

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Iryny Gorbenko
w związku z postępowaniem w sprawie nadania w/w stopnia doktora
nauk technicznych.

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma WMT 521.1.2022 Dziekana
Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Gerarda Cybulskiego
z dnia 24.01.2022 r.

1. Znaczenie podjętej tematyki

Doktorantka porusza w pracy ważną i aktualną problematykę badawczą dotyczącą automatycznej metody pomiaru tkanki miękkiej na podstawie danych obrazowych MRI głowy. Automatyczne metody pomiaru dowolnych wielkości na danych obrazowych medycznych są obecnie niezwykle ważne. Automatyka pomiarów wyręcza operatorów, lekarzy od żmudnej pracy ręcznego wskazywania punktów charakterystycznych. Przy tym metody automatyczne są powtarzalne i nigdy nie ulegają zmęczeniu. Opisywana w pracy metoda pozwala na identyfikację punktów kraniometrycznych i antropometrycznych pozwalając dalej na pomiar grubości tkanki miękkiej. Pomiaru te są przede wszystkim wykorzystywane w rekonstrukcji twarzy, np. podczas planowania zabiegów chirurgii plastycznej czy identyfikacji osób zmarłych. Są, zatem wykorzystywane w szeroko rozumianej medycynie do analizy odstępstw w grubości tkanki między wzorcem a osobą badaną. Podejmowana przez Doktorantkę problematyka ma zatem nie tylko charakter naukowy ale też użyteczny.

2. Struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pan mgr inż. Iryny Gorbenko pt. "A method for automatic soft facial tissue thickness measurement using magnetic resonance imaging data" obejmuje 136 stron podzielonych na 7 rozdziałów i jest w języku angielskim. Praca została napisana pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. inż. Krzysztofa Kałużyńskiego oraz dr inż. Krzysztofa Mikołajczyka pełniącego rolę promotora pomocniczego. Rozprawa doktorska została wydana w formie druku zwartej (nie podano nr ISBN, nakładu, wydawcy i recenzenta wydawniczego) w Warszawie w 2021 roku.

Pierwszy rozdział poświęcono wyjaśnieniu metod pomiaru tkanek miękkich oraz wskazywaniu punktów orientacyjnych, antropometrycznych istotnych dla Doktorantki w późniejszych pomiarach. Wyjaśniono też zakres zmienności anatomicznej czaszki człowieka oraz określono różnice w czaszkach w zależności od płci, czy rasy człowieka.

Drugi rozdział to cel i zakres badania, w którym przedstawiono cel i cele szczegółowe takie jak przykładowo: przegląd dostępnych rozwiązań, opracowanie algorytmu pomiaru punktów antropometrycznych czy wdrożenie opracowanego algorytmu.

Trzeci rozdział dotyczy akwizycji danych oraz ich wstępnego przetwarzania. Autorka pokazuje w formie histogramów, wiek czy wartości BMI w analizowanej grupie mężczyzn i kobiet oraz inne informacje istotne z punktu widzenia dalszej analizy.

W czwartym rozdziale przedstawiono metodykę projektowania algorytmu. W szczególności przedstawiono metodę tworzenia szablonu głównej głowy na podstawie analizy obrazów MRI, oceniono też wpływ różnych czynników na otrzymywane wyniki (filtru Gaussa, częstotliwości próbkowania czy niejednorodności w jasności) oraz przedstawiono metody korekty wyników oparte na progowaniu Otsu czy empirycznie dobieranych progach intensywności.

Piąty rozdział to analiza statystyczna wyników eksperymentalnych pomiaru grubości tkanek miękkich. W rozdziale tym przedstawiono między innymi wartości średnie i odchylenie standardowe pomiarów grubości tkanek miękkich stanowiące istotę pracy.

Szósty i siódmy rozdział to dyskusja i podsumowanie otrzymanych wyników. Autorka przedstawia w nim wartość średnią i odchylenie standardowe pomiaru grubości tkanek miękkich. Wyniki te zostały odniesione do wyników przedstawionych w literaturze.

W końcowej części pracy Doktorantka przedstawiła spis literatury zawierający 71 pozycji oraz dodatek, 24 strony, zawierający otrzymane wyniki. Spis literatury zawiera dwie prace Doktorantki, a dodatek to przede wszystkim 24 tabele z wynikami.

Podsumowując, struktura rozprawy jest prawidłowa.

3. Cel pracy

Cel pracy Doktorantka podaje w drugim rozdziale pt. „Objective and scope of the study” (str. 33) tj. celem wykonywanych eksperymentów było stworzenie kompletnych i wiarygodnych szablonów MRI, tak by zaproponować optymalny zestaw niesztynnych parametrów algorytmu rejestracji oraz przeprowadzić walidację punktów orientacyjnych głowy i pomiaru jej tkanek miękkich. Cel główny został podzielony na kilka celów szczegółowych, do których należy między innymi: przegląd dostępnych rozwiązań i wybór odpowiedniej metody pozwalającej na automatyczną identyfikację punktów antropometrycznych i kraniometrycznych; opracowanie algorytmu identyfikacji punktów antropometrycznych i kraniometrycznych oraz pomiar grubości tkanek miękkich wraz z wdrożeniem opracowanego algorytmu pomiaru. Cel pracy został sformułowany prawidłowo. W sposób logiczny są też powiązane z nim cele szczegółowe, odpowiadają one zakresowi i tematyce rozprawy oraz określają zakres przeprowadzonych badań i zostały w pełni zrealizowane w pracy.

4. Metodyka badań

Doktorantka w sposób prawidłowy dobiera poszczególne narzędzia analizy i przetwarzania obrazów do rozwiązania założonego zadania. W niniejszej pracy zostały wykorzystane dwa algorytmy tworzenia wzorców MRI, odniesione do 15 danych obrazowych głów kobiet rasy kaukaskiej w wieku od 18 do 29 lat, oparte na uśrednianiu danych. Oba algorytmy zostały stworzone w sposób prawidłowy, w oparciu o te same dane wejściowe. Dalej stworzony przez Doktorantkę wzorec został znormalizowany i dopasowywany do kolejnych analizowanych pacjentów. Do znalezienia optymalnego zestawu parametrów transformacji, do przenoszenia punktów kraniometrycznych i antropometrycznych z przestrzeni wzorca MRI do przestrzeni pacjenta, Autorka wykorzystwała znany algorytm optymalnego dopasowania Karla Fristona (dostępny w ramach pakietu oprogramowania Statistical Parametric Mapping). Następnie

w celu wyeliminowania nieprawidłowego rozmieszczenia punktów orientacyjnych zostało opracowanych pięć metod automatycznej korekty ich położenia. Należy do nich: korekta położenia punktów orientacyjnych opartych na analizie profilu intensywności; metoda oparta na wartościach pierwszych pochodnych; metoda oparta na automatycznie znalezionych progach przy pomocy metody Otsu; metoda oparta na progach wyznaczonych empirycznie i metoda hybrydowa, oraz dalej korekta opierająca się na wynikach segmentacji struktur głowy. W konsekwencji Autorka otrzymała wyniki, które są zbliżone do wyników uzyskanych np. metodą ultradźwiękową. W pracy zostały też wskazane ograniczenia proponowanej metody, jaką jest: rozdzielczość pozyskiwanych obrazów, jakość wzorca, oraz parametry algorytmu elastycznego dopasowania. Na szczególną uwagę zasługuje podjęta przez Autorkę analiza wpływu cech obrazu i pacjenta oraz doboru parametrów algorytmu, na otrzymywane wyniki (podrozdziały od 4.3.1 do 4.3.5). Podsumowując, od strony metodycznej jest to prawidłowe rozwiązanie postawionego problemu stosując nowe, jak też znane i zmodyfikowane przez Autorkę algorytmy.

W rozprawie dostrzegłem kilka drobnych usterek redakcyjnych i merytorycznych, które mają charakter polemiczny i nie wpływają na moją pozytywną ocenę niniejszej rozprawy. Jednakże chciałbym żeby Doktorantka do nich się odniosła podczas publicznej obrony pracy, jest to:

1. Brak informacji na temat złożoności obliczeniowej poszczególnych etapów pracy algorytmu. Z pewnością ciekawą informacją dla Czytelnika byłoby podanie czasu analizy danych dla poszczególnych etapów działania algorytmu.
2. Jaka jest powtarzalność pomiarów dla jednego pacjenta?
3. Na jakiej podstawie przyjęto wielkość poszczególnych masek/elementów strukturalnych podczas wykonywania operacji filtracji, zamknięcia czy erozji? Przykładowo na str. 74 pracy Autorka zaznacza, że "Morphological operators have 3D circular structuring elements of size 5 and 7 for closing and erosion, respectively". Dlaczego przyjęto rozmiar elementu strukturalnego $5 \times 5 \times 5$? Proszę też wyjaśnić dlaczego jest on symetryczny, czy dokładność akwizycji we wszystkich trzech osiach jest taka sama?
4. Czy Autorka podczas swoich badań brała pod uwagę cel pomiarów i analizy od strony użytecznej? Czy przykładowo rekonstrukcja podbródka wpływa na opisywaną metodykę pomiaru i dopasowanie?

5. W przedstawionym streszczeniu na str. 11 oraz podsumowaniu pracy Autorka wspomina, że "Kolejnym kierunkiem przyszłych prac badawczych jest sprawdzenie możliwości zastosowania opracowanej metody do danych obrazowych w różnych modalnościach lub nawet w danych pochodzących z różnych części ciała". W tym kontekście proszę o wskazanie, które z kluczowych opracowanych elementów algorytmu znajdują (lub mogą znaleźć) zastosowanie w analizie danych z innych części ciała.
6. W pracy zabrakło rozróżnienia na błędy grube, systematyczne i przypadkowe oraz/lub rozróżnienia ze względu na źródło ich powstawania np. błędy spowodowane przez algorytm, przez mierzącego czy spowodowane wpływem otoczenia zewnętrznego. Myślę, że interesującym byłoby liczbowe odniesienie się do tych błędów podczas publicznej obrony.

Dodatkowo w pracy zauważyłem kilka błędów redakcyjnych:

1. Błędy interpunkcyjne i literowe w kilku miejscach pracy, np. str. 111 w nazwiskach autorów "Pi\ketka" zamiast "Piętką", zmiennie średnik i kropka na końcu wypunktowania str. 15 i 33, brak interpunkcji na końcu niektórych wzorów - przykładowo wzór (5.1), (5.2), (4.9), (4.10). Zamiennie jest wykorzystywane pochylenie czcionki przy zapisie zmiennych, na przykład z pochyleniem str. 65, bez pochylenia str. 77, 84 i mieszanym str. 60 czy 85.
2. Jaką przydatność dla Czytelnika wnoszą tabele umieszczone w załączniku? Być może lepiej, w celu uwiarygodnienia przeprowadzonych pomiarów, byłoby umieszczenie niniejszych tabel wraz z ew. dodatkowymi wynikami na chmurze.
3. Rysunek 4.12 (str. 66) jest podstawowym rysunkiem wyjaśniającym przydatność pierwszej pochodnej w analizie obrazów. Moim zdaniem rysunek powinien być usunięty lub przeniesiony na początek rozprawy.
4. Jakie są podstawy podawania wyników przedstawionych w prawie wszystkich tabelach w pracy z tak dużą dokładnością? Zaokrąglenia wyników, zwłaszcza podanych w tabelach 4.18 i 4.19, określonych dla niepewności pomiaru, powinny być do dwóch cyfr znaczących (jednej, w zależności od przyrostu błędu).
5. W recenzowanej rozprawie są tylko dwa odwołania do publikacji Autorki [66] i [70]. W związku z tym należy rozumieć, iż Autorka nie powołuje się lub nie posiada innych prac czy wystąpień konferencyjnych, których wyniki zostały wykorzystane w pracy?

6. Podpisy rysunków i tabel powinny być mniejszą lub/i inną czcionką niż główny tekst pracy. W przeciwnym przypadku, tak jak jest obecnie, zlewają się z tekstem.
7. Kryterium optymalizacji, które jest istotne z praktycznego punktu widzenia powinno być moim zdaniem precyzyjnie zapisane wzorem. Obecnie jest to zapis w formie tekstu "Originally the optimum transformation in SPM5 was obtained by minimizing the sum of squared differences between the template and subject image [47, 48]" str. 30 i 43.

Pomimo tych drobnych uwag przedstawiona rozprawa doktorska posiada bardzo dobrze przygotowaną część metodyczną oraz klarowne i dobrze opisane schematy blokowe (rys. 4.1 4.2, 4.3, str. odpowiednio 41, 44 i 45). Na pozytywną uwagę zasługują też proporcje pracy, gdzie na część dotyczącą wprowadzenia poświęcono niecałe 15 stron, co stanowi około 11% całej pracy. Pozostała część to część dotycząca opisu zaproponowanego przez Autorkę algorytmu, jego cech oraz otrzymanych wyników. Przytoczone, zatem powyżej drobne usterki redakcyjne oraz pewne uwagi krytyczne służą przede wszystkim pomocy Autorce w dalszym rozwoju naukowym i nie mają wpływu na moja końcową wysoką ocenę pracy.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Prezentowana rozprawa doktorska mgr inż. Iryny Gorbenko pt. "A method for automatic soft facial tissue thickness measurement using magnetic resonance imaging data" jest oryginalnym i twórczym wkładem w dyscyplinę inżynieria biomedyczna. Rozprawa doktorska zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy. Zawarte i prawidłowo opisane rezultaty obejmują pomiar grubości tkanek miękkich czaszki oparty na obrazach MRI. Moim zdaniem rozprawa doktorska Pani mgr inż. Iryny Gorbenko stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a tym samym spełnia wymogi formalne, o których mowa w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (D. U. 2003, Nr 65, poz. 595 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Iryny Gorbenko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.