Prof. dr hab. inż. Robert Koprowski
Instytut Inżynierii Biomedycznej
Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 39
41-200 Sosnowiec

Sosnowiec 10.08.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Badury

w związku z postępowaniem w sprawie nadania w/w stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna prof. dr hab. inż. Ewy Piętki RDIB.002.44.2024 z dnia 19.07.2024 r.

1. Znaczenie podjętej tematyki

Problematyka pomiaru natężenia dolegliwości bólowych jest aktualnym problemem badawczym w wielu obszarach nauki związanych z medycyną. Ból jest odczuciem indywidualnym, a jego intensywność może być różnie interpretowana przez różne osoby. Percepcja bólu jest modulowana przez czynniki psychologiczne (takie jak lęk, depresja) oraz społeczne (jak wsparcie społeczne, kultura). To, jak dana osoba reaguje na ból, może zależeć od jej wcześniejszych doświadczeń, oczekiwań, a także kontekstu kulturowego. Szczególnym wyzwaniem jest ocena bólu u osób, które mają trudności z komunikacją, takich jak niemowlęta, osoby starsze z demencją, osoby niepełnosprawne intelektualnie lub pacjenci w stanie nieprzytomności. Istnieje zatem potrzeba standaryzacji i weryfikacji narzędzi pomiaru bólu, aby zapewnić ich wiarygodność i trafność. Dodatkowo, ważne jest monitorowanie zmienności

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna
wpłynęło dnia 27.08.2024
nr 159 zał. 1

wyników w czasie oraz ich porównywalności między różnymi pacjentami i sytuacjami klinicznymi. Pomimo trudności w pomiarze natężenia bólu, jest to istotny aspekt opieki medycznej, ponieważ precyzyjna ocena bólu jest kluczowa dla jego skutecznego leczenia i poprawy jakości życia pacjentów.

2. Struktura rozprawy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Aleksandry Badury pt. "Opracowanie systemu rejestracji i analizy danych medycznych w monitorowaniu natężenia dolegliwości bólowych w procedurach fizjoterapeutycznych" obejmuje 142 stron podzielonych na 9 rozdziałów oraz bibliografię, spis rysunków, tabel, skrótów i trzeszczenie. Praca została napisana w języku polskim, pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. inż. Ewy Piętki. Struktura rozprawy jest prawidłowa.

Pierwszy rozdział dotyczy opisu neurologicznych podstaw bólu. W tym rozdziale podano także wyniki badań opartych na eksperymentach oraz badania w warunkach klinicznych. Dodatkowo podano bieżące wyzwania w rozwoju automatycznych metod rozpoznawania bólu.

Rozdział drugi dotyczy zakresu i celu rozprawy w którym podano schemat blokowy opracowanej metody.

Rozdział trzeci został poświęcony omówieniu systemu pomiarowego. Pokazano w nim platformę pomiarową, urządzenie pomiarowe oraz rozłożenie czujników pomiarowych.

W rozdziale czwartym Autorka opisała dwie bazy danych - bazy danych opracowane podczas sesji fizjoterapeutycznych, oraz bazę zebraną podczas badań eksperymentalnych. Autorka podkreśla również, że przed przeprowadzeniem właściwych sesji pomiarowych wykonano badania pilotażowe, które miały za zadanie sprawdzić działanie systemu pomiarowego i ustalić protokół procedury. Eksperymentalna baza danych została opracowana w warunkach laboratoryjnych.

Analizę danych przedstawiono w rozdziale piątym. Przedstawiono w nim opracowane metody wstępnej analizy danych: EDA, BVP, EMG, RSP. Dodatkowo przedstawiono badanie udziału poszczególnych cech w procesie decyzyjnym oraz walidację współczynników rozproszonej transformaty falkowej. Natomiast analizę danych związanych z modelem uczenia

głębokiego przedstawiono w rozdziale szóstym. Autorka w nim uzasadnia, że celem tego etapu analizy danych było opracowanie systemu, który odpowiadałby na rzeczywiste wyzwania związanie z terapią manualną. Wśród nich Autorka wymienia: ciągłą w czasie ocenę bólu, o możliwie najlepszej rozdzielczości, ocenę bólu podczas specyficznych procedur, dla których ograniczona jest komunikacja pomiędzy pacjentem, a terapeutą, ocenę bólu u pacjentów, dla których występuje bariera komunikacyjna (u dzieci, osób w podeszłym wieku, osób z zaburzonymi funkcjami poznawczymi, czy cierpiących na demencję).

Rozdział siódmy to analiza statystyczna otrzymanych wyników. Przedstawiono w nim proces przygotowania danych, liniowy model mieszany oraz przedstawiono analizę wartości cech. Podsumowując, że dla danych klinicznych, zarówno w grupie osób zdrowych, jak i chorych, największe różnice pomiędzy „pain" oraz „no pain" wykazały cechy BVP oraz, że terapia manualna powodowała większy wzrost częstotliwości sygnału BVP oraz większy spadek jego amplitudy w okresach wystąpienia bólu, niż miało to miejsce podczas stymulacji termicznej.

Dyskusję otrzymanych wyników przedstawiono w rozdziale ósmym odnosząc się do modeli klasyfikacyjnych, danych związanych z odczuciami bólowymi czy porównania badań w warunkach eksperymentalnych i badań w warunkach klinicznych.

Bibliografia zawiera 141 pozycji oraz publikacje Autorki w pozycjach [8, 9]. Przedstawiony spis tabel obejmuje 34 pozycje, natomiast spis rysunków obejmuje 42 pozycje. Streszczenie w języku polskim i angielskim przedstawiono na końcu pracy.

Podsumowując, struktura rozprawy jest prawidłowa.

3. Zakres i cel pracy

Zakres i cel pracy został przedstawiony w rozdziale 2. Zgodnie z podrozdziałem 2.1 teza prac brzmi: Wykorzystanie cech wybranych sygnałów biomedycznych pozwala na detekcję wystąpienia bólu podczas terapii manualnej. Natomiast cel pracy to: zbadanie wpływu wystąpienia dolegliwości bólowych podczas terapii manualnej na cechy rejestrowanych sygnałów biomedycznych – dobór cech dystynktywnych, zbadanie wpływu rodzaju stymulacji bólowej na zmienność sygnałów biomedycznych, zbadanie możliwości transferu wiedzy

pomiędzy wzorcami danych związanych ze stymulacją termiczną, a danymi pochodzącymi z procedur fizjoterapeutycznych.

Teza pracy ta odnosi się do wskazania, że wybierając sygnały biomedyczne, dzięki opracowanym metodom, będzie można identyfikować dolegliwości bólowe. Nie jest natomiast w tezie pracy podkreślony problem badawczy. Bowiem większość sygnałów biomedycznych, o ile będą one z pewnego zakresu, pozwala na detekcję występowania bólu. Pytanie tylko, i tu być może występuje problem badawczy, które z nich są najistotniejsze biorąc pod uwagę czułość i specyficzność przyjętej metody badawczej. W tym zakresie pomocne i uszczegóławiające stają się cele pracy, takie jak: badanie wpływu pewnych dolegliwości na otrzymywane wyniki czy wpływu rodzaju stymulacji na zmienność rejestrowanych danych.

Podsumowując tezę i cel pracy określono w sposób prawidłowy.

4. Metodyka badań

Praca doktorska dotyczy opracowanej metody analizy danych, umożliwiającą identyfikację momentów wystąpienia bólu podczas terapii manualnej, bazując na cechach wybranych sygnałów biomedycznych. W ramach rozprawy zaprezentowano szczegółowy opis platformy pomiarowej, która pozwalała na synchronizację danych zbieranych przez bezprzewodowe urządzenia umieszczone na ciele pacjenta. Następnie szczegółowo opisano proces gromadzenia danych podczas terapii powięziowej karku i szyi oraz terapii w okolicach stawu skroniowo-żuchwowego. Dodatkowo, w pracy wykorzystano eksperymentalną bazę danych związaną ze stymulacją termiczną, co z pewnością jest podejście prawidłowym. Każdy z tych zbiorów danych został w sposób pełny opisany, dostosowany do specyfiki procedur fizjoterapeutycznych.

Aby odpowiednio raportować intensywność bólu, Autorka wprowadza nową metodę wykorzystującą dynamometr ręczny. Przeprowadzono i przedstawiono także w pracy analizę dwóch metod klasyfikacyjnych w celu rozpoznania momentów odczuwania bólu. Pierwsza metoda polegała na wykorzystaniu modelu adaptive boosting (AdaBoost), dopasowanego na podstawie danych z terapii powięziowej karku i szyi, w celu wyodrębnienia charakterystycznych modalności i ich cech. Druga metoda obejmowała model głęboki z wykorzystaniem warstwy long short-term memory (LSTM), który zastosowano do danych z terapii stawu skroniowo-żuchwowego, skutecznie wykrywając momenty wystąpienia bólu.

Porównano również dokładność klasyfikacji z wykorzystaniem danych eksperymentalnych, co zaowocowało połączeniem wzorców zawartych w sygnałach ze stymulacją termiczną oraz w danych klinicznych. Najlepsze przedstawione w pracy rezultaty osiągnięto poprzez zastosowanie metody transferu wag, co pozwoliło na skuteczne rozpoznawanie odczuć bólowych podczas terapii manualnej.

W końcowym etapie pracy przeprowadzono analizę statystyczną, wykorzystując modele liniowe mieszane. Badanie wykazało, że opracowana reprezentacja danych istotnie odróżnia stany odczuwania bólu od jego braku. Dodatkowo, zaobserwowano różnice w reakcjach fizjologicznych na bodźce termiczne i mechaniczne, wynikające z eksperymentu. Co więcej, wykazano brak istotnych różnic w reakcjach na ból pomiędzy osobami zdrowymi a chorymi podczas terapii stawu skroniowo-żuchwowego.

Pomimo tego ponadprzeciętnego wkładu w inżynierię biomedyczną, od strony budowy systemu rejestracji i analizy danych medycznych w monitorowaniu natężenia dolegliwości bólowych w procedurach fizjoterapeutycznych, Autorka nie ustrzegła się od drobnych usterek merytorycznych i błędów redakcyjnych. Chciałbym, żeby Doktorantka odniosła się do tych pierwszych podczas publicznej obrony.

Usterki/pytania merytoryczne do dyskusji:

1. Jaka jest złożoność obliczeniowa opisywanych algorytmów? Czy jest ona istotna w praktyce?
2. Jak Autorka zdefiniowała „silny ból" np. w opisie na str. 26 rozprawy?
3. Jakiej rasy byli badani pacjenci? Czy proponowana metoda i stymulacja termiczna da te same wyniki dla ludzi różnych ras, żyjących w różnych strefach klimatycznych?

Błędy redakcyjne:

1. W rozprawie zauważyłem kilka drobnych błędów literowych, interpunkcyjnych: np. "x" stosowany w określaniu rozdzielczości obrazów powinien zostać zamieniony na symbol iloczynu kartezjańskiego "×"; cechy zdefiniowane na str. 79 i 80 rozprawy powinny zostać zastąpione symbolami.
2. W kilku miejscach pracy zabrakło opisu i komentarza Autorki. Przykładowo rozdział 4 kończy tabela 4.1 która być jest lub nie jest interesująca dla Czytelnika. Podobnie wykresy przedstawione na rys. 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 czy 6.2. co jest na nich interesującego? Na co konkretnie ma zwrócić uwagę Czytelnik?

3. Nie jest zrozumiała dla recenzenta wartość powierzchni kontaktu bodźca ze skórą – str. 28. Autorka podaje „27 mm", nie ma zatem pewności czy chodzi o 27 mm^2 czy może o 27×27 mm.
4. Co to jest EDA? W spisie skrótów i oznaczeń to „reakcja skórno-galwaniczna (electrodermal activity)" natomiast w rozdziale 5 to wstępne przetwarzanie sygnału EDA.

Wskazane drobne błędy merytoryczne i redakcyjne w żaden sposób nie umniejszają dużego wkładu Doktorantki w metody pomiaru analizy natężenia dolegliwości bólowych stosowanych w inżynierii biomedycznej. Stanowią jedynie wskazanie pewnych obszarów do dyskusji, które też mogą posłużyć Doktorantce jako pewne wskazówki w dalszej aktywności naukowej.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Po szczegółowej analizie całej rozprawy, stwierdzam, że Pani mgr inż. Aleksandra Badura wykazała się dużą wiedzą z zakresu rozwoju i zastosowania ilościowych technik pomiaru i analizy natężenia dolegliwości bólowych. Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra Badura pt. "Opracowanie systemu rejestracji i analizy danych medycznych w monitorowaniu natężenia dolegliwości bólowych w procedurach fizjoterapeutycznych" jest oryginalnym, interesująco przedstawionym, uzasadnionym i twórczym wkładem w dyscyplinę inżynieria biomedyczna. Niniejsza rozprawa doktorska zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz posiada bardzo duży aspekt praktyczny, stanowi zatem oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zgodnie z powyższym stwierdzam, że mgr inż. Aleksandra Badura spełnia wymogi formalne, o których mowa w ustawie art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478 ze zmianami) w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora. W związku z powyższym, wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Aleksandry Badury do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponieważ przedstawiona rozprawa wyraźnie wykracza poza typowy poziom przyjęty dla rozpraw doktorskich w dyscyplinie inżynieria biomedyczna, wnioskuję o jej wyróżnienie.

Podpisał Robert Koprowski (podpis odręczny)