

Recenzja rozprawy doktorskiej

Agaty Marii Wijaty

***pt. Multimodalny system śledzenia i rejestracji w
zabiegach biopsji gruboigłowej gruczołu sutkowego***

Prof. dr hab. inż. Robert Cierniak
Politechnika Częstochowska
Katedra Inteligentnych Systemów Informatycznych

Częstochowa, 17 lutego 2023r.

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej Pana Prof. dr. hab. inż. Marka Gzika, pismem z dnia 22 grudnia 2022 roku.

Ocena rozprawy doktorskiej

1. Uwagi wstępne

Zakres recenzowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Wijaty dotyczy opracowania obrazowych technik nawigacji w zastosowaniu do komputerowego wspomaganie zabiegów biopsyjnych w kierunku wykrywania zmian nowotworowych w gruczole sutkowym. Należy podkreślić, że zakres badawczy ujęty w tej pracy dotyczy dziedziny w postaci jednej jednostki chorobowej, która jednak stanowi poważny problem, zarówno w kontekście wyzwań medycznych, jak i społecznym (obejmowanie znacznej liczby populacji, zwłaszcza kobiet, w tym aktywnych zawodowo), a przez to również finansowym (znaczne obciążenie budżetu państwa kosztami leczenia). Relatywna hermetyczność zastosowania rezultatów badań, które zostały przeprowadzone przez Doktorantkę nie ujmuje jednak istotności prowadzonych przez nią poszukiwań, gdyż niszowe zastosowania stanowią w wielu przypadkach znaczące składowe postępu technicznego, jak również dobrobytu danego kraju. Należy zatem uznać wysiłki naukowe i inżynierskie Kandydatki do stopnia naukowego doktora, które są ujęte w Jej pracy, za w pełni umotywowane.

Prace naukowe i techniczne Doktorantki ukierunkowane były na stworzenie całego systemu służącego możliwie bezpiecznie dla pacjentów (w ograniczonej liczbie mogą to być również mężczyźni) przeprowadzeniu zabiegu pobierania próbek z użyciem techniki biopsyjnej. W następnej kolejności próbki kierowane są do badań histopatologicznych. Kontrolowanie wizualne lokalizacji zmiany patologicznej w gruczole sutka i toru wprowadzania w tkanki igły biopsyjnej może pozwolić na zmniejszenie zagrożenia dla zdrowia pacjentów, które może być spowodowane kilkoma czynnikami, np. nadmiernej perforacji zmian nowotworowych, które często prowadzi do powstawania tzw. „przerzutów”, czy zbytecznego uszkodzenia tkanki zdrowej z powodu błędnie wykonanych nakłuć. W tym celu Doktorantka wyposażyła budowany przez siebie system w narzędzia wizualizacji przebiegu zabiegu z wykorzystaniem technik stereoskopii i USG. Nade wszystko jednak największą wartość naukową tej pracy stanowi zbadanie możliwości użycia podejść z zakresu tzw. sztucznej inteligencji (AI) dla optymalnego nadzorowania zabiegu biopsji gruczołowej raka sutka. Z punktu widzenia medycznego, zaprezentowane w pracy badania odnoszą się do rzeczywistych potrzeb klinicznych i mogą spotkać się z szerokim zainteresowaniem środowiska lekarskiego.

Z kolei z punktu widzenia technicznego, zastosowane przez Doktorantkę podejścia w wielu aspektach mają charakter nowatorski, zwłaszcza te, które odnoszą się do rozwiązywania problemów o charakterze praktycznym, w odniesieniu do tematyki prowadzonych przez Kandydatkę badań. Znaczna część problemów naukowych i technicznych, do których musiała odnieść się Doktorantka w swojej pracy jest bardzo złożona i niełatwo poddają się one opisowi analitycznemu, stąd często potrzeba zastosowania niestandardowych podejść wypracowanych przez mgr inż. Agatę Wijatę. W tym sensie badania przedstawione w tej pracy dotyczą bardzo trudnych koncepcyjnie zagadnień praktycznych, w sytuacji istnienia obiektywnych trudności odnoszących się zarówno do strony medycznej zagadnienia, jak i do aspektów inżynierskich. Badania przeprowadzone przez Doktorantkę wychodzą w każdym elemencie naprzeciw powyższym uwarunkowaniom, w szczególności w odniesieniu do opracowania przede wszystkim dokładnego odwzorowywania sytuacji zabiegowej, co ma fundamentalne znaczenie w tym konkretnie zastosowaniu medycznym, znajdując odniesienie do poprawy rokowań dla wielu pacjentów.

Opisane w opiniowanej pracy doktorskiej badania zawierają kilka wątków badawczych i propozycji rozwiązań, które w sposób metodologiczny poddane są krytycznej ocenie ich przydatności w podmiotowym zabiegu. Proponowane rozwiązania stały się kanwą, na której opierają się osiągnięcia Pani Agaty Wijaty, służących sprostaniu napotkanym potrzebom

praktycznym. Doktorantka w trakcie prowadzonych i opisywanych badań stosowała w każdym przypadku elastyczne podejście do danego wyzwania, uzależniając zastosowane podejście od specyfiki danego problemu. Wymagało to oczywiście twórczego podejścia do poszczególnych wyzwań.

Podsumowując, problem badawczy, przed którym stanęła Kandydatka do stopnia naukowego doktora należy uznać za wymagający na wielu płaszczyznach, naukowych i konstruktorskich, dotykając w swojej naturze kilku dyscyplin, tj. inżynierii biomedycznej, medycyny, fizyki, informatyki. Jednak największy wkład twórczy został wniesiony przez Doktorantkę w zakresie inżynierii biomedycznej, która jednakże w swojej naturze stanowi rodzaj konglomeratu wymienionych powyżej zakresów naukowych.

2. Zawartość rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Wijaty pt. *Multimodalny system śledzenia i rejestracji w zabiegach biopsji gruboigłowej gruczołu sutkowego* została napisana w języku polskim i jest bardzo obszerna, zajmując w sumie 202 strony. Praca składa się z części zatytułowanej *Wprowadzenie*, rozdziału przedstawiającego podstawowe kierunki rozwoju systemów śledzenia igły biopsyjnej w trakcie zabiegu, dwóch zasadniczych rozdziałów traktujących, po pierwsze o budowie całego systemu, po drugie o zastosowanych przez Doktorantkę metodach informatycznych, oraz z części poświęconej wykonanym eksperymentom i ich wynikach. Rozdział zatytułowany *Podsumowanie* prezentuje w skrócie dokonania Doktorantki i zakreśla plan dalszych badań. Obszerny *Wykaz literatury* obejmuje 205 pozycji bibliograficznych. Do pracy dołączono również wykaz użytych skrótów i oznaczeń, spis rysunków i tabel zawartych w pracy. Praca została wzbogacona również o dodatek z tabelami prezentującymi uzyskane rezultaty.

W Rozdziale 1., stanowiącym wprowadzenie do pracy, zawarto wyczerpujący i kompetentny opis dziedziny, której dotyczą zaprezentowane w dysertacji rozważania badawcze, tj. krótkie wprowadzenie do problematyki patologii nowotworu sutka i wykazano znaczenie biopsji gruboigłowej w tym zastosowaniu. Następnie Doktorantka bardzo skrótowo przedstawia techniki obrazowania, które zostaną następnie wykorzystane do budowy systemu nawigacyjnego. W tej części swojej pracy Doktorantka przedstawia w sposób systematyczny zakres badań przeprowadzonych w ramach tej dysertacji, postawioną tezę i cel pracy. W moim przekonaniu teza badawcza jest sformułowana w taki sposób, że trudno ją zweryfikować, co nieco przeczy istocie tezy jako takiej. Określone w pracy sformułowanie stanowiące tezę

powinno w tym przypadku zdefiniować w jakimś sensie obiektywnie mierzalny poziom uzyskiwanej dzięki zastosowaniu zbudowanego systemu informacji, co dałoby możliwość zweryfikowania uzyskania na finiszu prac takiego pożądanego efektu.

Rozdział 2. stanowi w zasadzie prezentację stanu wiedzy, która związana jest z realizacją pracy w ramach tej dysertacji. Należy podkreślić, że wiedza zawarta w tym rozdziale jest zaprezentowana w bardzo systematyczny i metodologicznie perfekcyjny sposób. W rozdziale tym przedstawione zostały najpierw medyczne aspekty związane z rakiem gruczołu sutkowego i jego społeczny wymiar, w szczególności jego kontekst społeczny. Następnie Doktorantka w nadzwyczaj uporządkowany sposób wprowadza czytelnika w zagadnienie segmentacji (później klasyfikacji) zmian patologicznych w sutku z wykorzystaniem obrazów uzyskiwanych poprzez technikę USG. Przegląd istniejących rozwiązań automatycznej segmentacji i klasyfikacji rodzi uznanie wobec zakresu studiów, które musiała Doktorantka przejść na tym polu. Ta sama uwaga dotyczy Jej rozeznania w zagadnieniu segmentacji i detekcji igły biopsyjnej z wykorzystaniem tegoż USG. W kolejnej części tego rozdziału Doktorantka omawia wyczerpująco komercyjne i niekomercyjne rozwiązania wizyjne służące zadaniu śledzenia obiektów w przestrzeni.

Rozdział 3. to jedna z dwóch części niniejszej pracy doktorskiej, które niosą ze sobą właściwy dorobek naukowy Doktorantki. W tym konkretnie rozdziale prezentuje Ona system, w którym nadzorowany jest przebieg zabiegu biopsyjnego i rejestrowane są dane podlegające przetwarzaniu z użyciem metod numerycznych.

Rozdział 4. stanowi kontynuację procesu prezentowania autorskich dokonań Doktorantki na polu rozwiązywania problemu segmentacji i klasyfikacji w odniesieniu do obrazów USG uzyskiwanych w trakcie przeprowadzania zabiegu biopsji gruczołu sutka.

Rozdział 5. prezentuje w sposób bardzo obszerny szerokie spektrum wykonanych przez Doktorantkę eksperymentów, których wykonanie miało w zamiarze potwierdzenie postawionej na wstępie tezy badawczej.

Rozdział 6. pod nazwą *Podsumowanie* to część pracy, w której znalazło miejsce podkreślenie uzyskanych w trakcie prowadzonych badań nowych wyników, które potwierdziły słuszność tezy postawionej na wstępie tej dysertacji, jak również odniesienie do praktycznego zastosowania zbudowanego systemu i plany na kontynuację badań.

3. Ocena pracy

W mojej ocenie recenzowana praca Pani Mgr inż. Agaty Wijaty posiada znaczną wartość naukową, jak i godny uznania charakter praktyczny, gdyż prezentowane w ramach niniejszej dysertacji rozwiązania znalazły bezpośrednie zastosowanie w konkretnym zastosowaniu medycznym. Po lekturze niniejszej pracy nasuwa się nieodparte wrażenie, że Doktorantka musiała w trakcie realizacji swoich zamierzeń badawczych przejść głębokie studia nad dziedziną problemu, tj. wykonywaniu biopsji gruboigłowej gruczołu sutkowego, co znajduje swoje odzwierciedlenie w wielu miejscach opisu Jej dzieła.

Najwyraźniejsze autorskie piętno noszą w tej dysertacji Rozdziały 4 i 5, gdzie omówiono autorskie rozwiązania algorytmiczne służące właśnie wspomaganie wykonywania zabiegu biopsyjnego z wykorzystaniem technik obrazowania medycznego i obrazowania stereoskopowego, oraz odpowiednio dobranych metod segmentacji i klasyfikacji, wraz z przeprowadzeniem odpowiednich eksperymentów weryfikujących ich skuteczność. Aczkolwiek Rozdział 3 również posiada cechy oryginalnego wkładu naukowego i technicznego Doktorantki, z wyraźnym jednak akcentowaniem Jej dokonań inżynierskich.

Do swoich badań Kandydatka do stopnia naukowego doktora przystąpiła z pełną świadomością praktycznego wymiaru swoich zamierzeń. W tą świadomością rozpoczęła Ona wysiłki naukowe i inżynierskie od sformułowania metodologii badawczej, w ramach której natknęła się Ona na specyficzne problemy, z którymi poradziła sobie zgodnie z zasadami stosowanymi w nauce. Zgodnie z aktualnie panującymi standardami Doktorantka rozpoczęła od określenia układu pomiarowego, który dostarcza koniecznych danych. Następnie dobrała Ona odpowiednie metody wstępnego przetwarzania danych, by doprowadzić je do stanu, w którym mogą zostać wykorzystane do przeprowadzenia podstawowych dla budowanego systemu procesów segmentacji i klasyfikacji. Trzeba podkreślić, że w trakcie swoich naukowych peregrynacji Doktorantka wybierała odpowiednie narzędzia i metody rozwiązywania problemów z pełną świadomością celów i konkretnych napotykanym uwarunkowań. Wykazała się Ona przy tym bardzo dużą wiedzą o istniejących możliwościach w tym względzie, a swoich wyborów dokonywała w sposób krytyczny, a przy tym w całej rozciągłości ukierunkowany na praktyczne aspekty pracy. Taka droga stoi w opozycji do spotykanych często prac, które sprowadzają się do wykorzystania ograniczonej liczby rozwiązań, testując ich wydolność, bez uwzględnienia szerszego spektrum możliwych do zastosowania podejść.

Stosownie do powyżej zarysowanych standardów Doktorantka zdecydowała się użyć stereoskopowego układu wizyjnego do śledzenia pistoletu biopsyjnego, a elektromagnetycznego układu śledzenia do monitorowania położenia głowicy USG. Następnie został zbudowany przez Nią zintegrowany system śledzenia narzędzi, pozwalając nakładać na siebie informacje wizualna pochodzącą z systemów śledzenia i obrazu uzyskiwanego z USG. Do tego konieczne było odpowiednie skalibrowanie bieżąco używanych narzędzi i umieszczenie ich w zobiektywizowanym układzie współrzędnych, co samo w sobie stanowiło wyzwanie naukowe.

Po przebrnięciu przez powyżej naszkicowane problemy sprzętowo-koncepcyjne, przyszedł czas na zmierzenie się z problemami klasyfikacji i segmentacji. W tym celu, co warto dobitnie podkreślić, Doktorantka bardzo dokładnie przeanalizowała możliwości i własności całego szeregu różnych architektur konwolucyjnych sieci neuronowych, poddała je krytycznej ocenie pod względem przystosowania ich działania do wymogów specyficznych do tego konkretnego zastosowania, i zaproponowała oryginalne podejście. W szczególności wybrana architektura jednogłęziowa posłużyła do klasyfikowania obecności igły w obrazie USG. Następnym problemem związanym z użyciem sieci neuronowych tego typu było klasyfikowanie na podstawie obrazu USG zmiany patologicznej. W końcu Doktorantka pokusiła się o skonstruowanie architektury oryginalnej sieci neuronowej służącej segmentacji semantycznej regionu igły biopsyjnej. W każdym przypadku starannie dobrano elementy architektury tych sieci, procedurę ich uczenia, walidacji i testowania, w tym augmentacji danych (małe zbiory danych) i regularyzację procesu uczenia (przeuczenie). W Rozdziale 4. zaproponowano również automat segmentacji obrazu zmiany patologicznej celem wspomagania procesu naprowadzania igły biopsyjnej na właściwe miejsce pobierania próbek. Doktorantka zastosowała do tego tzw. komitet klasyfikujący, bazujący na kilku metodach segmentacji, takich jak: segmentacja wododziałowa, rozrost obszaru, parametryczny aktywny kontur i aktywny kontur uwzględniający rozszerzenie zasięgu gradientu.

Działanie poszczególnych algorytmów użytych w ramach czterech powyższych wyzwań zostało przez Kandydatkę zweryfikowane w sposób obiektywny z wykorzystaniem miar oceny wykonania klasyfikacji, miar oceny wykonania segmentacji i miar dokładności detekcji igły biopsyjnej.

W Rozdziale 5. Doktorantka umieściła uzyskiwane rezultaty w kontekście powyżej zarysowanego programu badań. Prezentacja tych wyników jest bardzo bogata, urozmaicona wykresami, w tym trójwymiarowymi, tabelami i analizą statystyczną otrzymanych parametrów jakościowych. Pokazane są tam również przykładowe obrazy USG, pokazujące spektakularne

sytuacje, które dodatkowo uwiarygadniają wyniki naukowe otrzymane przez mgr inż. Agatę Wijatę. Należy podkreślić, że wykonane eksperymenty były przeprowadzone w sposób metodyczny i przemyślany, wyczerpująco wskazując wszystkie dokonania Doktorantki w ramach niniejszej pracy.

Trzeba zaznaczyć, że zbudowane narzędzie wspomagające wykonywanie zabiegów biopsji gruczołu sutkowego znakomicie wpisuje się w potrzeby środowiska medycznego zajmującego się tytułową jednostką chorobową. Doktorantka z dużym wyczuciem odniosła się do tych potrzeb i stworzył środowisko, które będzie z pewnością praktycznie przydatne, co już teraz ma przełożenie na jego wykorzystanie w warunkach klinicznych w Zakładzie Radiologii w narodowym Instytucie Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Gliwicach podczas 33 zabiegów.

Przeprowadzona analiza głównych i pobocznych wątków badawczych zawartych w ocenianej tutaj pracy doktorskiej, z podkreśleniem własnego oryginalnego wkładu Doktorantki w powstanie prezentowanych metod wspomagania przeprowadzania zabiegu biopsji gruboigłowej gruczołu sutkowego, pozwala stwierdzić, że zaproponowane przez nią rozwiązania stanowią wartościowy dorobek naukowy i techniczny, z podkreśleniem ich użyteczności. Należy podkreślić szeroką gamę kompetencji posiadanych przez Doktorantkę, które pozwoliły na sformułowanie złożonych metod oraz twórczą adaptację znanych wcześniej podejść. Praca Pani mgr inż. Agaty Wijaty charakteryzuje się entuzjazmem jej twórczyni, a jej wysiłki najwyraźniej skupiają się na chęci zastosowania uzyskanych wyników w praktyce klinicznej. W takim sensie pracę oceniam bardzo wysoko.

Po lekturze treści tej pracy nasuwają jednak pewne wątki dyskusyjne, które należałoby wyjaśnić lub odpowiednio naświetlić, a mianowicie:

1. Jakie były przyczyny zastosowania metaheurystyk w przypadku zagadnienia segmentacji zmiany ogniskowej (punkt 4.7) zamiast następnej struktury sieci neuronowej?
2. Czy rozważane było zastosowanie sieci tzw. *transformers*, które cieszą się aktualnie wielką estymą wśród badaczy?
3. Na stronie 75 podana jest dość nieczytelna interpretacja pojęcia entropii, prosiłbym o uszczegółowienie problemu;
4. W opisie transformacji Radona (str. 4.17) podano jej działanie na przestrzeni S . Proszę o zweryfikowanie poprawności użytej tam formuły, użycia parametru s . Poza tym należałoby chyba podać granice całkowania we wzorze (4.17).

Powyższe uwagi nie umniejszają jednak znaczenia przeprowadzonych przez Doktorantkę badań w poszczególnych elementach składowych i ich znaczenia naukowego i praktycznego.

Odrębna uwaga dotyczy sformułowanej przez Doktorantkę tezy pracy, która została sformułowana w sposób utrudniający obiektywne zweryfikowanie jej potwierdzenia. Określone na wstępie cele były jasne, co znacznie ułatwiłoby rozeznanie się czytelnika w poruszonym zagadnieniu.

Godne skomentowania jest również strona redakcyjna niniejszej pracy. W tym sensie Doktorantka dołożyła wszelkich starań, aby lektura praca była przyjemnością: poszczególne zagadnienia są poprzedzone odpowiednim wprowadzeniem, w jasny i ciekawy sposób zaznamiającym czytelnika z prezentowanym aktualnie podejściem. Praca jest przejrzysta, Kandydatka w systematyczny sposób wprowadza w niuanse swoich rozważań, od naszkicowania dziedziny problemu i zagadnień podstawowych, przechodząc następnie do szczegółowego omówienia zbudowanych przez siebie eksperymentów naukowych. W ogólnym zarysie praca prezentuje metodologiczną poprawność pod względem scenariusza prezentacji danego zagadnienia badawczego. Jednakże w trakcie analizy zawartości dysertacji zauważono następujące nieliczne uchybienia:

1. Doktorantka ma problem natury interpunkcyjnej, często zdarza się jej zapominać o stawianiu przecinka przed „czyli”, np. na str. 21, 26, 77, oraz przed „aby” – na str. 168;
2. Str. 6: powinno być chyba „Korzyści z wykorzystania...”;
3. Str. 13: na końcu strony tzw. „wdowa”;
4. Str. 46: niefortunne wykorzystano oznaczenia „X” i „Y” – te oznaczenia raczej są zarezerwowane dla orientacji przestrzeni;
5. Rys. 4.1: niefortunne sformułowanie „Schemat proponowanego całościowego przetwarzania...”;
6. Str. 94, powyżej wzoru (4.40): powtórzone oznaczenie „Q”,

co jednak nie zmienia ogólnie pozytywnego odbioru pracy pod względem edytorskim.

Na podkreślenie zasługuje również obszerny wykaz pozycji bibliograficznych, które posłużyły Doktorantce jako wsparcie w swoich poszukiwaniach badawczych.

Stwierdzam w tym miejscu, że praca Pani mgr inż. Agaty Wijaty zatytułowana: *Multimodalny system śledzenia i rejestracji w zabiegach biopsji gruczołu sutkowego* uzyskała u mnie pozytywną ocenę i może **być przyjęta jako podstawa dopuszczenia do obrony pracy.**

Uwagi końcowe

Z uwagi na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Wijaty uważam, że jako Kandydatka do uzyskania stopnia naukowego doktora spełnia Ona wymagania stawiane przez odnośne przepisy osobom ubiegającym się o ten stopień naukowy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna. **Stawiam wniosek o dopuszczenie Pani mgr inż. Agaty Marii Wijaty do obrony pracy doktorskiej.**

Dodatkowo, ze względu na okazaną w pracy przez Doktorantkę rzetelność naukową, wysoki stopień umocowania zagadnień poruszanych w pracy w kontekście rozwiązań opublikowanych w literaturze światowej, godny uwagi poziom prezentacji uzyskanych rezultatów naukowych, w tym klarowności prowadzonej narracji w samej pracy, a nade wszystko użyteczności prowadzonych badań, **wnoszę o wyróżnienie pracy Pani mgr inż. Agaty Marii Wijaty.**

Robert Cierniak