

Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej

00-661 Warszawa, ul. Koszykowa 75

**Recenzja rozprawy doktorskiej por. mgra inż. Pawła Stasiakiewicza pt. „Nowatorska metoda klasyfikacji zdrowych i chorych pacjentów ze zmianami osłuchowymi w postaci trzeszczeń wykorzystująca pakiety falkowe i sieć SVM”**

promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Andrzej P. Dobrowolski, Wojskowa Akademia Techniczna

drugi promotor: dr hab. n. med. Robert Olszewski, prof. NIGRiR, Narodowy Instytut Geriatrii, Reumatologii i Rehabilitacji

zlecona pismem z dnia 20 maja 2021 r. przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektrotechnika i Elektronika prof. dr hab. inż. Jana K. Jabczyńskiego.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska przedstawia wyniki badań mgra Pawła Stasiakiewicza nad automatyzacją różnicowania pacjentów ze zmianami osłuchowymi na podstawie ich rejestracji i metod cyfrowego przetwarzania sygnałów. W szczególności, przedstawiony problem badawczy dotyczy zadań analizy sygnałów pomiarowych, ich podziału na fazy oddychania, wyznaczania i selekcji cech dystynktywnych oraz finalnej klasyfikacji. Badania te, pod względem zastosowanych podejść i metod, mieszczą się w zakresie dyscypliny Automatyka, Elektrotechnika i Elektronika, mając naturalny ścisły związek z informatyką, inżynierią biomedyczną oraz medycyną. W recenzji odniosę się do poszczególnych aspektów rozprawy doktorskiej jako podsumowania dzieła powstałego w wyniku prowadzonych badań naukowych.

### **Charakterystyka zawartości pracy.**

Recenzowana rozprawa składa się z przedmowy, 3 rozdziałów, podsumowania, wykazu literatury oraz dwóch dodatków i liczy 85 stron. Bibliografia zawiera 85 pozycji literaturowych (w tym artykułów naukowych i monografii) oraz internetowych (baz danych i publicznych opracowań). Na wstępie zamieszczone jest streszczenie pracy w języku polskim i angielskim, natomiast nie stwierdzam uzupełnienia pracy o wykaz skrótów.

Przedmowa zawiera opis chronologiczny tła do prowadzonych badań (m.in. pozyskanie danych), wybranych (prawdopodobnie istotnych z punktu widzenia Autora) aspektów opracowanych rozwiązań oraz krótkie przedstawienie zawartości rozprawy. Pozostałe rozdziały zawierają moim zdaniem często połączone tematy, które niejednokrotnie mogłyby zostać rozdzielone do osobnych pozycji.

Pierwszy rozdział rozprawy rozpoczyna wprowadzenie i przedstawienie problemu badawczego. Wymienione są schorzenia powodujące zmiany osłuchowe, ich rejestracja i analiza spektralna, zrozumiale (aczkolwiek oszczędnie) wprowadzając czytelnika w problematykę zagadnienia. Następnie przedstawiona jest bardzo dobrze opracowana analiza stanu wiedzy, w tym odwołania do literatury oraz porównania innych istniejących rozwiązań automatyzacji oceny sygnałów osłuchowych. W jej efekcie sformułowana została teza badawcza w następującej postaci „możliwe jest opracowanie automatycznego klasyfikatora zdrowych i chorych pacjentów ze zmianami osłuchowymi w postaci trzeszczeń o dokładności wystarczającej do zastosowań medycznych”. Rozdział kończy opis celu i motywacji prowadzonych badań.

Drugi rozdział przedstawia najpierw procedurę pomiarową oraz liczebność danych (rejestracji), aby przejść następnie do stosowanych metod przetwarzania sygnałów. Przedstawiona i omówiona jest dekompozycja sygnałów poprzez pakiety falkowe oraz metody analizy statystycznej, w zakresie koniecznym do celów prowadzonych badań. W końcu opisane są algorytmy detekcji faz oddechowych, metody i schematy selekcji cech dystynktywnych oraz klasyfikacji w oparciu o sieć neuronową SVM. Na tym etapie Autor rozprawy łączy przedstawienie znanych faktów o zastosowanych metodach z własnymi analizami, interpretacjami oraz koncepcjami rozwiązań. Ostatnia rycina rozdziału przedstawia schemat blokowy zaproponowanego systemu diagnostyki szmerów oddechowych.

Rozdział trzeci, zatytułowany „wyniki badań”, przedstawia szereg problemów i rozwiązań autorskich zadania implementacji systemu analizy sygnałów oraz baz danych. Następnie opisane są wyniki generacji i selekcji cech prowadzące do wyboru zarówno suboptymalnych rozwiązań składowych, jak również fuzji klasyfikatorów. Rozdział uzupełnia krótka dyskusja oraz następujące po niej podsumowanie osiągnięć własnych. Dodatek A przedstawia koncepcję standaryzacji pomiarów, a dodatek B rozszerzenie analizy działania pakietów falkowych dla danych własnych.

## **Ocena rozprawy doktorskiej.**

Autor pracy jednoznacznie formułuje oraz realizuje przyjęte cele badawcze osiągając znaczące wyniki na rzeczywistych danych pomiarowych. Poszczególne elementy składowe przetwarzania sygnału są dobrze udokumentowane pod względem ich wyboru i parametryzacji.

Materiał badań został dokładnie wybrany i opracowany, łącznie ze standardami rejestracji sygnałów. Przytoczony przegląd literatury dowodzi znajomości aktualnego stanu wiedzy w zakresie prowadzonych badań. W rozprawie celowo i wyczerpująco odniesiono się do innych istniejących rozwiązań, w tym wskazując na ich możliwości i ograniczenia. Pomimo, iż część prac jest datowana na lata 2010-2014, przywoływane są również prace z ostatnich czterech lat, w tym prace przeglądowe.

Metodyka zastosowana w badaniach jest adekwatna do problemu, a dobór metod składowych jest uzasadniony zarówno typem danych, jak również ich liczebnością. Metodyka analiz statystycznych przedstawiona w pracy zawiera podstawowe statystyki, w tym miary, testy statystyczne oraz warunki ich stosowania. Kluczowa w pracy jest metodyka selekcji cech oraz parametrów klasyfikatora, która jest wykonana na dobrym poziomie. W efekcie Autor przedstawia wysoce wiarygodny i dobrze omówiony system różnicowania sygnałów osłuchowych, który może być poddany dalszym testom w warunkach szpitalnych i zastosowaniu w diagnostyce.

Na wyniki badań składają się analizy wartości dyskryminacyjnych poszczególnych cech i wpływu redukcji ich liczności (również w strategiach walidacji krzyżowej). Oceniane są również rozwiązania sieci neuronowej pod względem funkcji jądra, parametrów uczenia oraz integracji. Jako referencyjny wskazany zostaje system z liniową funkcją jądra (ze względu na aproksymację globalną), podczas gry lepsze rozwiązania z funkcją nieliniową są obarczone warunkiem dalszej weryfikacji stabilności odpowiedzi.

Jako oryginalny dorobek i główny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Autora wymienić można:

- Zaproponowanie złożonego systemu analizy i klasyfikacji sygnałów oddechowych pod kątem wykrywania trzasków;
- Przeprowadzenie pogłębionej analizy przydatności i efektów działania pakietów falkowych w dekompozycji sygnałów osłuchowych,
- Zaproponowanie metodyki selekcji cech dystynktywnych,
- Opracowanie optymalizacyjne dwóch rozwiązań neuronowych w badanym problemie klasyfikacji,
- Zrealizowanie badań w oparciu o rzeczywiste, wystandaryzowane dane pomiarowe.

Należy stwierdzić, iż uzyskane wyniki badań są na wysokim poziomie, a zaproponowane rozwiązania są autorskie dla tego problemu badawczego.

### **Uwagi merytoryczne do tekstu rozprawy.**

Do uwag ogólnych zaliczam:

1. Autor rozprawy weryfikuje rozkład normalny zmiennych testem Chi-kwadrat. Test ten posiada walory raczej historyczne, a głównym problemem przy jego stosowaniu jest niestabilność wyniku przykładowo względem przyjętej liczby podzbiorów/klas. Do weryfikacji rozkładu normalnego zmiennej stosowane są powszechnie dokładniejsze testy: Kołmogorowa-Smirnowa (w tym z poprawką Lillieforsa) oraz W Shapiro-Wilka. Wskazane jest zweryfikowanie wyników wymienionymi powyżej testami wraz z komentarzem.
2. Na stronach 33-35 rozprawy mowa jest o analizie wariancji oraz testowaniu istotności wpływu czynnika na obserwowane obiekty. Dowodzi to, iż Autor rozprawy posiada przygotowanie statystyczne do badań naukowych. Jednakże uzasadnienie wyboru testu oraz ograniczone przedstawienie wnioskowania w punkcie 3.3 nie pozwalają czytelnikowi na pełną ocenę przyczynowo-skutkową wybranego modelu postępowania. Wskazane jest uzupełnienie analiz o stwierdzenie zaistnienia przypadku wykluczającego zastosowanie testu parametrycznego.
3. Podczas gdy Autor rozprawy stara się stosować metody automatycznego doboru parametrów, niektóre współczynniki (np. we wzorze (25)) są dobrane arbitralnie bez analizy ich wpływu na otrzymywane rozwiązanie.
4. Jakie kryterium zastosowano podczas selekcji składowych falkowych, o której mowa na stronie 59?
5. Na stronie 59 jest mowa o 30-krotnej ocenie metodami CV i CVoc. Nie do końca jest zrozumiała ta krotność. Równocześnie, dokładność dla CV wydaje się wyższa niż dla CVoc (rys. 3.12). Poproszę o dokładniejsze wyjaśnienie różnic w metodach CV i CVoc oraz analizę wyników.

6. Na jakiej podstawie wybrano rozwiązanie z liczbą cech równą 10? Rozwiązanie oparte na 14 cechach wydaje się korzystniejsze.
7. Jak wytłumaczyć tak wysoką różnicę w specyficzności rozwiązania nieliniowego z tabel 3.4 oraz 3.5? Jak rozumieć liczby wektorów podtrzymujących w tabeli 3.5?
8. Pomimo omówienia na wstępie kilku chorób płuc oraz typów szmerów dodatkowych, brakuje w pracy odniesienia do tego problemu.
9. Na stronie 45 Autor rozprawy sugeruje powiązanie doboru zestawu cech i optymalizacji klasyfikatorów, podczas gdy na następnej stronie deklaruje rozdzielenie tych problemów.
10. W pierwszej części rozprawy wymienione są osiągnięcia innych naukowców w tematyce rozprawy (m.in. tab. 1.2). Niestety, w części dotyczącej wyników lub dyskusji, brakuje szczegółowego porównania z nimi wyników własnych (liczbowego i opisowego) z wyjątkiem przywołania pozycji [48] literatury na stronie 59. W efekcie, wobec wartości miar dokładności rzędu 90-100% w tabeli 1.2 dla niektórych pozycji, takie porównanie jest konieczne.

Do uwag natury edytorskiej zaliczam:

11. Sporadycznie w pracy występują „potknięcia językowe”, przykładowo: strona 13 „operacji logarytmu”, strona 17 „...gdyż lokalnie naturalny szmer oddechowy, zakłócenia mają minimalny wpływ ...” itp.
12. Czym się różni  $P_i$  we wzorze (23) od  $p_i$  we wzorze (24)?
13. Dlaczego rozwiązanie klasyfikacyjne przedstawione na rys. 2.9 jest tak niedokładne?
14. Czy brak relacji pomiędzy tabelą grupą klasyfikatorów na rys. 3.6 nie jest przeoczeniem?

Nieliczne błędy edytorskie nie wpływają na czytelność pracy. Wymienione w recenzji braki natury ogólnej nie przekreślają istotnego wkładu Autora pracy w uprawianą tematykę badawczą. Recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania na stopień. Dowodzi temu zarówno zakres danych badawczych, złożoność problemu badawczego, jak również zaawansowany poziom zaproponowanych rozwiązań autorskich.

Konkludując, stwierdzam, iż recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Pawła Stasiakiewicza pt. „Nowatorska metoda klasyfikacji zdrowych i chorych pacjentów ze zmianami osłuchowymi w postaci trzeszczeń wykorzystująca pakiety falkowe i sieć SVM” w dyscyplinie Automatyka, Elektrotechnika i Elektronika spełnia wymagania wynikające z art. 179 ust.2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r., poz. 1669) w związku art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony.

Z poważaniem

  
Tomasz Markiewicz