

Kraków, 28 listopada 2016 r.

Marek Skomorowski (prof. dr hab. inż.)
Instytut Informatyki i Matematyki Komputerowej
Uniwersytetu Jagiellońskiego

Recenzja rozprawy doktorskiej

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska
Pani mgr **Justyny Włodarczyk** zatytułowana

Automatyczna segmentacja kości nadgarstka na obrazach 0,2-teslowego rezonansu magnetycznego

Przewód doktorski jest prowadzony na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Niniejsza recenzja została napisana na zlecenie Dziekana Wydziału, Pana dra hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH (pismo z dnia 30.10.2016 r.)

1. Zawartość rozprawy

1.1. Omówienie ogólne i teza rozprawy

Recenzowana rozprawa zawiera 139 stron, 9 rozdziałów, dodatek i wykaz literatury.

W rozdziale pierwszym Autorka uzasadniła podjęcie tematyki będącej przedmiotem rozprawy i podała jej cel. Sformułowała również następujące tezy rozprawy (strony 10 i 11):

1. *Wykonanie segmentacji kości budujących stawy nadgarstka na obrazach pochodzących z niskopoleowego rezonansu magnetycznego jest możliwe przy wykorzystaniu algorytmu działów wodnych z markerów.*
2. *Markery wykorzystane do segmentacji kości budujących stawy nadgarstka mogą być znalezione bez interakcji użytkownika przy użyciu:*
 - a) *metod atlasowych,*
 - b) *metod wykorzystujących wiedzę ekspercką o anatomii ręki.*

W rozdziale tym został opisany również stan wiedzy dotyczący problematyki będącej przedmiotem rozprawy. Przedstawiony został także wkład naukowy recenzowanej rozprawy, na który składają się (zdaniem Autorki) 2 algorytmy do automatycznej segmentacji kości nadgarstka zobrazowanych za pomocą rezonansu magnetycznego. Podana została także zawartość rozprawy.

W rozdziale drugim została opisana prawidłowa anatomia kończyny górnej. Opis ten przedstawia kości kończyny górnej, stawy ręki i budowę stawu. Rozdział trzeci zawiera

podstawowe informacje na temat reumatoidalnego zapalenia stawów: występowanie, przyczyny, objawy, diagnostykę. W rozdziale czwartym zostały opisane następujące techniki obrazowania medycznego: radiografia, tomografia komputerowa, scyntygrafia, ultrasonografia, rezonans magnetyczny. W rozdziale piątym została przedstawiona standaryzacja objawów reumatoidalnego zapalenia stawów według systemu RAMRIS (*Rheumatoid Arthritis MRI Scoring System*). W rozdziale szóstym zostały przedstawione wybrane, następujące zagadnienia dotyczące przetwarzania obrazów: obróbka wstępna, rekonstrukcja, wygładzanie i segmentacja.

Rozdziały od drugiego do szóstego, opracowane na podstawie literatury, nie stanowią oryginalnej pracy Autorki, są jednak niezbędnym wprowadzeniem do dalszej części rozprawy.

Rozdział siódmy (jedna strona) zawiera informacje na temat danych pacjentów (materiał badawczy) z Zakładu Diagnostyki Obrazowej Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie.

W rozdziale ósmym, będącym oryginalną pracą Autorki i stanowiącym najistotniejszy fragment rozprawy, są przedstawione 2 algorytmy do automatycznej segmentacji kości nadgarstka, przedstawionych na obrazach otrzymanych za pomocą 0,2 T rezonansu magnetycznego. W obu algorytmach podstawową część stanowi segmentacja wododziałowa ze znacznikami (markerami). W pierwszym algorytmie znaczniki są uzyskiwane za pomocą rejestracji obrazu wejściowego do obrazu atlasowego. Na kolejne etapy pierwszego algorytmu składają się: segmentacja maski, segmentacja dalszych części kości łokciowej i promieniowej, segmentacja podstaw kości śródręcza, segmentacja kości nadgarstka. W podrozdziałach od 8.2 do 8.5 zostały podane szczegóły dotyczące zastosowanych procedur i ich implementacji dla pierwszego algorytmu. W podrozdziale 8.6 Autorka oceniła pierwszy algorytm pod względem jakości segmentacji, czasochłonności i ograniczeń.

W drugim algorytmie, przedstawionym w podrozdziałach od 8.7 do 8.12, podobnie jak w przypadku pierwszego algorytmu, na kolejne etapy składają się: segmentacja maski, segmentacja dalszych części kości łokciowej i promieniowej, segmentacja podstaw kości śródręcza, segmentacja kości nadgarstka, ale implementacyjna jest inna. Mianowicie, znaczniki (markery) są uzyskiwane za pomocą progowania i zaproponowanych przez Autorkę metod filtracji fragmentów kości od pozostałych tkanek. Podobnie jak w przypadku pierwszego algorytmu, Autorka oceniła drugi algorytm pod względem jakości segmentacji, czasochłonności i ograniczeń w podrozdziale 8.13. Rozdział ósmy kończy komentarz na temat ewentualnych możliwości rozbudowy algorytmu o dalsze funkcjonalności.

W celu weryfikacji zaproponowanych algorytmów uzyskane za ich pomocą wyniki zostały porównane z wynikami uzyskanymi „ręcznie” uwzględniając 4 wybrane wskaźniki jakości. Wyniki tych porównań potwierdzają praktyczną przydatność zaproponowanych algorytmów do diagnostyki medycznej w zakresie problematyki będącej przedmiotem rozprawy z pewnymi ograniczeniami w przypadku średnich i dużych erozji kości.

Oryginalnym wkładem Autorki jest projekt, implementacja i weryfikacja systemu automatycznej segmentacji kości nadgarstka za pomocą przetwarzania obrazów z 0,2T rezonansu magnetycznego.

Rozdział dziewiąty (pół strony) będący podsumowaniem kończy rozprawę.

Dodatek zawiera fragmenty kodów źródłowych zaproponowanych algorytmów.

2. Omówienie wyników rozprawy

Najogólniej mówiąc, celem rozprawy było opracowanie, implementacja i weryfikacja algorytmu do automatycznej segmentacji kości nadgarstka na podstawie obrazów uzyskanych za pomocą 0,2 T rezonansu magnetycznego. Uważam, że cel rozprawy został osiągnięty.

2.1. Uwagi pozytywne

2.1.1. Uważam, że problematyka recenzowanej rozprawy ma istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne, co uzasadnia prowadzenie badań w tym zakresie.

2.1.2. W rozprawie zaproponowano oryginalny wkład naukowy w zakresie problematyki będącej przedmiotem rozprawy. Na wkład ten składają się przede wszystkim:

- Projekt, implementacja i weryfikacja systemu automatycznej segmentacji kości nadgarstka za pomocą przetwarzania obrazów z 0,2 T rezonansu magnetycznego, w którym zostały wykorzystane zaproponowane przez Autorkę oryginalne metody filtracji fragmentów kości od pozostałych tkanek.
- Pokazanie, że znaczniki (markery) wykorzystane do segmentacji kości nadgarstka mogą być znalezione bez interakcji użytkownika.

2.2. Uwagi krytyczne i pytania

Po przeczytaniu rozprawy mam następujące uwagi krytyczne i pytania. Pierwsza uwaga krytyczna dotyczy następujących uchybień natury redakcyjnej, które jednak nie wpływają na ocenę merytoryczną rozprawy:

1. Na stronie nr 88 jest odwołanie do artykułu: *J. Włodarczyk, K. Czaplicka, Z. Tabor, W. Wojciechowski, A. Urbanik, „Segmentation of Bones in Magnetic Resonance Images of the Wrist”, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2015; 10: 419-431*, który nie jest wymieniony w bibliografii rozprawy.

Podobnie, na stronie nr 105 jest odwołanie do artykułu: *J. Włodarczyk, Z. Tabor, K. Czaplicka, W. Wojciechowski, A. Urbanik, „Fast automated segmentation of wrist bones in magnetic resonance images”, Computers in Biology and Medicine, vol. 65,*

10.2015, który również nie jest wymieniony w bibliografii rozprawy. W przypadku tego artykułu brakuje numeracji stron.

2. Brak oszacowania złożoności obliczeniowej zaproponowanych algorytmów.
3. Na stronie nr 12 jest napisane: *Wynikiem badań przedstawionych w pracy są dwa algorytmy do automatycznej segmentacji 15 kości znajdujących się na obrazach RM nadgarstka: ... Druga wersja algorytmu jest blisko 5 razy szybsza niż pierwsza ...*
Sformułowanie *Druga wersja algorytmu jest blisko 5 razy szybsza niż pierwsza ...* niewiele mówi dlatego, że wcześniej w rozprawie nie ma informacji na temat szybkości działania pierwszego algorytmu.
4. Na stronie nr 12 rozprawy jest napisane: *Druga wersja algorytmu jest blisko 5 razy szybsza niż pierwsza* Natomiast na stronie 88 jest napisane: *Druga wersja algorytmu (A2) jest 8-10 razy szybsza niż pierwsza* W związku z tym chciałbym się dowiedzieć, które zdanie jest prawdziwe.
5. Podrozdział rozprawy zatytułowany *Stan wiedzy w zakresie segmentacji kości nadgarstka na obrazach rezonansu magnetycznego* zajmuje jedną stronę i zawiera 3 pozycje literaturowe z lat 2011 (materiały konferencyjne), 2008 i 2013 (materiały konferencyjne). Czy stan wiedzy w tym zakresie ogranicza się do tych trzech pozycji literaturowych?

3. Podsumowanie

Podsumowując, uważam, że recenzowana rozprawa doktorska zawiera istotny oryginalny wkład naukowy wymieniony w punkcie 2.1.2 niniejszej recenzji i spełnia warunki Ustawy o stopniach i tytule naukowym. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr Justyny Włodarczyk do dalszych faz przewodu doktorskiego.

Marek Słomkowski