



Katedra Inżynierii Biomedycznej

dr hab. inż. Mariusz Kaczmarek, prof. uczelni
Katedra Inżynierii Biomedycznej
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Gdańsk, 20.08.2020

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Minty-Bieleckiej
„Dwugrupowanie jako metoda klasyfikacji wzorców chodu u osób z hemiplegią”**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani magister inżynier Katarzyny Minty-Bieleckiej, zatytułowana „Dwugrupowanie jako metoda klasyfikacji wzorców chodu u osób z hemiplegią”. Recenzowana rozprawa została przygotowana w Politechnice Białostockiej, pod kierownictwem dr hab. inż. Jolanty Pauk, prof. uczelni i przedłożona Radzie dyscypliny Inżynieria biomedyczna Wydziału Inżynierii Biomedycznej, Politechniki Śląskiej. Recenzję sporządzono na podstawie pisma sygnowanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Wydziału Inżynierii Biomedycznej, Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Paszendę, w którym informuje o podjętej przez Radę Dyscypliny uchwale powołującej mnie na recenzenta niniejszej rozprawy doktorskiej.

1. Jaki problem naukowy (teza) został rozwiązany i przedstawiony w rozprawie?

W ostatnich latach zauważa się dążenie do personalizowania zarówno procesu diagnostyki, leczenia jak i późniejszej rehabilitacji pacjentów. Takie postępowanie ma przyczynić się do wyeliminowania przyczyny problemu, a nie tylko do zalecenia symptomów. W takim kontekście pacjent traktowany jest jako podmiot podjętych działań, a nie materiał poddawany rutynowym procedurom. Z drugiej strony dąży się do stosowania metod obiektywnych, niezależnych od jednostkowej wiedzy eksperta (lekarza, diagnosty, rehabilitanta). Opracowywane obiektywne metody bazują na wiedzy eksperckiej, wykorzystując algorytmy sztucznej inteligencji mogą brać pod uwagę większą liczbę parametrów, co może w ogólności dawać precyzyjniejszą diagnozę i klasyfikację stanu pacjenta. Recenzowana rozprawa wpisuje się w wymienione trendy.

Biuro Rady Dyscypliny
Inżynieria Biomedyczna

wpłynęło dnia 27.08.2020

nr 32 zał.

Doktorantka opracowała metodę klasyfikacji zarejestrowanych sposobów chodu u osób z hemiplegią do określonego wzorca chodu poprzez analizę szeregu parametrów chodu, takich jak: wartości kątów w poszczególnych stawach dla nogi porażonej oraz zdrowej, szybkości przemieszczania, czasu trwania kroku, długości cyklu chodu, długości kroku.

Analiza dysfunkcji chodu jak zauważa Doktorantka jest niezwykle złożonym problemem. Obejmuje pacjentów w różnym wieku, z odmiennymi przyczynami występowania dysfunkcji, różnymi metodami rehabilitacyjnymi i w końcu różnicami osobniczymi. Opracowanie obiektywnej metody analizy dysfunkcji chodu, jej klasyfikacji do ustalonych wzorców jest wyzwaniem ambitnym i istotnym społecznie.

Zaproponowany w pracy model klasyfikacji wzorców, zweryfikowany w próbach klinicznych z pacjentami z hemiplegią oraz ze zdrowymi ochotnikami, może przyczynić się do poprawy diagnostyki i leczenia chorych z objawami dysfunkcji chodu.

2. Struktura rozprawy doktorskiej

Praca składa się z 151 stron, w tym 7 rozdziałów, Wniosków końcowych, Bibliografii, Streszczenia i Spisu rysunków i Tabel. Układ rozdziałów jest poprawny, logiczny. Rozprawa napisana jest starannie, zawiera odwołania do tabel, rysunków i pozycji bibliograficznych, wyszczególnionych w kolejności alfabetycznej.

Rozdział pierwszy zawiera sparametryzowany opis chodu osób zdrowych, w rozprawie przyjęty jako wzorzec referencyjny, uzyskany dla grupy kontrolnej osób zdrowych (n=50). Zdefiniowano w nim parametry brane pod uwagę w ocenie jakości chodu. Definicje te ilustrowane są przejrzystymi grafikami opracowanymi przez Doktorantkę.

Rozdział drugi opisuje chód osób z niedowładem połowicznym po udarze mózgu, klasyfikacja którego jest celem rozprawy. Odwołując się do definicji z Rozdziału pierwszego Doktorantka opisuje cechy charakterystyczne chodu osób z niedowładem połowicznym.

Rozdział trzeci poświęcony jest analizie stanu wiedzy dotyczącym metod klasyfikacji: grupowania i dwugrupowania danych, będący podstawą do wyboru i implementacji algorytmów dwugrupowania. W rozdziale czwartym Doktorantka sformułowała cele pracy (6) i jedną tezę rozprawy: „Metody dwugrupowania danych stanowią uniwersalne i efektywne narzędzie teoretyczne w problemach klasyfikacji zaburzonych wzorców w poszczególnych fazach cyklu chodu u osób z hemiplegią, na podstawie wybranych parametrów.”

Analizując całość rozprawy doktorskiej, myślę, że Doktorantka mogłaby sformułować ambitniejszą tezę.

Rozdział 5 dotyczy stosowanych narzędzi oraz zebranego materiału badawczego, w tym opisano charakterystykę grupy badawczej i zastosowaną metodykę badań. Badania na pacjentach były

wykonywane za zgodą Komisji bioetycznej nr B-220504. Niestety, Doktorantka nie podała w jakim ośrodku były prowadzone te badania.

Rozdział 6 dotyczy identyfikacji zaburzonych wzorców chodu u pacjentów z hemiplegią metodami grupowania i wraz z rozdziałem siódmym dotyczącym zastosowania metod dwugrupowania w identyfikacji wzorców chodu zaburzonego stanowią najistotniejszą część rozprawy doktorskiej.

Całościowe osiągnięcia prowadzonych badań Doktorantka podsumowała w rozdziale Wnioski końcowe.

Wrażenie ogólne po przeczytaniu rozprawy jest bardzo dobre. Rozprawa została przygotowana starannie, z użyciem poprawnej polszczyzny, a opracowane rysunki w rozdziałach pierwszym i drugim zasługują na wyróżnienie. Po zakończeniu czytania pozostaje jednak pewien niedosyt, bowiem Doktorantka nie pokusiła się o zarysowanie chociażby dalszych prac i możliwych zastosowań rozważanych metod w identyfikacji chodu u osób z porażeniem i/lub w innych dziedzinach medycyny. Taki rozdział przyszłościowy byłby niewątpliwie inspiracją dla kolejnych doktorantów, a może planem dalszej kariery naukowej Doktorantki.

3. W jaki sposób Doktorantka rozwiązała problem, jakich użyła metod i jakich to wymagało umiejętności?

Aby osiągnąć postawione cele pracy konieczne było zrealizowanie celów cząstkowych:

- implementacja i zaprezentowanie wyników dla dotychczasowych metod klasyfikacji parametrów chodu człowieka, w tym badanie istotności statystycznej wyników eksperymentów medycznych dla oceny zmian mierzonych parametrów,
- analiza dostępnych metod dwugrupowania i optymalizacja tych metod dla potrzeb klasyfikacji wzorców chodu u osób z hemiplegią, wraz z zaprezentowaniem uzyskanych wyników,
- opracowanie własnej metody dwugrupowania (algorytm KMB) wraz z testem jej przydatności dla zgromadzonych uprzednio danych,
- zaprezentowanie i omówienie uzyskanych podziałów wzorców chodu ze względu na wybrany parametr.

Realizacja celów cząstkowych wymagała od Doktorantki zdobycia szczegółowej wiedzy o parametrach chodu osoby zdrowej oraz osoby dotkniętej hemiplegią, metodach kompensacji przez pacjentów ubytków chodu, na podstawie studiów literatury z zakresu medycyny i rehabilitacji. Jako inżynier musiała uzupełnić wiedzę o metodach analiz statystycznych, w szczególności metod grupowania.

4. Na czym polega oryginalny dorobek autora i jakie jest jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?

Doktorantka w rozprawie zaproponowała wykorzystanie metod dwugrupowania do analizy i klasyfikacji wzorców chodu u osób z hemiplegią. Dodatkowo opracowała własny algorytm przyspieszonego i obiektywnego grupowania, odpornego na jakość/dobór wektora startowego. Szczególnie na wyróżnienie zasługuje staranność w doborze grupy pacjentów i grupy kontrolnej osób zdrowych, co jest wynikiem owocnej współpracy ze specjalistami medykami.

5. Jaka jest szansa dalszego wykorzystania wyników rozprawy?

Badania nad ustaleniem wzorców zmian chodu u osób z hemiplegią i mechanizmów je niwelujących podczas rehabilitacji powinny być kontynuowane. W rozprawie nie ma oceny lekarzy specjalistów uzyskiwanej klasyfikacji wzorców. Jednakże przy poszerzonej liczbie pacjentów i z zastosowaniem oceny specjalistów osiągniętych wyników klasyfikacji wzorców chodu u osób z hemiplegią istnieją szanse na opracowanie i wdrożenie obiektywnego systemu klasyfikacji upośledzenia chodu i na tej podstawie doboru odpowiedniej metody rehabilitacji.

6. Jakiej wiedzy, umiejętności oraz kompetencji i na jakim poziomie nabyła Doktorantka w wyniku realizacji rozprawy?

W trakcie prac nad tematyką doktoratu Doktorantka musiała uzupełnić wiedzę zarówno z dziedziny inżynierii biomedycznej jak i anatomii i fizjologii człowieka. Nie jest to w pracy wykazane ale należy domniemywać, iż w trakcie realizacji eksperymentów – pomiarów w Laboratorium chodu, Doktorantka musiała opracować odpowiedni protokół pomiarowy dla pacjentów we współpracy z specjalistami lekarzami i rehabilitantami. Świadczy to o umiejętności współpracy w zespołach interdyscyplinarnych.

Do opracowania wyników stosowała zaawansowany aparat matematyczny i poznała w działaniu metody analiz statystycznych (np. Statistica v.11.3). Opracowane dane pomiarowe, implementowane algorytmy oraz uzyskane wyniki były publikowane w czasopismach z listy JCR, których materiały były recenzowane i otrzymały rekomendację do publikacji, co świadczy o dobrym poziomie oraz oryginalności prac. Zastrzeżenie może budzić fakt, że dwie publikacje współautorskie pochodzą z 2016 roku (należy domniemywać, że z początku badań nad prezentowaną problematyką), a cytowana trzecia publikacja jest w druku (Springer, 2020). Co działo się z Doktorantką przez trzy kolejne lata?

7. Czy rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki i świadczy o znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy?

Rozprawa dotyczy najnowszych badań w dziedzinie fizjologii i rehabilitacji człowieka oraz zastosowano w niej współczesne metody analizy danych. Doktorantka w rozprawie cytuje 215

pozycji bibliograficznych. Są to publikacje aktualne, z ostatnich lat, istotne dla rozważanych w rozprawie zagadnień, jak również publikacje z lat wcześniejszych, co daje możliwość prześledzenia postępów w zakresie tematycznym rozprawy. Pozwala to stwierdzić, iż Doktorantka zdobyła wiedzę z dyscypliny naukowej i zagadnień, których dotyczy niniejsza rozprawa doktorska.

8. Słabe strony pracy i uwagi krytyczne

Doktorantka w rozprawie zaimplementowała trzy algorytmy klasyfikacji wzorców chodu. Dwa znane z literatury i jeden autorski, będący pewną modyfikacją/połączeniem wcześniejszych algorytmów. W pracy brak jest szczegółów implementacyjnych, a opis algorytmów mógłby zostać zilustrowany dla jasności również w postaci diagramów. Użycie w tekście rozprawy nazw procedur lub funkcji typu: *DodawanieWierszy*, *DodawanieKolumn*, *MaskowanieBiklastrów*, itp. niewiele wnosi do zrozumienia prezentowanych zagadnień.

Brakuje w pracy porównania skuteczności zaimplementowanych algorytmów. Mamy zaprezentowane wyniki uzyskane przez trzy algorytmy ale Doktorantka nie wydaje werdyktu, który z zaprezentowanych algorytmów charakteryzuje się większą trafnością w klasyfikacji wzorców. Brakuje w pracy opinii eksperta, który na podstawie swojego doświadczenia określiłby, który z otrzymanych podziałów na wzorce uznaje za bliski jego ocenie. Bez takiej opinii mamy jedynie pewne wyodrębnione zbiory wzorców spójne pod względem określonej cechy. Czy taki podział będzie przydatny w np. określeniu metody rehabilitacji lub dalszego postępowania leczniczego z pacjentem?

W przekonaniu recenzenta zabrakło realizacji ostatniego zdefiniowanego w rozprawie celu czyli przeprowadzenia analizy porównawczej opracowanej metody KMB z istniejącymi wcześniej algorytmami dwugrupowania. Doktorantka nie zaproponowała sposobu obiektywnej oceny zaimplementowanych algorytmów i uzyskiwanych dla nich wyników podziału na klastry z wzorcami chodu. Podjęła się dyskusji nad uzyskanymi rezultatami i przewagami bądź wadami poszczególnych algorytmów. Podsumowuje to zdaniem: „Dogłębna analiza otrzymanych wyników wykazała, że kierując się przyjętym kryterium jakości biklastrów, autorski algorytm KMB uzyskał biklastry najlepsze. Najgorsze wyniki wygenerowała natomiast, w większości przypadków, metoda BB.” – strona 117 rozprawy. Przydałaby się jednak bardziej ilościowa analiza zbiorcza.

Recenzent chciałby się również dowiedzieć w jakich etapach i pracach w badaniach z pacjentami brała udział Doktorantka. W rozprawie brakuje wyraźnej deklaracji gdzie i w jakim zespole uzyskano rejestracje sposobu poruszania się pacjentów i grupy kontrolnej.

Z czysto inżynierskiego punktu widzenia brakuje w pracy opisu (mógłby być w formie dodatku) formatu danych, które były analizowane. Kilka ilustracji z prowadzonych badań z pacjentami, informacja (zdjęcie) z rozmieszczeniem znaczników na pacjentach w celu wyznaczenia

odpowiednich parametrów chodu pozwoliłoby na lepszą ilustrację zakresu prac potrzebnych do zrealizowania rozprawy doktorskiej. Czy Doktorantka jest w stanie zaprezentować przykładowe dane?

Poproszę również o plan dalszych prac związanych z omawianą tematyką. Dyskusję czy Doktorantka wyczerpała temat czy też należałoby go kontynuować? Jeśli tak to w jakich obszarach warto byłoby go rozwijać.

Wnioski końcowe

Rozprawa została sumiennie przygotowana i zredagowana. Doktorantka poprawnie sformułowała problem naukowy i zaproponowała jego rozwiązanie opracowując własny algorytm dwugrupowania, który charakteryzuje się osiągnięciem lepszych wyników niż znane z literatury algorytmy dwugrupowania (CC, BB). Zaproponowane rozwiązanie, mimo kilku krytycznych uwag, jest cenne i stanowi punkt wyjścia do dalszych prac nad doбором odpowiedniej metody rehabilitacji na podstawie przeprowadzonej oceny ubytków/dysfunkcji chodu określonego pacjenta i przypisanie ich do jednego ze zdefiniowanych wzorców chodu. Należy zatem stwierdzić, iż Doktorantka dowiodła postawionej tezy oraz zrealizowała założone cele pracy.

Podsumowując, uważam, że przedstawiona rozprawa mgr inż. Katarzyny Minty-Bieleckiej spełnia wymagania zawarte w regulujących kwestie przeprowadzania przewodów doktorskich dokumentach (Dz. U. 2018 poz. 1668, art. 186, 187 Ustawa z dnia 20 lipca 2018, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) i wnoszę o jej dalsze procedowanie, czyli dopuszczenie rozprawy doktorskiej pani magister inżynier Katarzyny Minty-Bieleckiej do publicznej obrony.

Gdańsk, 20.08.2020



dr hab. inż. Mariusz Kaczmarek,

prof. PG