wpływu liczby sesji treningowych pozwalających na określenie najmniejszej liczby sesji potrzebnej do przeprowadzenia weryfikacji. Również istotnym badaniem było analizowanie wpływu sposobu podziału danych na zbiory treningowe i testowe na otrzymywany wynik weryfikacji tożsamości osób na podstawie sygnału EEG.

Praca została napisana poprawnym językiem. Rysunki i schematy blokowe oraz tabele i inne ilustracyjne materiały są klarowne i dobrze wyjaśniają ich cel.

Pomimo wysiłków autorki, aby praca prezentowała jej osiągnięcia w sposób klarowny, można niestety zauważyć pewne niewielkie usterki, które wymieniam poniżej:

- Ponieważ rozprawa doktorska dotyczy dyscypliny informatyka, uważam, że metodologie doktorantki powinny mieć raczej opis i charakter algorytmiczny. W pracy brakuje algorytmów, jak również implementacji komputerowej, przynajmniej w ramach konkretnego środowiska obliczeniowego. Być może wynika to jednak z faktu, iż praca miała mieć charakter eksperymentalny.
- W czwartym rozdziale *Opis wykorzystywanych metod przetwarzania sygnału EEG* nie podano kolejnych etapów przetwarzania sygnału, w większości nie podano, jakie narzędzia były stosowane, jak parametry zostały obliczane, jak wygląda, najważniejszy do wykonania klasyfikacji, wektor cech, (Rys. 15. *Segmentacja danych*).
- Podrozdział 3.3 nosi tytuł "*Analiza sygnału EEG jako źródła cech biometrycznych*". Jest to sprzeczne z podrozdziałem 1.2, gdzie sygnał EEG jest zdefiniowany jako cecha biometryczna. Moim zdaniem lepszym rozwiązaniem byłoby zostawić sygnał EEG jako cechę biometryczną, która staje się źródłem punktów charakterystycznych i/lub elementów niezbędnych do sformułowania wektora cech.
- Ważną informację podano na str. 39 o zastosowaniach sygnału EEG - "*Potencjalnych zastosowań sygnału EEG do biometrycznej weryfikacji tożsamości osób można szukać między innymi w systemach:*". Jednak nie ma odpowiedniego cytatu do źródeł informacji. Jeżeli uważa doktorantka to za swoje własne wnioski i osiągnięcia, to na pewno warto byłoby rozszerzyć i nadmienić jako wyniki swoich własnych badań i obserwacji.
- Na str. 47. podano zbędne informacje o *Transformacie Fouriera* oraz *Szybkiej Transformacie Fouriera*.
- Tabela 9. pokazuje średnie wyniki miar jakości klasyfikacji. Najwyższe średnie miary skuteczności osiągnięto dla całego pasma oraz zestawu " $\delta+\alpha+\beta+\gamma$ " - 97,8. Natomiast niższe dla zestawu fal ($\theta+\alpha+\beta+\gamma$) - 97,5. Dla pojedynczych fal θ skuteczność to $88,5\pm 0,8$ a dla samych fal δ $82,3\pm 3,4$. Wydaje się więc, że fale θ niosą wyższą informację biometryczną, a jest odwrotnie. Co może być przyczyną? Dlaczego zmiana fal δ (dających

samodzielnie gorsze wyniki) na fale θ (dające samodzielnie lepsze wyniki) w zestawie fal ($X+\alpha+\beta+\gamma$) pogarsza metryki?

- Z drugiej strony na Rys. 8 przedstawiono fale θ , a na Rys. 11 falę γ . Fala γ posiada znacznie bardziej zaszumiony przebieg. W przypadku systemu biometrycznego opartego o sygnały fali γ osiągnięto skuteczność $91,7\pm 2,0$ a dla fali θ $88,5\pm 0,8$ (Tabela 9, strona 80). Raczej można było spodziewać się odwrotnego wyniku. Proszę o wyjaśnienie tego zjawiska lub przynajmniej rozszerzenie opisu rysunku.
- Str. 75., autorka pisze "Duże różnice zaobserwowano w długości czasu nauczania sieci, który był ponad pięćset razy dłuższy dla sieci z dwudziestoma neuronami ukrytymi niż dla sieci z jednym neuronem ukrytym". Jest to całkowicie typowe dlatego, że na liczbę parametrów sieci wpływa nie liczba neuronów, a liczba połączeń między neuronami z biasem.
- Na str. 76-77, zrozumiałe jest, że przy niewielkiej liczbie sesji uczącej wyniki będą miały miejsce małe miary skuteczności. Ponadto dość intuicyjne jest to, że np. przy 2 sesjach uczących dodanie sesji nr 3 (wzrost o 50 % liczebności zbioru treningowego) może wprowadzić pewne perturbacje, a nawet spadek skuteczności, jak na Rys. 36. Nie jest jednak jasne, co stało się w przypadku sesji nr 10, dla której miary skuteczności spadły jak np. na Rys. 34. Dodanie sesji 10. to wzrost zbioru uczącego o około 11 %, mimo to obserwowane jest pogorszenie. Czy sesja nr 10 ma coś specyficznego, jakie mogą być przyczyny tego spadku? Proszę o wyjaśnienie znanych dla autorki przyczyn takiego stanu rzeczy.

III. Merytoryczne osiągnięcia Doktorantki oraz Jej publikacje

Wkład autorki rozprawy w zagadnienie weryfikacji tożsamości osób na podstawie ich sygnału EEG jest znaczny. Świadczą o tym prace naukowe opublikowane w czasopiśmie i materiałach konferencji międzynarodowych. Pani mgr inż. Renata Maria Plucińska jest współautorką 9 różnych publikacji – 5 referatów opublikowanych w materiałach konferencyjnych oraz trzech artykułów naukowych w recenzowanych czasopiśmie i jednego artykułu w recenzji. Tematyka pracy inżynierskiej i magisterskiej była związana bezpośrednio z sygnałem EEG oraz jego zagadnieniami. Dodatkowo, doktorantka napisała pracę dyplomową licencjacką z kognitywistyki, również w ramach tematyki EEG.

IV. Wnioski końcowe

Wystawiam ocenę pozytywną rozprawie doktorskiej wykonanej przez panią mgr inż. Renatę Marię Plucińską pt. "Weryfikacja tożsamości osób na podstawie analizy widma sygnału EEG i jego podpasem z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego". Stwierdzam również, iż mimo wymienionych powyżej niedociągnięć, praca spełnia wymagania i warunki nakładane przez ustawę o stopniach naukowych. Rozprawa stanowi nowe rozwiązanie problemu

naukowego oraz osobisty wkład Doktorantki w rozwój metod poprawienia jakości weryfikacji tożsamości osób na podstawie ich sygnału EEG.

Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie Autorki wymienionej rozprawy doktorskiej do jej obrony w celu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Khalid Saeed