

Prof. dr hab. inż. Piotr Augustyniak
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki
i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30, Kraków

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana magistra **Pawła Skadłubowicza** zatytułowana: *"Komputerowe modelowanie i rekonstrukcja struktur kostnych miednicy"*. Przedstawiona rozprawa została napisana pod kierownictwem pana profesora dr hab. inż. Zygmunta Wróbla i dr Zdzisława Króla w Instytucie Informatyki Wydziału Informatyki i Nauk o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu w 2013 roku.

1. Zawartość rozprawy

Rozprawa składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów i podsumowania, a jej treść uzupełnia spis bibliograficzny zawierający 102 pozycji (w tym 4 prace współautorskie Doktoranta) spisy rysunków i tabel oraz dodatek poświęcony anatomii miednicy. W rozdziale 1 omówione zostały obszary zastosowań statystycznych modeli kształtu. Przedstawiona została także teza pracy brzmiąca: *„Metoda rekonstrukcji kości miednicy oparta na statystycznym modelu kształtu może być pomyślnie zastosowana w przypadkach, w których nie jest możliwe zastosowanie metody odbicia zwierciadlanego”* oraz opisane zostały wszystkie etapy jej realizacji. W rozdziale 2 zaprezentowano przegląd chirurgicznych metod rekonstrukcji. Omówione zostały rekonstrukcje biologiczne oraz coraz popularniejsze podejście z zastosowaniem implantów. W rozdziale 3 przedstawiono wszystkie etapy zaproponowanej metody rekonstrukcji miednicy z zastosowaniem statystycznego modelu kształtu. Zwrócono uwagę na problem przygotowania zbioru treningowego dla modelu statystycznego. Przeprowadzono ewaluację uzyskanego modelu statystycznego oraz omówiono proces rekonstrukcji struktur kostnych z zastosowaniem statystycznego modelu kształtu. W rozdziale 4 zaprezentowane zostały wyniki wirtualnie przeprowadzonych 2 rodzajów rekonstrukcji dla osteotomii okołostawowej oraz potrójnej osteotomii miednicy. Uzyskane efekty porównane zostały z powszechnie stosowaną metodą odbicia zwierciadlanego. W rozdziale 5 podsumowano przeprowadzone badania, przeprowadzona została dyskusja na temat uzyskanych wyników. Wskazano również możliwe dalsze ulepszenia zaproponowanej metody.

Celem opisywanych w rozprawie prac badawczych było opracowanie wspomaganą komputerowo metody planowania rekonstrukcji kości miednicy, która może być zastosowana w większości przypadków raka miednicy, zarówno do przypadków jednostronnych jak i infiltrujących drugą stronę miednicy. Przypadków dwustronnych Autor nie rozpatruje jednak w dalszej części rozprawy Aby metoda była przydatna z klinicznego punktu widzenia, powinna zapewniać wysokiej jakości rekonstrukcję defektów, nie gorszą niż dotychczas stosowane metody. Testowanie metody w warunkach klinicznych przekracza jednak zakres recenzowanej rozprawy, Autor ogranicza się do testowania jakości rekonstrukcji brył kości miednicy (przypadków zdrowych pozyskanych z obrazowania CT) poddanych wirtualnej osteotomii, oraz do odwołania do wieloautorskiej, przyjętej do druku (a więc niedostępnej jeszcze) publikacji, poświęconej zastosowaniu metody dla ośmiu pacjentów.

2. Znaczenie dokonań Autora dla rozwoju dyscypliny

Rozprawa doktorska autorstwa p. mgr Skadłubowicza jest poświęcona zagadnieniu, którego znaczenie w praktyce medycznej – w związku z nowymi materiałami i możliwościami konstrukcji implantów na miarę – systematycznie wzrasta. Świadczy o tym wzrost liczby operowanych przypadków, ale także coraz większa dbałość o komfort pacjenta, której dowodzi choćby porównanie rekonstrukcji z użyciem standardowych elementów z implantem przygotowanym w oparciu o parametry anatomiczne pacjenta. W tym zagadnieniu p. Skadłubowicz proponuje użycie autorskiej metody, która – choć dziś ustępuje stosowanej metodzie lustrzanej – rozszerza zakres klinicznych aplikacji rekonstrukcji na przypadki osób o asymetrycznej budowie anatomicznej. Zdaniem Recenzenta rozprawa mgr Skadłubowicza **zawiera trzy** elementy istotnie oryginalne:

1. opracowanie algorytmu umożliwiającego wypełnianie pustych struktur kostnych na etapie segmentacji,
2. opracowanie automatycznej metody umożliwiającej uzyskiwanie zbioru treningowego siatek powierzchni zbudowanych z odpowiadających sobie punktów, na podstawie wolumetrycznych binarnych masek segmentacji,
3. opracowanie metody rekonstrukcji powierzchni kości z zastosowaniem analizy składowych głównych i optymalizacji w postaci strategii ewolucyjnych.

Opracowanie metody rekonstrukcji z zastosowaniem statystycznego modelu kształtu umożliwiło osiągnięcie celów badawczych: nowa metoda może być zastosowana w przypadkach, w których nie jest możliwe zastosowanie metody odbicia zwierciadlanego a jej niedokładności nie mają wpływu na końcowy wynik rekonstrukcji chirurgicznej.

3. Uwagi metodologiczne

Autor bardzo poprawnie formułuje cel badawczy i logiczny ciąg czynności badawczych mający doprowadzić do jego osiągnięcia. W skład tych czynności wchodzi:

- Zebranie zbiorów danych miednicy zawierających rzeczywiste informacje (pochodzące z badań CT wielu pacjentów) z różnych grup wiekowych i o różnej płci.
- Opracowanie algorytmu korelowania elementów zbioru treningowego.
- Zaproponowanie modelu statystycznego kości miednicy.
- Zaproponowanie metody optymalizacji umożliwiającej znalezienie najlepszego dopasowania modelu statystycznego do rekonstruowanej struktury kości.
- Przeanalizowanie wyników rekonstrukcji proponowaną metodą i porównanie przedstawionej metody z metodą rekonstrukcji wykorzystującą odbicie lustrzane zdrowej kości miednicy.

Niestety, proponując złożony algorytm Autor rozprawy nie uniknął meandrów metodologii badawczej, stąd jego dokonania mogą wyglądać mało przekonująco na podstawie jedynie studiów rozprawy. Zdaniem Recenzenta brak w rozprawie:

- Rzetelnego przeglądu metod wchodzących w skład technik rejestracji obrazu (np. metody Atlas czy Ghost nie są w ogóle wymienione),
- Wyczerpującego uzasadnienia wyboru kolejnych metod składających się na kroki algorytmu rekonstrukcji. Nauki podstawowe posługują się dowodem, a techniczne – eksperymentem, pozwalającym uzasadnić wybór metodologii. Cała rozprawa zawiera zaledwie pięć tabel z rezultatami, co dobrze reprezentuje ten mankament. Brak takiego uzasadnienia sugeruje, że Autor posłużył się pierwszą lepszą, albo jedyną znaną sobie metodą, a kolejne kroki algorytmu zostały zaproponowane w sposób arbitralny.
- Informatycznego i technicznego opisu stosowanych algorytmów – pod tym względem zawartość rozprawy przedstawianej w przewodzie na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka jest bardzo uboga. Brak informacji na temat środowiska testów i implementacji, jedyny opis na stronie 39 dotyczy czasu

wykonania rekonstrukcji bez podania środowiska obliczeniowego w jakim ten czas zmierzono. Autor algorytmu zupełnie nie używa podstawowych pojęć informatyki: nieznana jest złożoność obliczeniowa, ani klasa złożoności zaproponowanego algorytmu.

- Rezultatów badań na rzeczywistych rekonstrukcjach – zrozumiałe, że w ograniczonym zakresie. Autor posługuje się dwoma wirtualnymi osteotomiami dokonanymi na bryłach testowych, odsyłając czytelnika rozprawy do niedostępnego jeszcze artykułu. Wydaje się, że chociażby powtórzenie najważniejszych jego wyników w rozprawie powinno spotkać się z aprobatą współautorów.

4. Zagadnienia do dyskusji

Lektura rozprawy opisującej projektowanie algorytmu przetwarzania rekonstrukcji kości miednicy nie przynosi odpowiedzi na pytania i prowokuje komentarze warte odpowiedzi i dyskusji podczas publicznej obrony. W szczególności Recenzent chciałby aby Doktorant odniósł się do następujących problemów:

1. Dlaczego zrezygnowano z operacji skalowania (wy tłumaczenie str. 43, że „obiekty poddane analizie mają charakter bryły sztywnej” jest niewystarczające)? W jaki sposób algorytm dopasowuje bryły kości miednicy pacjentów o różnej allometrii? Rys. 26 wskazuje, że pierwsza składowa główna jest bliska, jeśli nie tożsama ze skalowaniem.
2. Jakie były warunki rejestracji tomogramów wykorzystanych do utworzenia zbiorów uczących? Czy zapewniono wystarczającą powtarzalność geometrii obrazów? W jaki sposób proponowany algorytm radzi sobie z ew. niedokładnościami?
3. Autor porównuje proponowany algorytm z pracą Mellera z 2004 roku stosującą wspólne wzorce kości miednicy dla kobiet i mężczyzn. Interesujące jest jakie korzyści osiągnięto z rozdziału wzorców w algorytmie proponowanym przez Autora? Czy autorzy innych prac opublikowanych po 2004 stosują odrębne, czy wspólne wzorce dla płci?
4. Jaki jest praktyczny sens dokładności rekonstrukcji? Rekonstrukcje z zastosowaniem implantów (rys. 7) znacznie odbiegają kształtem od anatomii kości miednicy, a jednak są stosowane – być może zatem 1-2 milimetrowa niedokładność rekonstrukcji wnoszona przez proponowany algorytm jest bez znaczenia?

5. Aspekty formalne rozprawy

Formalna strona rozprawy niestety nie jest jej atutem, co powinno być wzięte pod uwagę przy przygotowywaniu kolejnych publikacji Autora. Do zalet należą:

1. Staranna edycja grafiki i tekstu, znaleziono zaledwie kilka usterek maszynopisania,
2. Sformułowanie tez na początkowych stronach rozprawy i przywołanie ich treści w podsumowaniu wraz ze stwierdzeniem, że zostały udowodnione – tworzy to rodzaj logicznej kłamry spinającej zakres opisywanych prac badawczych. Choć niewłaściwe jest – zdaniem Recenzenta – przywołanie literaturowe [28] i [29] w obrębie pierwszej tezy.
3. Wyodrębnienie dodatku dotyczącego anatomii miednicy

Niestety, z formalnego punktu widzenia rozprawa posiada też wady. Do najważniejszych należą:

1. Liczne błędy gramatyczne – Doktorant nagminnie niepoprawnie używa imiesłowu czynnego np. (str. 31 w 6 od góry): „Tak wybrana powierzchnia jest później elastycznie dopasowywana do każdej innej powierzchni zbioru stosując w tym celu....”.
2. Brak rysunków ilustrujących działanie algorytmu dla przykładowych brył.
3. Wieloznaczne używanie słów: „rejestracja”, „korespondencja”, „ewaluacja” i „obraz ruchomy” – powodujące u czytelnika przyzwyczajonego do powszechnego znaczenia tych słów w terminologii technicznej trudności ze zrozumieniem przekazu.
4. Używanie skrótów „DetCov”, „MDL” jako tytułów rozdziałów,

5. Przesadnie rozbudowana, czteropoziomowa struktura tekstu (np. rozdział: 3.4.6.4), jak na rozprawę o objętości 78 stron.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawioną rozprawę, ale także pozostałe osiągnięcia naukowe Autora, w tym publikacje i prezentacje konferencyjne, Recenzent zdecydowanie wspiera Autora w dalszym rozwijaniu metod analizy obrazów medycznych i ich wykorzystania do budowy dedykowanych implantów używanych do rekonstrukcji kości.

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: "*Komputerowe modelowanie i rekonstrukcja struktur kostnych miednicy*" spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (z dnia 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595) w zakresie stopnia doktora nauk technicznych. Recenzent wnioskuje do Komisji o **dopuszczenie rozprawy doktorskiej p. mgr Pawła Skadłubowicza do publicznej obrony.**

