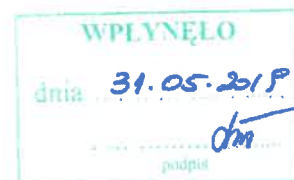


Łódź, 26 maja 2019 r.

prof. dr hab. inż. Michał Strzelecki
Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki
ul. Wólczańska 211/215
90-924 Łódź



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Elżbiety Pociask „Evaluation of new cardiological treatment methods by multimodality imaging” („Ocena nowych metod leczenia chorób naczyń wieńcowych przy wykorzystaniu dostępnych modalności obrazowania”),
promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Piotr Augustyniak

Podstawą niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH dr. hab. Inż. Ryszarda Sroki, prof. nadzw. z dnia 29.04.2019 r. informujące o powołaniu mnie przez Radę Wydziału EAIIB na recenzenta w postępowaniu doktorskim mgr inż. Elżbiety Pociask prowadzonym w dyscyplinie biocybernetyka i inżynieria biomedyczna.

Choroby naczyń wieńcowych, których konsekwencją może być zawał mięśnia sercowego lub udar mózgu stanowią w ostatnich dziesięcioleciach jedną z głównych przyczyn śmierci w krajach rozwiniętych. Choroby te są często spowodowane miażdżycą, będącą długotrwałe rozwijającym się procesem zapalnym atakującym głównie duże i średnie naczynia tętnicze. Skutkuje to odkładaniem się lipidów w ścianach naczyń (tzw. blaszki miażdżycowej), co zmniejsza ich średnicę i w efekcie redukuje przepływ naczyniowy ograniczając zaopatrzenie w tlen i składniki odżywcze różnych narządów ludzkiego organizmu. Miażdżycowe zwężenie tętnicy szyjnej należy do głównych przyczyn niedokrwiennego udaru mózgu. Wykrywanie blaszki miażdżycowej i ocena zwężenia naczyń należą do podstawowych elementów diagnostyki u pacjentów po udarze mózgu, z miażdżycą tętnic oraz czynnikami ryzyka udaru mózgu. Diagnostyka taka jest możliwa dzięki rozwojowi metod obrazowania medycznego (jak tomografia komputerowa lub tomografia rezonansu magnetycznego), które umożliwiają uzyskanie trójwymiarowych modeli naczyń krwionośnych oraz ocenę występujących w nich patologii. Uzyskanie takich modeli nie byłoby jednak możliwe bez opracowania odpowiednich algorytmów przetwarzania i analizy obrazów oraz metod modelowania matematycznego. Komputerowe metody analizy obrazów od dawna wspierają lekarzy w procesie diagnozy, leczenia oraz oceny skutków terapii zapewniając ilościowe, obiektywne oraz powtarzalne dane o obrazowanych

organach. W nurt prac związanych z rozwojem tych metod wpisuje się recenzowana rozprawa, która koncentruje się na opracowaniu algorytmów przetwarzania i analizy obrazów uzyskanych za pomocą wewnątrznacyniowej optycznej koherentnej tomografii (ang. optical coherence tomography, OCT) oraz spektroskopii bliskiej podczerwieni (ang. near infrared spectroscopy, NIRS). Te wewnątrznacyniowe metody obrazowania umożliwiają dokładniejszą ocenę zwężeń światła tętnic wieńcowych oraz charakterystykę blaszek miażdżycowych w porównaniu do klasycznych metod angiograficznych. Analiza struktury blaszki miażdżycowej (pod względem obecności owrzodzeń, zwapnień, zawartości cholesterolu) jest bardzo istotna dla oceny ryzyka jej pęknięcia i oderwania się zakrzepów, mogących zablokować naczynia krwionośne. Zastosowanie zatem wspomnianych specyficznych metod obrazowania umożliwia wybór optymalnego sposobu leczenia (leczenie farmakologiczne, angioplastyka naczyniowa) oraz ocenę przeprowadzanego procesu implantacji stentu. Z powyższych względów uważam tematykę niniejszej rozprawy za ważną i aktualną, a jej wyniki jako potencjalnie istotne we wspomaganie diagnostyki chorób naczyniowych.

Zawarta w pracy teza:

“Using the developed processing algorithms, enables to computer-assisted quantitative and qualitative evaluation of arteries’ lumen and lipid plaque by different Intracoronary Imaging Methods, aiding experts in detection and interpretation of atherosclerosis patterns and cardiac diagnosis”

jest poprawna, choć nieco zbyt długa i wymagająca od czytelnika pewnej uwagi. Jest również spójna z celami rozprawy, czyli opracowaniem metod przetwarzania i analizy wewnątrznacyniowych obrazów NIRS oraz OCT dla określenia kształtu światła naczynia oraz detekcji obszaru zalegającej tam blaszki miażdżycowej.

Praca składa się pięciu rozdziałów. Pierwszy z nich stanowi wprowadzenie w tematykę rozprawy, zawiera również tezę. W rozdziale drugim przedstawiono anatomie mięśnia sercowego, opisano także rolę oraz zasady działania tego kluczowego dla funkcjonowania ludzkiego organizmu organu. Omówiono również metody obrazowania naczyń krwionośnych, w tym obrazowanie wewnątrznacyniowe NIRS oraz OCT. Przedstawiono też podstawowe metody przetwarzania obrazów.

W rozdziale 3, poświęconemu analizie obrazów OCT, omówiono zbudowany przez Doktorantkę system umożliwiający śledzenie ruchu gałki ocznej lekarza podczas oceny wewnątrznacyniowych obrazów OCT. Celem tego badania była próba zidentyfikowania procesu analizy takich obrazów wykonywanej przez specjalistów oraz określenie dzięki temu kluczowych parametrów i fragmentów tych obrazów, mających największe znaczenie dla poprawnej diagnozy. Badanie zostało przeprowadzone dla dwóch lekarzy o różnym stopniu doświadczenia w interpretacji takich obrazów wykazało różne sposoby ich analizy (różny czas koncentracji na charakterystycznych elementach obrazu, takich jak bifurkacje naczyń lub elementy cewnika), co częściowo wyjaśnia różnice w poprawności przeprowadzonego procesu diagnostycznego. Kolejna część tego rozdziału stanowi opis autorskiego algorytmu do wykrywania światła naczynia w wewnątrzwieńcowych obrazach OCT. Algorytm ten wykorzystuje szereg metod przetwarzania i analizy obrazów, m.in. filtrację liniową, progowanie, filtrację morfologiczną. Obejmuje również metodę eliminacji nieciągłości konturu z wykorzystaniem liniowej interpolacji. Uzyskane wyniki segmentacji zostały porównane z wynikami ręcznego wyznaczenia światła naczyń w analizowanych obrazach

przez lekarzy ekspertów. Ponadto wyniki zaproponowanego algorytmu porównano z wynikami algorytmów zaimplementowanych w dwóch komercyjnych systemach analizy obrazów medycznych (St. Jude Medical oraz Medis; niestety, jednak zasady działania tych algorytmów zaimplementowanych w tych systemach nie są znane). Wyniki tych porównań wykazały istotną korelację parametrów naczyń wyznaczonych za pomocą opracowanej metody oraz metod odniesienia, co pozytywnie weryfikuje poprawność działania przedstawionego algorytmu.

Rozdział 4 jest związany z analizą obrazów NIRS przedstawiających struktury w naczyniach różniące się składem chemicznym. Obrazy takie, zwykle dopasowane do obrazów IVUS, umożliwiają wizualizację wnętrza naczynia wraz z występującą tam blaszką miażdżycową oraz jej mikrozwapnieniami. Celem badań było opracowanie algorytmu wykrywania płytki lipidowej z uwzględnieniem obecności artefaktów w obrazach NIRS. Algorytm obejmował wstępne przetwarzanie obrazu (analiza 3 składowych RGB), segmentację artefaktów za pomocą progowania metodą Otsu, wykrycie obszarów blaszki miażdżycowej oraz wyznaczenie trzech różnych wskaźników maksymalnego obciążenia rdzenia lipidowego (ang. Lipid Core Burden Index) przez określenie proporcji obszaru zajętego przez płytkę lipidową w stosunku do powierzchni naczynia dla segmentów o różnych długościach. Wyniki działania algorytmu zostały porównane z komercyjnym systemem CAAS Intra Vascular 2. Analiza statystyczna wyników obydwu algorytmów wykazała ich pełną zgodność, co stanowi potwierdzenie poprawności działania zaimplementowanej metody.

Zawartość pracy podsumowuje rozdział 5. Wykaz literatury obejmuje najważniejsze pozycje literatury światowej i krajowej dotyczące tematyki związanej z rozprawą. Wykaz ten zawiera również 5 publikacji współautorskich zamieszczonych w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że Doktorantka samodzielnie rozwiązała problem naukowy dotyczący opracowania oryginalnych metod analizy wewnątrznacyniowych obrazów OCT i NIRS, stanowiących przydatne narzędzie wspomaganie diagnostyki miażdżycy naczyń wieńcowych. Doktorantka wykazała się przy tym odpowiednią wiedzą teoretyczną z dyscypliny inżynieria biomedyczna, w tym z zakresu przetwarzania i analizy obrazów biomedycznych. Do najważniejszych osiągnięć Autorki pracy zaliczam:

- opracowanie i implementację algorytmu do segmentacji światła naczynia krwionośnego w obrazach OCT oraz jego weryfikację przez porównanie z dwoma algorytmami zaimplementowanymi w komercyjnych systemach analizy obrazów medycznych oraz z wynikami oceny eksperckiej;
- opracowanie i implementację algorytmu do ilościowego wykrywania blaszki miażdżycowej w obrazach NIRS, odpornego na artefakty występujące w tych obrazach, co w efekcie umożliwi wyznaczenie trzech parametrów diagnostycznych do oceny zagrożenia pęknięcia płytki lipidowej i oderwania się jej fragmentów. Opracowany algorytm został pozytywnie zweryfikowany przez porównanie wyników jego działania z komercyjnym systemem przeprowadzającym podobne analizy.

Lektura pracy nasunęła również kilka przedstawionych poniżej uwag krytycznych i polemicznych.

1. Tytuł rozprawy nie w pełni odpowiada jej treści. Sugeruje bowiem, że tematem pracy jest ocena metod leczenia chorób naczyń wieńcowych, gdy w rzeczywistości dotyczy ona opracowania algorytmów wspomagających diagnozę takich chorób. Również określenie „multimodality imaging” (w tłumaczeniu „modalności obrazowania”) jest nieprecyzyjne, gdyż zakres metod obrazowania naczyń krwionośnych jest daleko szerszy niż wykorzystywane w pracy metody wewnątrznacyniowe OCT oraz NIRS. Sugerowany tytuł pracy mógłby brzmieć np. tak: Computer methods for quantitative atherosclerosis assessment based on intravascular OCT and NIRS imaging;
2. Podpunkt 2.4 Image processing w rozdziale 2 wydaje się zbędny, ponieważ opisuje elementarne i powszechnie znane metody przetwarzania obrazów;
3. Do interpolacji nieciągłych elementów krawędzi naczyń wykorzystano funkcję liniową. Ponieważ kształt naczyń jest zwykle zbliżony do okręgu lub elipsy (ewentualnie przy zmianach patologicznych reprezentuje bardziej złożoną krzywą), to wydaje się, że dokładniejszy wynik odwzorowania kształtu przekroju naczyń uzyska się dla interpolacji za pomocą wielomianu drugiego lub trzeciego rzędu. Czy Autorka rozważała takie podejście?
4. W literaturze opisano wiele metod automatycznego wyznaczania przekroju naczyń, odnośniki do kilku z nich wymieniono na str. 86. Na tej samej stronie stwierdzono, że zapewniają one podobną dokładność jak autorska metoda. Zabrakło jednak szerszej dyskusji dotyczącej właściwości tych metod i ich ewentualnych niedostatków, które byłyby inspiracją do opracowania własnego podejścia. Prosiłbym zatem o wyjaśnienie, jakimi cechami wyróżnia się opracowane rozwiązanie (dotyczącymi np. czasu analizy, złożoności obliczeniowej itp.) w porównaniu do innych znanych metod.
5. Autorka twierdzi, że wyniki analizy ruchu gałki ocznej umożliwiły identyfikację najważniejszych informacji pozyskiwanych przez specjalistę do oceny zmian miażdżycowych naczyń podczas analizy obrazu. Uzyskanie tych informacji miało wspomóc opracowane algorytmy analizy obrazów naczyń. Jednak w pracy ograniczono się tylko do opracowania metod znajdowania przekroju naczyń oraz estymacji wskaźników maksymalnego obciążenia rdzenia lipidowego. Nie jest jasnym, czy parametry takie wystarczą do jednoznacznej diagnozy choroby naczyń? Czy inspiracją do ich wyznaczania były wyniki analiz ruchu gałki ocznej czy też są to rutynowo stosowane parametry do opisu zmian patologicznych naczyń?

Inna moja uwaga dotyczy niejasnej zawartości rys. 3-9, gdzie pokazano kolejne etapy przetwarzania obrazów OCT dla wyznaczenia światła naczyń. Jednak pokazane tam obrazy bez dodatkowego wyjaśnienia nie pozwalają na zrozumienie proponowanej metody. Nie wyjaśniono również znaczenia kolorów na rys. 4-3.

Praca jest napisana w sposób przejrzysty, język angielski jest poprawny. Zauważyłem kilka usterek redakcyjnych:

- str. 1: Profesorowi Piotrowi Augustyniak -> Profesorowi Piotrowi Augustyniakowi (oraz dalej: Bruningowi, Rolederowi – nazwiska w języku polskim odmienia się przez przypadki);
- str. 15: themetodology -> the methodology
- str. 24: niewydrukowana jedna linia
- str. 29: $L_1+L_2+L_3 = 256$ -> $L_1 = L_2 = L_3 = 256$ lub $L_1+L_2+L_3 = 3 \times 256$
- podpis pod rys. 2-16 (str. 33): on -> in, line shows -> lines show
- rys. 2-21 (str. 39): G_v -> G_γ
- str. 40: Roberts's Operator – formalnie poprawne, ale dużo lepiej brzmi Roberts Operator (podobnie images' analysis -> image analysis)
- str. 42: \square -> μ
- str. 47: specktle -> spectle
- str. 50: focuss -> focus
- str. 51: Measurements -> measurements
- str. 65: distortion ... are shown -> distortion ... is shown (lub distortions ... are shown)
- str. 66: błędna numeracja rysunku 3.2-4
- str. 86: powtórzony fragment zdania na samej górze strony
- str. 92: błędna numeracja rysunku 4.3-1
- str. 93: niepotrzebna spacja przed kropką, pixels -> number of pixels

Wszystkie moje uwagi krytyczne i dyskusyjne w żadnym stopniu nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę recenzowanej pracy, której zakres mieści się w dyscyplinie inżynieria biomedyczna. Stwierdzam, że praca „Evaluation of new cardiological treatment methods by multimodality imaging” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz wnioskuje o przyjęcie tej rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Elżbiety Pociask do publicznej obrony.

mm SKM

