

Prof. dr hab. inż. Ewa Piętka
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Politechnika Śląska

Zabrze, 5.03.2018

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Zastosowanie metody zbiorów poziomicowych do segmentacji naczyń krwionośnych w obrazach angiograficznych

Autor rozprawy: mgr inż. Tomasz Woźniak

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Michał Strzelecki, prof. PŁ.

Recenzję wykonano na zlecenie Prodziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej z dnia 17.01.2018.

Rozwój technik obrazowania oraz coraz szerszy dostęp do badań angiograficznych z wykorzystaniem tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego otwiera nowe możliwości rozwoju metod komputerowego wspomagania diagnostyki obrazowej zmian patologicznych struktur naczyniowych. Wnioskowanie na podstawie skwantyfikowanego opisu zmiany umożliwia obiektywizację diagnozy z uwzględnieniem czynników, wymagających numerycznej analizy obrazów. Zaproponowana segmentacja struktur naczyniowych jest kluczowym etapem analizy obrazów i detekcji parametrów opisujących zmiany patologiczne w obrębie łożyska naczyniowego.

Celem, postawionym przez Autora, jest opracowanie algorytmu segmentacji sieci naczyń krwionośnych w obrazach TK i MR, bazującego na zbiorach poziomicowych. Problem naukowy, sformułowany przez Autora uważam za trudny i pomimo szeregu publikacji, dotychczas nierozwiązany. Opracowanie metody segmentacji naczyń stanowiłoby istotny krok w kierunku komputerowego wspomagania diagnostyki i terapii w obrębie struktur naczyniowych. Podjętą tematykę uważam za aktualną i bardzo ważną.

Autor sformułował następującą tezę rozprawy:

Zastosowanie zaproponowanej metody zbiorów poziomicowych wykorzystującej wieloskalową funkcję unaczynienia pozwala na detekcję naczyń krwionośnych o szerokim zakresie średnic dla analizowanych obrazów angiograficznych.

Praca obejmuje 101 stron podzielonych na 5 rozdziałów, poprzedzonych spisem treści,

wykazem skrótów i oznaczeń. Rozprawę kończy bibliografia składająca się z 69, dobrze dobranych i aktualnych, pozycji. Wykaz literatury zawiera jedną pozycję Doktoranta.

Rozdział pierwszy przedstawia wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia tematyki związanej z segmentacją, przegląd technik obrazowania angiograficznego z podziałem na klasyczną i subtrakcyjną angiografię rentgenowską, wielowymiarową angiografię wykorzystującą tomografię komputerową (TK) oraz rezonans magnetyczny (MR) z podaniem środka cieniującego lub bez jego wykorzystania. Dalszą część rozdziału stanowi przegląd metod analizy obrazów z obszaru technik, wykorzystywanych w rozprawie. Autor wyczerpująco omawia techniki filtracji liniowej i nieliniowej, wskazując ich wady i zalety. Szczególną uwagę zwraca na metody filtracji, wzmacniające struktury cylindryczne. Kolejny podpunkt obejmuje przegląd metod segmentacji naczyń krwionośnych. Autor wspominał o istnieniu metod bazujących na analizie tekstury jednak większą uwagę poświęcił metodom aktywnych konturów, bazujących na modelu geodezyjnym oraz geometrycznym. Rozdział kończy omówienie celu, tezy i układu pracy.

Rozdział drugi przedstawia bazę danych obrazowych analizowanych w rozprawie doktorskiej oraz opracowaną metodologię przetwarzania obrazów. W analizie wykorzystano obrazy syntetyczne oraz kliniczne. Do wygenerowania obrazów syntetycznych wykorzystano symulator rozrostu sieci naczyń krwionośnych, opracowany w jednostce macierzystej. Do obrazu dodano szum Gaussa oraz liniową zmianę jasności. Obrazy kliniczne, poddane analizie, obejmowały angio-MR ręki z podaniem środka cieniującego, sekwencje angio-MR mózgu z wykorzystaniem protokołu TOF oraz angio-TK mózgu.

Kolejne podrozdziały przedstawiają opis metod wysycenia struktur naczyniowych, zaproponowanych przez innych autorów i ich modyfikacje, stanowiące podstawę metody opracowanej przez Doktoranta. Pierwszą z opisanych metod jest funkcja unaczynienia przedstawiona przez Frangię z matematyczną interpretacją zależności pomiędzy wartościami własnymi hesjanu. Kombinacja powyższych składowych pozwoliła na zdefiniowanie ostatecznej postaci funkcji unaczynienia. Różna średnica naczyń skłoniła Autora do zaproponowania wariantu wielkoskalowego. W celu redukcji zakłóceń analizie poddano także wersję wykorzystującą funkcję bi-Gaussa, pozwalającą na indywidualny dobór skali dla tła oraz pozostałych struktur. Autor wspomina także o metodzie GVF (ang. Gradient Vector Flow), połączonej z funkcją unaczynienia Frangię.

Podrozdział 2.5 prezentuje metodę zbiorów poziomicowych w wersji podstawowej oraz rozszerzoną o dwa dodatkowe warunki, jakimi są długość krzywej oraz powierzchnia regionu wewnątrz krzywej. Powyższy model jest wykorzystany do wyprowadzenia równania umożliwiającego iteracyjne wyznaczanie kolejnych kroków ewolucji krzywej, aż zostanie osiągnięty warunek zatrzymania. Doktorant zmodyfikował opisaną metodę zbiorów poziomicowych poprzez dodanie wagi do jednej ze składowych energii wewnętrznej. Skalowanie składowej energii wewnętrznej zwiększyło wpływ kierunku

rozchodzenia się funkcji zbiorów poziomicowych oraz wektora własnego uzyskanego z informacji o unaczynieniu. Kolejnym elementem, uzyskanym z funkcji unaczynienia, jest dodatkowy warunek energetyczny dodany do głównego równania metody zbiorów poziomicowych. Pozwala on na intensyfikację ewolucji konturu krzywej wzdłuż naczyń krwionośnych. Ostatnim etapem rozwoju metody było wykorzystanie informacji z wieloskalowej funkcji unaczynienia, co doprowadziło do zdefiniowania modelu matematycznego metody zbiorów poziomicowych.

Podrozdział 2.6 opisuje implementację algorytmu wskazując na konkretne narzędzia, wykorzystane na różnych etapach przetwarzania. Technologia CUDA znacząco przyspieszyła obliczenia związane z realizacją metody zbiorów poziomicowych.

Rozdział trzeci przedstawia uzyskane wyniki testów i prezentuje ocenę skuteczności działania poszczególnych wariantów metody segmentacji.

Rozdział czwarty zawiera porównanie uzyskanych wyników, analizę skuteczności poszczególnych wariantów oraz wprowadzonych modyfikacji.

Rozdział piąty podsumowuje wyniki pracy oraz analizuje zrealizowane cele pracy.

Rozprawa zawiera szereg istotnych osiągnięć, które uznać można jako wkład własny Doktoranta. Zaliczam do nich:

1. Rzetelną analizę różnych metod wysycenia struktur naczyniowych i dobór funkcji unaczynienia, która wykorzystuje funkcję opisaną przez Frangięgo. W celu redukcji zakłóceń z sąsiadujących struktur oraz tła, Autor zastosował funkcję bi-Gaussa, która pozwala na indywidualny dobór skali dla tła i pozostałych struktur. Doktorant podjął także próbę włączenia metody GVF (Gradient Vector Flow) w schemat przetwarzania, jednak brak satysfakcjonujących wyników spowodował ograniczenia jej wykorzystania.
2. Opracowanie metodologii segmentacji struktur naczyniowych w obrazach angiograficznych tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego. Analiza przeprowadzona jest w przestrzeni dwu – i trójwymiarowej. Dobrano metodę wysycenia naczyń krwionośnych. W opracowanym modelu funkcja energii składa się z czterech elementów opisujących energię wewnętrzną i zewnętrzną oraz warunki dodatkowe – długości krzywej oraz powierzchnię regionu wewnątrz krzywej. Na podstawie tego sformułowany został model metody zbiorów poziomicowych. Dalsza modyfikacja modelu polegała na wykorzystaniu informacji wyznaczonej przez funkcję o unaczynieniu. Dodanie wagi do jednej ze składowych energii wewnętrznej zwiększyło wpływ kierunku rozchodzenia się funkcji zbiorów

poziomicowych oraz wektora własnego uzyskanego z informacji o unaczynieniu. Dodatkowy warunek energetyczny, wykorzystujący wartość funkcji unaczynienia wyznaczoną w procesie jej estymacji, dodany do głównego równania metody zbiorów poziomicowych, zintensyfikował ewolucję konturu krzywej wzdłuż naczyń krwionośnych. Zaproponowano dwa warianty przetwarzania zawierające modyfikacje metody zbiorów poziomicowych. Pierwszy wariant wykorzystuje informację, uzyskaną z funkcji unaczynienia, w jednej skali. W drugim podejściu wykorzystano wariant wieloskalowy, uwzględniający zmiany średnicy naczyń.

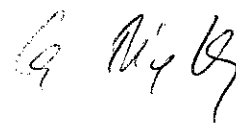
3. Implementacja algorytmu segmentacji struktur naczyniowych przy wykorzystaniu technologii nVidia CUDA. Wykorzystanie procesora graficznego pozwoliło na znaczące skrócenie czasu obliczeń.

Lektura rozprawy nasuwa także pewne uwagi o charakterze polemicznym lub dyskusyjnym, które nie wpływają na pozytywną ocenę całości prac naukowo-badawczych wykonanych przez Doktoranta i przedstawionych w recenzowanej pracy doktorskiej.

1. Manualne wyznaczania maski usuwającej z obrazu kości pokrywy czaszki, w tak zaawansowanej pracy, budzi pewien niedosyt. Szkoda, że Autor nie próbował zmierzyć się z tym problemem, który w porównaniu z segmentacją struktur naczyniowych, nie jest zagadnieniem przekraczającym możliwości Doktoranta.
2. W rozdziale 2.3 pkt 1. Autor wymienia metodę rozciągnięcia histogramu celem poprawy kontrastu (str. 34). Na kolejnej stronie Autor pisze: "Identyczne wyrównanie histogramu ...". Sugeruje to równoważność metody rozciągania i wyrównywania histogramu. A to są dwie różne metody.
3. Dobór niektórych parametrów wykorzystywanych w pracy nie jest opisany precyzyjnie lub w ogóle pominięto opis. Wyjaśnień wymagają następujące elementy:
 - a. Dlaczego zaproponowano odchylenie standardowe różne 6 w rozkładzie Gaussa, wykorzystanym do zaszumienia obrazu syntetycznego?
 - b. Jak wyznaczono granice intensywności kości i tła w obrazach MR ręki (0 – 500). W tym kontekście, dlaczego jako wartość progową przyjęto 700?
4. W rozprawie brak jakiegokolwiek informacji dotyczącej doboru skal pomiarowych wykorzystanych w estymacji funkcji unaczynienia i przedstawionych w tabelach rozdziału 3.
5. Ile obrazów każdego typu poddano analizie? Dla ilu symulacji wyznaczone były wartości współczynnika Jaccarda?

Podsumowanie

Mgr inż. Tomasz Woźniak posiada odpowiednią wiedzę z zakresu metod cyfrowego przetwarzania obrazów biomedycznych. Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz stanowi ciekawy i wartościowy wkład w dziedzinę analizy obrazów ze szczególnym uwzględnieniem obrazów angiograficznych różnych modalności. Zawarta w pracy metodologia analizy obrazów, obejmująca techniki aktywnych konturów, jest oryginalna. Sformułowany problem badawczy i jego realizacja pozwalają na stwierdzenie, że rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.). W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgra. inż. Tomasza Woźniaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. N. G.' or similar, located in the lower right quadrant of the page.

