

Kraków, 03.10.2023 r.

Dr hab. inż. Joanna Jaworek-Korjakowska, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,
Wydział EAIiB, Katedra Automatyki i Robotyki

Recenzja

**Rozprawy Doktorskiej
mgr inż. Marty Biesok**

**pt.: Segmentacja i trójwymiarowa wizualizacja zmian
patologicznych gruczołu sutkowego w obrazach USG z
wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji**

Dziedzina: nauki techniczne,

Dyscyplina: Inżynieria Biomedyczna.

Niniejszą recenzję przygotowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej 64/2023 z dn. 13.07.2023 zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (j.t. Dz.U. z 2020 r. poz. 85, z późn. zm.).

Recenzowana praca powstawała pod kierunkiem naukowym dr. hab. inż. Pawła Badury, prof. PŚ oraz promotora pomocniczego dr. Jana Juszczyka.

1. Cel i teza rozprawy

Celem ocenianej rozprawy doktorskiej było opracowanie metodyki półautomatycznej trójwymiarowej segmentacji i rekonstrukcji guzów piersi w oparciu o serię zdjęć ultrasonograficznych (USG). Badania w obszarze segmentacji i trójwymiarowej wizualizacji zmian patologicznych gruczołu sutkowego w obrazach USG z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji stanowią kluczowy krok w udoskonalaniu procesu diagnozy i terapii raka sutka. Celem prowadzonych badań są jednym z etapów w doskonaleniu skuteczności wykrywania i klasyfikowania zmian patologicznych w tkance sutkowej, co przekłada się na zwiększenie szansy na wczesne wykrycie choroby

oraz skuteczną terapię. Metody sztucznej inteligencji, takie jak sieci konwolucyjne zaimplementowane w rozprawie doktorskiej, mogą być wykorzystywane do (pół)automatycznego segmentowania obszarów podejrzanych zmian w obrazach USG gruczołu sutkowego. Dzięki temu lekarze otrzymują narzędzie, które pomaga w precyzyjnym określeniu rozmiaru i lokalizacji zmian oraz ich ewentualnej złośliwości. Dodatkowo, możliwość trójwymiarowej wizualizacji pozwala na dokładniejsze zrozumienie struktury zmian i ich oddziaływania na sąsiednie tkanki. Środowisko medyczne coraz bardziej potrzebuje takich udoskonalień, ponieważ rak sutka jest jednym z najczęstszych nowotworów u kobiet, a wczesna diagnoza ma kluczowe znaczenie dla skutecznego leczenia i poprawy rokowań pacjentek. Wykorzystanie nawigacji obrazowej umożliwi lekarzom bardziej precyzyjne prowadzenie zabiegów biopsji lub innych procedur terapeutycznych, minimalizując ryzyko uszkodzenia zdrowych tkanek.

W rezultacie, badania nad segmentacją i trójwymiarową wizualizacją zmian patologicznych gruczołu sutkowego z wykorzystaniem sztucznej inteligencji oraz nawigacji obrazowej mają ogromny potencjał w poprawie jakości opieki zdrowotnej dla pacjentek z podejrzeniem lub diagnozą raka sutka. Dają one szansę na szybszą i bardziej precyzyjną diagnozę, co może znacząco wpłynąć na wynik terapii i poprawę jakości życia pacjentek.

Temat rozprawy doktorskiej jest istotny, aktualny i kluczowy ze względu na jego zastosowanie w dziedzinie inżynierii biomedycznej, diagnostyki oraz terapii. Podsumowując, wyznaczony obszar badawczy jest trafny, a zaproponowany Cel pracy (str. 17) oraz metodyka i zaimplementowana algorytmika w ramach prowadzonych badań nad rozprawą doktorską ciekawa i obejmująca aktualne rozwiązania. Dodatkowo, w pracy zaproponowano autorskie elementy metod przetwarzania obrazów.

W ramach pracy bardzo szeroko został przedstawiony i przeanalizowany problem segmentacji guzów piersi z podziałem na etap wstępny (widoki rozmytej spójności), właściwy (sieć CNN) oraz końcowy (operacje morfologiczne), rekonstrukcja oraz wizualizacja 3D.

Podsumowując, **tezy pracy**, które zostały przedstawione na stronie 17 można uznać za istotne z punktu widzenia zarówno naukowego (autorskie podejście) jak też w aspekcie przyszłych zastosowań proponowanego rozwiązania w praktyce biomedycznej i diagnostycznej, co zostało potwierdzone poprzez realizację rozprawy doktorskiej w ramach projektów badawczych.

Tezy rozprawy doktorskiej brzmi następująco:

Wykorzystanie nawigacji obrazowej podczas badania ultrasonograficznego umożliwia segmentację i orientację przestrzenną trójwymiarowego modelu zmiany patologicznej w oparciu o dwuwymiarowe obrazy ultrasonograficzne typu B.

Oraz tezy pomocnicze:

- 1. Możliwa jest wiarygodna półautomatyczna segmentacja zmiany patologicznej na dwuwymiarowym obrazie ultrasonograficznym z wykorzystaniem różnych metod sztucznej inteligencji**
- 2. Wykorzystanie informacji o czasie rejestracji obrazu USG poprawia jakość rekonstrukcji wolumenu w przypadku obiektów zmieniających swoje położenie podczas śledzenia.**

W celu udowodnienia powyższych tez pracy zrealizowano autorskie metody przetwarzania obrazów obejmujące:

1. Wykorzystanie sieci CNN do segmentacji zmian nowotworowych. Dodatkowo, zaimplementowano i sprawdzono metodę aktywnych konturów, rozmytej spójności.
2. Opracowano metodę rekonstrukcji 3D zależnej od czasu akwizycji obrazu.
3. Zaimplementowano i zaproponowano interaktywny interfejs umożliwiający interakcję i wizualizację struktur 3D.

Na podstawie powyższych rozważań oraz uzyskanych wyników można stwierdzić, że hipoteza naukowa pracy, podana na początku niniejszej recenzji została potwierdzona.

2. Przegląd treści rozprawy

Tekst rozprawy liczy 117 stron i został podzielony na 7 dobrze zaplanowanych rozdziałów. Rozprawa doktorska zawiera również 129 pozycji literaturowych, spis skrótów i oznaczeń, spis rysunków, spis tabel oraz streszczenie.

Poniżej przedstawiono szczegółową analizę przeglądu treści rozprawy.

W **rozdziale 1** Doktorantka przedstawia obszar badań związanych z rakiem piersi, obrazowaniem medycznym oraz nawigacją medyczną. Skupia się na omówieniu różnych

aspektów dotyczących diagnostyki tego nowotworu oraz prezentuje innowacyjne podejścia, które mają na celu poprawę procesu diagnozowania i leczenia.

Pierwszym istotnym tematem poruszonym w tym rozdziale jest rak piersi. Autorka przedstawia znaczenie tego schorzenia w kontekście zdrowia publicznego oraz statystyki związane z występowaniem i ryzykiem zachorowania, przedstawia znaczenie obrazowania medycznego w diagnostyce raka piersi. Omawia różne techniki obrazowania, takie jak mammografia, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny i ultrasonografia, które są wykorzystywane do identyfikowania zmian nowotworowych w tkance piersi. Kolejnym istotnym zagadnieniem jest nawigacja medyczna. Autorka objaśnia, że nawigacja medyczna odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu dokładności diagnozy i precyzyjnego leczenia raka piersi. Rozdział 1 stanowi więc wprowadzenie do kompleksowej tematyki związanej z rakiem piersi, obrazowaniem medycznym i nawigacją medyczną.

Rozdział 2 przedstawia szczegółowo cel pracy, tezę główną oraz tezy pomocnicze, a także podjętą metodykę. Autorka podkreśla również elementy auroskie rozprawy doktorskiej a na diagramie 2.1 przedstawia schemat blokowy zaimplementowanego rozwiązania obejmującego segmentację guzów piersi, rekonstrukcję 3D opartą o autorskie podejście zależne od czasu akwizycji oraz wizualizację 3D wyników.

W **rozdziale 3** Autorka opisała autorską implementację metody segmentacji dwuwymiarowej oraz przetwarzania sekwencyjnego, które zostało przedstawione na rysunku 3.1. W ramach rozdziału przedstawiono przetwarzanie wstępne z wykorzystaniem obrazów pseudokolorowych oraz widoków rozmytej spójności, a następnie metodę segmentacji opartą na sieciach CNN z korektą morfologiczną oraz przetwarzanie końcowe oparte na aktywnych konturach z korektą morfologiczną. Wynik algorytmu segmentacji to maska binarna z każdej sekwencji przekazywana do algorytmu rekonstrukcji.

W **rozdziale 4** pracy doktorskiej doktorantka przedstawia swoją autorską metodę rekonstrukcji trójwymiarowej, którą dostosowuje do warunków akwizycji obrazu. To podejście różni się od innych dostępnych rozwiązań poprzez wykorzystanie informacji o czasie rejestracji poszczególnych ramek w celu zminimalizowania przesunięć i deformacji wynikających z ruchu obiektu. Jest to ważne, ponieważ ruch pacjenta lub obiektu podczas akwizycji obrazu może wprowadzać zakłócenia i utrudniać proces rekonstrukcji.

Rysunek 4.6 przedstawia schemat blokowy zaimplementowanego algorytmu do rekonstrukcji obrazów i polega na dopasowaniu przestrzennym wolumenów, okienkowaniu, a następnie łączeniu.

Rozdział 5 jest bardzo krótkim fragmentem rozprawy doktorskiej w którym przedstawiono graficzny interfejs użytkownika, wizualizację 3D oraz rekonstrukcję.

Rozdział 6 przedstawia przeprowadzone eksperymenty, otrzymane wyniki, a całość dopełnia dyskusja nad rozwiązaniem. W ramach rozdziału Autorka dokonała oceny segmentacji i przeprowadziła badania wpływu struktury sieci CNN, rozdzielczości obrazu jak i liczby epok uczenia sieci CNN na wyniki. Następnie dokonała interpretowalności działa sieci z wykorzystaniem map ciepła. W ramach pierwszej części rozdziału porównano również wpływ parametrów na ostatni etap segmentacji oparty na aktywnym konturze oraz porównano otrzymane wyniki z istniejącymi rozwiązaniami. W drugiej części rozdziału przedstawiono ocenę jakości rekonstrukcji z wykorzystaniem danych laboratoryjnych. Autorka zaproponowała stanowisko pomiarowe (rys. 6.13) oraz schemat i wymiary fantomu wykorzystanego w eksperymencie. Szczegółowo przedstawiony został przebieg symulacji oraz otrzymane wyniki.

W **rozdziale 7** przedstawiono wnioski końcowe z badań, przedstawiono szczegółowy wkład naukowy i otwarte problemy badawcze z rozważanej tematyki. Autorka przedstawia najważniejsze wyniki statystyczne oraz omawia eksperymenty potwierdzające przedstawione tezy w pracy.

Bibliografia pracy jest poprawna, liczy 129 pozycje i jest poprawnie dobrana pod kątem prezentacji rozważanej w pracy problematyki.

3. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Podczas lektury recenzowanej rozprawy nasunęły się również pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym. Część z nich ma naturę bardziej ogólną, a część jest szczegółowa.

Uwagi ogólne:

1. Czy porównano wyniki pracy z bardziej zaawansowanymi metodami segmentacji jak na przykład podejście nnU-net, czy podejście 3D CNN?
2. Dlaczego zaproponowane podejście jest półautomatyczne? Jaka jest skuteczność dla podejścia w pełni automatycznego?
3. Czy w ramach prowadzonych badań przeprowadzono analizę wpływu map ciepła na poprawność rozwiązania?
4. W jaki sposób rozwiązano problem niezrównoważonego zbioru danych?

Uwagi szczegółowe:

1. W jaki sposób planowane jest rozwiązanie problemu obecności kilku zmian na obrazie, dlaczego problem został zawężony tylko do jednej zmiany?
2. Jak adresowane są przypadki kiedy lekarz nie zauważy zmiany?
3. Proszę o omówienie procesu augmentacji danych.
4. Dlaczego w pracy użyto metod morfologicznych? Czy nie wpływają one negatywnie na obszar segmentacji?

4. Ocena formalna

Od strony formalnej tekst rozprawy doktorskiej nie budzi większych zastrzeżeń, można ogólnie ocenić jako zgodny z normami przyjętymi w pracach naukowych. Brak większych zastrzeżeń w zakresie formalności jest zauważalnym atutem, podkreślającym profesjonalne podejście do pisania. Autorka dokonała starannego przestrzegania zasad formalnych, co przekłada się na przejrzystość i czytelność całego dokumentu.

Praca zawiera niewielkie błędy językowe, drobne błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Praca napisana jest w języku polskim.

Układ pracy jest również poprawny, co oznacza, że zawarte w niej rozdziały są logicznie uporządkowane, co ułatwia zrozumienie struktury pracy jak i części merytorycznej.

5. Podsumowanie

Zakres i poziom naukowy uzyskanych wyników badawczych odpowiadają w pełni ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w ustawie z dn. 20 lipca 2018 r (Dz. U. Nr Dz.U.2022.574, z późn. zm.) Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnioskuje zatem do Wysokiej Komisji powołanej przez Radę Dyscypliny Inżyniera Biomedyczna Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autorki, mgr inż. Marty Biesok do publicznej obrony.

Jewnel