

Gliwice, 09.01.2025

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Machine Learning Methods for Parkinson's Disease Datasets

Autor rozprawy: mgr inż. Artur Chudzik

Promotor rozprawy: dr hab. Andrzej Przybyszewski, prof. PJATK

Informacje ogólne

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska w postaci zbioru opublikowanych artykułów. Przedstawione do recenzji opracowanie o objętości 203 stron obejmuje: streszczenia w języku angielskim i polskim, część opisową w języku angielskim, pełniącą rolę przewodnika po rozprawie, wraz z bibliografią, słownik pojęć i skrótów oraz streszczenia i pełne teksty wszystkich ośmiu artykułów stanowiących rozprawę, a także trzy krótkie opublikowane opracowania mające formę streszczenia lub komentarza.

Przewodnik po rozprawie składa się z sześciu rozdziałów. W pierwszym rozdziale ("Introduction") Doktorant uzasadnia wybór tematyki rozprawy, formułuje tezę rozprawy i omawia strukturę części opisowej. Rozdział drugi ("Parkinson's Disease Datasets") zawiera opis choroby Parkinsona i jej objawów, a także metod leczenia i skal określających postęp choroby. Ponadto Autor wskazuje na różnorodność danych, jakie powinny być gromadzone i analizowane w badaniach nad wczesnym diagnozowaniem choroby Parkinsona i monitorowaniem jej postępów. Rozdział trzeci ("Models for Classification of Parkinson's Disease") poświęcony jest metodom przetwarzania tych danych. W rozdziale czwartym ("Contributions") Autor omówił opracowane biomarkery cyfrowe i techniki uczenia maszynowego zastosowane w badaniach oraz przedstawił wyniki eksperymentów i analiz. Rozdziały piąty ("Discussion") i szósty ("Conclusions") zawierają komentarz podsumowujący oraz wnioski końcowe.

Politechnika Śląska

Automatyki, Elektroniki i Informatyki

Grafiki, Wizji Komputerowej i Systemów Cyfrowych (Rau6)

ul. Akademicka 16, pok. 828, 44-100 Gliwice

Henryk.Josinski@polsl.pl

Sekretariat

ul. Akademicka 16, pok.310, 44-100 Gliwice

+48 32 237 26 69 KGWISC@polsl.pl



Spośród ośmiu artykułów tworzących rozprawę cztery zostały opublikowane w punktowanych czasopismach naukowych, a pozostałe cztery stanowią punktowane publikacje konferencyjne. Dodatkowo dwa streszczenia i komentarz zostały opublikowane w czasopismach poświęconych chorobom neurodegeneracyjnym oraz w materiałach konferencyjnych. Wszystkie prace są wieloautorskie, przy czym Doktorant określił zarówno opisowo, jak i procentowo wkład, jaki wniósł do powstania każdego artykułu.

Problem badawczy i jego znaczenie

Choroba Parkinsona (PD) to przewlekła i postępująca choroba układu nerwowego, objawiająca się przede wszystkim zaburzeniami sprawności ruchowej, do których zalicza się: narastającą niesprawność kończyny, problemy z wykonywaniem precyzyjnych ruchów, spowolnienie oraz sztywność mięśni rąk i nóg. Tym objawom towarzyszy często drżenie spoczynkowe (dr n. med. Magdalena Boczarska-Jedynak, „Głęboka stymulacja mózgu w chorobie Parkinsona”, Medycyna Praktyczna, Kraków, 2016).

Opiniowana rozprawa dotyczy problematyki odkrywania wiedzy na potrzeby diagnozowania objawów i stopnia zaawansowania choroby Parkinsona. We wczesnym wykrywaniu, monitorowaniu i prognozowaniu postępów choroby pomocne okazują się biomarkery – mierzalne wskaźniki obecności lub stopnia zaawansowania określonego stanu chorobowego. Istotną częścią pracy jest wprowadzenie nowych biomarkerów cyfrowych i wykazanie ich skuteczności w ocenie stopnia zaawansowania choroby Parkinsona. Dane, którymi posłużył się Doktorant, zgromadzono stosując technikę obrazowania tensora dyfuzji (ang. *Diffusion Tensor Imaging* – DTI), urządzenia śledzące ruch gałek ocznych oraz realizując testy kognitywno-behawioralne na zbudowanych w tym celu przez Doktoranta platformach cyfrowych. Dla tych danych Doktorant tworzy i bada modele oparte na technikach uczenia maszynowego i eksploracji danych oraz teorii zbiorów przybliżonych, realizując w ten sposób cel, jakim było wykazanie skuteczności badanych metod w wykrywaniu objawów i ocenie stopnia zaawansowania choroby Parkinsona. Tematyka rozważana przez Doktoranta jest bardzo ważna i jej podjęcie w ramach rozprawy uważam za w pełni uzasadnione.

Zawartość rozprawy

Publikacje wchodzące w skład rozprawy dotyczą badań o charakterze interdyscyplinarnym. Tematyka poszczególnych prac jest następująca:

[A1] “DTI Helps to Predict Parkinson’s Patient’s Symptoms Using Data Mining Techniques” to artykuł, który dotyczy predykcji wyniku punktacji wg skali UPDRS (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale) dla określonych symptomów choroby Parkinsona na podstawie reguł zbiorów przybliżonych, wygenerowanych przy wybranych parametrach techniki obrazowania tensora dyfuzji

dla pacjentów po zabiegu wszyczenia elektrod stymulujących do jądra niskowzgórzowego (ang. *subthalamic nucleus* – STN). Zabieg ów nosi nazwę „głęboka stymulacja mózgu” (ang. *deep brain stimulation* – DBS).

[A2] “Machine Learning and Eye Movements Give Insights into Neurodegenerative Disease Mechanisms” to obszerny artykuł o charakterze przeglądowym, w którym zebrano i przeanalizowano dokonania związane z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego do wspomaganie oceny postępu chorób neurodegeneracyjnych (choroby Alzheimera i choroby Parkinsona) na podstawie ruchu gałek ocznych.

[A3] “Comparison of Different Data Mining Methods to Determine Disease Progression in Dissimilar Groups of Parkinson’s Patients” jest pracą na temat wykorzystania w celach porównawczych metod uczenia maszynowego oraz teorii zbiorów przybliżonych do predykcji wyników punktacji wg skali UPDRS na podstawie parametrów sakadycznych ruchów gałek ocznych i testów neuropsychologicznych (kwestionariusz PDQ 39 oraz skala senności Epwortha).

[A4] “Eye-Tracking and Machine Learning Significance in Parkinson’s Disease Symptoms Prediction” to publikacja, która dotyczy kontynuacji badań opisanych w pracy [A3], tym razem wyłącznie związanych z użyciem metod uczenia maszynowego, ale za to w zestawie powiększonym o kilka algorytmów.

Praca [A5] “Machine Learning and Digital Biomarkers Can Detect Early Stages of Neurodegenerative Diseases” stanowi kolejny obszerny artykuł przeglądowy (bibliografia obejmuje 127 pozycji), w którym Autorzy analizują badania ukierunkowane na wypracowanie metod jak najwcześniejszego diagnozowania chorób neurodegeneracyjnych, rozróżniając przy tym objawy ruchowe, kognitywne i emocjonalne.

Natomiast publikacje [A6] “Investigating the Impact of Parkinson’s Disease on Brain Computations: An Online Study of Healthy Controls and PD Patients”, [A7] “Classification of Parkinson’s Disease Using Machine Learning with MoCA Response Dynamics” oraz [A8] “Recognizing Patterns of Parkinson’s Disease using Online Trail Making Test and Response Dynamics – Preliminary Study” tworzą minicykl prac dotyczących testów neuropsychologicznych i kognitywnych, przeprowadzanych za pomocą przygotowanych przez Doktoranta platform cyfrowych, które służą do gromadzenia danych, na podstawie których możliwa jest ocena postępu choroby za pomocą metod uczenia maszynowego oraz technik opartych na teorii zbiorów przybliżonych. Doktorant zaproponował tu dwa nowe cyfrowe biomarkery behawioralne, noszące angielskie nazwy Instrumental Reaction Time (IRT) oraz Time To Submit (TTS), które opisują czas trwania określonych działań osoby rozwiązującej test wyświetlany na ekranie komputera.

Ponadto Doktorant zamieścił w rozprawie trzy dodatkowe krótkie opracowania – dwa z nich w formie streszczeń: [C1] “Amantadine treatment in Parkinson’s disease patients as a modulatory factor of SARS -Cov-2”, [C2] “Structural neuroplasticity induced by training in the form of a first-person shooter video game infection”, które odnoszą się, odpowiednio, do oceny wpływu amantadyny na stopień zakażenia wirusem SARS-Cov-2 u pacjentów z chorobą Parkinsona, oraz do wpływu gry video na neuroplastyczność mózgu, natomiast trzecie opracowanie – [C3] “How to Cure Alzheimer’s Disease” – jako komentarz krytyczny wobec doniesień o odkryciu lekarstwa na chorobę Alzheimera. Należy tu wspomnieć, że Doktorant odpowiedzialny był za przygotowanie narzędzi informatycznych do realizacji badań opisanych w streszczeniach [C1] i [C2] oraz analizę ich wyników.

Chciałbym również nadmienić, że Doktorant opublikował bardzo niedawno samodzielną pracę pt. “Machine Learning Recognizes Stages of Parkinson’s Disease Using Magnetic Resonance Imaging” (Sensors), która ujrzała światło dzienne zbyt późno, aby wejść w skład opiniowanej rozprawy, ale jest ściśle związana z jej tematyką, bowiem dotyczy wykorzystania metod uczenia maszynowego do detekcji wczesnego stadium choroby Parkinsona na podstawie rezonansu magnetycznego.

Ponadto warto wspomnieć, że Doktorant jest członkiem interdyscyplinarnej grupy badawczej Digital Biomarkers in Neurodegenerative Disease Group (*nd.pja.edu.pl*).

Ocena wkładu Doktoranta

Wkład Doktoranta w część eksperymentalną obejmuje:

- wprowadzenie nowych cyfrowych biomarkerów behawioralnych (wspomnianych wcześniej IRT oraz TTS), których zastosowanie istotnie podniosło jakość wyników klasyfikacji,
- projekt i implementację cyfrowych platform oceny kognitywnej pacjenta, zintegrowanych z modelami uczenia maszynowego,
- analizę i interpretację wyników generowanych zarówno przez modele uczenia maszynowego, jak i metody oparte na teorii zbiorów przybliżonych.

Wartość opracowanych metod badawczych została potwierdzona publikacjami wchodzącymi w skład rozprawy. Ponadto uważam, że rozwiązania zaproponowane i opisane przez Doktoranta mają duży potencjał praktycznego wdrażania.

Uwagi krytyczne

W rozprawie czterokrotnie zamieszczono definicję pojęcia „biomarker cyfrowy” – w części opisowej na stronie 34 i w artykule [A5] biomarkery cyfrowe opisano jako “tools designed for remote neurocognitive data collection and AI analysis”, natomiast w pracy [A6] pojawia się sformułowanie “measurable and quantifiable medical signs collected through digital devices or platforms”, a z kolei

w słowniku pojęć – “Data collected from interactions with technology to understand human behavior or cognitive function.” Ze względu na rozbieżność między pierwszą z wymienionych definicji a kolejnymi proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do tej kwestii.

Nieliczne usterki językowe znalazłem w następujących zdaniach ze stron 22 i 23 przewodnika po rozprawie:

“Moreover, Linari et al. (2022) presented an identical saccade duration, saccade amplitude, and fixation duration suggest a similar visual mechanism between parts A and B ... ”,

“Interestingly, more complex tests, including digital version of Montreal Cognitive Assessment (cMoCA) require longer processing time in their pen-and-paper counterparts ... ”,

a także na stronie 34:

“This is an outcome of the review [A5] that explored digital biomarkers (tools designed for remote neurocognitive data collection and ML analysis) as a potential solution for early diagnosis of NDs.”

oraz w streszczeniu na stronie 3: „każda z metod dostarczyła wglądów ...”.

Chcę podkreślić, że tego rodzaju niedociągnięcia nie umniejszają w żaden sposób naukowej wartości rozprawy.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa ma przede wszystkim charakter eksperymentalny, ale wśród artykułów, które ją tworzą, są również dwa obszernie, starannie przygotowane artykuły przeglądowe. Pozytywnie oceniam wszystkie przedstawione w rozprawie prace i wkład Doktoranta, który udowodnił, że posiada zarówno gruntowną wiedzę, jak i zaawansowany warsztat badawczy. Uważam, że rozprawa spełnia wymagania ustawowe i zwyczajowe stawiane pracom doktorskim, zatem wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych o dopuszczenie jej Autora – pana mgr inż. Artura Chudzika – do publicznej obrony.