

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Wijaty**  
w związku z postępowaniem w sprawie nadania w/w stopnia doktora  
nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria  
biomedyczna.

Niniejsza ocena została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady  
Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna prof. dr hab. inż. Marka Gzika,  
RDIB.002.78.2022 z dnia 22.12.2022 r.

**1. Znaczenie podjętej tematyki**

Metody analizy i przetwarzania obrazów już od wielu lat towarzyszą medycynie. Ich rozwój jest szczególnie wspierany w obszarach medycyny w których istnieje konieczność wykonania żmudnych analiz i obliczeń takich, dla których metody ręczne są zbyt wolne, nieprecyzyjne i trudno powtarzalne. Metody analizy i przetwarzania obrazów radzą sobie w różnym stopniu w różnych modalnościach obrazowania medycznego. Wszędzie tam gdzie warunki pomiaru są powtarzalne a wykrywane obiekty czy tekstura jest niezmienna w czasie, dla różnych pacjentów i dla danej jednostki chorobowej, wystarczające są znane, modyfikowane algorytmy. Natomiast dla pozostałych przypadków znaczenie wzrasta stopień trudności i możliwości zastosowania typowych metod analizy i przetwarzania obrazów. Do najtrudniejszych, moim zdaniem, należy obrazowanie ultrasonograficzne (USG). Niewielka zmiana nacisku głowicy USG, czy jej niewielkie przemieszczenie, powoduje duże zmiany w uzyskiwanym obrazie. Analiza tego typu problematyki w obrazowaniu USG i zastosowaniu do biopsji gruczołu sutkowego jest niezwykle ważna nie tylko w zakresie zastosowań ale też poszerzaniu wiedzy z nią związanej.

## **2. Struktura rozprawy**

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Wijaty, pt. "Multimodalny system śledzenia i rejestracji w zabiegach biopsji gruboigłowej gruczołu sutkowego", obejmuje 202 strony podzielone na 6 rozdziałów, tabele w wynikami oraz spis literatury. Praca została napisana pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. inż. Dominika Spinczyka oraz promotora pomocniczego dr inż. lek. Bartłomieja Pycińskiego.

Autorka, zaraz we wprowadzeniu w rozdziale pierwszym, przedstawia podstawy dotyczące określeń nowotworu i raka, omawia biopsję gruboigłową oraz ultrasonografię. W rozdziale tym zawarto też tezę badawczą oraz wymieniono szczegółowo zadania badawcze.

Drugi rozdział to przegląd stanu wiedzy dotyczący analizy i przetwarzania obrazów ultrasonograficznych. Autorka podzieliła niniejszy rozdział na dwie części. W pierwszej z nich zawarto opis znanych metod analizy zmian ogniskowych w obrazie ultrasonograficznym, opisano problematykę związaną z detekcją igły oraz jej segmentację. Druga część tego rozdziału jest poświęcona systemom śledzenia które wspomagają zabiegi chirurgiczne.

Autorka w trzecim rozdziale opisuje system rejestracji danych. W szczególności poświęca najwięcej miejsca na opis stanowiska pomiarowego, głowicy ultrasonograficznej oraz pistoletu biopsyjnego. Omówione są też metody kalibracji zarówno czasowej jak też przestrzennej.

Rozdział czwarty dotyczy opisu zaproponowanej metody klasyfikacji i segmentacji wybranych struktur na obrazach USG. Przedstawiono w nim opis podejścia klasycznego oraz podejścia z zastosowaniem uczenia głębokiego, w zakresie których zaimplementowano dwie sieci konwolucyjne. Pierwsza z nich jest odpowiedzialna za analizę położenia igły biopsyjnej a druga za zmiany ogniskowej.

Rozdział piąty dotyczy przeprowadzonych eksperymentów oraz otrzymanych wyników. Opisano pomiary dokładności systemów śledzenia, rejestracji fantomu czy samej kalibracji głowicy ultrasonograficznej. Następnie przedstawiono obrazy eksperckie igły biopsyjnej oraz przedstawiono klasyfikację i segmentację struktur na przetwarzanym obrazie.

Podsumowanie otrzymanych rezultatów oraz plany dla dalszych prac przedstawione zostały w ostatnim, szóstym rozdziale.

Rozprawę kończy dodatek z wynikami przedstawionymi tabelarycznie oraz bibliografia zawierająca 205 pozycji (w sześciu z nich Doktorantka jest współautorem). Spis rysunków i tabel oraz spis skrótów i oznaczeń został przedstawiony na początku rozprawy.

Struktura rozprawy jest zatem prawidłowa.

### **3. Cel pracy i teza rozprawy**

Teza rozprawy została przedstawiona przez Autorkę w pierwszym rozdziale (podrozdział 1.5, str. 7), która brzmi "Wykorzystanie obrazów ultrasonograficznych zebranych przy użyciu systemu śledzenia i rejestracji pozwala na określenie trajektorii igły biopsyjnej oraz na detekcję zmiany ogniskowej w zabiegu biopsji gruczołu sutkowego". Autorka podała też szczegółowe zdania badawcze w czterech punktach, tj.: przegląd aktualnej literatury naukowej z zakresu klasyfikacji i segmentacji struktur w obrazach USG, opracowanie systemu rejestracji danych, opracowanie metod klasyfikacji i segmentacji zmian ogniskowych oraz opracowanie algorytmu klasyfikacji i segmentacji igły biopsyjnej na obrazach tego samego typu. Teza pracy została prawidłowo postawiona, natomiast poszczególne zadania badawcze zrealizowane. Zarówno teza pracy, jak też zdania badawcze, odpowiadają zakresowi i tematyce rozprawy oraz określają zakres przeprowadzonych badań. W treści rozprawy, głównie z rozdziale 4, udowodniono postawioną tezę pracy oraz przedstawiono nowy wykład Autorki w inżynierię biomedyczną.

### **4. Metodyka badań**

Metodyka badań przedstawiona przez Autorkę jest prawidłowa. Wykonanie badań zostało w sposób prawidłowy poprzedzone analizą i odniesieniem się Autorki do znanych i stosowanych dotychczas rozwiązań, zarówno w zakresie diagnostyki gruczołu sutkowego jak też metod segmentacji i klasyfikacji zmian ogniskowych. Przeprowadzona analiza została poprzedzona opisem systemu rejestracji danych ze szczególnym uwzględnieniem kalibracji zarówno wskaźnika jak też pistoletu biopsyjnego. Jest to szczególnie ważny i istotny fragment rozprawy, bowiem stanowi o dokładności i powtarzalności otrzymanych rezultatów.

Na podstawie otrzymanych przez Autorkę rezultatów można też szacować jakość otrzymywanych wyników dla pacjentów o innych cechach osobniczych np. znacznie zawyżonym czy zaniżonym wskaźniku BMI. Niniejsza analiza została przeprowadzona dla 1496 obrazów (tab. 5.6) analizowanych pod względem detekcji igły biopsyjnej, a także 2685 obrazów (tab. 5.8) wykorzystywanych do klasyfikacji i detekcji zmian ogniskowych. W tym zakresie, przeprowadzając liczne próby i doświadczenia opisywane na kolejnych stronach rozprawy, Autorka udowodniła, że najwyższe wartości dokładności są osiągnięte dla metody aktywnego konturu wykorzystującego obraz gradientu tj.  $0.930 \pm 0.096$ . Natomiast najwyższa wartość średniej miary dokładności wystąpiła dla rozrostu obszaru i wyniosła  $0.882 \pm 0.183$ . Zrealizowana przez Autorkę nowa metoda analizy i przetwarzania obrazów USG została praktycznie wykorzystana podczas przeprowadzenia 33 zabiegów biopsji gruboigłowej w Narodowym Instytucie Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Gliwicach.

W rozprawie dostrzegłem kilka drobnych usterek merytorycznych, które nie wpływają na moją pozytywną ocenę rozprawy, jednakże chciałbym aby mgr inż. Agata Wijata się do nich odniosła podczas publicznej obrony, są to:

1. W rozprawie Autorka wskazuje jako wskaźnik dla otrzymanych wyników segmentacji dokładność, współczynnik wyników prawdziwie pozytywnych czy wartość przecięcia sumy. Brakuje w tym zakresie szczegółowej analizy przyczyn otrzymywania wyników lepszej lub gorszej segmentacji (zgodnie z przyjętymi miarami). Jakiego typu obiekty, nachylone pod jakim kątem, algorytm gorzej lub lepiej wykrywa? Czy można w tym zakresie stworzyć jakieś rekomendacje dla operatora, takie, które pozwoliłyby na otrzymywanie lepszych rezultatów?
2. W tytule podrozdziału 1.5 Autorka wskazuje na cel pracy. Niestety w treści tego podrozdziału nie jest uwypuklony. Jaki jest zatem cel pracy? Czy cel pracy w pełnym zakresie został osiągnięty?
3. Czy opracowany algorytm pozwala na stwierdzenie z jakim prawdopodobieństwem wyznaczono położenie igły? Jeżeli tak, to czy możliwe jest informowanie o tym fakcie operatora ze wskazaniem w jaki sposób powinien skorygować położenie głowicy? Jeżeli tak, to w jakim czasie możliwe byłoby uzyskanie prawidłowego wyniku detekcji położenia igły i ile obrazów należy w takim przypadku poddać analizie?

Dodatkowo w pracy zauważyłem kilka błędów redakcyjnych:

1. W całej rozprawie występują naprzemiennie całki i sumy. O ile w początkowych rozdziałach jest to uzasadnione, ponieważ Autorka definiuje w postaci ciągłej pewną zależność, o tyle w środku pracy już wprowadza to czytelnika w błąd. Przykładowo wzory od 4.44 do 4.47 czy 4.17 powinny być już podane w formie dyskretnej.
2. Zmienne są zapisane naprzemiennie, raz czcionką pochyłą, a w innych przypadkach bez pochylecia. Na przykład, zmienna *ACC*, *F<sub>1</sub>*, *TPR*, *TNR*, *PPV*, *NPV* w opisach osi na rys. 5.6, 5.7, 5.8 5.9, 5.10, 5.13, 5.15.
3. Występują różne sposoby zapisów jednostek. W niektórych miejscach rozprawy są one oddzielone nawiasami kwadratowymi np. w tabeli 5.13 „λ [pix]” a w niektóre bez nawiasów np. str. 153 „1,04<sup>o</sup>”.
4. W niektórych miejscach Autorka pozostawia czytelnika bez dokończenia myśli. Przykładowo na str. 155 wskazano, że igła może mieć łukowaty kształt nie podając jak dalej będą analizowane tego typu przypadki, czy może nie będą ponieważ wykraczają poza zakres niniejszej rozprawy. Podobnie, w tym samym akapicie, że istnieje ryzyko rozsiewu nowotworu i w tym zakresie niezwykle przydatny jest zapis przemieszczania całej igły, bez podania informacji czy jest to gdzieś w rozprawie analizowane.

Pomimo wskazanych przeze mnie drobnych błędów redakcyjnych i merytorycznych, praca stanowi cenny wkład w zakresie analizy i przetwarzania obrazów ultrasonograficznych w zabiegach biopsji gruczołu sutkowego.

## **5. Podsumowanie i wnioski końcowe**

Podsumowując stwierdzam, że Pani mgr inż. Agata Wijata wykazała się dużą wiedzą z zakresu analizy i przetwarzania obrazów ultrasonograficznych, a także opanowaniem i sprawnym posługiwaniem się warsztatem badawczym. Rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Wijaty pt. "Multimodalny system śledzenia i rejestracji w zabiegach biopsji gruczołu sutkowego" jest oryginalnym, interesującym przedstawionym, uzasadnionym i twórczym wkładem w dyscyplinę inżynieria biomedyczna. Niniejsza rozprawa doktorska zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz posiada bardzo duży aspekt praktyczny, stanowi zatem oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zgodnie

z powyższym stwierdzam, że mgr inż. Agata Wijata spełnia wymogi formalne o których mowa art. 186 Warunku nadania stopnia doktora, Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie Wyższym i Nauce, Dz.U. 2020 r. poz. 85, z późn. zm. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Agaty Wijaty do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Koprowski