



Artur Przelaskowski, prof. dr hab. inż.  
Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych  
Politechnika Warszawska  
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Warszawa, 4.07.2019

## OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ AGH

Tytuł rozprawy: **Ocena nowych metod leczenia chorób naczyń wieńcowych serca przy wykorzystaniu dostępnych modalności obrazowania**

Autor rozprawy: **Elżbieta Pociask**

Dyscyplina: **Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna**

### Tematyka i zakres badań

Kontekstem analizowanych badań jest rozwój nowych narzędzi służących doskonaleniu i przyspieszeniu procesu diagnozy i interwencji kardiologicznej, a także ułatwiających dobór właściwej metody leczenia w przypadku stabilnej choroby wieńcowej i ostrych zespołów wieńcowych (**rozdział 1**). Klinicyści potrzebują pomocy w identyfikacji/leczeniu pacjentów z bardzo wysokim ryzykiem rozwoju ostrych zdarzeń wieńcowych poprzez wykrycie/prognozę niepożądanych zmian takich jak pęknięcie blaszki miażdżycowej i zakrzepica. Jako narzędzia diagnostyczne do obrazowania wewnątrznaczyniowego wykorzystano optyczną tomografię koherentną (OCT) oraz spektroskopię bliskiej podczerwieni (NIRS). Celem pracy było przetwarzanie takich obrazów wspomagające ilościową i jakościową ocenę zmian miażdżycowych w naczyniach wieńcowych poprzez segmentację światła naczynia (z szacowaniem procentowego zwężenia tętnic), segmentację i ocenę blaszki lipidowej. Miało to ułatwić ekspertom wykrywanie i interpretację wzorów miażdżycy m.in. poprzez szacowanie ryzyka pęknięcia blaszki.

Wykorzystana metodologia sprowadza się do: -oceny schematów/parametrów/charakterystyk percepcji zmian w obrazach OCT, -opracowania metod przetwarzania wstępnego oraz segmentacji (obrysu) światła naczynia z przekrojów OCT, -opracowania metod przetwarzania wstępnego obrazów NIRS, detekcji artefaktów i segmentacji blaszki lipidowej, -określenia specyficznych dla diagnozy uwarunkowań automatycznego wnioskowania, służących oszacowaniu spodziewanych efektów leczenia. Nie jest jasne, czy rozważana była także możliwość integracji metod analizy obu tych zobrazowań.

W **rozdziale 2** opisano szerszy kontekst teoretyczno-aplikacyjny podjętych zadań, a także podkreślono najistotniejsze propozycje w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy. Szczegółową charakterystykę problemu rozpoczęto od przeglądu podstawowej wiedzy z zakresu anatomii serca, krótkiego opisu chorób naczyń wieńcowych (klarownego, konkretnego), a także różnych form ich obrazowania w kontekście wybranych metod leczenia (przezskórna interwencja wieńcowa-PCI z trafnym umieszczeniem stentu jako najczęściej stosowana metoda rewaskularyzacji). Trafnie

ukazano istotną rolę obrazowania we wczesnym wykryciu i wiarygodnej predykcji skutków leczenia. IVOCT ukazano jako korzystną alternatywę względem angiografii wskazując realne ograniczenia (m.in. konieczność tymczasowego zamknięcia badanego segmentu w celu oczyszczenia go z krwi, ograniczona penetracja ścian naczyń) oraz możliwości (rozpoznania stabilnej CAD oraz ostrych zespołów wieńcowych, monitorowania procedur stentowania). Sygnały nIR analizowane są w dziedzinie czasu oraz częstotliwości (szczególnie cenne) dając zdolność rozdzielczą na poziomie 10-20 $\mu$ m. Zastosowanie spektroskopii niskiej podczerwieni (NIRS) daje unikalny podpis chemiczny (chemogram) cząsteczek ścian tętnicy, a przede wszystkim szacowanie prawdopodobieństwa występowania blaszki z lipidowym rdzeniem (LCP). Zintegrowany z obrazami IVUS (wewnątrznaczyniowe ultradźwięki) przekroju poprzecznego naczynia pozwala ustalić lokalizację, kształt i rozmiar LCP dla 2mm lub 4mm sekcji naczynia.

Dalsza część tego rozdziału zawiera podstawy przetwarzania obrazów, w tym elementarne definicje, przykłady przekształceń punktowych (rozciąganie histogramu, binaryzacja), lokalnych (filtracja liniowa, operacje nieliniowe, podstawy morfologii matematycznej, detektory krawędzi). Dalej, bardziej szczegółowo analizowane są efekty zobrazowań OCT i NIRS, uzasadniono ich przydatność w rozważanym zastosowaniu podkreślając duży potencjał badawczy, ale też problemy z analizą *offline* uzyskanych wyników. Dość szczegółowo przedstawiono złożony proces analizy zobrazowań OCT, w tym rozpoznania różnego typu blaszek i zmian, efektów umieszczenia stentu, śledzenia procesu implantacji itd. oraz innych form oceny jakościowej i ilościowej. Konieczność szczegółowej analizy morfologicznej zmian naczyniowych z dużą rozdzielczością, w szczególności ich rdzenia lipidowego pozwala lepiej przewidzieć incydenty ostrego zespołu wieńcowego. Obrazowanie NIRS służy rozpoznaniu i ocenie LCP wspomagając jednocześnie skuteczne planowanie leczenia. Służy wyznaczeniu wskaźnika obciążenia rdzeniem lipidowym (LCBI). Klarownie uzasadniono więc i ukonkretniono dwa zasadnicze cele prowadzonych badań. Podkreślono, że efektywna segmentacja światła naczynia w OCT jest zagadnieniem trudnym i złożonym, podejmowanym przez wiele zespołów badawczych w ostatnich latach. Określony schemat ogólny tych rozwiązań zawiera trzy etapy: przetwarzania wstępnego (usuwanie znaków kalibracyjnych, redukcja szumów speklowych, konwersja do współrzędnych biegunowych), usuwania artefaktów (progowanie) oraz segmentacji światła naczynia (progowanie Otsu, operatory morfologiczne, krzywe intensywności, losowe modele Markowa, transformacja falkowa??). Stwierdzono, że opracowana metoda jest dedykowana także analizie obrazów słabej jakości w przeciwieństwie do większości publikowanych metod. Uwzględniono przypadki chorych naczyń, bifurkacji itp. Analiza obrazów NIRS jest 'świeżym' obszarem badań. Autorce nie jest znana żadna publikacja naukowa na ten temat, natomiast istnieją narzędzia komercyjne bez specyfikacji opracowanych algorytmów. Nie pozwalają one wyznaczyć wartości LCBI w przypadku występujących artefaktów. Oryginalną propozycją jest wyznaczanie obszarów lipidowych także w przypadku maskowania artefaktami, a także liczenie nowych, medycznie istotnych cech: lipidowego łuku i długości.

**Rozdziały 3 i 4** zawierają opis konstrukcji metod przetwarzania obrazów OCT oraz NIRS, a także projekt i charakterystykę przeprowadzonych badań eksperymentalnych. W obu przypadkach zamieszczono tabele uzyskanych rezultatów, odpowiednie wykresy i wyniki analiz statystycznych wraz z wnioskami. Ciekawym wątkiem badawczym jest wykorzystanie urządzeń śledzących percepcję treści obrazowych podczas interpretacji zobrazowań OCT przez eksperta-kardiologa. Chodziło o lepsze rozumienie procesu wizualnej interpretacji obrazu metodą śledzenia wzroku interpretatora. Śledzenie porządku percepcji treści obrazowej, ruchu gałek ocznych, pomiar czasu skupienia oczu na konkretnych punktach obrazu, kolejność identyfikacji istotnych obiektów oraz

ilość informacji wizualnych zebranych z obrazu, miało służyć lepszemu zrozumieniu procesu jej interpretacji, by proces ten udoskonalić uzyskując lepszą jakość/większą efektywność leczenia. Ocenę zdolności postrzegania realizowano z wykorzystaniem okulografu optycznego na podczerwień wyposażonego w dodatkową kamerę śledzącą ruchy głowy. Parametry śledzenia rejestrowano zarówno podczas oceny ilościowej (wyznaczenie światła naczynia), jak i jakościowej (ustalenie rodzaju patologicznej struktury). Przedstawiono interesujące wyniki eksperymentów – wskazano na różnice w sposobie percepcji treści obrazowej pomiędzy analitykiem szkolącym się i bardziej doświadczonym, który trafniej opisał rodzaj patologii. Nie podano jednak liczby testowanych przypadków, ani też sposobu ustalenia GT (doświadczony ma zawsze rację?). Różne były także czasy fiksacji i liczby istotnych punktów obserwacji oraz powrotów w ich analizie, a także trajektorie poszczególnych ocen. Generalnie scenariusze oceny różniły się istotnie, w czym upatrywano przyczynę zróżnicowanej skuteczności interpretacji. Podkreślono istotny wpływ doświadczenia na skuteczność opisu obrazów. Korzyści takich badań to przede wszystkim identyfikacja regionów zainteresowania, ustalenie form skanowania treści oraz określenie sposobu rozpoznania kluczowych wzorców rozpoznania danej treści. Jest to zagadnienie złożone, a wyznaczane modele poznawcze są trudno aplikowalne. W rozprawie stwierdzono, że określenie charakterystycznych regionów w obrazach OCT było przydatne w tworzeniu automatycznych algorytmów wykrywania interesujących struktur i ich automatycznej, wstępnej interpretacji. Nie zostało to jednak sprecyzowane.

Przedstawiono metodę segmentacji światła naczynia w zobrazowaniach OCT (jeden system, dwa cewniki obrazujące). Przedmiotem badań był zbiór 667 ramek zarejestrowanych dla różnych pacjentów. Nie podano ich charakterystyki, trudno więc ocenić reprezentatywność takiego zbioru. Krótko przedstawiono typowe artefakty i inne cechy utrudniające analizę obrazów, a nawet czyniące ją niemożliwą przy wykorzystaniu zaawansowanych metod analizy obrazów (mało precyzyjnie -nie wskazano eksperymentów/rozważań potwierdzających). Celem wstępnej fazy przetwarzania było usunięcie znaków i tekstów z obrazów, konwersja RGB-luminancja oraz przekształcenie do współrzędnych biegunowych. Do usunięcia szumu speklowego wykorzystano filtr medianowy 5x5 oraz rozmycie gaussowskie (nie podano parametrów). Dalej była konwersja do obrazu binarnego za pomocą progowania (nie podano parametrów ani uzasadnienia). Tak uzyskany zarys ścian naczynia przetworzono za pomocą morfologicznych operatorów otwarcia i zamknięcia, by zminimalizować artefakty. Zdefiniowano przy tym płaski (elipsowy) element strukturujący. Braki w zarysie konturu, powodowane m.in. bifurkacjami, uzupełniano za pomocą liniowej interpolacji odcinkami zaczepionymi na brzegach istniejącego zarysu w ustalonych punktach ekstremalnych. Kolejnym etapem była wsteczna transformacja do współrzędnych kartezjańskich, a następnie filtracja wygładzająca uzyskany obrys ścianki naczynia za pomocą filtru wielomianowego Savitzkiego-Golaya. Podobnie jak w przypadku poprzednich kroków, nie podano klarownego uzasadnienia wyboru takiego rozwiązania. Nie jest też jasne, na ile taka filtracja zachowuje realny kształt ścianki naczynia. Analiza efektywności przedstawionej metody segmentacji odnosi uzyskane efekty do subiektywnie wyznaczonych obrysów stanowiących GT. Porównano także skuteczność metody względem dwóch systemów komercyjnych. Niestety nie podano procedury wyznaczenia referencyjnych obrysów przez niezależnych obserwatorów referencyjnych (ilu ich było? czy poszczególne obrysy są średnią, czy też konsensusem kilku obrysów (GT), a może różni eksperci wyznaczali obrysy dla różnych badań? – podsumowaniu wspomniano o jednym ekspercie). W podsumowaniu wykazano korzyści związane z szybką i akceptowalną jakościowo segmentacją w stosunku do obrysów manualnych, na dodatek obliczeniowo obiektywną i powtarzalną. Wysoka korelacja ze wzorcem manualnym, a także skuteczność porównywalna z doniesieniami

literaturowymi świadczy o przydatności metody, zwłaszcza że w zbiorze testowym były przypadki trudne (nie podano ich statystyki). Nie uwzględniono jednak obrazów naczyń ze stentami.

Przetwarzanie obrazów NIRS celem ustalenia stężenia lipidów (LCBI) dotyczyło przede wszystkim segmentacji rdzenia lipidowego blaszek, ze szczególnym uwzględnieniem zmian maskowanych artefaktami. Informacje w analizowanych chemogramach reprezentowana jest za pomocą barwy wyróżnionych obiektów oraz tła. Komponenty barwowe dość selektywnie definiuje poszczególne składowe semantyczne: kanał R uwydatnia artefakty, podczas gdy G – niemaskowane obszary lipidowe. Dodatkowa regulacja intensywności podkreśla tę specyfikę. Dalej, za pomocą progowania Otsu segmentowane były artefakty oraz widoczne obszary lipidowe. Także poprzez progowanie wydzielane były lipidy maskowane artefaktami – ustalona intensywność tła obszarów z artefaktami pozwoliła wskazać fragmenty znacząco, czyli ponad pewien próg od niej odbiegające. Ten próg dobrany został eksperymentalnie. Nie wiadomo jednak, na ile taka reguła jest uniwersalna, niezależna od systemu obrazowania czy specyfiki przypadku. Nie analizowano konwersji do innych, bardziej jednoznacznych przestrzeni barwowych, nie normalizowano tej przestrzeni, nie weryfikowano bardziej zaawansowanych i niezależnych metod klasteryzacji/binaryzacji itd.. Efekty segmentacji wykorzystano do wyznaczenia wskaźnika LCBI (procentowy stosunek powierzchni blaszki do powierzchni odniesienia – dłuższy lub krótszy segment), mającego wpływ na stosowaną terapię, w ustalonym przez eksperta regionie zainteresowań. Efektywność opracowanej metody weryfikowano względem narzędzia komercyjnego na zbiorze 31 chemogramów poprzez wyliczenie maksymalnych LCBI w 4mm i 2mm stentowanych segmentach. Uzyskano bardzo wysoki współczynnik korelacji i duży poziom istotności wyznaczony w teście Wilcozona wykazując dużą zgodność obu metod.

Ogólne podsumowanie osiągnięć względem formułowanych celów badawczych oraz oryginalnego wkładu Doktorantki w rozwój metod przetwarzania i analizy zobrazowań naczyń wieńcowych w celu wspomagania diagnostyki i terapii chorób naczyniowych serca znalazło się w **rozdziale 5**. Za zasadnicze nowatorstwo prezentowane w rozprawie uznano wykorzystanie metod śledzenia wzroku do badań rozkładu informacji istotnych klinicznie w obrazach OCT, w tym identyfikacji i określenia hierarchii najważniejszych elementów procesu wizualnej interpretacji przez eksperta.

## **Osiągnięcia oryginalne**

### **Analiza stanu wiedzy**

W rozprawie wykorzystano szeroki zasób wiedzy o charakterze interdyscyplinarnym, zarówno w zakresie podstaw medycyny i biologii, jak też informatyki, elektroniki, analitycznych podstaw matematyczno-statystycznych oraz umiejętności pomiarowo-eksperymentalnych. Bibliografia zawiera 115 pozycji, w tym doniesienia aktualne w zakresie istoty badanych zagadnień. Ze względu na bogactwo literatury przedmiotu konieczna była selekcja reprezentatywnych rozwiązań. Nie mam zastrzeżeń do dokonanych wyborów, chociaż nieliczne, wskazane powyżej przemilczenia pewnych rozwiązań znalazły również wyraz w zamieszczonym spisie literaturowych referencji.

Bibliografia zawiera 6 wartościowych publikacji Doktorantki w tematyce rozprawy, w tym dwie zamieszczone w dobrych czasopismach z JCR (IF na poziomie 1,3-1,6). Potwierdza to wartość opisanых badań i uzyskanych wyników, weryfikuje ich rzetelność i przydatność.

## **Zasadnicze osiągnięcia**

Zaprojektowano, zrealizowano i przetestowano dwie oryginalne metody analizy obrazowań wspierających diagnostykę i interwencję kardiologiczną w kontekście chorób wieńcowych. Służą one detekcji oraz ocenie zwężeń naczyń i rdzenia lipidowego blaszki miażdżycowej w kategoriach klinicznych. Według istniejącego stanu wiedzy mogą one mieć istotny wpływ na poprawę skuteczności diagnostycznej interpretacji szeroko wykorzystywanych obrazowań OCT i NIRS-IVUS. Nie zaprezentowano jednak wyników stosownych eksperymentów pozwalających ocenić realną wartość dodaną. Zweryfikowano natomiast efektywność tych metod względem dostępnych narzędzi komercyjnych potwierdzając na wybranych przypadkach porównywalną jakość uzyskanych analiz.

Nowatorskie i wartościowe są wyniki testów dot. pomiaru i opisu sposobu percepcji treści omawianych obrazowań naczyń wieńcowych. Mogą one służyć modelowaniu procesu interpretacji tych obrazów przez eksperta, dające możliwość redukcji ewentualnych błędów czy też poprawy efektywności diagnostycznej prowadzącej do skuteczniejszego leczenia chorób naczyń wieńcowych. Cenne jest także wykorzystanie tych wyników do konstrukcji komputerowych narzędzi wspomagających leczenie, np. poprzez ekstrakcję treści ukrytych, poprawę percepcji treści istotnej czy też obiektywizującą oceny subiektywne interakcję prowadzącą według uznanych standardów do poprawy skuteczności leczenia.

## **Wnioski**

W rozprawie przedstawiono zatem oryginalne i nowatorskie rozwiązania na tle aktualnego stanu wiedzy. Wkład w rozwój metod wspomagania diagnostyki i leczenia chorób naczyń wieńcowych jest więc istotny. Niedoskonałości przedstawionego opisu badań nie podważają istotności osiągnięć Doktorantki.

## **Uzupelniająca dyskusja wyników rozprawy**

Zdecydowana większość przedstawionych poniżej uwag służy jedynie głębszej dyskusji realizowanych badań i ich wyników. Rozprawa zakreśla szeroki obszar tematyczny, podejmuje wiele interesujących i ... trudnych wątków, opisanych niekiedy skrótowo bez szerszego kontekstu. Jest to zapewne efektem selekcji wybranych osiągnięć pracy zespołowej. Niemały wpływ ma też konieczność ograniczenia rozmiarów rozprawy i wybranie wątków, na których koncentrowała się praca Autorki. Rodzi to szereg niejasności, które jedynie sygnalizuję pod kątem ewentualnej szerszej dyskusji.

Podjęty problem badawczy jest ważny, trudny i aktualny, zamierzone cele i spodziewane efekty są trafne, natomiast metodologia stosowanych rozwiązań została opisana fragmentami niesolidnie (szczególnie w zakresie przetwarzania obrazów), miejscami niejasno lub zbyt skrótowo. Proponowane rozwiązania są proste i skuteczne, jednak cechy ich konstrukcji i sposób weryfikacji ograniczają wiarygodność daleko idących wniosków. Trudno potwierdzić jego uniwersalność, skalowalność czy adaptacyjność.

Brak opisu szczegółów procesu optymalizacji ogranicza wiarę w ich doniosłość. Brakuje wyjaśnień optymalizacyjnych w odniesieniu do szczegółów rozwiązań referencyjnych

(literaturowych). Łagodzenie wymagań jakościowych względem prostoty i szybkości obliczeń, tak istotne w tego typu zastosowaniach, dokonało się jakby poza przedmiotową rozprawą.

Efektom była jakościowa i przede wszystkim ilościowa ocena światła naczyń oraz blaszki lipidowej. Szybciej, w sposób zbiektywizowany, a więc powtarzalny wyznaczone parametry (wskaźniki) są niewątpliwą zaletą. Eksperymentalny sposób weryfikacji pozwala również stwierdzić wysoką dokładność tych szacunków w porównaniu ze specjalistą oraz narzędziami komercyjnymi. Nie stwierdzono jednak poprawy jakości liczonych wskaźników, ani też przełożenia/wpływu na konkretne decyzje terapeutyczne. Trudno więc wnioskować o ich realnej przydatności w praktyce klinicznej. Wykonano rzetelne i przydatne badania, jednak mówienie o doskonaleniu diagnozy czy też ułatwieniu doboru właściwej metody leczenia w perspektywie obniżenia śmiertelności zabiegów itp. jest jedynie wskazaniem dalekiego horyzontu ewentualnych badań. Obrano jednak dobry kierunek, przygotowano warsztat i zdobyto bogate doświadczenie, a uzyskane wyniki są obiecujące, chociaż mają w tym zakresie charakter wstępny.

### Uwagi szczegółowe i drobne

- tytuł rozprawy nie jest zrozumiały w kontekście jej treści, formułowanych celów i uzyskanych rezultatów; jakie nowe metody leczenia są oceniane? w streszczeniu wspomniano umożliwienie doboru odpowiedniej metody leczenia jako owoc trendu rozwojowego nowych narzędzi dających taką możliwość – uzyskane wyniki nie uzasadniają nawet takich wniosków;
- brak klarownego opisu źródeł przy rysunkach (niekiedy pojawiają się źródła w podpisach rysunków, w większości ich nie ma, ale są w dodatkowym spisie rysunków; niekiedy nie ma ich ani tu, ani tu) i tabeli 1-1; także numeracje rysunków są w różnej formie (z podsekcjami lub bez) w tekście oraz podpisach;
- fragment tekstu ze str. 24 został wymaskowany; niektóre z odniesień literaturowych wyjaśniających drobne elementy algorytmów dotyczą całych książek (np. podpis rys. 3-17); niektóre pozycje bibliografii mają niepełny opis;
- jest pewna niespójność pomiędzy obszernymi opisami zagadnień anatomicznych, fizjologicznych, częściowo też terapeutycznych (zresztą są one bardzo ciekawe i informatywne) w stosunku do założonego celu badań koncentrującego się zasadniczo na konkretnych metodach przetwarzania obrazów; nie ukazano klarownego przełożenia tej wiedzy dziedzinowej na proponowane metody obróbki obrazów, czy też formowane reguły wnioskowania; na dodatek omówienie metod przetwarzania obrazów jest bardzo podstawowe (przede wszystkim bez specyfiki rozważanego kontekstu zastosowań), miejscami niestaranne, nieadekwatne do bardziej wnikliwych analiz dziedzinowych;
- niejasne jest stwierdzenie ze str. 23, że analiza FD mierzy sygnał interferencyjny całego widma światła nIR w jednym punkcie czasowym;
- stwierdzenie, że nie ma wiarygodnego oprogramowania komercyjnego do segmentacji obrazów OCT (str. 43) jest niespójne z wykorzystaniem narzędzi komercyjnych do porównań efektywności algorytmów w części eksperymentalnej;
- nie podano uzasadnienia ogólnego schematu analizy obrazów OCT ze str. 47; wśród wskazanych referencji (lista daleko niepełna) wykorzystywane są m.in. algorytmy uczenia maszynowego; pominięto metody grafów, aktywnych konturów czy kształtów, *level sets* itd.;

- stwierdzono, że zasadniczym celem śledzenia wzroku było określenie ilości informacji pozyskane z obserwowanego regionu (miejsce koncentracji wzroku, czas i liczba powrotów); czy jednak te parametry nie zależą także od jakościowych uwarunkowań percepcji treści obrazowej (mniejsza zdolność percepcji określonych regionów ze względu na artefakty, szum maskujący, nakładanie się struktur, słabe skonstrastowanie itp.)?

- niejasności w opisie wyników segmentacji w odniesieniu do miar RD i ARD: tab. 3-5 zawiera wartości RD oraz *Difference*, która najprawdopodobniej reprezentuje ARD; natomiast w kolejnej tab. 3-6 wartości w tych dwóch kolumnach prawdopodobnie zamieniono (*Difference* ma wartości ujemne); nie wyjaśniono znaczenia *ICC p-value*;

- nie przedstawiono rozważań dot. integracji analizy obu typów wykorzystywanych zobrazowań, w tym także IVUS; informacja w nich zawarta częściowo się pokrywa, ma nieco inną jakość i naturę, być może łączna ich analiza pozwoliłaby zwiększyć skuteczność projektowanych metod segmentacji?

- przedstawione wyniki eksperymentów nie rozróżniają fazy trenowania i testowania metod; nie wiadomo, na ile są one 'przeładowane', dostosowane do specyfiki niezbyt licznych zbiorów uczących; trudno więc wnioskować o ich uniwersalności i realnej użyteczności;

- szereg drobnych błędów albo niejasności, m.in. przy definicji obrazu skupiono się na przypadku rentgenowskim (X-ray, str. 26); specyfikacja elementów przetwarzania i analizy obrazów jest dyskusyjna (ta sama strona); segmentacja tylko w szczególnym przypadku jest metodą punktową (str. 29); nie wiem dlaczego  $L_1+L_2+L_3=256$  na górze str. 29? niestaranna edycja wzorów (2-5)-(2-7); definicja obrazu o wysokim kontraście ze str. 30 jest nieprawidłowa; operacja opisana jako wyrównanie histogramu jest de facto rozciąganiem histogramu (także na rys. 2-13); podpis *thresholding lookup table* na rys. 2-14 z prawej jest niezrozumiały; nie wiadomo dlaczego wśród metod nieliniowych nie wspomniano o max/min, zwłaszcza że za chwilę opisywane są operatory morfologiczne; dlaczego nie zdefiniowano erozji, definicja dylacji jest niejasna; wobec def. gradientu (2-8) nie wspomniano, że chodzi o przybliżenie różnicowe; maski filtrów Prewitta na rys. 2-21 są niepoprawne (niejasno wspomniano też o różnokierunkowych postaciach tych filtrów); na rys. 4-2 ukazano poszczególne komponenty barwowe, a nie efekty konwersji do skali szarości.

## Podsumowanie

Zaproponowane metody skutecznego przetwarzania obrazów OCT i NIRS wspomagające ilościową i jakościową ocenę zmian miażdżycowych w naczyniach wieńcowych stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, mające istotne znaczenie w rozwoju koncepcji komputerowego wspomaganie diagnostyki i terapii chorób naczyniowych serca. Uzyskane wyniki przetwarzania i analizy obrazów medycznych potwierdzają ich użyteczność w kontekście rozwoju narzędzi i systemów CAD wspierających leczenie chorób naczyń wieńcowych, w szczególności ostrego zespołu wieńcowego.

Oceniana rozprawa doktorska stanowi więc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, dowodzi dużej wiedzy teoretycznej i praktycznej z obszaru komputerowego przetwarzania obrazów biomedycznych oraz interdyscyplinarnych uwarunkowań projektowania narzędzi i metod przydatnych klinicznie, a także umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych (własne propozycje

algorytmów segmentacji wybranych struktur o istotnym znaczeniu diagnostyczno-terapeutycznym, eksperymentalna ocena mechanizmów percepcji treści diagnostycznej oraz skuteczności opracowanych narzędzi). Spełnia tym samym wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym.

**Uprzejmie zwracam się zatem do Wysokiej Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH z wnioskiem o dopuszczenie pani mgr inż. Elżbiety Pociask do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony opiniowanej pracy.**

A. Pukhoczki