

Prof. dr hab. inż. Adam Czornik

Gliwice, 7.01.2019

Instytut Automatyki

Politechnika Śląska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: **„Redukcja błędu dopasowania czasowo-przestrzennego punktu docelowego do przedoperacyjnego modelu pacjenta w małoinwazyjnych zabiegach jamy brzusznej”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Krzysztof Król**

Promotor rozprawy: **dr hab. inż. Dominik Spinczyk**

1. Cel, zakres i charakter rozprawy

Rozprawa doktorska dotyczy zastosowania modeli matematycznych do budowy algorytmu dopasowującego model anatomii przedoperacyjnej pacjenta, do pozycji pacjenta, podczas zabiegu na podstawie danych uzyskanych podczas obserwacji markerów ułożonych na skórze. Genezą postawionego problemu badawczego jest wspomaganie operacji chirurgicznych w małoinwazyjnych zabiegach jamy brzusznej. Podczas takich zabiegów, jednym z głównych problemów jest precyzyjne zlokalizowanie patologicznej tkanki. Systemy nawigacyjne oparte na obrazie wykorzystują wiedzę o anatomii pacjenta uzyskaną na podstawie obrazów diagnostycznych. Obecny stan wiedzy umożliwia precyzyjną lokalizację patologicznej zmiany chorobowej dla sztywnych struktur, dużym wyzwaniem jest jednak taka lokalizacja dla struktur miękkich. W literaturze nie ma ogólnych i zweryfikowanych metod budowy tego typu modeli.

Praca ma charakter badawczy i obejmuje podstawowe problemy związane z modelowaniem matematycznym. Zdecydowanie można stwierdzić, że problematyka, którą podjął Doktorant spełnia oczekiwania jakie można wiązać z tematem pracy doktorskiej. Jest stosunkowo mało poznana, interesująca i wpisuje się we współczesne trendy badawcze.

2. Zawartość i struktura rozprawy

Pracę, która liczy 86 stron i zawiera 56 pozycji literatury, 42 tabele oraz 31 rysunków podzielono na 5 rozdziałów.

Praca rozpoczyna się od wprowadzenia, w którym przedstawiono kolejno: motywację dla podjęcia proponowanego tematu, definicję problemu rejestracji obrazów, klasyfikację stosowanych w pracy metod rejestracji układu współrzędnych pacjenta, estymatory błędu dopasowania punktu docelowego. W tej części pracy opisano również plan badań oraz wskazano na najistotniejsze trudności, których należy oczekiwać podejmując proponowany temat. Wprowadzenie kończy sformułowanie tezy pracy i celów szczegółowych.

Rozdział drugi rozpoczyna się od opisu sposobu pozyskania danych do eksperymentów od 21 pacjentów z rozpoznaniem nowotworów wątroby. U każdego z nich wybrano siedem do dziesięciu zestawów skorelowanych markerów radiologicznych umieszczonych na ich brzuchu z rozpoznawalnymi dla system śledzenia pozycji markerami. W dalszej części opisano sposób modyfikacji algorytmu AQUIRC (ang. Assessing Quality Using Image Registration Circuits), który jest wykorzystywany w dalszej części pracy oraz opisano w jaki sposób przeprowadzono eksperymenty. Rozdział ten kończy analiza czasowo-przestrzenna danych wejściowych. Analiza ta posłużyła do oszacowania położenia zmiany patologicznej podczas cyklu oddechowego.

W rozdziale trzecim opisano tzw. algorytm rojowy i przedstawiono kilka jego możliwych odmian. Niestety nie opisano tu dokładnie w jaki sposób został on wykorzystany w pracy i jakie przyjęto w nim parametry.

Rozdział czwarty poświęcony jest prezentacji wyników uzyskanych w przeprowadzonych eksperymentach. W szczególności znajdują się tutaj zestawienia błędu rejestracji punktu docelowego w zależności od fazy oddechowej i zastosowanej transformacji. Do anlizy statystycznej uzyskanych wyników zastosowano test Manna-Whitneya-Wilcozona dla grup: minimum FRE, wdech, wydech, cały cykl oddechowy i AQUIRC, a transformacje dla których przeprowadzono eksperymenty, to: SZTYWNE-TPS, SZTYWNE-EBS, SZTYWNE-EBSPSO, AFINICZNE-TPS, AFINICZNE-EBS, AFINICZNE-EBSPSO, AFINICZNE-EBSDE, AFINICZNE-EBSPSO-AQUIRC, AFINICZNE-EBSDE-AQUIRC, SZTYWNE-EBSDE i SZTYWNE-EBSPSO-AQUIRC.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie rozważań prowadzonych w całej pracy oraz zawiera dyskusję i wnioski dotyczące analizy wyników znajdowania optymalnej fazy oddechowej, analizy wyników błędu rejestracji punktu docelowego oraz korelacji liniowej pomiędzy błędem

rejestracji punktu pasowanego i tzw. miary multiplikatywnej z błędem rejestracji punktu docelowego.

3. Ogólna ocena i uwagi dotyczące rozprawy.

Zaproponowany temat rozprawy jest aktualny i bardzo ważny, zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i aplikacyjnego. Wpisuje się bardzo dobrze w sferę działań badaczy i naukowców zajmujących się inżynierią biomedyczną oraz modelowaniem matematycznym. Praca napisana jest przejrzysto, bardzo poprawnym językiem. Praca zawiera oryginalne i istotne wyniki.

Autor postawił sobie za cele opracowanie algorytmu dopasowującego model anatomii przedoperacyjnej pacjenta, do pozycji pacjenta, podczas zabiegu na podstawie danych uzyskanych podczas obserwacji markerów ułożonych na skórze.

Bez żadnych wątpliwości należy stwierdzić, że cele te zostały osiągnięte, a sformułowana teza:

Wykorzystanie obwodów rejestracji 3-go rzędu umożliwia redukcję błędu dopasowania czasowo-przestrzennego punktu docelowego do przedoperacyjnego modelu pacjenta w małoinwazyjnych zabiegach jamy brzusznej

jest poprawna i została uzasadniona w rozprawie poprzez realizację następujących celów szczegółowych :

1. Adaptacja podejścia obwodów rejestracji do problemu minimalizacji błędu dopasowania czasowo-przestrzennego punktu docelowego do przedoperacyjnego modelu pacjenta w małoinwazyjnych zabiegach jamy brzusznej.
2. Opracowanie metody znajdowania fazy oddechowej, umożliwiającej wprowadzenie narzędzia chirurgicznego do jamy brzusznej, zapewniającej redukcję błędu dopasowania punktu docelowego do przedoperacyjnego modelu pacjenta wynikającego z ruchów oddechowych.
3. Wybór i przebadanie możliwości użycia rojowych algorytmów optymalizacji w celu doboru wartości parametrów modelu deformacji jamy brzusznej, służącego do estymacji położenia punktu docelowego.
4. Analiza porównawcza korelacji multiplikatywnej miary błędu ϵ , w obwodach rejestracji 3-go rzędu, oraz błędu dopasowania markerów (FRE) z błędem dopasowania punktu docelowego (TRE).

Poniżej przedstawiam kilka pytań, uwag krytycznych oraz wskazuję na pewne błędy i uchybienia. W trakcie publicznej obrony proszę o ustosunkowanie się do trzech pierwszych uwag.

- Ciekawym byłoby przedyskutować na ile opracowane metody są uniwersalne czy też ich stosowanie jest ograniczone tylko do rozpatrywanych w pracy zabiegach jamy brzusznej.

- Z czego wynika maksymalna częstotliwość próbkowania układu śledzenia położenia równa 25 Hz?
- W jaki sposób wykorzystano algorytm rojowy i dlaczego właśnie ten algorytm wybrano?
- Nazewnictwo „odwzorowanie afiniczne” użyte na stronie 12 jest niewłaściwe. Przekształcenie, o którym jest tam mowa jest przekształceniem liniowym.
- Na stronie 12 nie podano uzasadnienia dlaczego wzory na wartość oczekiwaną kwadratów FRE i TRE mają podana postać.
- Na stronie 22 podano układ równań, którego rozwiązaniem są wektory błędów. Moim zdaniem należałoby przedyskutować uwarunkowanie tego układu.
- Na stronie 56 autor pisze „Najmniejszą medianę błędu TRE w obwodach rejestracji zaobserwowano dla markerów położonych w środku układu współrzędnych i jest to zgodne z teorią estymatora Fitzpatricka”. Ta teza wymaga szerszego wyjaśnienia.
- Na stronie 62 użyto niezrozumiałego sformułowania „prawdopodobieństwo szacowania błędu”.
- W kilku miejscach (np. str. 10, 56, 57) autor używa sformułowania optymalny nie precyzując jakie jest kryterium optymalności.
- Jakie były powody wybrania testu Manna-Whitneya-Wilcoxon. Test ten ma w literaturze wiele odmian i powinien być dokładniej opisany.

4. Podsumowanie i wnioski

Doktorant osiągnął zamierzony cel, wykazał się umiejętnością kreowania nowych pomysłów i samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych. Rozprawa dowodzi, że Autor opanowała warsztat naukowy, zna krajową i zagraniczną literaturę związaną z tematyką pracy. Praca nie wymaga uzupełnień ani poprawek.

Doktorant jest autorem lub współautorem sześciu artykułów w czasopismach o zasięgu międzynarodowym i trzech doniesień konferencyjnych.

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w obowiązującej „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

