

Dr hab. Andrzej Swinarew prof. UŚ  
Uniwersytet Śląski w Katowicach  
Ul. Bankowa 12, 40-007 Katowice

## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Dzika pt.: „Automatyczna klasyfikacja sygnałów migotania przedsionków serca przy użyciu hybrydowych metod sztucznej inteligencji” wykonanej na Wydziale Inżynierii Biomedycznej, Politechniki Śląskiej, w Zabrze, pod kierunkiem prof. dr hab. Ewarysta Tkacza.

Rozprawa doktorska mgr inż. Radosława Dzika (87 stron) została starannie przygotowana i zawiera wszystkie nieodzowne elementy. W części teoretycznej (39 stron – trzy rozdziały wraz z podrozdziałami), obejmującej przegląd literaturowy, Doktorant po krótkim wprowadzeniu w tematykę pracy, omawia podstawy wiedzy na temat elektrokardiografii. Dokładnie omawia budowę serca następnie płynnie przechodzi do historii medycyny, w której pokazuje próby oceny rytmu na podstawie zmian elektrycznych z wykorzystaniem elektrometru kapilarnego oraz galwanometru. Zwraca uwagę na precyzję i istotę wykonywanych pomiarów, w dalszej części wprowadzenia doktorant pokazuje rozkład potencjałów elektrod dla poszczególnych odprowadzeń dla trójkąta Einshovena oraz układ odprowadzeń Goldbergera i wyjaśnia różnice między nimi. W kolejnym rozdziale 1.2 Doktorant omawia układ bodźcoprzewodzący serca jak również zjawiska elektryczne w sercu z dokładnym omówieniem odpowiedniego przewodnictwa jonowego, generowania impulsów, budowy właściwych kanałów przewodzących, następnie skupia się na węźle przedsionkowo-komorowym oraz omawia serce jako pompę sodowo-potasową gdzie pokazuje istotny wpływ czasów generowania różnicy potencjałów oraz ich oddziaływanie na prawidłowy rytm serca. W rozdziale 1.2 Doktorant omawia przepływ jonów w komórkach przewodzących serca gdzie skupia się głównie na układzie sodowo-potasowym napędzającym pompę. W rozdziale 1.3 Doktorant omawia rytm serca pokazując automatykę serca jako wynikową impulsów elektrycznych z węzła zatokowo-predsionkowego oraz omawia ich przeprowadzenie z przedsionków do komór.

W rozdziale 1.4 Doktorant skupia się na meritum pracy omawiając migotanie przedsionków poczynając od danych epidemiologicznych związanych ze skutkami migotania przedsionków nawet krótkoterminowych, wskazuje na istotność właściwej i wczesnej diagnostyki migotania przedsionków, chociażby z wykorzystaniem pomiaru aparatem Holtera. W dalszej części kładzie istotny nacisk na długofalowe skutki niezdiagnozowanego migotania wspomina również o innych zaburzeniach rytmu serca, które bezpośrednio wpływają na epizody zagrażające życiu.

W rozdziale 1.5 Doktorant skupia się na wykorzystaniu sztucznej inteligencji w klasyfikacji zaburzeń rytmu serca pokazując istotność zastosowania dyskretnej transformaty falkowej do ekstrakcji cech sygnału migotania przedsionków oraz wielowarstwowej sieci neuronowej. Doktorant powołując się na dane literaturowe wskazuje, iż tego typu analizy dostarczają istotnych danych o bardzo wysokiej czułości oraz specyficzności co wpływa na całkowitą dokładność na poziomie 97%. Pokazuje również inne podejście z wykorzystaniem konwolucyjnych sieci neuronowych oraz wskazuje iż w ostatnich latach rozwój głębokiego uczenia maszynowego doprowadził do znacznie lepszego zrozumienia istoty migotania przedsionków.

Na stronie 28 doktorant jasno definiuje cel rozprawy jakim było:

Stworzenie hybrydowego układu WNN (ang: Wavelet Neural Network) opartego o analizę sygnału przy pomocy ciągłej transformaty falkowej (CWT), układ sieci neuronowej (ANN) pozwalającej na klasyfikację sygnału w oparciu o wyodrębnione faleki oraz rozpoznanie możliwości implementacji nowo opracowanej metody Doktorant zakłada również przeprowadzenie porównania z istniejącymi wiodącymi metodami.

Postawione przez doktoranta tezy pracy są ściśle skorelowane ze wstępem oraz całościowym wydźwiękiem pracy:

1. Hybrydowy model sztucznej inteligencji oparty o układ WNN (Wavelet Neural Network) może być wykorzystany jako algorytm automatycznej i szybkiej klasyfikacji sygnałów migotania przedsionków serca.

2. Połączenie narzędzi analizy częstotliwościowo-czasowej sygnału (ciągła transformata falkowa) i stworzenie własnych falek oraz wykorzystanie sieci neuronowej jest skutecznym i niewymagającym pod względem zasobów narzędziem pozwalającym szybko dokonać klasyfikacji sygnału migotania przedsionków.

W rozdziale trzecim „wykorzystane materiały i metody” Doktorant omawia klasyfikację migotania przedsionków w aspekcie szybkiej przesiewowej diagnostyki, która mogłaby przyczynić się do szybszej identyfikacji osób obciążonych daną jednostką chorobową i rozpoczęcia leczenia zanim dojdzie do poważniejszych powikłań. Wskazuje również główne cechy morfologiczne w zapisie EKG jako predyktory migotania przedsionków, pokazuje schemat blokowy, według którego ocenia migotanie przedsionków lub jego brak. Opisany schemat blokowy składa się z processingu, ekstrakcji cech sprzężenia zwrotnego z nauką i klasyfikacją oraz finalnie postawienia diagnozy, a właściwie określenia wyniku. Doktorant omawiam bazę, z której zostały pobrane dane oraz ciągłą transformatę falkową, którą wykorzystuje do analizy sygnału.

Doktorant starannie pokazuje w jaki sposób zostały przygotowane dane, omawia wykorzystane filtry i schematy.

W ostatniej części Autor skupia się na wyodrębnieniu cech istotnych oraz omówieniu sieci neuronowych ze wskazaniem cech istotnych, omawia również, co istotne, sposób uczenia sieci neuronowej, a finalnie wskazuje metodę propagacji błędów oraz omawia istotę jej zastosowania.

W rozdziale czwartym „wyniki badań oraz dyskusja” Autor dokładnie omawia dane EKG, które zostały przygotowane zgodnie z opisaną w części literaturowej metodą jak również metodę redukcji szumów. Doktorant przedstawia zestawienia odsumionych sygnałów zarówno prawidłowych jak i noszących cechy migotania. Doktorant przedstawia falki które wykorzystał do wyodrębnienia cech sygnału przy użyciu ciągłej transformaty falkowej.

W dalszej części Doktorant omawia budowę sieci neuronowej wykorzystaną dzięki użyciu oprogramowania Matlab oraz podaje jej cechy jak również parametry klasyfikatora. W rozdziale 4.2 ocena modelu, Doktorant przedstawia parametry sprzętu, na którym model był analizowany oraz dane programów testujących, podaje również modyfikacje architektury, która została wykonana do własnych potrzeb.

W dalszej części Autor skupię się na optymalizacji oraz podaje algorytmy, które zostały wykorzystane do tego celu, a także przedstawia wyniki uczenia sieci neuronowej oraz zestawia ich rezultaty.

W rozdziale piątym Doktorant przedstawia podsumowanie osiągnięć zaprezentowanych w rozprawie doktorskiej oraz najważniejsze osiągnięcie jakim jest opracowanie hybrydowej

metody automatycznej analizy sygnałów migotania przedsionków przy użyciu sieci neuronowej WNN. Rozprawa niniejsza potwierdza również założone tezy.

1. Połączenie narzędzi analizy częstotliwościowo-czasowej sygnału (ciągła transformata falkowa) i stworzenie własnych falek oraz wykorzystanie prostej sieci neuronowej jest skutecznym i niewymagającym pod względem zasobów narzędziem pozwalającym szybko dokonać klasyfikacji sygnału migotania przedsionków.

2. Zastosowanie opracowanego hybrydowego algorytmu sztucznej inteligencji opartego o WNN pozwala na automatyczną klasyfikację sygnałów migotania przedsionków serca.

3. Porównanie otrzymanego klasyfikatora z inną metodą opartą o algorytmy deep learning nie odbiega w zakresie skuteczności detekcji, a pozwala na znacznie obniżenie wymagań sprzętowych.

Pracę Doktorant kończy istotnym podsumowaniem oraz porównaniem z istniejącymi metodami jak również wskazaniem mocnych i słabych stron własnego rozwiązania. Praca ma charakter aplikacyjny co zasługuje na znaczącą pochwałę.

Niestety w pracy Doktorant nie uniknął błędów zarówno edycyjnych i jak i merytorycznych w tym zwłaszcza:

- w rozdziale 1.4 migotanie przedsionków Doktorant skupia się bardzo na danych historycznych oraz czynnikach ryzyka nie wskazuje jednak na etiologię migotania oraz nie pokazuje istotnych zmian na poziomie przewodnictwa, o którym wspomina w dalszej części rozprawy informacje te mogłyby bardzo istotnie nakierunkować czytelnika na istotność i celowość prowadzonych badań;

- w rozdziale 1.4 nie jest jasno sprecyzowane czy czynniki ryzyka mogą występować w oparciu o płeć oraz jako jeden z istotnych czynników ryzyka podany jest wywiad w rodzinie choć to już ma charakter bardzo anegdotyczny i prawdopodobnie jest wynikiem błędu edycyjnego;

- w rozdziale wyniki Doktorant przedstawia ryciny w tym zwłaszcza rycinę 24 oraz 26, które są całkowicie nieczytelne i przez to nie wnoszą żadnych informacji;

- stosowane w całej pracy wykresy nie są ujednolicone i wprowadzają odrobinę chaosu przy próbie ich interpretacji;

- brakuje również dokładnego omówienia możliwości prostej aplikacji otrzymanego algorytmu do analizy sygnałów i ich analizy w czasie rzeczywistym.

**Wskazany niedociągnięcia nie obniżają jednak aplikacyjnego charakteru pracy oraz jej istotnego znaczenia dla dalszego rozwoju automatycznej klasyfikacji sygnałów medycznych i ich interpretacji.**

W odniesieniu do tematyki pracy oraz podjętego bardzo istotnego tematu miałbym pytanie do Doktoranta czy mógłby przybliżyć o co chodzi w metodzie Bootstrap. Jak się definiuje próbę Bootstrap, czego dotyczy zasada Bootstrap i wreszcie w jaki sposób w odniesieniu do opisanego w pracy klasyfikatora migotania przedsionków można by Pana zdaniem zastosować metodę Bootstrap.

Podsumowując, praca doktorska mgr inż. Radosława Dzika pt.: „Automatyczna klasyfikacja sygnałów migotania przedsionków serca przy użyciu hybrydowych metod sztucznej inteligencji” stanowi w całości samodzielną pracę Doktoranta. Rozprawa jest napisana poprawnie w sposób logiczny prowadzi czytelnika po kolejnych etapach przeglądu literaturowego i części eksperymentalnej. Doktorant swoją rozprawą zademonstrował dojrzałość naukową, ostrożny krytycyzm we wnioskowaniu i ugruntował moją opinię, że jest wysoko wykwalifikowanym specjalistą w swojej dziedzinie naukowej. **W mojej opinii, przedłożona Wysokiej Radzie Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna, rozprawa doktorska mgr inż. Radosława Dzika spełnia ustawowe kryteria warunków określonych w art.187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (j.t.Dz.U.z 2020 r.poz.85.z późn.zm.) i dlatego wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do jej publicznej obrony.**

Dodatkowo, biorąc pod uwagę ważność podjętego tematu badań, włożoną pracę oraz potencjalne możliwości wykorzystania opracowanego przez doktoranta algorytmu do szybkiej przesiewowej diagnostyki migotania przedsionków uważam przedstawioną rozprawę jako bardzo wartościową oraz o wysokim potencjale aplikacyjnym.

Dr hab. Andrzej Swinarew Prof. UŚ