

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Huberta Świerczyńskiego

pt. *Application of machine learning techniques in glaucoma detection and control*

opracowana na zlecenie dziekana

Wydziału Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej

dr. hab. inż. Mikołaja Morzego, prof. PP

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Intensywny rozwój metod i technik sztucznej inteligencji i ich zastosowań w wielu obszarach ma szczególne znaczenie w medycynie w przetwarzaniu sygnałów i obrazów medycznych celem bardziej efektywnego wspomagania lekarza w procesie diagnostyki i leczenia różnych zachorowań. Wśród chorób, które dotyczą wielu milionów pacjentów na całym świecie i wymagają bardziej skutecznych metod wykrywania i leczenia znajduje się jaskra, czyli choroba neuropatii nerwu wzrokowego przy jednoczesnych morfologicznych zmianach warstwy włókien nerwowych siatkówki. Opiniowana rozprawa doktorska jest udaną próbą częściowego rozwiązania tego problemu poprzez opracowanie systemu wspomagającego diagnostykę jaskry z wykorzystaniem modeli predykcyjnych z zastosowaniem uczenia maszynowego w analizie danych sensorycznych i klinicznych. Sformułowana w rozdziale pierwszym na stronach drugiej i trzeciej teza rozprawy wraz z opisem wkładu naukowego autora rozprawy są dobrze opracowane z punktu widzenia budowanego systemu wspomagania diagnostyki i leczenia jaskry.

Rozprawa ma charakter naukowy proponując rozwiązanie ważnego problemu informatycznego zwiększenia efektywności diagnostyki i leczenia jaskry z wykorzystaniem nowoczesnych metod uczenia maszynowego. Z kolei zaproponowany komputerowy system oparty na uczeniu maszynowym przetwarzania danych sensorycznych i klinicznych posiada duży potencjał praktyczny.

2. Koncepcja rozprawy i jej realizacja

Rozprawa o ogólnej objętości 96 stron opracowana jest w języku angielskim z krótkim jednostronicowym streszczeniem w języku polskim. Składa się formalnie z 8-miu rozdziałów, przy czym pierwsze trzy kilkustronicowe rozdziały jak wprowadzenie, wsparcie decyzji klinicznych i medycyna spersonalizowana jak również podstawowe informacje medyczne o jaskrze. Załączona bibliografia zawiera 97 pozycji, i są to głównie artykuły w czasopismach specjalistycznych i referaty międzynarodowych konferencji naukowych dotyczące informatyki technicznej i inżynierii biomedycznej. Jest to dobrze opracowana bibliografia w większości z ostatnich dziesięciu lat (2015-2025). Zaproponowana bibliografia jest kompletna i pośrednio potwierdza fakt, że doktorant posiada bardzo dobrą wiedzę w zakresie dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Z kolei 14-stronicowy rozdział czwarty stanowi krótkie wprowadzenie do podstawowych koncepcji uczenia maszynowego, takich jak między innymi regresja, drzewa decyzyjne, klasteryzacja danych, selekcja cech czy metryki ewaluacji wyników. Rozdział piąty to opis danych sensorycznych oraz klinicznych dotyczących jaskry, w którym szczególną uwagę zwrócono na sensor Triggerfish'a i urządzenia monitorujące w sposób ciągły parametry układu sercowo-naczyniowego. Omówiono też nieinwazyjny ciągły pomiar ciśnienia krwi i powiązanych parametrów fizjologicznych jak również ważne dane kliniczne oraz ciśnienie śródgałkowe czy właściwości rogówki.

Z merytorycznego punktu widzenia bardzo ważny jest obszerny 20-stronicowy rozdział szósty, w którym przedstawiono rozwój modeli uczenia maszynowego do wykrywania jaskry. Omówiono tutaj między innymi dane wejściowe z Kliniki Okulistycznej w Poznaniu (zbiór danych zawiera 105 przypadków, przy czym (67 kobiet, 38 mężczyzn) czy analizę spektralną danych sensorycznych. Szczególną uwagę poświęcono modelom predykcyjnym uczenia maszynowego do wykrywania jaskry uwzględniając wybrane algorytmy, dane sensoryczne i dane kliniczne czy rozszerzone zbiory danych.

Z kolei w rozdziale siódmym przedstawiona jest propozycja autorskiego systemu diagnostycznego jaskry oraz wsparcia badań kooperacyjnych. System został wykonany z zastosowaniem języków programowania *R*, *Python* oraz *Java*. Przedstawiono ogólną strukturę systemu do przetwarzania danych sensorycznych i klinicznych z zastosowaniem różnych modeli uczenia maszynowego. Modele uczenia maszynowego utworzone i oceniane w środowisku H2O mogą zostać wdrożone w środowisku produkcyjnym za pomocą formatów POJO (*Plain Old Java Object*) lub MOJO (*Model Object, Optimized*). Pokazano różne scenariusze zastosowań, wizualizację danych, badania kooperacyjne wraz z czytelną komunikacją, transdyscyplinarność czy adopcję społeczną.

Ostatni rozdział ósmy poświęcono różnym scenariuszom analizy danych badań kooperacyjnych. Pokazano związek atrybutów pochodzących z danych czujnika Triggerfish CLS z kardiologicznymi pomiarami klinicznymi. W innym scenariuszu porównano atrybuty pochodzące z danych czujników w grupach przypadków na podstawie diagnozy i dodatkowych kryteriów. Rozpatrzono też scenariusz klasteryzacji danych klinicznych. Wszystkie te scenariusze zostały przeprowadzone bardzo skrupulatnie a załączone liczne wyniki przeprowadzonych eksperymentów w postaci tabel i różnych wykresów dobrze ilustrują charakterystyki zaproponowanego komputerowego systemu do diagnostyki jaskry z zastosowaniem metod uczenia maszynowego z wykorzystaniem danych pomiarowych i klinicznych.

Na podstawie skrótowego omówienia treści rozprawy stwierdzam, że mgr. inż. Hubert Świerczyński w dobrym stopniu wykazał się umiejętnościami formułowania problemów naukowych na podstawie analizy stanu wiedzy z wykorzystaniem dostępnej literatury światowej. Sformułowany problem informatyczno-medyczny zwiększenia efektywności diagnostyki choroby jaskry rozwiązał z zastosowaniem nowoczesnych metod badawczych informatyki technicznej a mianowicie budując system diagnostyczny oparty na uczeniu maszynowym z przetwarzaniem danych sensorycznych oraz klinicznych. Wykonane obszerne badania eksperymentalne z wykorzystaniem dostępnych medycznych zbiorów danych potwierdzają przydatność i efektywność zaproponowanego systemu diagnostyki jaskry oraz pewien potencjał wdrożeniowy. Rozprawa posiada charakter praktyczno-teoretyczny a do opisu systemu i analizy jego charakterystyk zastosowano właściwy formalizm matematyczny (rachunek statystyczny) dla dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Ponadto wykazał się dobrą wiedzą między innymi z takich metod badawczych jak analiza systemów informatycznych, uczenie maszynowe, statystyka, modelowanie procesów czy eksperymentalne badanie systemów informatycznych.

3. Osiągnięcia oryginalne, wkład autora

Potwierdzając sformułowaną tezę rozprawy oraz realizując cele badawcze mgr inż. Hubert Świerczyński uzyskał kilka ciekawych i oryginalnych wyników naukowych potwierdzonych przede wszystkim na drodze eksperymentalnych badań komputerowych z wykorzystaniem dostępnej bazy danych medycznych z Kliniki Okulistycznej w Poznaniu.

Do ważnych osiągnięć naukowych mgr. inż. Huberta Świerczyńskiego oraz Jego wkład do dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja* między innymi zaliczam następujące:

- a) Opracowanie wydajnych modeli predykcyjnych uczenia maszynowego wspomagających

proces diagnostyki choroby jaskry oka z wykorzystaniem danych z sensorów Triggerfish CLS oraz czujników monitorujących w sposób ciągły parametry układu sercowo-naczyniowego. Takie rozwiązanie posiada bardzo istotne dwie zalety:

- modele zasilane dodatkowo przez pomiary właściwości biomechanicznych rogówki posiadają lepsze wskaźniki jakości,
- uwzględnianie właściwości funkcjonalnych oka umożliwia dokładniejszą ocenę stanu we wcześniejszym stadium choroby.

b) Implementacja przetwarzania surowych danych, która kwalifikuje związek pochodzących z sensora Triggerfish CLS i czujnika danych kardiologicznych w stosownych odstępach czasu zdefiniowanych zgodnie z fizjologicznymi właściwościami cyklu dobowego. Takie rozwiązanie może być stosowane do charakteryzowania podgrup pacjentów jak również przyczynić się do zrozumienia patogenezy i postępu choroby.

c) Opracowanie koncepcji oraz wstępnej implementacji komputerowego systemu do wspomagania diagnostyki jaskry bazującego na opracowanych modelach uczenia maszynowego z wykorzystaniem danych sensorycznych oraz wybranych pomiarów klinicznych właściwości oka. Oprogramowanie systemu wykonano z wykorzystaniem języków programowania *R*, *Python* oraz *Java*.

d) Przeprowadzenie obszernych badań symulacyjnych i eksperymentalnych z wykorzystaniem dostępnej bazy danych medycznych z Kliniki Okulistycznej w Poznaniu. Załączone liczne wyniki badań w formie wykresów i tabel dobrze ilustrują podstawowe właściwości zaproponowanego systemu, który posiada duży potencjał wdrożeniowy.

Przedstawione w rozprawie oryginalne wyniki naukowe oraz wkład mgr. inż. Huberta Świerczyńskiego do dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja potwierdzone badaniami teoretycznymi i eksperymentalnymi w znacznym stopniu zostały już opublikowane w kilku zespołowych pracach naukowych, a mianowicie w czasopiśmie specjalistycznym *Biomedical Signal Processing and Control*, (2023, IF: 4.9), w materiałach 10th *World Glaucoma Congress* (Rzym, 2023) oraz został przyznany patent zespołowy No. 7278323, Japonia, Certificate of patent registration date: May 11 2023.

Uwzględniając wymienione oryginalne wyniki badań naukowych, istotny wkład do dyscypliny oraz ich częściowe opublikowanie w prestiżowym czasopiśmie specjalistycznym z listy *JCR* oraz w materiałach światowego kongresu *Glaucoma Congress* uważam, że mgr inż. Hubert Świerczyński

zrealizował cele badawcze w stopniu dobrym. Dodatkowym potwierdzeniem praktycznego charakteru rozprawy jest przyznany patent.

4. Uwagi i komentarze

Ogólnie całą rozprawę oceniam dobrze pod względem merytorycznym oraz redakcyjnym. Pewne uwagi zamieszczone niżej mają charakter dyskusyjny, jak również edytorski.

- a) Proponowane predyktoryjne modele uczenia maszynowego budowane są i testowane w środowisku H2O. Czy rozpatrywano inne środowiska i jakie były motywacje za wyborem H2O? Ponadto rozpatrywano różne modele do analizy różnych danych wejściowych w tym dla rozszerzonego zestawu danych wejściowych z 138 przypadkami. Rozpatrywana liczba przypadków nie jest zbyt duża i czy analizowano problem poprawy jakości modelowania dla dodatkowo sztucznie wygenerowanych danych? Taka analiza w pewnym sensie mogłaby być pomocna przy ocenie zestawu z 138 przypadkami. Czy warto ponosić dodatkowe działania z pozyskaniem zwiększonego zestawu przypadków aby poprawić charakterystyki procesu uczenia?
- b) W rozdziale 7 na rys. 7.1 przedstawiono strukturę proponowanego komputerowego systemu wspomagania diagnostyki choroby jaskry. Jest to autorskie rozwiązanie wykonane z zastosowaniem języków programowania *R*, *Python* i *Java*. Czy rozważany był problem wykonania takiej struktury systemu ale z wykorzystaniem dostępnych na rynku otwartych środowisk szkieletowych do budowy systemów eksperckich?
- c) Uwaga redakcyjna. Ogólnie rozprawa jest dobrze opracowana pod względem redakcyjnym ale w przypadku rozpraw doktorskich zalecane jest wprowadzanie podsumowań, w których autor wprowadza nowe treści i wyniki. O ile takie podsumowania są dołączone w rozdziałach 6 i 7 to odczuwalny jest brak takiego podsumowania w rozdziale 8.

5. Poprawność

Stwierdzenia zawarte w rozprawie są poprawne zarówno te dotyczące ogólnej wiedzy doktoranta w zakresie podejmowanej tematyki jak i te dotyczące proponowanych nowych oryginalnych rozwiązań. Szczególnie należy zwrócić uwagę na poprawność zaplanowanych obszernych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem realnych danych medycznych a przede wszystkim na niezwykle głęboką analizę otrzymanych wyników dotyczących charakterystyk zaproponowanego komputerowego systemu diagnostyki jaskry.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami)¹ moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

☒

Zdecydowanie
TAK

☐

Raczej TAK

☐

Trudno
powiedzieć

☐

Raczej NIE

☐

Zdecydowanie
NIE

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja?

☒

Zdecydowanie
TAK

☐

Raczej TAK

☐

Trudno
powiedzieć

☐

Raczej NIE

☐

Zdecydowanie
NIE

C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

☒

Zdecydowanie
TAK

☐

Raczej TAK

☐

Trudno
powiedzieć

☐

Raczej NIE

☐

Zdecydowanie
NIE

Wnoszę o przyjęcie rozprawy przez Radę Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Poznańskiej

