

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inżyniera Piotra Guta**  
**"Optymalizacja metody nakładania obrazów binarnych, mało wrażliwej na błędy w danych"**

Recenzowana praca dotyczy wykorzystania częściowej skierowanej miary odległości Hausdorffa do opracowania metody nakładania obrazów binarnych charakteryzującej się małą wrażliwością na błędy w danych. Praca ta jest napisana na 88 + 8 stronach i ma 6 rozdziałów. Na końcu pracy znajduje się bibliografia. Tekst pracy został mi dostarczony na piśmie oraz w wersji elektronicznej, a również dołączono kopie artykułów napisanych przez Autora i związanych z doktoratem.

Doktorant sformułował dwie tezy w swojej pracy:

1. **Zmniejszanie rzędu kwantyla podczas procesu optymalizacji poprawia jakość nałożenia.**
2. **Wprowadzenie dwukierunkowych zmian rzędu kwantyla sprzyja osiągnięciu globalnego optimum miary jakości nałożenia.**

**Szczegółowa treść rozprawy**

Omawiana praca zawiera następujące rozdziały:

- 0) Wprowadzenie – rozdział przedstawiający tezy oraz omawiający zawartość pracy.
- 1) Nakładanie obrazów.
- 2) Miara odległości Hausdorffa.
- 3) Metoda zmiennego rzędu kwantyla.
- 4) Zastosowanie do kontroli jakości radioterapii.
- 5) Wrażliwość metody.
- 6) Podsumowanie.

**Recenzja merytoryczna rozprawy**

Omawiana praca doktorska dotyczy niezmiernie modnego i aktualnego zagadnienia – nakładania obrazów. Sam termin "nakładanie" przyjął się w literaturze polskiej, ale nie oddaje istoty rzeczy, ponieważ nakładanie obrazów kojarzy się z prostą czynnością superpozycji. Czasami używa się też określenia "pasowanie obrazów", które budzi niejasne skojarzenia. Termin angielski "image registration" można przetłumaczyć jako rejestrację obrazu, ale ta rejestracja ma na celu znalezienie optymalnej transformacji geometrycznej między dwoma różnymi zdjęciami tego samego obiektu i nie zgadza się z potocznym znaczeniem rejestracji. Tak więc zamiast ścisłego terminu "optymalna transformacja geometryczna obrazu" będziemy dalej używać określenia "nakładanie obrazu".

W rozprawie odczuwa się brak określenia, jakie są jej podstawowe cele, a także zestawienia najważniejszych osiągnięć.

W rozprawie rozdziałem wprowadzającym w dziedzinę nakładania obrazów jest rozdział 1. Rozdział ten bardzo szybko przechodzi do nakładania obrazów medycznych, a następnie do definicji miar odległości między zbiorami, a w szczególności do miary Hausdorffa.

Natychmiastowe wejście w detale przyjętego rozwiązania powoduje, że praca mocno przypomina projekt techniczny, a mniej rozprawę. Trzeba jednak powiedzieć, że w ramach przyjętej konwencji przedstawienia pracy daje się ona czytać stosunkowo lekko i jest napisana zrozumiale, co wyróżnia ją pozytywnie spośród wielu innych prac.

Wspomniany niedosyt wprowadzenia w zagadnienie jest dość istotny, ponieważ jego konsekwencją jest brak porównania uzyskanych wyników z wynikami, które mogłyby być otrzymane przy użyciu innych metod, tzn. mamy wyniki, które na oko wydają się dobre, ale nie są obiektywnie ocenione.

W szczególności brak jest przeglądu algorytmów, które mogłyby być zastosowane do nakładania. Punktem startowym mogło być nawet odwołanie się do Wikipedii, w której stwierdza się, że możliwa jest optymalizacja transformacji geometrycznej na zasadzie porównania obszarów lub porównania cech w obrazach. W Wikipedii wymienione są też transformacje liniowe oraz transformacje elastyczne (niesztywne). Wspomniane jest też, że metody znajdujące transformacje mogą stosować poszukiwanie bądź mogą być metodami bezpośrednimi, takimi jak metoda Lucas-Kanade oraz metody fazowe. Wspomina się, że stosowane są metody transformacji w dziedzinie obrazu i w dziedzinie częstotliwości. Zagadnienia te są bardzo obszerne i pełniejsze ich rozwinięcie nie byłoby celowe, ale jakieś umiejscowienie pracy doktorskiej w istniejącej literaturze powinno być.

W dalszym ciągu odczuwa się brak przeglądu literatury dotyczącej nakładania obrazów, a w szczególności obrazów medycznych. Jako przykład można tu wymienić artykuły: Zitova, "Image Registration Methods: A Survey", *Image and Vision Computing*, 21, str. 977-1000, 2003 oraz J. Salvi, "A review of Recent Range Image Registration Methods with Accuracy Evaluation", *Image Vision and Computing*, 25, str. 578-596, 2007.

Brak jest też przeglądu literatury dotyczącej miary Hausdorffa. Tu przykładowo można wymienić artykuł: X. Peng, "Feature-Based Nonrigid Image Registration Using Hausdorff Distance Matching Procedure", *Optical Engineering*, 46, iss. 5, art. 057201, May 2007. Inne artykuły to W. J., Rucklidge, "Lower Bounds for the Complexity of the Hausdorff Distance", Technical Report TR94-1441, url = "citeseer.ist.psu.edu/rucklidge93lower.html" oraz V. Sudha, "Robust Hausdorff Distance Measure for Face Recognition", *Pattern Recognition*, 40, str 431-442, 2007.

Brak jest w pracy jakiegokolwiek wzmianki o istniejącym oprogramowaniu, nawet dostępnym bezpłatnie. Dla przykładu Wikipedia wymienia 3 programy (ITK, AIR, FLIRT) i kilka produktów komercyjnych. Do Matlaba opracowano 27 programów dostępnych bezpłatnie. Pewnie większość tego oprogramowania byłaby niezbyt przydatna, ale powinno się zająć zająć jakieś stanowisko w tej sprawie.

Artykuł X. Peng, "A Practical Two-Step Image Registration Method for Two-Dimensional Images", *Image Fusion* 5, 2004, str. 283-284 jest stosunkowo bliski omawianej pracy doktorskiej. Artykuł ten podkreśla, że zastosowanie odległości Hausdorffa między dwoma zbiorami uodpornia nakładanie na istnienie cech extra (outliers), na brak cech oraz na szum. W artykule nakładanie jest przeprowadzane dwuetapowo. Etap pierwszy to zastosowanie odległości Hausdorffa – do nałożenia zgrubnego. Natomiast etap drugi to nałożenie dokładne z zastosowaniem porównania obszarów. Doktorant zamiast dwuetapowości wprowadził modyfikację miary Hausdorffa poprzez zastosowanie zmiennego rzędu kwantyla.

We wspomnianym wyżej artykule Penga odległość Hausdorffa odnosi się do obrazu krawędzi. Obraz krawędzi jest generowany przy zastosowaniu operatora Canny'ego oraz przy użyciu ogniskowania krawędzi (edge focusing na str. 285 - u dołu w artykule Penga). Operator Canny'ego jest standardem opisanym w wielu artykułach i nie będzie tu omawiany. W rozprawie zagadnienie wykrywania krawędzi potraktowano bardzo pobieżnie. Na str. 49 jest mowa o przyrównaniu kierunkowej drugiej pochodnej do zera. Czy to ma jakiś związek z Laplacianem obrazu? Następnie jest mowa o znajdowaniu kierunku za pomocą operatora Sobla, który jest zwykle używany do znajdowania modułu

