

Prof. dr hab. inż. Jan Sikora
Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych,
Nadbystrzycka 38A,
20-618 Lublin,
e-mail: sik59@wp.pl

Warszawa, 04.04.2014

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Jopka pt.:
**„Algorytmy segmentacji rentgenowskich obrazów mikrotomograficznych
stopów tytanu”**

Recenzja niniejsza została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej z dnia 10.12.2013 r.

1. Temat, zakres i cel rozprawy

Recenzowana praca doktorska dotyczy opracowania algorytmów segmentacji teksturowanych obrazów mikrotomograficznych stopów tytanu. Problem segmentacji obrazów tego typu podejmowany był dotychczas tylko przez jeden ośrodek badawczy, jednak bez powodzenia. To, że tematyka przetwarzania obrazów teksturowanych jest trudna, wymagająca rozległej wiedzy z wielu dyscyplin naukowych i co ważne jest potrzebna przemysłowi nie trzeba nikogo przekonywać.

Autor pracy aktywnie pracował w zespole Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej pod kierunkiem Prof. Dominika Samkowskiego, współpracował z Centrum Badawczym ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) z siedzibą w Grenoble, we Francji.

Rozprawa licząca 198 stron tekstu zasadniczego wraz z bogatą bibliografią, składa się z czterech części podzielonych na czternaście rozdziałów.

Część pierwsza stanowi wstęp zawierający cele, kontekst prowadzonych badań, motywację oraz tezę rozprawy.

W części drugiej czytelnik jest zapoznawany z aktualnym stanem wiedzy obejmującym przegląd zagadnień dotyczących synchrotronowej mikrotomografii

rentgenowskiej, a także budowy i zastosowaniu krystalicznych stopów tytanowych (rozdział 2), następnie (rozdział 3) z podstawowymi informacjami z szerokiej dziedziny jaką jest analiza i przetwarzania obrazów. Rozdział 4 prezentuje podstawowe informacje z zakresu selekcji cech, także wybrane miary dyskryminacji, jak również przykładowe algorytmy selekcji cech. Rozdział 5 zawiera podstawowe informacje na temat analizy obrazów teksturowanych m.in.: opis kilku wybranych metod służących do określania orientacji kierunkowej elementów tekstury.

W części trzeciej pracy przedstawiono rozważania teoretyczne dotyczące autorskiego algorytmu segmentacji obrazów teksturowanych oraz zaprezentowano stanowisko badawcze. Rozdział 6 zawiera opis autorskiej metody selekcji cech. Została ona wykorzystana, wraz z innymi, popularnymi metodami, do określenia ilościowej przydatności wybranych cech tekstury. Cechy tekstury w tym wypadku oznaczają zaproponowane przez Autora sposoby określania kierunkowości tekstury. Kolejne rozdziały zapoznają czytelnika z takimi algorytmami. Rozdział 7 omawia metodę referencyjną bazującą na gradiencie jasności oraz analizie głównych składowych, oraz metody wykorzystujące dekompozycję kierunkową Contourlet/Surfacelet. Rozdział 8 zawiera opis autorskiego banku filtrów CHGFB - ang. Complementary of HourGlass Filter Bank - bank komplementarnych filtów klepsydrowych. Rozdział 9 zawiera opis kompletnego algorytmu segmentacji tomograficznych obrazów stopów tytanu. Algorytm został podzielony na szereg bloków funkcjonalnych i tak został przedstawiony.

Część czwarta pracy obejmuje sposób oceny oraz rezultaty segmentacji obrazów stopów tytanowych. W rozdziale 10 czytelnik zostaje zapoznany z metodologią oceny rezultatów segmentacji. Rozdział 11 przedstawia wpływ niektórych parametrów algorytmu na jego pracę, a także wpływ szumu różnego rodzaju na rezultaty segmentacji. Dwa następne rozdziały przedstawiają uzyskane wyniki segmentacji: obrazów dwuwymiarowych (rozdział 12) oraz obrazów trójwymiarowych (rozdział 13). Rozdział 14 natomiast prezentuje szacunkową złożoność obliczeniową algorytmu oraz przykładowe czasy jego pracy.

W zakończeniu, w rozdziale zatytułowanym „Podsumowanie”, Autor podkreśla osiągnięcie celów rozprawy i udowodnienie sformułowanej tezy. Wskazuje także na potencjalne kierunki dalszych prac.

Zarówno cele jak i teza, są sformułowane jasno i nie budzą moich zastrzeżeń. Drobne uwagi formułuję w dalszej części mojej opinii.

W trzech pierwszych częściach zamieszczony został przegląd literatury światowej, aby można było ocenić poziom pracy na tle dokonań innych autorów. Potraktowanie rozważanych obrazów jako obrazy teksturowane stanowi innowacyjne podejście na skalę światową. Ogólna wiedza Autora rozprawy stoi na bardzo wysokim poziomie.

Cele, jakie postawił przed sobą Doktorant były bardzo ambitne, zostały osiągnięte a teza pracy została udowodniona.

Biorąc powyższe pod uwagę mogę stwierdzić, że tematyka pracy jest aktualna, a wybór tematu uważam za trafny.

2. Ogólna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Jopka jest napisana na wysokim poziomie merytorycznym. Tematyka podjęta w pracy wymagała od Autora dobrej znajomości między innymi: informatyki, przetwarzania i analizy obrazów teksturowanych, oraz zagadnień z dziedziny materiałoznawstwa. **Układ pracy uważam za prawidłowy i niewymagający żadnych zmian ani uzupełnień.**

Autor w rozprawie formułuje zagadnienie naukowe, jakim jest opracowanie, zaimplementowanie i gruntowne przetestowanie autorskich algorytmów segmentacji tekstur. Algorytmy zaproponowane przez Autora pozwalają na znaczne przyspieszenie obliczeń w porównaniu do dotychczas stosowanego algorytmu bazującego na gradiencie jasności, także dzięki możliwości wykorzystania przetwarzania równoległego. Lecz, co ważniejsze, zaproponowany algorytm pozwala uzyskać poprawne rezultaty segmentacji tomograficznych obrazów krystalicznych stopów tytanowych.

W szczególności docenić należy opracowanie autorskiego banku filtrów CHGFB. Skuteczne określanie orientacji kierunkowej skomplikowanych struktur obrazów teksturowanych, zwłaszcza w przypadku obrazów trójwymiarowych, jest zadaniem niezwykle trudnym, zazwyczaj wymagającym znacznych nakładów obliczeniowych. Zastosowanie CHGFB pozwala skutecznie określić orientację kierunkową skomplikowanych struktur tekstury w rozsądnym czasie, co **stanowi istotny wkład Autora** w potencjalny rozwój metod służących przetwarzaniu obrazów teksturowanych.

Opracowany algorytm otwiera możliwość szerszego zastosowania zaawansowanych metod analizy trójwymiarowych obrazów tomograficznych różnego typu materiałów, a także każdego innych rodzajów obrazów, które mogą być uznane za obrazy teksturowane np. obrazy medyczne. To, w ocenie recenzenta, może stanowić bazę do dalszych prac, m.in. nad zastosowaniem algorytmów przetwarzania obrazów w wielu dziedzinach nauki, gdzie istnieje potrzeba segmentacji lub rozpoznawania powtarzalnych struktur tekstury, w szczególności związanych z orientacją kierunkową tychże struktur.

Część trzecia i czwarta stanowią jądro pracy i udowadniają, że Autor samodzielnie rozwiązał postawione przed sobą zadania, oraz wykazują ogólną wiedzę teoretyczną Autora w **dyscyplinie naukowej Informatyka**. Warto zwrócić uwagę na ogrom pracy, wykonanej przez Doktoranta, w tym także opracowanie algorytmu selekcji cech wykorzystanego do ilościowej oceny zaproponowanych metod określania orientacji kierunkowej tekstury.

Autor opracowując przedstawione w pracy algorytmy, udowodnił możliwość przeprowadzenia poprawnej segmentacji skomplikowanych kompozycji tworzących strukturę krystalograficzną stopów tytanowych zawartych w obrazach trójwymiarowych. Obrazy o których mowa, charakteryzują się znacznymi rozmiarami, a zaproponowany algorytm pozwala osiągnąć poprawne wyniki segmentacji w rozsądnym czasie. Tym samym przyczyniając się do rozwoju

dziedziny jaką jest materiałoznawstwo, a zwłaszcza bezinwazyjnych metod badań materiałów przy wykorzystaniu tomografii rentgenowskiej.

W rozdziale „Wnioski końcowe” Doktorant w sposób przekonywujący podsumowuje uzyskane przez siebie wyniki, precyzyjnie wykazując wyższość opracowanych przez siebie algorytmów.

Warto zwrócić uwagę na bardzo staranne cytowanie literatury z której Autor korzystał w pracy. Świadczy to o jego rzetelności naukowej (np. na str. 30 odwołanie do pracy Kisiela z 2006 roku).

3. Uwagi i pytania natury ogólnej

Aby sprowokować dyskusję w trakcie obrony, mam kilka pytań do Doktoranta i jestem ciekaw jego odpowiedzi:

1. W rozprawie Autor oparł swoje rozważania dotyczące określania orientacji kierunkowej na podstawie bogatej literatury światowej. Dokładniej jednak zaprezentowano tylko kilka podejść do rozwiązania tego problemu. Z drugiej strony nie odniesiono się do możliwości wykorzystania wielu innych, potencjalnych rozwiązań. W związku z tym proszę o komentarz możliwości zastosowania innych metod określania orientacji kierunkowej tekstury obrazu. Problem jest o tyle ciekawy, że znanych jest wiele różnych sposobów badania tej właściwości tekstury.
2. W części trzeciej oraz czwartej rozprawy autor odwołuje się do publikacji, których jest pierwszym autorem lub współautorem, jednak w rozprawie nie przedstawiono szerszych wyników dotyczących tego zakresu prac, poza ogólnym wskazaniem pewnych dróg przyszłych badań w rozdziale „Podsumowanie”. Czy w związku z tym Autor może skomentować możliwość kontynuacji prac badawczych w tym kierunku?

4. Uwagi szczegółowe

Autorowi nie zawsze udało się uniknąć pewnych edytorskich niedociągnięć jak na przykład na str. 31 na samym dole mamy samotny tytuł podrozdziału, którego treść znajduje się na stronie następnej.

Na str. 31 po raz pierwszy jest odwołanie do rys. 2.3 a dopiero na str. 32 jest odwołanie do rysunku wcześniejszego 2.2. Zręczniej byłoby zachować kolejność odwołań. Przy tak obszernej pracy, jaką zaprezentował Autor, nie sposób jest uniknąć pewnych niedociągnięć.

W pracy można natknąć się na drobne potknięcia stylistyczne, na które zwracam uwagę z obowiązku, aby nie pojawiały się w przyszłych pracach Autora (np. str. 114 „.....Współczynnik SSIM - podobieństwo strukturalne (ang. Structural Similarity) jest szeroko stosowaną miarą podobieństwa strukturalnego obrazu...”).

W wykazie ważniejszych oznaczeń nie ma jednostek wielkości fizycznych, a nie wszystkie z nich są dostatecznie popularne. Umieszczenie jednostek wielkości fizycznych zapewne ułatwiłoby czytelnikowi lekturę.

Praca, jak już wspomniałem, napisana jest wyjątkowo starannie, co spowodowało, że liczba szczegółowych uwag jest niewielka.

1. Str. 11. Jest: „ Δn - w 3D -Laplace'a z części rzeczywistej współczynnika załamania światła”. Ja nie rozumiem tego opisu!
2. Str. 31. Moim zdaniem można byłoby unikać stosowania niektórych skrótów tak jak w tym przypadku: „...podczerwieni do tzn. twardego promieniowania rentgenowskiego.”
3. Str. 32. Literówki: „...wykorzystuję się..” i kolejna „...może ulec wzmocnieniu...”. Na tej samej stronie wzór (2.1) posiada niekonsekwentny opis wielkości w nim występujących i brakuje jednostek miary. Na przykład $o(x, y, z)$ - intensywność wokseli po rekonstrukcji w punkcie x, y, z nie jest opisana a Δn jest opisana mimo, że obie występują w spisie tablic na str. 14. Dlaczego w spisie tablic?
4. Str. 58. Jest: „ ... będzie macierzą o N wierszach i M kolumnach, będącą cyfrową reprezentacją obrazu....”. Wzory (5.8) do (5.10) wymagają doprecyzowania, bo jak wiadomo można różniczkować jedynie macierze, których elementy są funkcjami. Czy tak jest w tym przypadku? Ponadto w równaniach (5.9) i (5.10) pochodna równa się ilorazowi różnicowemu w granicy, zatem powinna być równość w przybliżeniu, tak jak jest to we wzorze (5.11) na tej samej stronie.
Ponadto wzór (5.8) dotyczy gradientu czyli operatora, który jest wektorem. Mam wątpliwości co do tego zapisu. Dlaczego moduł gradientu (czyli wektora) jest liczony w sposób niezgodny z definicją modułu wektora (patrz wzór (5.11))?
5. Str. 110. Na Rys. 9.9 przedstawiającym histogram brak opisu osi.
6. Str. 114. Jest: $(O(n \log n))$. Moim zdaniem, funkcje elementarne piszemy antykwą zatem bardziej czytelny przekaz powinien mieć kształt: $(O(n \log n))$. Ten sam problem jest na stronach od 174 do 177.
7. Str. 118. Jest: „... za pomocą 4 lub 8 połączeniowości (*ang.* 4-, 8-*connectivity*) ... „. Wydaje się to być niezbyt poprawnym tłumaczeniem.
8. Str. 128. We wzorze (10.1) funkcja logarytm jest napisana kursywą a powinna być antykwą. To samo dotyczy wzoru (10.2).
9. Str. 138. Ostatni wiersz z rys. 11.2 wydaje się być błędnym.

Zamieszczone powyżej uwagi szczegółowe mają jedynie charakter porządkowy i nie mają wpływu na bardzo wysoką ocenę merytoryczną pracy. Treść rozprawy odpowiada tematowi określonemu w tytule, następstwo rozdziałów jest właściwe. Strona redakcyjna rozprawy jest na wysokim poziomie, a rozprawa napisana jest poprawną polszczyzną.

5. Podsumowanie

Opiniowana rozprawa, w moim przekonaniu spełnia z **nadmiarem** wymagania określone w ustawie. Praca stanowi samodzielne rozwiązanie bardzo ciekawego, ale zarazem niezwykle trudnego zadania naukowego. Autor rozprawy wykazał się bardzo dobrą znajomością tematyki podjętej w rozprawie.

W świetle przepisów Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dziennik Ustaw Nr 65, Poz. 595, Art. 13, p. 1) stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgr inż. Łukasza Jopka** pt.: „**Algorytmy segmentacji rentgenowskich obrazów mikrotomograficznych stopów tytanu**” spełnia wymagania i stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej dyskusji i obrony.

