

prof. dr hab. Mariusz Nieniewski
ul. Zamiany 11, m. 35
02-786 Warszawa

21 kwietnia 2012 r.

**Recenzja pracy doktorskiej mgra Bartosza Zielińskiego
"Techniki wykrywania wybranych objawów chorób reumatycznych na
podstawie zdjęć rentgenowskich rąk"**

Recenzowana praca dotyczy systemu CAD (Computer-Aided Diagnosis) do diagnozowania chorób reumatycznych rąk. Praca ta jest napisana na 110 stronach i ma 5 rozdziałów. Na końcu pracy znajduje się bibliografia oraz dodatek – Opis działania programu do wykrywania objawów chorób reumatycznych. Tekst pracy został mi dostarczony na piśmie oraz w wersji elektronicznej.

Omawiana praca zawiera następujące rozdziały:

- 1) Wstęp zawierający m.in. podrozdział dotyczący tezy rozprawy.
- 2) Wybrane wiadomości na temat diagnostyki reumatoidalnej.
- 3) Algorytm wykrywania wybranych objawów chorób reumatycznych: wyznaczanie obrysów i lokalizacji stawów, wyznaczanie obrysów powierzchni stawowych, wykrywanie nadżerek i osteofitów.
- 4) Wyniki badań.
- 5) Podsumowanie.

Recenzja merytoryczna rozprawy

Jak podaje Doktorant na str. 8, celem rozprawy jest zaprojektowanie, implementacja i weryfikacja komputerowego systemu wspomagającego pracę radiologa w zakresie obrazowej diagnostyki medycznej, a w szczególności wykrywania i rozpoznawania chorób reumatycznych na podstawie analizy zdjęć rentgenowskich rąk, najczęściej wykorzystywanej w diagnostyce reumatoidalnej do wstępnej diagnozy, monitorowania postępów choroby i leczenia.

Nasuwa się tu następująca uwaga. Jak pisze Autor, podstawowym problemem w diagnostyce reumatoidalnej jest odróżnienie choroby zapalnej od choroby niezapalnej. Zagadnienie to powraca w pracy w kilku miejscach. Np. w rozdziale poświęconym wynikom badań wyniki dla choroby zapalnej i niezapalnej są zgrupowane osobno. Jednak nie zdołałem stwierdzić, czy i w jakim stopniu opracowany system CAD rozróżnia te dwa rodzaje chorób. Należałoby zwrócić na to większą uwagę, gdyż z punktu widzenia pacjenta rozróżnienie to ma zasadnicze znaczenie.

Jak podano na str. 11 teza pracy brzmi następująco: *Możliwe jest zaprojektowanie i implementacja skutecznego komputerowego systemu wspomagania diagnostyki reumatoidalnej, wykrywającego wybrane objawy chorób reumatycznych na podstawie zdjęć rentgenowskich rąk.*

W dalszym ciągu, na str. 12-13 Doktorant stwierdza, że wkład naukowy niniejszej rozprawy stanowi zaprojektowany, zaimplementowany i zweryfikowany skuteczny algorytm wykrywania wybranych objawów chorób reumatycznych na podstawie zdjęć rentgenowskich rąk, opisany w rozdziale 3, w ramach którego zdefiniowano między innymi język opisu kształtów, bazujący na językach Jakubowskiego i Shawa (podrozdział 3.3.2 – strony 71-77). Ponieważ w dotychczas opublikowanych pracach w zakresie diagnostyki reumatoidalnej, obrysy powierzchni stawowych wykorzystywano jedynie do wykrywania szpar stawowych, przedstawione w niniejszej rozprawie ich zastosowanie do wykrywania innych objawów chorobowych ma charakter nowatorski.

Przytoczona wyżej teza pracy nie jest zbyt przekonująca, ponieważ w literaturze nie brakuje opisów systemów CAD dla chorób reumatycznych. Znacznie silniejsza byłaby teza brzmiąca np.: nowa metoda diagnozowania chorób reumatycznych daje poprawę wyników diagnozy w takim a takim stopniu, i tu powinny być zamieszczone liczbowe wyniki porównania z tym, co występuje w literaturze. Biorąc np. artykuły:

- Langs G, et al., Automatic Quantification of Joint Space Narrowing and Erosions in Rheumatoid Arthritis, IEEE Trans. on Medical Imaging, vol. 28, p. 151-164, 2009
- Peloschek P, et al., An Automatic Model-based System for Joint Space Measurements on Hand Radiographs: Initial Experience, Radiology, vol. 245, No 3, p. 855-862, 2007
- Wick M, et al., The 'X-Ray RheumaCoach' Software: a Novel Tool for Enhancing the Efficacy and Accelerating Radiological Quantification in Rheumatoid Arthritis, Annals of the Rheumatic Diseases, vol 62, p. 579-582, 2003

można było pokusić się o takie porównanie. Oczywiście, porównanie wyników otrzymanych na różnych zestawach zdjęć nie jest proste i często potrzebna jest reimplementacja znanej z literatury metody w celu udowodnienia, że na tym samym materiale uzyskujemy lepsze wyniki. Takie badania porównawcze są normalną praktyką przy ocenie różnych metod diagnozowania chorób.

Większe wątpliwości budzi metodyka przedstawiania wyników przez Doktoranta. Normalną praktyką jest przedstawianie wyników za pomocą krzywych FROC (Free Receiver Operating Characteristic) w sytuacji gdy prowadzimy detekcję przypadków chorobowych. W tej sytuacji dla danego TP (True Positive) znajdujemy liczbę FPI (False Positive per image). Mogłoby to dotyczyć np. erozji (nadżerek). Natomiast w sytuacji klasyfikacji choroba - brak choroby posługujemy się krzywą ROC (Receiver Operating Characteristic). Mogłoby to dotyczyć klasyfikacji pikseli konturu kości. W wymienionym wyżej artykule Langsa, Peloschka i innych podane są krzywe ROC dla przypadku erozji. Najważniejszą zaletą krzywych ROC i FROC jest to, że umożliwiają one ocenę działania systemu diagnostycznego oraz wybór właściwego punktu pracy, tj. optymalnych wartości TP i FP. Punkt ten może być dobierany w zależności od zastosowań. W omawianej pracy doktorskiej wyniki podano dla pojedynczego punktu, który nie świadczy zresztą o jakichś bardzo dobrych wynikach. Nie znalazłem również w opisie algorytmu metody, w jaki sposób można zmieniać ten punkt pracy. Zwykle zmianę taką otrzymuje się przez zmianę jednego parametru, np. progu w procedurze progowania. Zastąpienie rozważań charakterystyk ROC (FROC) rozważaniem pojedynczego punktu cofa nas w badaniach wiele lat wstecz. Zagadnienie charakterystyk FROC i ROC jest tak obszernie rozpracowane na potrzeby oceny systemów diagnostycznych, że w tym miejscu można jedynie zasygnalizować jego nieuwzględnienie w rozważaniach Doktoranta.

Nowatorskie wg Doktoranta zastosowanie języka opisu kształtów zaproponowanego przez Jakubowskiego do obrazów medycznych ma blaski i cienie. Język Jakubowskiego pochodzi z lat 1980-ych, tzn. jest dość dawny. Najważniejszą jego cechą jest to, że kształt jest opisany w silnej zależności od układu współrzędnych. W pierwotnym zastosowaniu tego języka chodziło o zwięzłe przedstawienie kształtów występujących w projektowaniu detali mechanicznych. Detale takie projektuje się w odniesieniu do założonego układu współrzędnych, więc opis ten jest wtedy szczególnie dogodny. Jednak klasa generowanych kształtów jest mocno ograniczona w porównaniu z kształtami występującymi w naturze. W związku z tym opis uzależniony od układu współrzędnych nie wydaje się najlepszy. Np. rozpatrywanie promienia krzywizny konturu dałoby opis niezależny od układu współrzędnych. Już odwołanie się do artykułu:

- Ledley R, High Speed Automatic Analysis of Biomedical Pictures, Science, vol. 146, No 3641, p. 216-223, 1964

oraz książki:

- Tou J T, Gonzalez R C, Pattern Recognition Principles, Addison-Wesley, 1974

w których rozpatrywana jest syntaktyczna klasyfikacja chromozomów byłoby bliższe omawianej sytuacji. Oczywiście trudno z góry bez badań komputerowych przesądzać o zaletach różnych metod opisu kształtu, ale mając do wyboru kilka dość zbliżonych metod Autor mógł wyjaśnić, co zdecydowało o wyborze opisu Jakubowskiego i odrzuceniu innych metod opisu. Oczywiście, jeśli opis Jakubowskiego daje w opisywanym przypadku zadowalające wyniki, to nie ma powodu by koniecznie go zastępować czymś innym.

Uwagi szczegółowe

Przechodząc do krytycznej oceny pracy mogę wymienić następujące uwagi i komentarze. Uwagi te nie wskazują na błędy w pracy, bo takich nie zauważyłem, ale raczej pewne niedoróbki, które bywają dość dokuczliwe.

Rozdział 2 zawierający ogólne wiadomości na temat diagnostyki reumatoidalnej jest sam w sobie ładnie napisany i czyta się go lekko. Wątpliwości budzi natomiast brak odwołania do niepomijalnej literatury przedmiotu, np. książki:

- Gulgielmi G, et al., High-Resolution Radiographs of the Hand, Springer, 2009

Biorąc pod uwagę, że jest to duży atlas medyczny zawierający ponad 200 zdjęć, odniesienie się do niego pozwoliłoby na dokładne sprecyzowanie i zilustrowanie jakiej klasy zdjęć dotyczy recenzowana praca doktorska. Jasne jest, że wiele zdjęć z książki Gulgielmi nie nadaje się do zaproponowanej przez Doktoranta analizy chociażby ze względu na rozległość zmian. Są jednak zdjęcia, które takiej analizie się poddają. Powstaje pytanie, kto będzie klasyfikował zdjęcia do analizy, a ponadto co omawiany system CAD robi z nieodpowiednimi zdjęciami. W zasadzie nie było przeszkód, żeby Doktorant zamieścił na DVD bazę analizowanych przez siebie zdjęć. Nadałoby to pracy o wiele bardziej konkretny charakter i pozwoliło następcom porównanie wyników.

Brak jest również odniesienia do następującej pracy doktorskiej, która w oczywisty sposób powinna stanowić punkt odniesienia w rozważaniach Autora :

- Kauffman J A, Automated Radiographic Assessment of Hands in Rheumatoid Arthritis, PhD thesis, University of Twente, Enschede, 2009

Bardzo celowe byłoby porównanie rozprawy Doktoranta z powyższą pracą dokorską i wykazanie, jaki postęp w dziedzinę wspomaganie diagnozowania chorób reumatycznych wniosła recenzowana tu praca. W istocie rzeczy praca Kauffmana zawiera odpowiedź na niektóre pytania nasuwające się w związku z omawianą pracą, np. jaki jest wpływ położenia ręki na uzyskiwane wyniki pomiaru. Doktorant nie przeprowadził też prób symulacji procesu akwizycji zdjęć, co jest przedmiotem pracy Kaufmanna.

Rozdziałem newralicznym w rozprawie jest rozdział 3 omawiający zaproponowany algorytm wykrywania wybranych objawów chorób reumatycznych. W związku z tym rozdziałem (i następnym) nasuwają się następujące uwagi. Autor wprowadza szereg symboli, oznaczeń i definicji. Z pewnością symbole i oznaczenia powinny być zebrane w osobnym wykazie umieszczonym np. na początku rozprawy. Niektóre skróty pochodzą z angielskiego, a inne z polskiego. W związku z tym objaśnienia powinny być podane w dwóch kolumnach: jednej po angielsku a drugiej po polsku. Przeciętny czytelnik nie jest w stanie zapamiętać, gdzie który symbol został objaśniony i traci wiele czasu na posługiwanie się opcją Search w wersji pdf, natomiast w wersji papierowej pracy jest jeszcze trudniej.

Również zamieszczenie ponad 20 definicji w bieżącym tekście jest bardzo nieszczęśliwe. W dodatku w pewnym momencie definicje te zostają wymieszane z objaśnieniem działania algorytmu. Normalnie tego rodzaju definicje są wyodrębnione z tekstu, który w ten sposób staje się bardziej spójny. Przemieszanie opisu algorytmu z objaśnieniami definicji powoduje, że czytelnik ma całkiem niejasny obraz, co jest na wejściu algorytmu, co jest na wyjściu, jakie są etapy pośrednie i jakie dają

wyniki. Zdecydowanie brak jest schematów obrazujących działanie algorytmu. W tym zakresie Doktorantowi pomogłoby sięgnięcie do pracy magisterskiej:

- Raheja A., Automated Analysis of Metacarpal Cortical Thickness on Serial Hand Radiographs, MSc thesis, Wright State University, 2008

która na str. 49 i dalszych zawiera rozdział pt. Flowchart dokładnie objaśniający, co algorytm robi. Praca ta ma trochę inny zakres, więc graf przepływu sygnałów nie da się z niej wprost przenieść, ale można było zrobić coś podobnego. Z niektórych wzmianek w pracy wynika np., że obraz wejściowy jest poddany binaryzacji. Sposób binaryzacji może wpływać na wyniki końcowe i wyraźnie brakuje tu opisu tego fragmentu algorytmu. Zakładając jednak, że już mamy obraz zbinaryzowany, to możemy z niego znaleźć zbiór punktów na konturze. Nasuwa się teraz pytanie, w jaki sposób wyodrębniamy z niego poszczególne łuki, które będą dalej analizowane.

Zgodnie z wypowiedzią Autora zasadnicza nowość w pracy występuje na stronach 71-77. W związku z tym należałoby się spodziewać wyczerpującego opisu tej części oprogramowania. Podane definicje 3.23-3.28 są zbyt skrótowe i brak jest odpowiednich ilustracji prymitywów. Jaka jest np. różnica między czerwonym $[60^\circ]$, zielonym -60° oraz czarnym 50° na rys. 3.39. Brakuje przykładu rzeczywistego konturu wyznaczonego przez wcześniejszy algorytm oraz opisu, w jaki sposób uzyskuje się z niego ciąg prymitywów, do którego następnie stosuje się algorytm wykrywania nadżerek wg rozdz. 3.3.2.

Twierdzenie Autora o braku literatury na temat wykrywania nadżerek nie wydaje się zupełnie ściśle. Wymieniony wyżej artykuł Langsa i inn. traktuje m.in. na ten temat. Podobnie artykuł:

- Langs, et al., Model-Based Erosion Spotting and Visualization in Rheumatoid Arthritis, Academic Radiology, vol 14, p. 1179-1188, 2007

też omawia to zagadnienie. Zgodnie z wymienionym na początku recenzji artykułem Peloschka nadżerki świadczą o zaawansowanym etapie choroby, i ich wykrywanie nie odnosi się już do etapu wczesnego. Wynika z tego, że to szczególne zagadnienie mogłoby być w pracy potraktowane dogłębniej, chociażby przez porównanie wyników własnych z wynikami wspomnianej literatury, natomiast obliczenia dotyczące szpar stawowych właściwie nie byłyby w pracy konieczne albo mogłyby być przerzucone do dodatku skoro nie daje się z nich wydobyć nowości.

Autor pracy traktującej o wykrywaniu objawów chorób reumatycznych powinien się też odnieść do literatury dotyczącej bieżącego stanu omawianej dziedziny oraz przewidywanej przyszłości, np. wg:

- Peloschek, Boesenc, et al., Assessment of Rheumatic Diseases with Computational Radiology: Current Status and Future Potential, European Journal of Radiology, vol. 71, p. 211-216, 2009

Autor nie podaje czasu działania algorytmów. Biorąc pod uwagę rozbudowane obliczenia można zgadywać, że czasy te są dość istotne i pytanie, czy wyniki te będą dostępne w czasie wizyty pacjenta u lekarza. Brak jest też bliższego opisu scenariusza zastosowania zaprojektowanego systemu w gabinecie lekarskim. Jakie czynności pomocnicze będzie wykonywał lekarz i co dostanie od systemu. Jak ma użyć te wyniki?

Zwraca uwagę brak softwaru w wersji źródłowej załączonego do rozprawy. Kod ten pozwoliłby rozproszyć przynajmniej część wątpliwości odnoszących się do szczegółów wykonanej pracy. Ponadto brak kodu źródłowego nadaje pracy bardziej charakter materiałów promocyjnych niż dysertacji naukowej. Załączone zbiory tekstowe na CD ROMie zawierają jakieś liczby, których znaczenie nie jest objaśnione. W sumie załączony CD ROM wymagałby uzupełnienia.

Reasumując można stwierdzić, że recenzowana praca stanowi dość zamknięty w sobie kompletny projekt typu inżynierskiego, natomiast mało jest w niej porównań wykazujących nowatorstwo i wyższość omawianej pracy w stosunku do bieżącej literatury.

Ocena ogólna rozprawy

Najważniejsze elementy przemawiające za pozytywną oceną rozprawy są następujące:

- 1) Uzyskane wyniki pracy doktorskiej Doktorant przedstawił na konferencjach oraz w artykułach opublikowanych w renomowanych pismach. Publikacje te są indywidualnym osiągnięciem Autora bądź występuje On jako jeden z niewielu współautorów.
- 2) Doktorant kontynuował badania w dziedzinie komputerowej analizy zdjęć rentgenowskich rąk przedstawiając nowsze wyniki w kilku artykułach, w których występuje jako współautor w większej grupie współautorów. W rzeczywistości publikacji tych jest aż w nadmiarze, co spowodowało pewną dekoncentrację zainteresowań Autora.
- 3) Autor wykonał niewątpliwie dużą pracę projektując jednoosobowo kompletny system diagnostyczny CAD do detekcji wybranych objawów chorób reumatycznych na podstawie zdjęć rentgenowskich rąk. Należy zaznaczyć, że taki zakres projektu nie pokrywa się dokładnie z klasycznym postulatem przedstawienia nowości w pracy doktorskiej, ale z kolei zwiększa szanse na praktyczne zastosowanie wyników.
- 4) Recenzowana rozprawa z pewnością mieści się w grupie pozytywnie ocenianych prac w Polsce i trzeba do niej stosować takie właśnie kryteria.

Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska i dorobek naukowy mgra Bartosza Zielińskiego reprezentują poziom naukowy potwierdzony czterema artykułami oraz udziałem w konferencji. Publikacje te odnoszą się do przetwarzania i analizy obrazów biomedycznych i zostały opracowane przez Doktoranta samodzielnie, a w jednym przypadku we współpracy z innymi osobami. Uwzględniając prace zbiorowe, w których Doktorant brał udział liczba publikacji wzrasta do 10. Ponad połowa tych publikacji została opublikowana w wydawnictwie Springer Verlag.

Zarówno recenzowana rozprawa jak i ogólny dorobek naukowy Doktoranta całkowicie spełniają wymagania Ustawy o stopniach i tytułach naukowych, wobec czego wnioskuję o dopuszczenie tej rozprawy do publicznej obrony.