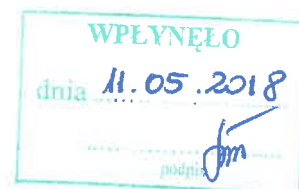


Prof. dr hab. inż. Ewa Piętka
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Politechnika Śląska

Zabrze, 30.04.2018



RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Pattern Recognition in Superpixel Graphs

Rozpoznawanie wzorców w grafach superpikselowych

Autor rozprawy: mgr inż. Mateusz Baran

Promotor rozprawy: dr hab. Zbislaw Tabor, prof. PK

Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 5.03.2018.

Segmentacja obiektu jest procedurą wykorzystywaną w wielu dziedzinach nauki i gospodarki. Odgrywa istotną rolę m.in. w medycynie, do wyznaczania struktur anatomicznych i patologicznych, w robotyce do identyfikacji obiektów, astronomii, nawigacji lotniczej i wielu innych. Metody segmentacji rozwijane są od dawna, jednak nie opracowano jeszcze algorytmu, który w sposób zadawalająco precyzyjny i automatyczny realizowałby ten proces w pełni zadawalając użytkownika jakością i szybkością wykonanej operacji. Metody segmentacji są więc nadal rozwijane i doskonalone. Procedura segmentacji jest często pierwszą lub jedną z pierwszych funkcji wykonywanych na analizowanym obrazie. Od dokładności wyznaczenia obiektu i precyzji wydzielenia krawędzi zależy wynik dalszej analizy.

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje metodę segmentacji z wykorzystaniem grafów superpikselowych, która umożliwi poprawę jakości segmentacji. Proponowana metodologia bazuje na elastycznej analizie kształtu oraz algorytmach uczenia maszynowego. Podjętą w rozprawie tematykę uważam za w pełni uzasadnioną, interesującą i aktualną dla współczesnych prac w dyscyplinie Informatyka w szczególności w obszarze wizji komputerowej.

Autor sformułował trzy hipotezy badawcze (cytuję je w oryginale):

1. It is possible to achieve high segmentation accuracy when the search space is constrained by a superpixel segmentation of the input image.
2. There is an efficient, global, low-parameter method of image segmentation that respects the superpixel constrains.

3. Machine learning methods can be effectively used to augment the above-mentioned algorithm to match the accuracy of state-of-the-art algorithms with limited parameter tuning.

Praca obejmuje 121 stron podzielonych na 6 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniami w języku polskim i angielskim, wykazem rysunków i tabel, wykazem najważniejszych skrótów i oznaczeń oraz zakończonych załącznikami oraz spisem literatury. Wykaz literatury jest bardzo obszerny, liczący 25 stron. Pozycje bibliograficzne nie zostały ponumerowane. Praca jest napisana w języku angielskim.

Rozdział pierwszy, będący wstępem, wprowadza w problematykę segmentacji, podkreślając wykorzystanie wiedzy o obiekcie i jego kształcie. Podstawą rozpoznania wzorca jest jego model statystyczny. Kolejnym punktem jest sformułowanie trzech hipotez badawczych oraz krótkie streszczenie kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej. Ostatni podrozdział zawiera wyszczególnienie publikacji autorskich.

Rozdział drugi przedstawia podstawy matematyczne dotyczące zagadnień wykorzystanych w budowie algorytmów. Opis metod uzupełnia obszerny przegląd literatury. Po przedstawieniu podstawowych elementów teorii grafów oraz geometrii różniczkowej (ze szczególnym uwzględnieniem różniczkowości) Doktorant omówił elastyczną analizę kształtu ze wskazaniem algorytmu wyznaczania odległości z wykorzystaniem programowania dynamicznego. Przegląd metod segmentacji, Autor ograniczył do wskazania wybranych wskaźników oceny jakości segmentacji, omówienia algorytmu wododziałowego oraz segmentacji superpikselowej. Algorytmy klasyfikacji, bazujące na uczeniu maszynowym oraz metody oceny jakości kończą omawiany rozdział.

Rozdział trzeci omawia metodę dopasowania modelu statystycznego do obiektu na obrazie wejściowym, poddanym segmentacji superpikselowej, bazującej na algorytmie wododziałowym. Algorytm analizy, bazujący na topologicznej metodzie elementów skończonych (PGA – *ang.* Principal Geodesic Analysis), obejmuje etap treningu oraz dopasowania modelu i krzywej. Algorytm iteracyjnie wydłuża częściowo dopasowane wzorce, bazując na parametrach wydzielonych z analizowanego obrazu i zdefiniowanych w rozprawie. Opracowany algorytm poddano analizie numerycznej. Wybrano 4 typy obrazów, dwa medyczne oraz dwa geometryczne. Wyniki segmentacji porównano wykorzystując współczynnik Dice'a.

Rozdział czwarty przedstawia teoretyczne podstawy autorskiego algorytmu znajdowania najbliższych par ścieżek zlokalizowanych w dwóch grafach skierowanych, zawierających odpowiednio ścieżki wyznaczone przez segmentację superpikselową oraz obrys kształtu obiektu, uzyskany z bazy treningowej. Metodę reprezentacji kształtu oraz oceny odległości zaczerpnięto z koncepcji Elastycznej Analizy Kształtu (ESA – *ang.* Elastic Shape Analysis). Graf superpikselowy uzyskano wykorzystując algorytm wododziałowy. W procesie śledzenia konturu zastosowano uogólniony algorytm Dijkstra. Na zakończenie oszacowano złożoność obliczeniową algorytmu.

Rozdział piąty opisuje modyfikację dotychczas opracowanego algorytmu poprzez jego integrację z problemowo-zorientowaną metodą wydzielenia cech, opisujących kształt. Metoda wykorzystuje algorytmy uczenia maszynowego celem modyfikacji, określonej we wcześniejszej wersji algorytmu, funkcji znajdowania optymalnej ścieżki. Testy, wykorzystujące 6 różnych klasyfikatorów, zdecydowanie poprawiły wyniki segmentacji.

Rozdział szósty podsumowuje wyniki pracy, wskazując na istotne osiągnięcia naukowe. Wskazuje na hipotezy badawcze oraz ich realizację w ramach badań opisanych w rozprawie doktorskiej. Autor wskazuje także dalsze kierunki rozwoju, które umożliwią analizę obrazów kolorowych oraz segmentację struktur wieloobiektowych.

Doktorant jest autorem jednej i współautorem 2. publikacji indeksowanych w bazie JCR (łącznie IF wynosi 3.9) oraz 9. opublikowanych doniesień konferencyjnych.

Rozprawa zawiera szereg elementów, które są wkładem Doktoranta w rozwój metod segmentacji obiektów w obrazach. Zaliczam do nich:

1. Wykorzystanie segmentacji superpikselowej celem ograniczenia przestrzeni poszukiwań obiektu oraz kształtu krawędzi obiektu do superpikselowych ścieżek w grafie.
2. Opracowanie metody wyznaczania ścieżek w grafach skierowanych z wykorzystaniem metryki elastycznej wykorzystywanej w Elastycznej Analizie Kształtu. Nowe podejście stanowi rozszerzenie metody dopasowania krzywych w ESA. Opracowany algorytm jest udokumentowany z zachowaniem zaawansowanego formalizmu matematycznego. Wykorzystane, w opisie algorytmu, pojęcia są precyzyjnie zdefiniowane a twierdzenia udowodnione. Do formalnego opisu algorytmu wykorzystano meta-język. Działanie algorytmu zostało przetestowane na obrazach pochodzących z różnych źródeł (w tym obrazach medycznych).
3. Opracowanie metody wydzielenia cech opisujących kształt krawędzi obiektu. Cechy poddane są analizie z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego. Autor przeanalizował 7 klasyfikatorów, odrzucając SVM, jako niedający satysfakcjonujących wyników. Metoda dopasowana jest do struktury algorytmu opisanego w rozdziale 4. i modyfikuje funkcję znajdowania właściwej ścieżki, odpowiadającej ścieżce wzorcowej.

Rozprawa doktorska ma strukturę zwartą, bardzo precyzyjnie opisuje metody badawcze oraz nowe algorytmy przetwarzania danych. Autor swobodnie operuje aparatem matematycznym, co pozwala na bardzo sformalizowany opis metod informatycznych wykorzystanych w analizie grafów. Na uwagę zasługuje także fakt, że metody bazowe wykorzystane i modyfikowane przez Doktoranta, należą do grupy metod zaawansowanych i intensywnie wykorzystywanych przez innych autorów.

Lektura rozprawy nasuwa także pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym, które nie wpływają na bardzo pozytywną ocenę całości pracy badawczej przedstawionej w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

1. Teza 2 mówiąca o tym, że istnieje metoda segmentacji, która respektuje ograniczenia innej metody jest zbyt ogólna a ponadto zawsze prawdziwa.
2. Zdanie „The curves γ_i are either extracted from hand-annotated training images or automatically generated for computer-generated images” budzi wątpliwości: (1) jak są dobierane obrazy treningowe - dla każdego obrazu czy jeden wzorzec dla całej grupy obrazów. Którą opcję (ręcznego obrysu czy automatyczną) wybrano w opisanych badaniach? Rozdział 3.2 nie wyjaśnia tego jednoznacznie.
3. W ocenie metody zaproponowanej przez Doktoranta zabrakło odniesienia do innych metod, np. takich które nie wykorzystują algorytmu superpikselowego.
4. Uwagi edytorskie. Praca jest bardzo interesująca, jednak z uwagi na bardzo formalny opis, percepcja w pierwszej fazie jej analizy, jest ograniczona. Lektura pierwszych trzech rozdziałów jest intensywną próbą poskładania pracy w jedną całość. Precyzyjnie sformułowana druga hipoteza badawcza rozwiązałaby ten problem. Brak numeracji pozycji bibliograficznych utrudnia (czytaj: uniemożliwia) podanie w recenzji liczby pozycji, z których korzystał Autor. W przypadku recenzowanej rozprawy liczba ta byłaby imponująca.

Podsumowanie

Mgr inż. Mateusz Baran posiada dużą wiedzę z zakresu technik analizy i przetwarzania obrazów. Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz stanowi istotny wkład w dyscyplinę *Informatyki* w obszarze wizji komputerowej. Zawarta w pracy metodologia badań doprowadziła do udowodnienia hipotez badawczych. 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 mgr. inż. Mateusza Barana do dalszych etapów przewodu doktorskiego.