

14 kwietnia 2012

dr hab. inż. Leszek J Chmielewski, prof. SGGW
Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej

autor rozprawy:

mgr Bartosz Zieliński

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

tytuł rozprawy:

Techniki wykrywania wybranych objawów chorób reumatycznych na podstawie zdjęć rentgenowskich rąk

Recenzja została przygotowana na zlecenie Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, wykonującego uchwałę Rady Naukowej tegoż Instytutu w związku z przewodem doktorskim Pana mgra Bartosza Zielińskiego. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Marek Skomorowski, prof. Uniwersytetu Jagiellońskiego. Praca naukowa będąca podstawą rozprawy została przeprowadzona w ramach Środowiskowych Studiów Doktoranckich prowadzonych przez IPPT PAN oraz Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

1 Zawartość rozprawy

Omówienie ogólne Rozprawa zawiera streszczenie, pięć rozdziałów, bibliografię oraz dodatek: opis działania oprogramowania.

W rozdziale pierwszym przedstawiono stan wiedzy w zakresie komputerowego wspomaganie diagnostyki chorób reumatoidalnych dłoni, motywację prac, tezę rozprawy i opis oryginalnego wkładu naukowego rozprawy.

W rozdziale drugim podano wybrane wiadomości na temat diagnostyki reumatoidalnej, w tym anatomii prawidłowej i tych patologii, których diagnostyka jest przedmiotem pracy.

W rozdziale trzecim przedstawiono dokładny opis algorytmów, będących zasadniczą częścią badawczej części rozprawy.

W czwartym rozdziale opisano wyniki badań. Należy tu opis materiału badawczego i weryfikacji wyników wyznaczania kolejnych elementów badanych obrazów. W zakres opisu wchodzi prezentacja metodyki ustalania wartości parametrów zaproponowanych metod.

Piąty rozdział zawiera podsumowanie badań. Zawiera ono przede wszystkim stwierdzenie wykazania tezy pracy. Poza tym, między innymi, opisano przyczyny trudności napotkanych w badaniach, zwięźliły opis wyników wraz z podsumowaniem oryginalnego wkładu Autora do omawianej dziedziny i propozycje dalszych badań.

Teza pracy Wczesne wykrycie zmian chorobowych w kościach ma znaczny wpływ na wyniki leczenia, zaś procedura analizy zdjęć rentgenowskich rąk jest żmudna i czasochłonna. Wsparcie

analizy przez system komputerowy ułatwiłoby i usprawniło pracę radiologa. Wynika stąd teza pracy: **Możliwe jest zaprojektowanie i implementacja skutecznego komputerowego systemu wspomaganie diagnostyki reumatoidalnej, wykrywającego wybrane objawy chorób reumatycznych na podstawie zdjęć rentgenowskich rąk.**

2 Omówienie treści i wyników rozprawy

2.1 Uwagi pozytywne

Stan wiedzy Opis stanu wiedzy jest wystarczający. Autor wprowadził czytelnika w anatomie prawidłową tych części dłoni, które są istotne z punktu widzenia schorzeń reumatoidalnych, a na tej podstawie omówił przedmiotowe objawy choroby zwyrodnieniowej i reumatoidalnego zapalenia stawów. Są to: zwężenie szpary stawowej, nadżerka brzeżna, nadżerka centralna i osteofit. Analiza obrazów rentgenowskich polega więc na poszukiwaniu tych objawów.

Z przedstawionej, bardzo skrótovej analizy literatury wynika, że dotychczas budowane systemy wspomagające diagnozę radiologiczną nie obsługiwały poszukiwania nadżerek i osteofitów, a jedynie służyły do pomiarów szerokości szpary stawowej. Tu Autor znajduje lukę w stanie wiedzy, którą będzie wypełniał przez swoje badania.

Nowe metody i elementy oryginalne Jako podstawę do dalszych analiz Autor przyjmuje wykryte krawędzie kości. Rozpoczyna od detekcji punktów znajdujących się wewnątrz kości pięciu palców. Kontury palców znajduje śledząc je z wykorzystaniem kołowego obszaru znajdującego się częściowo wewnątrz, częściowo na zewnątrz kości. Znajdowanie konturów kości w obszarach stawów jest najtrudniejsze z powodu niewielkiej szerokości szpary stawowej względem rozmiaru piksla oraz małego kontrastu obrazu w tych obszarach. Tu Autor stosuje ciekawą metodę badania serii liniowych przekrojów w przybliżeniu prostopadłych do szpary. Metoda ta jest dostosowana wyłącznie do rozpatrywanego zadania. Krawędzie są następnie korygowane i jednocześnie wygładzane, między innymi metodą aktywnych konturów. Jednak, drobne elementy kształtu są zachowywane, gdyż głównym wyzwaniem jest detekcja tak niewielkich obiektów, jak nadżerki i osteofity.

Zaproponowano dwie metody detekcji tych obiektów. W pierwszej wykorzystuje się wzrost średniokwadratowej odchyłki krawędzi kości od linii prostej – Autor nazywa to metodą wariacyjną. W drugiej Autor stosuje syntaktyczny zapis krawędzi, wykorzystując stworzony w tym celu język, a następnie interpretuje elementy krawędzi jako należące lub nie do nadżerek lub osteofitów dokonując analizy zapisu krawędzi za pomocą automatu skończonego. Biorąc pod uwagę, że nie są znane publikacje na temat takiej analizy, należy to uznać za oryginalne osiągnięcie Autora.

Weryfikacja: Obrazy testowe Weryfikacja na podstawie trzech zbiorów po 20 par obrazów: osób zdrowych, chorujących na choroby zwyrodnieniowe i zapalne może być podważana, jako oparta na niewielkim zbiorze przypadków. Znając trudności, z jakimi spotyka się badacz, szczególnie młody, spotykając się ze środowiskiem medycznym, muszę jednak stwierdzić, że zdołał on zebrać stosunkowo dużo danych testowych. Uzyskane wyniki można więc uznać za wystarczające na wstępnym, pilotowym etapie badań.

Styl opisu metod Za pozytywną cechę rozprawy należy uznać dążenie do opisanie wszystkich wprowadzanych metod w sposób ścisły. W tym celu Autor opracował system oznaczeń i definicji. W ostatecznym rozrachunku uważam także za korzystne rozdzielanie opisu metod od

opisu sposobów, w jakie znajdowano odpowiednie wartości współczynników. Nieco utrudnia to czytanie, ale pozwala na oddzielenie ogólnego opisu metod od opisu szczegółów ich implementacji.

Publikacje Autora Za zaletę pracy uważam to, że Autor powołał się na osiem prac z własnym udziałem w zakresie omawianej tematyki, w tym jedna we współautorstwie w wysoko punktowanym czasopiśmie, dwie własne w dobrym piśmie wydawanym w Polsce i pozostałe w bardzo dobrych, recenzowanych wydawnictwach konferencyjnych o zasięgu światowym.

Wniosek Podsumowując, w rozprawie można wyróżnić znaczące elementy oryginalne. W szczególności, jest to metodyka detekcji nadżerek i osteofitów. Spośród dwóch metod jako bardziej elastyczną, a więc bardziej rozwojową, wymieniłbym metodę syntaktyczną.

Opisywane metody zostały opublikowane i zaprezentowane na konferencjach, zostały więc zweryfikowane przez środowisko.

2.2 Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Należy wymienić kilka uwag, które w większości mają charakter bardziej dyskusyjny niż krytyczny i nie podważają mojej pozytywnej opinii o pracy, którą podaję w podsumowaniu. Mogą one stanowić punkt wyjścia do dyskusji podczas publicznej obrony pracy.

Uwaga czysto dyskusyjna

- W literaturze można znaleźć porównania wyników diagnozy chorób reumatoidalnych nie tylko na podstawie obrazów dłoni, ale także stóp i innych lokalizacji, oraz porównania diagnoz na podstawie obrazów tomograficznych, rezonansu magnetycznego, ultradźwiękowych i rentgenowskich [1, 2]. Komentarz na temat takich porównań mógłby być ciekawy.

Uwagi merytoryczne Uwagi zostaną podane w kolejności pojawienia się w tekście powodów do ich zgłoszenia, ale częściowo także w kolejności ich istotności.

1. Znajdowanie krawędzi zewnętrznych odbywa się z wykorzystaniem progowania. Jest ono dynamiczne. Jednak, do znajdowania progu stosuje się metodę Otsu [3], która działa dobrze przy założeniu, że rozkłady jasności w dwóch modach histogramu mają to samo odchylenie standardowe. Lepsze rezultaty daje metoda Kittlera-Illingwortha [4], gdzie takiego założenia nie ma. Obie metody są już zresztą historyczne i doczekały się wielu usprawnień, których zastosowanie należałoby rozważyć.

Istnieją liczne detektory krawędzi wykorzystujące inne cechy obrazu, głównie gradient, wśród których popularne są detektory Sobla, Canny'ego [5, 6, 7, 8] i Lindeberga [9].

Detekcja wykorzystująca kształt funkcji obrazu w dwuwymiarowych oknach z zasady powinna dawać stabilniejsze wyniki, niż wykorzystująca progowanie lub liniowe profile. Badanie liniowych profilów, stosowane w rozprawie w wielu miejscach, mogłoby być wsparte lub ustabilizowane przez badanie sekwencji profili, co odpowiadałoby w jakimś stopniu badaniu dwuwymiarowych masek.

2. **Rozdz. 3.3.2:** W segmentacji krawędzi metodą minimalnej wariancji małe przesunięcie punktu początkowego danego segmentu może znacznie zmienić wynik. Punkt końcowy jest ustalany w tym pikslu, w którym wariancja przekroczy próg. Punktem początkowym staje się

po prostu piksel następnym po punkcie końcowym. Jednak, proces dopasowywania odcinków prostych powinien być raczej zorganizowany jako globalna optymalizacja w zakresie jednego odcinka konturu, przy czym między segmentami mogłyby pozostawać niewielkie łańcuchy pikseli nieprzypisanych do segmentów, powiedzmy, składające się z najwyżej trzech pikseli. Oczywiście, taki proces byłby trudny do zaprojektowania i algorytm miałby złożoność znacznie przekraczającą $O(n^2)$. Dlatego rozumiem wolę Autora, aby unikać takich komplikacji, ale warto przynajmniej teoretycznie rozważyć podobne możliwości.

3. **Rys. 3.42, str. 76:** Czy przedstawiony tu automat jest w jakimś sensie optymalny? Czy są możliwości innej jego konstrukcji?
4. Weryfikując metodę Autor przyjmuje za wynik prawdziwie dodatni (lub prawdziwie pozytywny) obraz, w którym algorytm wykrył co najmniej połowę objawów chorobowych, a za fałszywie ujemny (lub fałszywie negatywny) obraz, w którym algorytm wykrył mniej, niż połowę objawów wykrytych przez radiologa. Moim zdaniem, po pierwsze, połowa to zbyt mało. Metoda, która dopuszcza połowę błędów jest całkiem bezużyteczna. Po drugie, czemu nie liczono pojedynczych objawów, zamiast całych zdjęć? Wtedy i definicja byłaby jasna, i pomiar dokładny.
5. Rozumiem, że niektóre parametry metod trzeba było jednoznacznie ustalić, i tak zrobiono. Jednak, ustalając parametry typu poziomu odcięcia (progu) można stosować metodę krzywych ROC (krzywe charakterystyczno-operacyjne odbiornika, *receiver operating characteristics*, np. [10, 11]). Metoda ta pozwala znaleźć taką wartość jednego wybranego parametru, przy którym uzyskuje się najlepszy możliwy punkt pracy metody ze względu na kompromis pomiędzy czułością a specyficznością.
Oceniając ogólnie uzyskane czułości i specyficzności metod omawianych w dysertacji należy stwierdzić, że są one niewystarczające, gdyby chodziło o zastosowanie medyczne. Niestety, nie wiemy, jakie parametry osiąga typowy radiolog po pięciu godzinach pracy. Na obronę doktoranta można jednak przytoczyć dwie okoliczności.
Po pierwsze, metoda składa się z dwóch etapów: detekcji krawędzi kości i detekcji nadżerek i osteofitów na niej. Etap pierwszy daje bardzo dobre dokładności, rzędu mniej, niż jednego milimetra. Etap drugi, zastosowany do krawędzi bardzo uważnie wskazanych przez radiologa, daje dość dobrą specyficzność i czułość rzędu 75% (str. 94). Wynika stąd, że każdy z algorytmów osobno ma akceptowalną jakość, co jest korzystne. Natomiast ich złożenie wymagałoby dopracowania. Być może moje sugestie podane powyżej byłyby w tym pomocne.
Po drugie, nawet metoda zbyt mało dokładna, aby mogła być zastosowana autonomicznie, może służyć jako wsparcie dla człowieka, o ile pomagałaby mu nie przeoczyć drobniejszych objawów. Dlatego można by tak dobrać parametry, aby osiągnąć większą czułość kosztem specyficzności. Gdyby wtedy liczba fałszywych detekcji nie była zbyt duża, metoda byłaby pomocna.
6. Definicje wprowadzone przez Autora wydają się niejednoznaczne, ponieważ zdarza się, że jedna funkcja ma różną liczbę argumentów (np. def. 3.15 i 3.16). Taki zapis można łatwo zrozumieć znając mechanizm przeciążania w językach programowania, ale nie jest on ścisły matematycznie.
7. **Rozdz. 3.1.1, początek:** Założenie, że zawsze istnieje linia pozioma przecinająca wszystkie pięć kości śródrečna jest zbyt mocne. Niewielki obrót dłoni może sprawić, że na danym obrazie

będzie ono zawsze fałszywe. Zastosowanie któregoś z algorytmów detekcji prostych odcinków brzegów kości mogłoby pomóc ustalić kierunek takiej linii, inny niż poziomy.

Uwagi redakcyjne Język pracy jest bardzo staranny, podobnie jak sposób złożenia tekstu i rozmieszczenie grafiki. Zauważyłem bardzo nieliczne potknięcia.

- **Rozdz. 3.3:** Nie istnieje ani *kąt do punktu*, ani *styczna do punktu*, ani *kąt stycznej*. Wymaga to przeredagowania.
- **Rys. 3.42, str. 76:** Niektóre strzałki krzyżują się w taki sposób, że nie wiadomo, który początek należy do którego końca, oraz na którym końcu znajduje się grot. Dotyczy to np. połączeń węzłów 3 i 11 oraz 4 i 12.
- **Str. 71:** Rysunki 3.38 a i b są identyczne.
- **Str. 80₃:** Nie ma wartości *najbardziej optymalnych* ani mniej optymalnych. Są tylko *optymalne* i *suboptymalne*.
- **Str. 83:** W opisie współczynnika TNR pomyłono słowa: zamieniono *prawdziwie* na *fałszywie*.

3 Podsumowanie

Powyższy opis, uwzględniający tak zalety pracy jak i uwagi dyskusyjne i krytyczne, uzasadnia moje ostateczne stwierdzenie, że recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zagadnienie zostało prawidłowo i rzetelnie przedstawione, a wywody zostały skutecznie i jasno przeprowadzone. Wykazuje to ogólną wiedzę teoretyczną kandydata i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Tym samym, rozprawa spełnia w wystarczającym stopniu wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Pozostałe dokumenty przedstawione przez Doktoranta nie budzą żadnych zastrzeżeń.

W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie doktoranta Pana mgra Bartosza Zielińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Bibliografia

- [1] E. Alasaarela, I. Suramo, O. Tervonen, S. Lähde, R. Takalo, and M. Hakala. Evaluation of humeral head erosions in rheumatoid arthritis: a comparison of ultrasonography, magnetic resonance imaging, computed tomography and plain radiography. *Rheumatology*, 37(11):1152–1156, 1998. doi:10.1093/rheumatology/37.11.1152.
- [2] D.M. Van Der Heijde, M.A. Van Leeuwen, P.L. Van Riel, and L.B. Van De Putte. Radiographic progression on radiographs of hands and feet during the first 3 years of rheumatoid arthritis measured according to Sharp’s method (van der Heijde modification). *The Journal of rheumatology*, 22(9):1792–1796, 1995. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8523365.

- [3] M. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybern.*, (1):62–66, 1979. doi:10.1109/TSMC.1979.4310076.
- [4] J. Kittler and J. Illingworth. Minimum error thresholding. *Pattern Recognition*, 19(1):41–47, 1986. doi:10.1016/0031-3203(86)90030-0.
- [5] J. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. PAMI*, 8(6):679–698, 1986. doi:10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- [6] M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki, and K. Bowyer. Comparison of edge detectors: A methodology and initial study. In *Proceedings of the 1996 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '96)*, CVPR '96, pages 143–, Washington, DC, USA, 1996. IEEE Computer Society. doi:10.1109/CVPR.1996.517066.
- [7] J.B.A. Maintz, P.A. van den Elsen, and M.A. Viergever. Evaluation of ridge seeking operators for multimodality medical image matching. *IEEE Trans. PAMI*, 18(4):353–365, 1996. doi:10.1109/34.491617.
- [8] D. Ziou and S. Tabbone. Edge detection techniques – An overview. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 8(4):537–559, 1998.
- [9] T. Lindeberg. Edge detection and ridge detection with automatic scale selection. *Int. J. Comput. Vision*, 30(2):117–156, 1998. doi:10.1023/A:1008097225773.
- [10] N.A. Obuchowski. Receiver operating characteristic curves and their use in radiology. *Radiology*, 229(1):3–8, 2003. doi:10.1148/radiol.2291010898.
- [11] L.B. Lusted. Signal detectability and medical decision-making. *Science*, 171:1217–1219, 1971.