

dr hab. inż. Mirosław Świercz, prof. PB
Katedra Automatyki i Robotyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Białostocka

Białystok, 1 lipca 2021 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana

mgr. inż. Pawła Stasiakiewicza

pt. **„Nowatorska metoda klasyfikacji zdrowych i chorych pacjentów ze zmianami osłuchowymi w postaci trzszczeń wykorzystująca pakiety falkowe i sieć SVM”**

(zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Wojskowej Akademii Technicznej, prof. dr hab. inż. Jana K. Jabczyńskiego, z dnia 20 maja 2021 r.)

1. Ogólna charakterystyka, przedmiot, teza i cel rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Stasiakiewicza została wykonana pod kierunkiem dwóch promotorów: prof. dr hab. inż. Andrzeja P. Dobrowolskiego i dr hab. n. med. Roberta Olszewskiego, prof. Narodowego Instytutu Geriatrii Reumatologii i Rehabilitacji, co jest uzasadnione interdyscyplinarną tematyką badań zaprezentowanych w pracy. Rozprawa zawiera 85 stron i została podzielona na następujące części:

- streszczenie (w języku polskim i angielskim);
- przedmowę, w której Autor przedstawia w skrócie prace badawcze, których rezultaty zostały opisane w rozprawie oraz charakteryzuje treść poszczególnych rozdziałów pracy;
- wprowadzenie, w którym Doktorant charakteryzuje układ oddechowy człowieka, opisuje główne schorzenia powodujące zaburzoną dyfuzyjność lub zaburzoną wentylację płuc, prezentuje metody badań osłuchowych układu oddechowego, obszernie przedstawia aktualny stan wiedzy w zakresie klasyfikacji szmerów oddechowych oraz formuluje tezę pracy, motywację do podjęcia badań nad klasyfikacją sygnałów zarejestrowanych podczas badań osłuchowych i cel tych badań;
- dwa rozdziały merytoryczne, prezentujące autorską koncepcję badań nad konstrukcją klasyfikatorów sygnałów oraz wyniki tych badań (w tym weryfikację działania zaprojektowanych klasyfikatorów);
- podsumowanie uzyskanych wyników oraz charakterystykę osiągnięć własnych Autora rozprawy;
- spis literatury, zawierający 85 pozycji, w tym 4 pozycje, których Doktoranta był współautorem;
- dwa dodatki, w których Doktorant zaproponował instrukcję osłuchiwania płuc, która ma na celu ujednoczenie badań osłuchowych oraz własne spostrzeżenia na temat pakietowej dekompozycji falkowej.

W rozdziale „1.4. Teza badawcza” na stronie 21 Autor formuluje tezę rozprawy: „możliwe jest opracowanie automatycznego klasyfikatora zdrowych i chorych pacjentów ze zmianami osłuchowymi w postaci trzszczeń o dokładności wystarczającej do zastosowań medycznych”. Zdaniem recenzenta, druga część zdania składającego się na tezę (tj. „o dokładności wystarczającej do zastosowań medycznych”) jest sformułowana w sposób zbyt ogólny – nie jest jasne, do jakich zastosowań medycznych ma być przeznaczony klasyfikator, a tym bardziej, co oznacza termin „wystarczająca dokładność”. Wprawdzie ten brak precyzji sformułowania „broni się” uzyskanym przez Doktoranta

[Podpis]

wynikiem klasyfikacji (zdolność generalizacyjna 92,8 % dla klasyfikatora liniowego oraz 98,0 % dla systemu nieliniowego), niemniej jednak bardziej precyzyjne sformułowanie tezy rozprawy byłoby pożądane.

O wiele lepiej recenzent odbiera precyzję sformułowania celu badań („*opracowanie sztucznej sieci neuronowej do klasyfikacji pacjentów z prawidłową czynnością układu oddechowego bez patologicznych szmerów oddechowych oraz chorych ze zmianami osłuchowym pod postacią trzeszczeń*”) oraz motywacji do podjęcia tematyki badawczej i poszukiwania rozwiązania problemu („*zastosowanie systemu w zakresie wsparcia procesu decyzyjnego dla lekarzy z małym doświadczeniem, w trakcie porad telemedycznych, czy do obserwacji pacjentów w trakcie rekonwalescencji w domu*”). Oba te sformułowania po raz pierwszy występują w streszczeniu pracy na str. 5 i są później wielokrotnie przytaczane w tekście rozprawy.

Osiągnięcie zakładanego celu i udowodnienie tezy rozprawy było zadaniem ambitnym, wymagającym zastosowania zaawansowanych algorytmów przetwarzania sygnałów i klasyfikacji ich cech, wzbogaconych o oryginalne, autorskie rozwiązania teoretyczne. Zdaniem recenzenta, cel rozprawy i zadania badawcze zostały sformułowane poprawnie, a podjęta w pracy próba stworzenia neuronowych klasyfikatorów cech sygnałów jest niewątpliwie zadaniem naukowym odpowiadającym wymaganiom stawianym rozprawie doktorskiej. Dodatkowo, tematyka rozprawy wynika z potrzeby rozwiązania realnego problemu medycznego, który jak dotychczas nie doczekał się kompleksowego rozwiązania – można więc z pewnością stwierdzić, że podjęta i rozwinięta w rozprawie problematyka badawcza ma znaczenie zarówno z teoretycznego, jak i z praktycznego punktu widzenia.

2. Ocena rozprawy – najważniejsze osiągnięcia Autora

Problem badawczy, którego rozwiązanie zostało przedstawione w rozprawie, wynika z praktycznej potrzeby wykorzystania wiedzy technicznej do wspomaganie diagnostyki medycznej. Podjęty przez Doktoranta temat detekcji stanu chorobowego układu oddechowego za pomocą analizy sygnału z badania osłuchowego nie doczekał się, jak dotychczas, jednoznacznego i kompleksowego rozwiązania – przede wszystkim ze względu na poziom trudności. Przytoczone przez Doktoranta wyniki prac prowadzonych w tym zakresie w renomowanych ośrodkach medycznych (rozdział „1.3. Analiza stanu wiedzy”) świadczy o tym, że uzyskanie dużej dokładności automatycznej klasyfikacji tej grupy sygnałów stanowi poważne wyzwanie intelektualne. Dane na temat jakości klasyfikacji sygnałów osłuchowych przez ekspertów (podane we wspomnianym rozdziale) również przemawiają za kontynuowaniem badań nad konstrukcją narzędzi do wspomaganie diagnostyki medycznej w tym obszarze.

Zdaniem recenzenta, poziom złożoności tematyki, której dotyczy praca, jest w pełni adekwatny do wymagań stawianych tematom rozpraw doktorskich. Doktorant prawidłowo sformułował cel i plan badań oraz dobrał zaawansowane metody rozwiązania sformułowanego problemu. Słuszność tezy rozprawy (zdaniem recenzenta sformułowanej nieco zbyt ogólne) Doktorant potwierdził w sposób eksperymentalny, wnosząc ponadto pewien wkład teoretyczny do zagadnień przetwarzania sygnałów za pomocą transformacji falkowych oraz ekstrakcji zbioru cech sygnałów, który zapewnia skuteczne działanie klasyfikatorów. Treść i poziom rozprawy udowadnia dobrą znajomość przez Doktoranta współczesnego stanu wiedzy w obszarze bezpośrednio związanym z tematem rozprawy, jak również w obszarach zbliżonych tematycznie do głównego nurtu rozprawy. Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską recenzent ocenia zatem jednoznacznie pozytywnie.

Za główne osiągnięcia Doktoranta, które w większości zostały również wskazane przez niego samego w treści pracy (str. 66), recenzent uważa:

- przeprowadzenie analizy praktycznego problemu wspomaganie diagnostyki medycznej oraz zaproponowanie metodologii rozwiązania tego problemu za pomocą narzędzi z zakresu nauk inżyniersko-technicznych;
- przygotowanie (we współpracy z ośrodkami medycznymi) jednolitych procedur pozyskiwania sygnałów biomedycznych oraz utworzenie bazy takich sygnałów;
- zaproponowanie przez Doktoranta autorskiej metody charakteryzacji właściwości widmowych dekompozycji pakietowej oraz sformułowanie wniosków dotyczących przydatności falek wyższych rzędów do parametryzacji szmerów oddechowych;
- generację tzw. cech dystynktywnych sygnałów przy zastosowaniu pakietów falkowych, w połączeniu z algorytmem do detekcji faz oddychania;
- implementację metod selekcji cech oraz optymalizację i fuzję zbiorów cech uzyskanych tymi metodami;
- zaprojektowanie i staranną weryfikację przydatności dwóch klasyfikatorów – sieci neuronowych o architekturze liniowej oraz nieliniowej (w tym ocenę zdolności uogólniających tych sieci).

3. Uwagi krytyczne, dyskusyjne i komentarze do rozprawy

Oprócz ogólnie jak najbardziej pozytywnej opinii na temat jakości rozprawy doktorskiej, podczas jej lektury nasuwa się również kilka uwag krytycznych. Recenzent proponuje, aby podczas publicznej obrony rozprawy Doktorant ustosunkował się do niektórych ze sformułowanych poniżej uwag dyskusyjnych.

3.1. „Przeuczenie” sieci neuronowej.

Doktorant sporo uwagi (zdaniem recenzenta – jak najbardziej słusznie) poświęcił ocenie zdolności uogólniających klasyfikatorów neuronowych. Z jednej strony Doktorant słusznie łączy zdolność sieci do generalizacji z miarą Vapnika-Chervonenkisa (VC_{dim}), tj. w uproszczeniu ze stosunkiem liczby wag sieci do liczby wektorów treningowych (uczących), z drugiej strony jednak zapominając o głównej przyczynie umożliwiającej istotny spadek jakości klasyfikacji na zbiorze testowym – nadmiarowej strukturze sieci neuronowej, która pozwala na nadmierne dopasowanie systemu do danych uczących. Słowo „zapominając” nie jest może w pełni usprawiedliwione, bo nadmiarowa struktura sieci oznacza zbyt dużą liczbę jej wag, a więc bezpośrednią zmianę wartości miary VC_{dim} (o czym Doktorant pisze w tekście pracy), niemniej jednak „przeuczenie” jest objawem pierwotnej przyczyny, tj. nadmiarowej struktury klasyfikatora.

W tym kontekście nie jest zrozumiała uwaga Doktoranta, sformułowana na str. 60, w akapicie pomiędzy rysunkami 3.12 i 3.13: „Na rys. 3.13 zilustrowano ocenę zdolności generalizacyjnej liniowej sieci SVM. Dla kolejnej liczby cech wyznaczano dokładność systemu w zbiorze uczącym oraz z zastosowaniem metody CVoc. W punkcie dla 34 parametrów można zaobserwować wyraźny wzrost różnicy dokładności, co jest utożsamiane z przeuczeniem systemu klasyfikującego.”. Recenzent byłby wdzięczny za wyjaśnienie mechanizmu „przeuczenia” sieci liniowej (klasyfikatora liniowego).

3.2. Metody optymalizacji globalnej.

Na str. 40 Doktorant charakteryzuje losowe oraz heurystyczne (sekwencyjne) algorytmy optymalizacji, pisząc, że „poszukiwanie losowe jest globalną metodą optymalizacji i algorytm nie ma tendencji do zatrzymania w lokalnym minimum”. W ogólności nie jest to prawda – metody

losowe wykazują stochastyczną zbieżność do globalnego optimum funkcji celu, a przypadki gdy algorytm (np. genetyczny) potrafi „utknąć” w minimum lokalnym zdarzają się, niestety, często.

3.3. Schemat blokowy algorytmu genetycznego (rys. 2.8, str. 42).

W pętli reprezentującej pojedynczą iterację algorytmu genetycznego Doktorant używa dwóch bloków: „Ocena populacji i wybór następnej generacji” (na początku pętli) oraz „Obliczenie wartości funkcji celu dla aktualnej populacji” (na jej końcu). Przedstawiony schemat różni się od schematu działania prostego algorytmu genetycznego, gdzie blok obliczania wartości funkcji przystosowania wszystkich osobników występuje przed podjęciem decyzji o zakończeniu działania algorytmu. Doktorant nie precyzuje w komentarzu, jakie działania składają się na ocenę populacji i wybór następnej generacji, a błędny numer pozycji literaturowej uniemożliwia weryfikację poprawności tego schematu.

3.4. Używanie niezdefiniowanych pojęć.

W wielu miejscach rozprawy Doktorant używa pojęć, które nie zostały wcześniej zdefiniowane lub też nie są powszechnie używane w literaturze światowej. Przykładem mogą być tu wielokrotnie użyte (po raz pierwszy na str. 20) nazwy falek: 'db7', 'sym7', 'coif3', 'sym12', które istnieją w słowniku pojęć pakietu MATLAB i są złożeniem skrótów powszechnie używanych w literaturze nazw falek *Daubechies*, *symlet*, i *coiflet* oraz rzędu tych falek. Zdaniem recenzenta, Doktorant powinien wyjaśnić genezę stosowanych oznaczeń, odsyłając do literatury źródłowej (zarówno na temat przekształceń falkowych, jak i do instrukcji środowiska MATLAB).

Na str. 22 w objaśnieniach symboli użytych we wzorze (22) pojawia się niezdefiniowane wcześniej pojęcie wektora nośnego (wspierającego), również bez odwołania do literatury na temat metody (sieci) SVM. Na str. 42 w podpisie pod Rysunkiem 2.9 Doktorant używa niezdefiniowanego pojęcia funkcji jądra, wprowadzając z odwołaniem, ale do strony producenta pakietu MATLAB.

3.5. Technika odwołań do literatury źródłowej.

Oprócz poruszonego w poprzedniej sekcji tematu używania pojęć zaczerpniętych z literatury, bez stosownego odwołania do źródła, w kilku miejscach rozprawy takie odwołania są, zdaniem recenzenta, niezbędne. Dla przykładu – w akapicie powyżej wzoru (4) na str. 27 Doktorant odwołuje się do pojęcia analizy wielorozdzielczej oraz algorytmu Mallata, bez stosownego odsyłacza do literatury źródłowej. Podobnie, definicje statystyk wyższych rzędów (skośności i kurtozy) powinny być poparte odwołaniem do pozycji książkowej ze statystyki matematycznej.

Odwołania do literatury wymagają również rozważania na temat miary Vapnika-Chervonenkisa (VC_{dim}), zaczynające się w ostatnim akapicie na str. 42.

Autor nie ustrzegł się również pewnych mniej istotnych usterek redakcyjnych, skrótów myślowych i uproszczeń, wymienionych poniżej:

- Str. 6 – w sformułowaniu tezy, zamieszczonym w angielskim streszczeniu rozprawy, powinno być „to elaborate an automatic classifier” (w tekście brak przedimka 'an').
- Str. 14 – w podpisie pod Rysunkiem 1.2 powinno być raczej „Czarnym prostokątem oznaczono przedział czasu, w którym ...”, a nie „Czarnym prostokątem oznaczono moment, w którym ...”.
- Str. 17 – drugie zdanie drugiego akapitu od góry: „Skupienie na krótkich fragmentach sygnału, z metrologicznego punktu widzenia, jest najlepszym rozwiązaniem, gdyż lokalnie naturalny szmer oddechowy, zakłócenia mają minimalny wpływ w porównaniu do całego przebiegu sygnału.” nie jest zrozumiałe.

- Str. 17 – użyte w tytułach kolumn Tabeli 1.1 terminy „czułość” i „specyficzność” powinny być wcześniej zdefiniowane; niniejsza usterka, tj. użycie niezdefiniowanych pojęć, które nie zawsze, są powszechnie znane (choć akurat w tym przypadku można polemizować z takim zarzutem) występuje wielokrotnie w tekście rozprawy.
- Str. 20 – w drugim akapicie pod Rysunkiem 1.6 występuje sformułowanie „W 2006 r. pani Kahya [42] zaproponowała”, które prowokuje do rozważań o równouprawnieniu płci w tekstach naukowych, bo w pierwszy pełnym akapicie na stronie 21 mamy bezpośrednio: „Kandaswamy'04 w [43] zaproponował” (nawiasem mówiąc „'04” jest chyba niefortunną pozostałością po procesie ostatecznej redakcji odwołań do bibliografii).
- Str. 21 – w trzeciej linii trzeciego pełnego akapitu od góry znajduje się kolejna usterka wynikająca z niewłaściwego uporządkowania odwołań do literatury: „... Chen'19 w [45] ...”.
- Str. 36 – w pierwszym akapicie podrozdziału „2.3.3. Algorytm do detekcji faz oddychania” (oraz w kilku dalszych miejscach w tekście pracy) Doktorant używa czasownika „detekuje”, który zdaniem recenzenta powinien być zastąpiony słowem „wykrywa”.
- Str. 36 – w tym samym akapicie (jak również dalej w tekście pracy) nieprawidłowo występuje przecinek przed słowem „oraz”; nie zawsze zgodne z zasadami interpunkcji jest również pomijanie przecinka przed słowem „czy”.
- Str. 38 – w ostatnim akapicie tekstu po Rysunku 2.6 występuje zdanie: „Dlatego, w celu zmniejszenia rozstępu moduł transformaty poddano nieliniowemu przekształceniu przez funkcję f.”. Doktorant nie podaje postaci tej funkcji, nie precyzuje również, czy mowa jest o funkcji logarytmicznej przedstawionej w jednym z bloków schematu z Rys. 2.5 na poprzedniej stronie.
- Str. 38 – zdanie w pierwszym akapicie u dołu strony: „Uzyskano średni błąd lokalizacji wdechu na poziomie 1,21 % względem 9,60 % oraz 12,24 % lokalizowania nadmiarowych faz względem 10,71 %.” nie jest zrozumiałe.
- Str. 41 – odwołanie do literatury (poz. [11]) w podpisie pod rysunkiem jest nieprawidłowe – pod tą pozycją znajduje się jedna ze stron www Światowej Organizacji Zdrowia i strona ta nie zawiera schematu blokowego algorytmu genetycznego.
- Str. 51 – w pierwszym akapicie u dołu strony powinno być chyba „parametryzacja sygnału”, jeśli druga część zdania ma dotyczyć rzeczownika w liczbie pojedynczej.
- Str. 53 – szczegóły na Rysunku 3.5 są, niestety, mało widoczne; szczególnie dotyczy to tekstów w oknach interfejsu graficznego.
- Str. 55 – ostatnie zdanie podpisu pod Rysunkiem 3.7 zawiera sformułowanie „T jest transmitancją”, jednak Doktorant nie wyjaśnia, o transmitancji jakiego układu/procesu mowa.

4. Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej

Treść rozprawy dotyczy zagadnień klasyfikacji sygnałów w celu wspomagania diagnostyki medycznej, a więc problematyki, która ma istotne znaczenie praktyczne. Zdaniem recenzenta, Doktorant, wykorzystując oryginalne, autorskie koncepcje przetwarzania sygnałów w celu ekstrakcji ich tzw. cech dystynktywnych, zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji oraz techniki klasyfikacji wielowymiarowych zbiorów danych, za pomocą ogromnej liczby eksperymentów symulacyjnych potwierdził słuszność tezy sformułowanej na str. 21 rozprawy. Autor w sposób wyczerpujący, dostatecznie jasny i precyzyjny przedstawił w treści rozprawy doktorskiej zarówno oryginalne algorytmy dekompozycji sygnałów i klasyfikacji ich cech, jak i wyniki eksperymentów numerycznych, analizę tych wyników i wnioski, które wynikają z eksperymentów. Doktorant wykorzystał w swych badaniach wiedzę źródłową dostępną we współczesnych publikacjach naukowych z kilku obszarów wiedzy medycznej i technicznej (w tym sztucznej inteligencji, statystyki matematycznej, przetwarzania sygnałów, itp.), co świadczy o bardzo dobrej znajomości tematyki, której dotyczy rozprawa. Zadania badawcze, które postawił przed sobą Doktorant, charakteryzują się poziomem merytorycznym w pełni adekwatnym

do wymagań stawianych rozprawom doktorskim i zostały sformułowane i rozwiązane w poprawny sposób – za pomocą nowoczesnych, zaawansowanych metod i algorytmów.

W treści rozprawy można w sposób jednoznaczny wyodrębnić oryginalny i samodzielny dorobek Autora. Rozprawa zawiera również zestawienie i podsumowanie osiągnięć własnych Doktoranta, które nie wzbudza żadnych zastrzeżeń ze strony recenzenta. Należy również podkreślić fakt, że niektóre wątki poruszane w rozprawie zostały rozwinięte w kilku współautorskich publikacjach Doktoranta wydanych w trakcie prac nad rozprawą oraz w artykule „Automatic classification of normal and sick patients with crackles using wavelet packet decomposition and support vector machine” opublikowanym w prestiżowym czasopiśmie *Biomedical Signal Processing and Control* (IF = 3,137). Można więc uznać, że cele badawcze postawione w rozprawie oraz wybrane rezultaty osiągnięte przez Autora zostały w dużej części pozytywnie zweryfikowane przez specjalistów, zajmujących się tematyką odpowiadającą zakresowi rozprawy doktorskiej.

Pewna liczba uwag polemicznych oraz krytycznych komentarzy, zamieszczonych w poprzednim rozdziale recenzji, wynika przede wszystkim z samej istoty interdyscyplinarnego problemu naukowego, który podjął Doktorant. Recenzent stwierdza jednoznacznie, że rozprawa wnosi interesujący przyczynek do metodologii budowy inteligentnych narzędzi do wspomagania diagnostyki medycznej, pogłębiając dotychczasową wiedzę teoretyczną oraz wzbogacając zbiór rozwiązań praktycznych. Recenzent wyraża nadzieję, że przedstawione w recenzji uwagi o charakterze polemicznym i krytycznym są warte rozważenia i ewentualnego uwzględnienia w dalszych pracach Doktoranta – nie wpływają one jednak w istotny sposób na ocenę opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Zdaniem recenzenta, opiniowana rozprawa stanowi samodzielne i oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, potwierdzając tym samym umiejętność prowadzenia przez Doktoranta pracy naukowej. Treść rozprawy i jej merytoryczny poziom świadczy o dużej wiedzy teoretycznej i umiejętnościach Doktoranta w zakresie podstawowej dyscypliny naukowej, jak również o odpowiednio wysokim poziomie znajomości (związanych z rozprawą) zagadnień z pokrewnych obszarów nauki, w tym medycyny. Redakcja pracy jest dość staranna (zauważone przez recenzenta usterki i błędy redakcyjne zostały wymienione powyżej), zaś układ rozprawy jest ogólnie poprawny.

5. Wniosek końcowy

Zgodnie z zaprezentowaną powyżej oceną merytoryczną rozprawy Pana mgr. inż. Pawła Stasiakiewicza stwierdzam, że opiniowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Artykule 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 z 2003 r., poz. 595 z późn. zm.) oraz w stosownych przepisach wykonawczych wydanych na podstawie w/w Ustawy.

W związku z Art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669) stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Stasiakiewicza do publicznej obrony, zgodnie z procedurą określoną przez Radę Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Wojskowej Akademii Technicznej.

