

Politechnika Śląska
Wydział Automatyki Elektroniki i Informatyki
Instytut Informatyki



Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy:

Adaptacyjny system wspomagający usuwanie nadsegmentacji w obrazach poddanych transformacji wododziałowej

Autor rozprawy:

mgr inż. Jakub Smółka

Promotor rozprawy:

Dr hab. Stanisław Grzegórski, prof. Politechniki Lubelskiej

Cel zakres i charakter rozprawy

Rozprawa należy do obszaru wizji komputerowej i ogólnie dotyczy problemu segmentacji obrazów monochromatycznych i barwnych. Tytuł rozprawy chyba niepotrzebnie zawęży jej zakres do problemu redukcji nadsegmentacji w segmentacji wododziałowej. Problem segmentacji jest jednym z kluczowych w klasyfikacji, rozpoznawaniu i rozumieniu obrazu, stąd poświęcono mu ogromną liczbę prac. To, że problem ten jest stale aktualny wynika z faktu, że nie posiada i zapewne nie będzie nigdy posiadał rozwiązania ogólnego. Ocena wyniku segmentacji zależy od typu obrazu i celu w jakim jest realizowana i odpowiednio do tego stosowane są różne kryteria jej oceny. Wybór segmentacji i skupienie się na jednym z jej aspektów, a mianowicie nadsegmentacji, świadczy o odwadze autora w podejmowaniu wyzwań naukowych. Już samo rozpoznanie tematu wymagało bardzo obszernych i długotrwałych studiów literaturowych ze względu na liczbę pozycji dotyczących segmentacji. Sformułowanym przez autora celem, było stworzenie opartego na analizie skupień adaptacyjnego systemu umożliwiającego redukcję nadsegmentacji. Inaczej autorowi chodziło o redukcję liczby algorytmów szczegółowych i zebranie ich w jednym systemie zdolnym do automatycznego lub ręcznego dostrojenia do warunków konkretnego zadania segmentacji.

Podsumowując oceniam, że tematyka rozprawy wybrana została dobrze, świadomie i odważnie. Rozprawa jest ukierunkowana na dobrze określony i szczegółowo zrealizowany cel, w postaci adaptacyjnego systemu wspomagającego redukcję nadsegmentacji. Wykonane testy pokazały, że stworzony system poprawnie redukuje nadsegmentację dla różnego typu obrazów.

Rozprawa ma charakter analityczno-koncepcyjno-eksperymentalny. Istotnymi elementami rozprawy są: i)wartościowa analiza literaturowa, ii)koncepcja zastosowania technik analizy skupień do redukcji nadsegmentacji, iii)koncepcja wykorzystania transformaty falkowej w segmentacji, iv)wyczerpujące badania eksperymentalne.

Zawartość rozprawy i jej dyskusja

Rozprawa liczy 156 stron, jest więc obszerna, napisana została w języku polskim, składa się z 7 rozdziałów, wykazu literatury, dodatku A oraz spisów: skrótów, rysunków, tabel.

Rozprawa posiada dobry układ treści, zbliżony do liniowego, poszczególne rozdziały odpowiadają etapom niezbędnym dla poprawnej segmentacji.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do rozprawy. Zamieszczono w nim opisową charakterystykę problemu oraz trzy dobrze sformułowane tezy, określające pośrednio cele rozprawy. Ostatnim elementem tego rozdziału jest przegląd zawartości rozprawy.

Rozdział drugi zawiera omówienie koncepcji transformacji wododziałowej wraz z opisami różnych algorytmów realizujących tą koncepcję. Na wyróżnienie zasługuje klarowność opisów algorytmów, analiza ich powiązań oraz formalna (tabela 2.1, algorytm 2.1) reprezentacja zmodyfikowanego algorytmu symulacji opadu, deszczu wybranego jako algorytm podstawowy. Reprezentacja formalna przedstawiona w pseudokodzie umożliwia natychmiastową implementację algorytmu, jak również świadczy o dobrym opanowaniu inżynierii programowania. Ponieważ transformacja wododziałowa wymaga wcześniejszego wykonania na segmentowanym obrazie przetwarzania wstępnego, polegającego na wyznaczeniu odpowiadającego mu obrazu gradientowego. W tym samym rozdziale zamieszczono również przegląd technik wyznaczania gradientu. Techniki oparte na morfologii matematycznej opisane są wystarczająco szczegółowo, zbyt skrótowo przedstawiono natomiast techniki splotowe. Proponuję rozwinięcie tego zagadnienia w trakcie obrony, jak również rozszerzenie koncepcji przedstawionej na rys. 2.5, z wykorzystaniem technik interpolacyjnych i analitycznym wyznaczaniu gradientu. Podobna uwaga dotyczy wzoru 2.24. Wyznaczanie gradientu obrazów barwnych może stanowić temat oddzielnej rozprawy i z tego powodu autor musiał dokonać skrótów. Ostatnim elementem tego rozdziału jest obszerny punkt 2.6, zawierający sporządzony na podstawie literatury i dobrze przedstawiony przegląd metod redukcji nadsegmentacji. O rozmiarze tego przeglądu świadczy fakt, że autor włączył do niego również koncepcje konturów aktywnych, co w mojej ocenie jest podejściem zbyt szerokim. Wartościowa jest przedstawiona na rys. 2.8 próba klasyfikacji metod redukcji nadsegmentacji wraz z pokazaniem ich możliwych agregacji. Punkt 2.6 pomimo tego, że zawiera jedynie przeglądowe omówienie metod segmentacji oceniam jako jeden z lepszych w rozprawie.

Rozdziały od trzeciego włącznie, dotyczą różnych aspektów stworzonego przez autora adaptacyjnego systemu redukcji nadsegmentacji. I tak, rozdział trzeci opisuje podstawową koncepcję całego systemu, zgodnie z którą redukcja nadsegmentacji realizowana jest w dwóch fazach. W pierwszej stosowane są klasyczne techniki wybrane z opisanych wcześniej wraz z jedną z technik wcześniejszego wyznaczania obrazu gradientowego. Na wyróżnienie zasługuje wybór filtrów rozmywających, aczkolwiek dyfuzja anizotropowa może być również interpretowana jako rodzaj segmentacji. Opisane w p.3.2.2 progowanie obrazu gradientowego jest jednym z najprostszych, można było rozpatrzyć progowanie bardziej złożone, przykładowo lokalne lub dynamiczne. W drugiej fazie algorytmu redukcji nadsegmentacji, autor proponuje użycie technik grupowania/klasteryzacji w odpowiednio wybranej przestrzeni atrybutów/cech segmentów. Proponowanym atrybutom autor nadaje interpretację wiążącą je z segmentacją wododziałową. Atrybuty takie mogą być również wyznaczone dla dowolnego spójnego zbioru pikseli, zatem algorytm redukcji nadsegmentacji nie musi być ściśle wiązany tylko z segmentacją wododziałową. Oceniam, że atrybuty zostały wybrane poprawnie, być może przydatny byłby atrybut opisujący bardziej precyzyjnie niż wariancja teksturę obszaru. Podobnie propozycja normalizacji atrybutów jest sensowna, może bowiem dawać skupienia o kształtach kulistych. Warto podkreślić, że autor używa algorytmów analizy skupień z dobrym ich rozumieniem. Przyjęta koncepcja przedstawiania drzewa hierarchii umożliwia interakcję z użytkownikiem. Przedstawione na rys.3.11 drzewo hierarchii określa na poziomie 2, klasy (4:2), (1), (5),(3). Wszystkie rozpatrywane w rozdziale algorytmy, oprócz opisów słownych, ilustrowane są również pseudokodem wraz z niezbędnymi do jego zrozumienia opisami obiektów i klas.

Rozdział czwarty zatytułowany „Dobór parametrów analizy skupień” w swoich trzech pierwszych punktach dotyczy kryteriów oceny segmentacji. Szczególnie wartościowy jest pod

tym kątem punkt 4.3. W punkcie 4.4 przedstawiono kluczowy problem wyboru konfiguracji „najlepszej” w sensie przyjętych miar jakości segmentacji. Autor przyjął ocenę będącą rodzajem „głosowania”. Zapewne można rozszerzyć ten aspekt stosując koncepcje optymalizacji wielokryterialnej, lub klasyfikacji w której występuje zespół klasyfikatorów. Każda z konfiguracji była określona przez: i) metodę grupowania, ii) miarę podobieństwa, iii) technikę standaryzacji atrybutów, iv) zestaw atrybutów i dodatkowo była parametryzowana przez procentową wartość progu użytego w progowaniu obrazu gradientowego. Dla każdej konfiguracji generowano segmentacje zawierające od 2 do 12 klas. Do wyboru konfiguracji najlepszej dla danego typu obrazów, autor zastosował metodę przeglądu zupełnego, co wymagało tysięcy eksperymentów. W mojej ocenie bardziej „efektywne” byłoby użycie innych algorytmów przeszukiwania, np. genetycznych lub ogólnie stosowanych w zagadnieniu selekcji cech. Wnioski z badań wykonanych nad doбором najlepszej konfiguracji dla obrazów CT i MRI przedstawiono na str. 89. Kolejne dwa punkty 4.5, 4.6 przedstawiają odpowiednio problem oceny jakości segmentacji obrazów barwnych i wybór najlepszej konfiguracji. Oprócz modyfikacji kryteriów stosowanych dla obrazów monochromatycznych dla potrzeb obrazów barwnych, polegającej na niezależnym traktowaniu składowych wektora barwy, w punkcie 4.5 zamieszczono również obszerną i wyczerpującą dyskusję literaturowych kryteriów „dobrej” segmentacji obrazów barwnych. W omawianym punkcie autor wprowadza „naturalne” pojęcie histogramu obrazu barwnego, jako częstotliwości występowania odpowiednich trójek. Czy istnieje inna bardziej oszczędna definicja histogramu dla obrazu barwnego? W punkcie 4.6 zamieszczono opisy założeń i wyniki poszukiwania najlepszej konfiguracji określającej algorytm redukcji nadsegmentacji (według danych autora 125 440 wariantów segmentacji) Jakość segmentacji była oceniana za pomocą zmodyfikowanych kryteriów przeniesionych z obrazów monochromatycznych i dodatkowych kryteriów zaczerpniętych z literatury (F , F' , Q) Wyniki uzyskane z przeprowadzonych eksperymentów, uporządkowane według wartości Q przedstawiono w tab.4.2. Autor dla wybranych przypadków zamieszcza szczegółowe opisy, komentarze i wnioski jednak jak należało się spodziewać, nie jest możliwe uzyskanie wniosków generalnych. Ogólnie problem segmentacji obrazów barwnych jest o rząd trudniejszy od segmentacji obrazów monochromatycznych, chociażby ze względu na sam subiektywizm barwy. Być może łatwiejszym do analizy formalnej, w tym ustalenia kryteriów dobrej segmentacji, byłby problem segmentacji obrazów wielospektralnych.

W rozdziale piątym rozprawy, autor przedstawia koncepcję wykorzystania analizy wielorozdzielczej do usprawnienia segmentacji wododziałowej. Nie jest jasne dlaczego już na samym początku założono korzystanie jedynie z falki Haara, czy ze względu na interpretację działania filtra dolnoprzepustowego? Przedstawiony na rys 5.4 algorytm przenoszenia wyników segmentacji do wyższej o jeden poziom rozdzielczości oraz stosowane w nim wzory 5.3, i 5.4 mają charakter propozycji. W punkcie 5.5, przedstawiającym kompletny algorytm nie jest dla mnie jasny punkt 2, czyli powód dla którego obraz na poziomie S jest dodatkowo rozmywany. Ostatni punkt tego rozdziału zawiera wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych, których głównym celem było porównanie czasów realizacji segmentacji i scalania na obrazie oryginalnym, z czasem realizacji segmentacji przy wykorzystaniu analizy wielorozdzielczej. Wyniki zamieszczone w tab. 5.1 pokazują, że osiągnięte są przyspieszenia od 100 do 300 krotne. Szkoda, że autor przedstawił wyniki tylko dla obrazów barwnych.

Rozdział szósty zawiera odniesienie zagadnień omawianych na poziomie algorytmów, do funkcjonalności zaimplementowanych, w adaptacyjnym systemie wspomagającym usuwanie nadsegmentacji. Rozdział ten można również widzieć jako rozbudowany, ilustrowany przykładami przewodnik użytkownika systemu.

Rozdział siódmy zatytułowany „Podsumowanie” jest streszczeniem rozprawy z akcentem położonym na stworzony adaptacyjny system wspomagający usuwanie nadsegmentacji i jego funkcjonalności.

Oryginalne rezultaty rozprawy

Wynikiem rozprawy w warstwie praktycznej jest adaptacyjny system wspomagający segmentację obrazów monochromatycznych i barwnych. Wynikami o charakterze naukowym, są modyfikacje i rozszerzenia koncepcji analizy skupień, do redukcji nadsegmentacji i reprezentacji wielorozdzielczej dla przyspieszenia obliczeń, jak również udoskonalenia kilku algorytmów literaturowych wraz z przeprowadzonymi, dobrze zaplanowanymi i drobiazgowo zrealizowanymi eksperymentami testującymi. Precyzyjne sformułowanie oryginalnych wyników rozprawy zawarte jest również w tezach rozprawy, których prawdziwość została potwierdzona również eksperymentalnie.

Analiza źródeł

Rozprawę cechuje wyjątkowo obszerna bibliografia licząca 306 pozycji. Jest to spowodowane z jednej strony powszechnością tematyki segmentacji, z drugiej wyjątkową sumiennością i pracowitością autora. Bibliografia świadczy o doskonałym rozeznaniu literaturowym w bardzo szerokim zakresie. Autora cechuje rzadka wśród absolwentów kierunków technicznych, umiejętność przetwarzania, scalania i jasnego wykładania nabytej wiedzy literaturowej. W konkluzji oceniam, że analiza źródeł i ogólna umiejętność korzystania z literatury wykazana przez doktoranta, jest bardzo dobra z wyróżnieniem. Sugeruję zastanowienie się nad wykorzystaniem tych umiejętności w pisaniu podręczników akademickich.

Znaczenie uzyskanych wyników

Wyniki uzyskane mają duże znaczenie praktyczne w obszarze obrazowania medycznego, co zresztą bezpośrednio wynika z większości zamieszczonych w niej przykładowych obrazów. Na podstawie zamieszczonych w rozprawie wyników, można mieć nadzieję, że opracowany system stanie się fragmentem oprogramowania urządzeń takich jak TK, MRI. Wyniki uzyskane dla obrazów barwnych mają znaczenie poznawcze.

Redakcja rozprawy

Pomimo, że rozprawa posiada dobrą strukturę i logikę redakcji, widać w niej dokonującą się zapewne w trakcie realizacji, ewolucję punktu ciężkości. Rozprawa posiada bardzo dobrą warstwę językową. Nie znalazłem w niej istotnych usterek merytorycznych za wyjątkiem kilku „literówek”. Dzięki zastosowaniu profesjonalnego edytora tekstu rozprawa jest zrealizowana również perfekcyjnie pod względem technicznym. Na wyróżnienie zasługuje również niezwykle staranna edycja rysunków i wykresów. Podsumowując redakcję rozprawy również oceniam ją jako bardzo dobrą z wyróżnieniem.

Uwagi i słabe strony rozprawy

Wymienione dalej uwagi mają charakter dyskusyjny. W rozprawie nie znalazłem żadnego błędu merytorycznego. Na wyróżnienie zasługuje kultura matematyczna widoczna we wzorach i zapisach formalnych.

W mojej ocenie wyrażone w tytule jednoznaczne powiązanie opracowanego systemu redukcji nadsegmentacji z transformacją wododziałową, nie jest nieuzasadnione. Rzeczywiście, efekt nadsegmentacji jest typowy dla transformacji wododziałowej, jednak występuje on również w innych technikach, jak choćby segmentacja przez progowanie, dlatego warto by było w przyszłości rozszerzyć funkcjonalność systemu.

Dobór optymalnej konfiguracji systemu, w tym wybór parametrów, zrealizowano w rozprawie techniką przeglądu zupełnego. Celowa byłaby implementacja bardziej zaawansowanych technik optymalizacji, o czym już wspominałem w przeglądzie zawartości rozprawy. Pozostawiam tą kwestię do dyskusji podczas obrony rozprawy.

Podsumowując całość rozprawy stwierdzam, że autor wykazał się bardzo dobrym opanowaniem warsztatu naukowego, zarówno w zakresie teorii jak i eksperymentu numerycznego, ogromną pracowitością i sumiennością, umiejętnością analizy i syntezy tekstu naukowego. Dodatkowo zintegrowane z tekstem fragmenty pseudokodu i związane z nimi oznaczenia, wskazują na bardzo dobre opanowanie inżynierii programowania i algorytmiki. Rozprawa posiada znaczący wynik praktyczny i szereg drobniejszych wyników teoretycznych. Sugeruję opracowanie monografii składającej się z poszerzonych fragmentów rozprawy, poświęconych technice segmentacji wododziałowej, kryteriom oceny segmentacji, klasycznym technikom redukcji nadsegmentacji oraz dodanie fragmentu opisującego inne techniki segmentacji.

Ocena końcowa

Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie, został poprawnie sformułowany, a następnie rozwiązany z zastosowaniem metod naukowych, problem adaptacyjnej, optymalnej w sensie wybranego kryterium, segmentacji obrazów monochromatycznych i barwnych. Oceniana rozprawa doktorska z wyraźnym nadmiarem spełnia wymagania, jakie Ustawa o Stopniach i o Tytule Naukowym przewiduje dla rozpraw doktorskich. Wobec powyższego wnioskuję o jej przyjęcie jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Dodatkowo biorąc pod uwagę zakres i wykazaną w rozprawie bardzo wysoką jakość pracy naukowej wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

