

Dr hab. inż. Robert Koprowski
Instytut Informatyki
Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 39
41-200 Sosnowiec

Sosnowiec 28.05.2017 r.

RIB	BIURO DZIEKANA
	Wpłynęło dnia <u>01.06.2017</u> Nr <u>427/116/17</u> /zal. <u>/</u>

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

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Prodziekana Wydziału Inżynierii
Biomedycznej Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Paszendy
RIB/387/2016/2017 z dnia 08.05.2017 r.

1. Znaczenie podjętej tematyki

Podejmowana przez Doktoranta tematyka badawcza jest aktualna i ważna zarówno z punktu widzenia naukowego jak też praktycznego. Nawigacja obrazowa a w szczególności umiejętność przewidywania położenia poszczególnych narządów człowieka jest kluczowym elementem zarówno w chirurgii, jak też w innych obszarach medycyny. Dzięki precyzyjnemu ustalaniu położenia zmian patologicznych jamy brzusznej pacjenta, skraca się czas wykonywania interwencji chirurga, zmniejsza inwazyjność zabiegu oraz zwiększa bezpieczeństwo pacjenta. Pacjent szybciej wraca do pełnej sprawności, co przekłada się bezpośrednio na czas jego hospitalizacji a tym samym koszty leczenia. Nawigacja obrazowa stanowi zatem istotny wkład we współczesną chirurgię.

Biorąc pod uwagę złożoność samej procedury nawigacji (akwizycja danych obrazowych, śledzenia narzędzi oraz pasowanie modelu do danych rzeczywistych) jednym

z istotnych elementów jest dokładność. Możliwość precyzyjnego wyznaczenia położenia narzędzi chirurgicznych, wirtualnego, opartego o dane obrazowe, położenia pacjenta umożliwia zawężenie obszaru działania narzędzia chirurgicznego oraz zwiększa efektywność zabiegu i ewentualnych powikłań. Zmniejszenie tego typu błędów jest zadaniem stosunkowo trudnym dla tkanek miękkich biorąc pod uwagę przemieszczenia narządów związane zarówno z pracą układu mięśniowego, jak też cyklem oddechowym pacjenta. Zatem oprócz błędów statycznych należy też poddać analizie błąd dynamiczny, co stanowi podstawę recenzowanej rozprawy doktorskiej.

2. Struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Sylwestra Fabiana pt. "Redukcja błędów dopasowania położenia pacjenta do przedoperacyjnego modelu anatomicznego w małoinwazyjnych zabiegach jamy brzusznej" obejmuje 112 stron podzielonych na 9 rozdziałów. Praca została napisana pod kierunkiem naukowym dr hab. inż. Dominika Spinczyka prof. Politechniki Śląskiej. Rozprawa doktorska została wydana w formie druku zwartej (brak szczegółowych danych dotyczących nakładu, wydawcy i recenzenta wydawniczego) o ISBN 978-83-934357-1-5 w Zabrze w 2017 roku. Pięć pierwszych rozdziałów dotyczy wprowadzenia, omówienia systemu nawigacji obrazowej w zabiegach małoinwazyjnych jamy brzusznej, dopasowania pozycji pacjenta do przedoperacyjnego modelu anatomii, otrzymanych wyników przez Doktoranta oraz podsumowania. Kolejne cztery numerowane rozdziały to bibliografia obejmująca 94 publikacje, wykaz 11 skrótów, spis 84 ilustracji oraz 27 tabel.

W rozdziale pierwszym zawarto podstawowe informacje dotyczące systemów nawigacji obrazowej, jego układu blokowego oraz cel i tezę pracy. Autor podaje też cele szczegółowe pracy obejmujące cztery zadania bezpośrednio związane z tematyką pracy.

Rozdział drugi zawiera podstawowe przekształcenia geometryczne, takie jak: translacja, skalowanie, rotacja i pochylenie oraz algorytmy rejestracji sztywnej i niesztywnej wraz z przeglądem metod oceny dokładności w systemach nawigacji obrazowej. Wszystkie podrozdziały rozdziału drugiego zawierają, oprócz opisu słownego, również znane i ujednolicone zależności matematyczne, jasno określające i definiujące typ przekształcenia. Na uwagę zasługuje tutaj ciekawe zestawienie cech estymatorów, zgodnie z pracami innych

autorów oraz algorytmów rejestracji (tab. 2.2. i 2.3 odpowiednio str. 26 i 27 rozprawy). Autor podaje różne typy błędu pasowanego punktu oraz cechy zbudowanych przez innych autorów estymatorów, takie jak: anizotropowość, homogeniczność oraz obciążenie estymatora. Autor definiuje też trzy typy błędów wykorzystywanych dalej w pracy tj.: błąd lokalizacji pasowanego punktu (FLE), błąd pasowanego punktu (FRE) oraz błąd rejestracji punktu docelowego (TRE). W szczególności błąd TRE stanowi podwaliny do dalszych analiz i porównań.

W rozdziale trzecim Doktorant opisuje poszczególne pola deformacji, takie jak krzywe sklepane rodzaju TPS oraz EBS określone dla podejścia interpolacyjnego i aproksymacyjnego. Przedstawiona jest też optymalizacja doboru parametrów wyznaczania pola deformacji (algorytm PSO) oraz zaproponowany opis rekordu pacjenta. Informacje te są poprzedzone opisem pięciu kroków estymacji położenia punktu docelowego (pomiar pozycji markerów, określenie położenia układu współrzędnych, określenie błędów dynamicznych i błędu deformacji oraz wykonanie obliczeń pomocniczych).

Rozdział czwarty to otrzymane wyniki eksperymentalne obejmujące 17 pacjentów z nowotworami wątroby. Przedstawiono liczne wykresy obejmujące względną pozycję markerów w odniesieniu do początkowego położenia środka chmury punktów, fazę cyklu oddechowego oraz błędy pasowania punktu (FRE i TRE). W celu weryfikacji różnic w rozkładach danych zastosowano jednowymiarową nieparametryczną analizę ANOVA. W podrozdziałach rozdziału czwartego Doktorant przedstawia wyniki dla sześciu kombinacji technik rejestracji globalnej i lokalnej obejmujące rejestrację sztywną (krzywych sklepanych Thin Plate Spline i Elastic Body Spline) i afiniczną oraz pole deformacji. W podrozdziale 4.7 Autor przedstawia zbiorcze zestawienie błędu rejestracji punktu docelowego (TRE) dla czterech zaproponowanych grup danych (G0, GI, GII i GIII). Dla różnych zaproponowanych metod zostały podane wartości mediany, średniej i odchylenia standardowego błędów TRE. Przedstawiono też hipotezy statystyczne i udowodniono, że przy założonym poziomie istotności mediana TRE w chwilach czasowych odpowiadających minimalnemu FRE jest niższa niż mediana TRE uzyskiwana podczas wydechu pacjenta. Autor udowodnił też, że metody oparte o zaproponowany algorytm EBS-PSO pozwalają na zmniejszenie wartości mediany w grupie G0 w porównaniu z wartością mediany w grupie GIII (uwzględniającą cały cykl oddechowy).

W końcowej części pracy (rozdział piąty) Autor odnosi się do opracowanych w ramach rozprawy celów szczegółowych (opracowania rekordu pacjenta wyprofilowanego dla zabiegów jamy brzusznej, przeprowadzenie eksperymentów klinicznych, opracowanie algorytmu EBS oraz wizualizacji błędów pomiaru) oraz wskazuje na dalsze kierunki badań dotyczący poruszanej tematyki.

3. Cel pracy i hipoteza badawcza

Cel pracy Doktorant podaje w pierwszym rozdziale (str. 14) tj. "Celem rozprawy jest opracowanie metody, możliwej do zastosowania w praktyce klinicznej, pozwalającej na minimalizację błędu dopasowania punktu docelowego pacjenta dla zabiegów jamy brzusznej". Zaproponowana teza (str. 14) pracy brzmi "Możliwa jest redukcja błędu dopasowania punktu docelowego do przedoperacyjnego modelu anatomii pacjenta z wykorzystaniem generacji pola deformacji opartego na krzywych sklepanych i śledzeniu położenia markerów". Zarówno cel pracy jak też teza pracy została postawiona prawidłowo. Są one logicznie powiązane ze sobą, odpowiadają zakresowi i tematyce rozprawy oraz określają zakres przeprowadzonych badań. W rozprawie została udowodniona teza pracy oraz zostały zrealizowane postawione cele szczegółowe.

4. Metodyka badań

Przeprowadzona przez Doktoranta metodyka badań oraz dobór narzędzi jest prawidłowy. Obejmuje on wybraną metodykę estymacji położenia punktu docelowego oraz takie etapy jak: pomiar pozycji markerów na ciele pacjenta, zgrubną rejestrację układów współrzędnych, określenie błędu dynamicznego rejestracji markerów, określenie pola deformacji i wyznaczenie błędu dopasowania punktu docelowego. Doktorant przedstawia w sposób spójny i rzeczowy otrzymane wyniki akcentując walory praktyczne. Na uwagę zasługuje tutaj zweryfikowana praktycznie (klinicznie) przydatność przedstawionego podejścia i ocena błędów pomiaru (FLE, FRE i TRE). W pracach interdyscyplinarnych niezwykle ważna jest weryfikacja przeprowadzonych obliczeń i algorytmów z praktyką - co zostało zrealizowane z powodzeniem w niniejszej rozprawie doktorskiej.

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 Doktorant do nich się odniósł podczas publicznej obrony pracy, są to:

1. Brak informacji na temat złożoności obliczeniowej poszczególnych etapów pracy algorytmu. Z pewnością ciekawą informacją dla czytelnika byłoby podanie czasu akwizycji danych czy czasu obliczeń np. pseudokodu podanego na str. 41.
2. Z jakiego powodu podzielono grupę pozycji markerów na dwa podzbiory (uczący i testowy) w proporcji 50/50 by obliczyć współczynniki λ i α (str. 39 rozprawy) ?
3. Czy dla $N=2$ równanie (2.23) jest również prawdziwe ?
4. Jaki jest argument funkcji "rand" (str. 40, wzór (3.73)) ? Jeżeli przyjąć analogię nazwy funkcji do funkcji stosowanej np. w pakiecie Matlab to powinien być rozmiar wektora.
5. Jaki jest wpływ zmienności osobniczej pacjenta na otrzymywane rezultaty ?
6. Jaka jest powtarzalność pomiarów dla jednego pacjenta ?
7. Dlaczego Autor nie wykorzystał znanych z metrologii miar błędów (zamiast zdefiniowanych na str. 25 FLE, FRE i TRE) ?
8. Przedstawione przez Autora podejście aproksymacyjne i interpolacyjne zakłada, że możliwe jest dowolne odkształcenie struktur tkanek miękkich jamy brzusznej. Autor jedynie wspomina o tym zagadnieniu na stronie 35 tj. "Metoda EBS może być wykorzystywana do przetwarzania danych medycznych, ponieważ właściwości tkanek biologicznych w wielu aspektach mogą przypominać właściwości ciała elastycznego opisanego powyżej. Oczywiście, jest to pewne uproszczenie, ponieważ tkanki na ogół nie są homogeniczne, ale ze względu na trudności związane z opracowaniem dokładnego modelu, wykorzystanie tego typu założeń stanowi kompromis pomiędzy dokładnością a poziomem komplikacji obliczeń". Czy zatem brak homogeniczności tkanek miękkich można w prosty sposób (zgrubnie) uwzględnić w proponowanych obliczeniach? Pytanie to w części jest związane z moim pytaniem nr 5.
9. Jaki jest związek rozkładu prawdopodobieństwa przedstawionego na ryc. 4.84 z histogramami przedstawionymi na ryc. 4.25, 4.36, 4.47, 4.58, 4.69, 4.80 oraz ryc. 4.83 ? W tym kontekście nie są też jasno przedstawione wyniki w tab. 4.28, 4.29 i 4.30. Autor zaznacza wartości minimalne błędu nie biorąc pod uwagę odchylenia standartowego. Brakuje też interpretacji z jakiego powodu dla wybranych danych wartość mediany TRE jest o rząd wielkości mniejsza od odchylenia standartowego.

Być może przyjrzenie się bliżej samym obliczeniom pozwoliłoby na wysunięcie ciekawych wniosków.

Dodatkowo w pracy zauważyłem kilka błędów redakcyjnych:

1. Brak ujednolicenia literatury, przykładowo w pozycjach [Ma07], [Mogh09], [Mogh10], [Scha09], [Scha10], [Siel078] zmieniono kolejność litery imienia z nazwiskiem. Podobnie są różne znaki interpunkcyjne przed podaniem tytułu pracy, numer doi jest podawany tylko w niektórych pracach np. [Maie08], [Spin15].
2. Błędy interpunkcyjne i literowe w kilku miejscach pracy, np. str. 25 podczas definiowania błędu FRE "ukdu" zamiast "układu", str. 32 pod wzorem (3.31) "a" zamiast "gdzie", str. 41 "[4.].", str. 84. "[Tab.4.27].]", str. 82 podpis pod ryc. 4.79 i 4.80 "rozkładu" zamiast "Histogram rozkładu", str. 86 opis nad wykresami "G II" powinno być "G I". Brak interpunkcji na końcu niektórych wzorów, przykładowo wzór (2.29), (2.30), (3.31), (3.32), (3.33).
3. Jaką nową jakość wnosi do pracy rysunek 3.13 ?
4. Jakie są podstawy podawania wyników przedstawionych w prawie wszystkich tabelach w pracy z tak dużą dokładnością? Zaokrąglenia wyników, zwłaszcza podanych w tabelach 4.28, 4.29 i 4.30, określonych dla niepewności pomiaru, powinny być do dwóch cyfr znaczących (jednej, jeżeli przyrost błędu jest mniejszy od 10%).
5. Podrozdział 5.1 dotyczący zagadnień etycznych, ma 1 zdanie. Informacja na temat powinna się znaleźć, moim zdaniem, w osobnych rozdziale dotyczących materiału badawczego w którym dodatkowo było zbiorcze informacje na temat typów i rozdzielczości pozyskanych obrazów i testowanej grupy pacjentów. Dzięki temu informacje te nie byłyby porzucane po wielu miejscach pracy np. liczbę pacjentów Autor podał dopiero na 45 stronie pracy.
6. W recenzowanej rozprawie brakuje odwołań do publikacji Autora.

Pomimo tych drobnych uwag przedstawiona rozprawa doktorska posiada bardzo dobrze przygotowaną oprawę graficzną (która zasługuje tutaj na szczególne podkreślenie) oraz klarowne i dobrze opisane tabele z wynikami. Przytoczone powyżej drobne usterki redakcyjne oraz pewne uwagi krytyczne służą przede wszystkim pomocy Autorowi w dalszym rozwoju naukowym i nie mają wpływu na moja końcową wysoką ocenę pracy.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Sylwestra Fabiana pt. "Redukcja błędu dopasowania położenia pacjenta do przedoperacyjnego modelu anatomicznego w małoinwazyjnych zabiegach jamy brzusznej" jest oryginalnym i twórczym wkładem w dyscyplinę biocybernetyka i inżynieria biomedyczna. Rozprawa doktorska zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy. Zawarte i prawidłowo opisane rezultaty obejmują zmniejszenie błędu pasowania położenia pacjenta do przedoperacyjnego modelu anatomicznego w zakresie chirurgii jamy brzusznej. Moim zdaniem rozprawa doktorska Pana mgr inż. Sylwestra Fabiana 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. Sylwestra Fabiana do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

