

Rzeszów, 24.08.2024 r.

Dr hab. inż. Damian Mazur
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Recenzja rozprawy doktorskiej

Doktorantka: **mgr Magda Żołubak**

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Implementacja częściowo autonomicznego systemu ekspertowego do analizy danych biomedycznych i jego zastosowanie do celów diagnostycznych”

Promotor: dr hab. inż. Mariusz Pelc, prof. Uniwersytetu Opolskiego

Współpromotor: dr hab. inż. Aleksandra Kawala-Sterniuk, profesor uczelni

Instytucja: Politechnika Opolska

Dyscyplina naukowa: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

Niniejsza recenzja powstała w odpowiedzi na wniosek dr hab. inż. Andrzeja Waindoka, prof. uczelni (Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny) z dnia 20 czerwca 2024 roku.

Celem niniejszej recenzji jest ustalenie, czy rozprawa doktorska mgr Magdy Żołubak spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim na tym etapie kształcenia (określone w art. 13 ust.1 Ustawy o stopniach i tytułach naukowych) oraz czy spełnia warunki wymienione w poniższych punktach:

1. Trafność wybranego tematu rozprawy.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej jest opracowanie częściowo autonomicznego systemu ekspertowego do analizy sygnałów elektroencefalografii (EEG) z wykorzystaniem technik uczenia maszynowego. Poprzez częściową automatyzację procesu analizy sygnału, system ten ma zwiększyć dokładność i efektywność diagnoz medycznych. Rozprawa doktorska podzielona jest na dwie główne części: część empiryczną, w której szczegółowo opisano metodologię badań i zastosowanie opracowanych metod do danych rzeczywistych, oraz część teoretyczną, w której dokonano przeglądu aktualnego stanu wiedzy w zakresie analizy i przetwarzania sygnałów biologicznych do celów diagnostycznych. Część badawcza koncentruje się na tworzeniu modeli do analizy zagadnień związanych z pamięcią krótkotrwałą, nadmiernym stresem i nieprawidłowymi wolnymi falami mózgowymi. Dodatkowo praca obejmuje implementację metody analizy w programie opartym na politykach decyzyjnych.

Wybrany temat jest aktualny i istotny dla dyscypliny naukowej: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

2. Określenie i realizacja tez rozprawy doktorskiej.

Doktorant zdefiniował następującą tezę i tezy pomocnicze:

- Teza główna: „*Dzięki wykorzystaniu systemów ekspertowych możliwa jest optymalizacja analizy danych biologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem sygnałów elektroencefalograficznych (EEG) pod kątem ich wykorzystania do celów diagnostycznych i badań przesiewowych*”.

- Tezy pomocnicze:

- „*Analiza sygnału EEG jest możliwa dzięki wykorzystaniu odpowiednio zaprojektowanych filtrów lub opracowaniu modeli szumu w sygnale*”;

- „*Uczenie maszynowe z nadzorem może być skutecznie stosowane do realizacji zadań z zakresu diagnostyki medycznej*”;

- „*Dzięki systemom eksperckim możliwe jest automatyczne różnicowanie sygnałów EEG na podstawie wybranych charakterystycznych zmian*”;

- „*Obserwowany tak w Polsce, jak i na świecie wzrost liczby osób z zaburzeniami rejestrowanymi w sygnale EEG, stwarza zapotrzebowanie na szybką i efektywną diagnostykę przesiewową*”.

3. Treść dysertacji.

Praca ma na celu implementację częściowo autonomicznego systemu do analizy elektroencefalogramów (EEG) w celu poprawy diagnostyki. Opracowano nową metodę, zwaną metodą markerów, w celu zwiększenia dokładności analizy EEG poprzez wykrywanie subtelnych zmian, które mogą prowadzić do nieprawidłowych ocen ze względu na czułość sygnałów i niską częstotliwość. System został zaprojektowany w celu rozróżnienia zaburzeń o podobnych objawach i porównania skuteczności metody markerów z tradycyjnymi technikami analizy EEG. Metoda upraszcza analizę sygnału biologicznego przy użyciu podejścia opartego na macierzy i obejmuje model błędu w celu usunięcia zakłóceń z sygnału EEG, oferując alternatywę dla tradycyjnych metod filtrowania, takich jak IIR i FIR.

4. Ocena formalnych aspektów pracy magisterskiej.

Rozprawa liczy **154** strony, w tym strona tytułowa, oświadczenie, podziękowania, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, spis rysunków, spis tabel, zgoda komisji bioetycznej, bibliografia obejmująca **104** pozycje piśmiennictwa oraz załączniki (**5** kodów). Praca zawiera **7** rozdziałów (w tym nienumerowane piśmiennictwo), **84** ryciny, **13** tabel i **11** równań. Rozdział pierwszy zawiera krótkie wprowadzenie do tematu, tezę wraz z tezami pomocniczymi oraz opis rozdziałów. Rozdział drugi opisuje teoretyczne podstawy ludzkiego układu nerwowego, uczenia się i procesów poznawczych. Trzeci rozdział zatytułowany „Metodologia badań” zawiera informacje dotyczące metod pomiaru mózgu oraz krótko opisuje systemy eksperckie i zastosowane metody przetwarzania sygnałów. Rozdział czwarty opisuje przeprowadzone eksperymenty. Rozdział piąty zawiera uzyskane przez autora wyniki. Rozdział szósty zawiera wnioski i dalsze plany badawcze. W rozdziale siódmym (bez numeru) znajduje się bibliografia.

Praca napisana jest w całości w języku angielskim.

W dalszej części niniejszej recenzji dysertacji wskażę zarówno pozytywne jak i negatywne cechy pracy doktorskiej.

5. Pozytywne cechy rozprawy doktorskiej.

Na podstawie treści rozprawy Autorka wykazała się wiedzą i umiejętnością zdefiniowania problemu naukowego, przedstawiła sposoby jego rozwiązania oraz eksperymentalnie zweryfikowała zaproponowaną metodologię. Ponadto Doktorantka jest autorem i współautorem kilku prac naukowych ściśle związanych z tematem rozprawy.

Zaproponowane badania są nowatorskie, a w istniejącej literaturze brak jest podobnych eksperymentów wykorzystujących metody autora.

Na pochwałę zasługuje również wysiłek włożony przez kandydatkę w napisanie pracy w języku angielskim, mimo że jest to język obcy. Język pracy jest poprawny i nie zawiera poważnych błędów gramatycznych i ortograficznych.

Bibliografia jest aktualna.

Mimo, że temat rozprawy jest bardzo aktualny i trafny, a Kandydatka przeprowadziła obszerną serię eksperymentów, rozprawie brakuje kompleksowego ujęcia tematu, pozostawiając niektóre aspekty niedostatecznie zbadane.

Uwagi, które chciałbym w tym miejscu zgłosić można podzielić na dwie główne kategorie:

1. Uwagi natury merytorycznej, na przykład:

- s. 13 - „Fale delta są rejestrowane głównie podczas snu i można je zobaczyć w analizie komputerowej” - jaka to analiza?
- Autorka skupiła się głównie na systemach opartych na systemie „10-20”, ale nie wspomniała nic o innych systemach stosowanych klinicznie, takich jak banan, Laplacian i inne. Dlaczego? Brak jest również informacji o różnych typach obecnie stosowanych elektrod, takich jak aktywne i pasywne
- s. 27 - Rysunek 14 przedstawia spektrogramy trwające do 120 sekund, co jest uważane za nadużycie w analizie sygnałów EEG. Tak długie zapisy nie są czytelne. Co więcej, nie wiadomo, czy istotne informacje zostały usunięte po przefiltrowaniu sygnału nieznanymi parametrami filtru Butterwortha.
- s. 45 - „Dane EEG zostały zarejestrowane z następujących lokalizacji: Fz, Cz, C3 i C4.” - dlaczego tylko te kanały?
- s. 48 - „W kolejnym kroku przeprowadzono analizę aktywności pasma Beta zarejestrowanej z kory czuciowo-ruchowej.” - dlaczego tylko Beta?
- s. 52 - „Macierz przedstawiona w tabeli 2 opisuje położenie markerów, które zostały użyte w uczeniu maszynowym.” - w jakim typie ML?
- s. 55 - dlaczego przebadano tylko 10 osób? Czy grupa badawcza była jednorodna? Jakie były kryteria włączenia i wyłączenia?
- s. 62 - Rys. 43 - „Gęstość widmowa mocy dla (a) kobiet w ciąży z zaburzeniami pamięci roboczej i (b) kobiet bez zaburzeń pamięci roboczej (tj. próby kontrolnej)” - co ilustruje ten rysunek?

- s. 101 - „Ta praca pokazuje, że opracowana metoda markera działa dobrze do przesiewania sygnałów EEG pod kątem różnych diagnoz”. Co oznacza „dobrze”? Nie podano odpowiednich danych liczbowych, które mogłyby potwierdzić skuteczność proponowanych metod.
 - Ilu uczestników wzięło udział w badaniu?
 - Jakie były kryteria włączenia i wykluczenia?
 - Czy autor korzystał z otwartych zbiorów danych?
 - W swojej pracy Autorka odnosi się zarówno do EEG, jak i QEEG, ale nie porównała obu metod i nie wyjaśniła różnic między nimi.
2. Uwagi natury edycyjnej / redakcyjnej – generalnie, wiele zastrzeżeń dotyczących tej strony pracy bierze się przede wszystkim stąd, że praca wydaje się być napisana dość chaotycznie. Zapewne wynika to po części z samej specyfiki użytego narzędzia edycyjnego (Overleaf / Latex), ale nawet w tym przypadku, przy pewnej dozie determinacji można uzyskać daleko lepsze wyniki, jeśli chodzi o stronę prezentacyjną pracy. Z tego nieuporządkowania wynika zapewne również to, że w wielu przypadkach (dotyczy tabel i rysunków) brakuje opisów czy wyjaśnień. Usterki natury edycyjnej / redakcyjnej jest w pracy naprawdę dużo i ich dokładny opis mógłby z jednej strony odwrócić uwagę od merytorycznej strony pracy, z drugiej strony natomiast mógłby sugerować, że dyskwalifikują one pracę, co oczywiście nie ma miejsca. Niemniej, warto zauważyć, że np.:
- Zamieszczenie niektórych rysunków zdaje się być bezcelowe, np. s. 9 rys. 3, czy też s. 10 rys. 4., s. 51 rys. 34, s. 53 rys. 36, następnie strony 63, 64 oraz 65 i rys. 44, 45, 46.
 - Bardzo wiele rysunków jest niewyjaśnionych lub nie ma do nich odwołania z tekstu pracy, np. na stronach 28, 29, 30 rys. 15, 16, 18, podobny problem dotyczy stron 97, 98, 99, rys. 82, 83, 84.
 - Wiele rysunków i tabel jest nieczytelnych, np. s. 55, tab. 3, s. 68, tab. 8, s. 89, tab. 12, s. 58 - na rysunkach 38 i 39 autorka oznacza niektóre wartości dwoma kolorami, ale nie wyjaśnia ich znaczenia ani tego, do czego dokładnie się odnoszą,
 - Zdarzają się również usterki takie jak: „Poniższy kod (patrz Rysunek 35 w tej pracy) dzieli” - nawias nie jest zamknięty.

6. Zasadnicze uwagi merytoryczne:

Recenzowana praca dotyczy zagadnień związanych z diagnostyką różnego rodzaju zaburzeń, głównie o charakterze poznawczym lub zaburzeń wywołanych stresem. W tym celu wykorzystane zostały sygnały EEG (fal mózgowych) pobrane od pacjentów, które w wybranych przypadkach zostały uzupełnione o sygnały z ogólnodostępnych baz danych medycznych. Sama analiza przeprowadzona została zarówno w dziedzinie czasu, jak również poprzez analizę QEEG (w tym przypadku sygnały poddane zostały transformacie FFT i uzupełnione o amplitudę wszystkich fal oraz ich udział procentowy). Dopełnieniem metod analitycznych była autorska metoda wykorzystująca transformatę Welcha, której poddano oryginalnie zarejestrowane sygnały (zastępując stosowaną wcześniej transformatę FFT).

Same sygnały, jak również ich transformaty, stanowiły dane badawcze, których analiza została przeprowadzona z wykorzystaniem metod ekspertowych (proces diagnostyczny był w takim przypadku ujmowany w formie tzw. *polityki*) oraz metod uczenia maszynowego. W tym kontekście można zgłosić następujące uwagi / pytania:

1. Ogólnie, analizy są prowadzone na nielicznej grupie pacjentów (nawet uwzględniając stosowane w niektórych przypadkach uzupełnienie analizowanych danych poprzez dodanie danych z ogólnodostępnych baz). To z kolei nasuwa pytania dotyczące właściwej charakterystyki danych (np. reprezentatywności samych danych w odniesieniu do różnych diagnozowanych przypadków).
2. Stosując system ekspertowy wykorzystujący polityki, jego niezawodność zależy głównie od poprawności sformułowania tejsz polityki, która poprzez sukcesywne sprawdzanie wybranych warunków na zasadzie "jeśli... to.." prowadzi do określonej diagnozy. Powstaje zatem istotne pytanie kto i na jakiej zasadzie te polityki formułował i kto gwarantował ich poprawność diagnostyczną?
3. Jeśli chodzi o zastosowanie polityk, to ich użycie w kontekście analizy danych medycznych nie jest powszechne. Same polityki mają wyraźną budowę regułową, co natychmiast implikuje pytanie dotyczące, wspomnianej zresztą w pracy, potencjalnego zastosowania logiki rozmytej. Systemy rozmyte są dobrze znane i ich zastosowanie w przedmiocie pracy wydawałoby się bardziej naturalne. Jakie zatem czynniki zadecydowały o tym, że zamiast nich wybrano jednak systemy pracujące w oparciu o polityki?
4. Transformatę FFT stosuje się powszechnie, aby możliwe było prowadzenia analizy sygnałów w dziedzinie częstotliwości, zamiast dziedziny czasu (lub odwrotnie). Sama natura tej transformaty jest taka, że jest ona bezstratna (czyli cała informacja zawarta w oryginalnym sygnale jest nadal dostępna, tylko w innej formie). Metoda Welcha wykorzystuje peridodogramy zawierające uśrednienia określonych segmentów sygnału, co oznacza, że wiele danych z takiego segmentu zyskują reprezentację w formie tej właśnie średniej. Proszę o omówienie potencjalnego wpływu takiego uśredniania na skuteczność całego procesu diagnostycznego, w szczególności, czy jest on korzystny, czy też nie?
5. Oryginalny rozmiar danych uczących (populacja) był niewielki (około 50 rekordów). Zrozumiałym jest (i jest to dość często stosowana praktyka), że w takim przypadku można się posłużyć danymi wygenerowanymi w oparciu o dane oryginalne i dodanie ich do danych oryginalnych, co skutkuje (sztucznym) powiększeniem populacji. W przypadku badań

zawartych w rozdziale 5.3 wygenerowanych zostało 100 pomiarów, czyli więcej, niż było pomiarów oryginalnych / rzeczywistych. Czy prowadzone były testy wpływu ilości wygenerowanych pomiarów na skuteczność metody?

6. Jak wytłumaczyć poprawę dokładności predykcji dla modelu LRE oraz RND w przypadku redukcji ilości zmiennych wejściowych (analiza PCA, przypadek dla 2 komponentów głównych)?

7. W pracy brakuje zastosowania różnych metod diagnostycznych do diagnozowania tych samych jednostek chorobowych / problemów, co pozwoliłoby porównać pomiędzy poszczególnymi metodami analizy. Czy tego typu porównania były prowadzone (np. w celu weryfikacji poprawności metod)?

7. Ocena podsumowująca.

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr. Magdy Żołąbak zawiera bardzo wartościowe wyniki, a opracowanie algorytmów częściowo autonomicznego systemu diagnostyki / analizy danych medycznych zakończyło się powodzeniem, co znalazło potwierdzenie w wynikach przeprowadzonych testów i symulacji. Dorobek publikacyjny Autorki związany z tematyką pracy jest wystarczający i potwierdza bardzo dobrą znajomość tematyki poruszanej w pracy.

Uważam, że cele założone w pracy zostały spełnione a hipoteza potwierdzona.

Sformułowane w recenzji uwagi mają w większości charakter dyskusyjny i nie umniejszają w żaden sposób wartości opracowanej metody ani wysokiemu poziomowi badawczemu rozprawy.

W związku z powyższym, rozprawa ta spełnia wszelkie wymagania określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami), a więc wnioskuję do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne o dopuszczenie Pani mgr. Magdy Żołąbak do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym publicznej obrony.

Damian Kozłowski