



Politechnika Łódzka

Instytut Informatyki

Łódź, 12 grudnia 2022 roku

dr hab. inż. Adam Wojciechowski, prof. uczelni
Instytut Informatyki
Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej
Politechnika Łódzka
Al. Politechniki 8, 93-590 Łódź

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: **Algorytmy przetwarzania i porównywania cyfrowych obrazów RTG**

Autor rozprawy: **mgr inż. Jakub Romanowski**

Promotor rozprawy: **prof. dr hab. inż. Rafał Scherer**

Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrywane w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Pan mgr inż. Jakub Romanowski w ramach rozprawy doktorskiej poruszył problem przetwarzania i analizy obrazów RTG, który jest częścią szerszego oraz niezwykle ważnego obszaru badań, zwanego obrazowaniem medycznym. W szczególności poruszył aspekty metod oraz algorytmów analizy i porównywania cyfrowych zdjęć RTG kości. W tym kontekście Doktorant określił cel pracy obejmujący:

- sformułowanie iteracyjnej metody eliminacji tła, mającej na celu możliwie dokładne wyodrębnienie obszaru kości od obszaru tkanek miękkich. Dodatkowym założeniem jest wykorzystanie zaledwie jednego zdjęcia w procesie segmentacji kości;
- modyfikację metody detekcji krawędzi obszarów kostnych w oparciu o właściwości zdjęć RTG;
- opis obszaru kostnego (tzw. deskryptor kości) w oparciu o metody geometrycznego opisu ich kształtu, powierzchni i stosunku wielkości do obszaru zdjęcia.

Cele badań, postawione w rozprawie doktorskiej, zostały sformułowane w sposób jasny i zrozumiały. Podniesione problemy są ważne i aktualne oraz szeroko obecne w literaturze światowej. Tym samym same cele zostały ujęte prawidłowo, choć dość szeroko. Są ambitne oraz zgodne z aktualnymi wyzwaniami w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, ale określenie szczegółowych kontrybucji wymaga precyzyjnego osadzenia badań w aktualnym stanie wiedzy i doniesieniach bieżącej literatury światowej.

Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej i stanu zagadnień w przemyśle) świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Rozprawa doktorska została podzielona na 9 rozdziałów, z których pierwsze trzy dotyczyły wprowadzenia w zakres obrazowania medycznego technikami bazującymi na promieniowaniu rentgenowskim (RTG), środkowe trzy opisują autorskie algorytmy przetwarzania i analizy obrazów RTG, zaś ostatnie trzy obejmują wyniki badań oraz weryfikację opracowanych rozwiązań wraz z perspektywą dalszego rozwoju opracowanych metod.

Przegląd literatury sięga historycznych czasów, w których obrazowanie medyczne było wprowadzane i stopniowo rozwijane. Doktorant wprowadza czytelnika w przegląd różnych metod obrazowania

medycznego, krótko charakteryzując każdą z nich. Osobny rozdział poświęcony został obrazowaniu medycznemu z użyciem techniki RTG. Można w nim przeczytać o głównych problemach towarzyszących obrazowaniu RTG, w tym przede wszystkim o różnicach w obrazowaniu wynikających z różnorodności sprzętu do akwizycji oraz wpływowi czynnika ludzkiego. Doktorant wprowadza też podstawowy, choć ogólny, podział tkanek na miękkie i kostne, które determinują przedmiot badań – szkoda, że podział nie jest podparty kryteriami ilościowymi gęstości tkanek. Jednym z głównych celów pracy jest bowiem wyodrębnienie tkanek kostnych z obrazu. Jednocześnie, przywołana detekcja obszarów patologii kości, czy bliżej określone deficyty istniejących metod akwizycji, nie zostały wyraźnie sprecyzowane. Przegląd metod przetwarzania i porównywania obrazów RTG jest ciekawy, ale powierzchowny. Nie można też pominąć jego dyskusyjnej aktualności – najnowsza cytowana praca w przeglądzie pochodzi z 2016 roku.

Wśród cytowanych prac Doktorant koncentruje się na metodach wykrywania tkanek kostnych na podstawie analizy wyłącznie jednego obrazu RTG. Potencjał rozwoju Autor lokuje w grupie metod bazujących na wykrywaniu krawędzi. Szkoda, że nie przedyskutowano w tym zakresie metod referencyjnych, które stanowiłyby tło dla badań Doktoranta. Dyskusja na temat roli przestrzeni barw w przetwarzaniu obrazów RTG jest ciekawa, ale mało konkluzyjna. W kontekście wykrywania tkanek kostnych brakuje ewidentnie odniesienia do wiedzy dziedzinowej (biologiczno-medycznej), która skwantyfikowałaby dokładniej zakres poszukiwań.

Metody wykrywania kształtu w obrazach są przedstawione w sposób klarowny. Doktorant rozpoczął od klasycznych filtrów krawędziowych, ale szkoda, że nie przedstawił szerszego spektrum metod stosowanych w obrazowaniu medycznym. Analogicznie jest z przeglądem generowania punktów charakterystycznych (deskryptorów) obrazów, z których omówione były metody SIFT i SURF, ale trochę zabrakło nowszych rozwiązań (np. ORB, BRISK, inne). Nie wiadomo też, czy wspomniane deskryptory pojawiły się jako rozwiązania referencyjne czy jedynie jako inspiracja dla własnych rozwiązań?

Omówienie referencyjnych metod rozpoznawania i dopasowania kształtów, metod segmentacji obrazów, czy metod ekstrakcji obiektów jest dość ogólnikowe. Przedstawienie ogólnej taksonomii, czy demonstracja pojedynczych przykładów nie daje pełnego obrazu aktualnego stanu zagadnienia. Analogiczny niedosyt pozostawiają rozdziały poświęcone porównywaniu i przeszukiwaniu obrazów jak również opis metod semantycznego opisu i porównywania obrazów. Przegląd metod referencyjnych powinien być systematyzujący i budujący tło dla kontrybucji Autora. O ile pierwszy cel został chociaż częściowo zrealizowany to drugi jest mocno deficytowy.

Reasumując przegląd jest dobrze osadzony w dziedzinie problemu badań, ale trudno jest uznać go za aktualny, gdyż nie obejmuje pozycji literaturowych z ostatnich 6 lat. Trudno też nie ulec przekonaniu, że głębokie pokłady wiedzy eksperckiej (np. analityków obrazowania medycznego w zakresie zdjęć RTG), które można usystematyzować i które mogą stanowić punkt wyjścia do postawionego zadania naukowego, nie zostały przeanalizowane przez Doktoranta. Trudno doszukać się dyskusji takich elementów w przedłożonej rozprawie. Przykładowo, jak zwyczajowo kodowana jest gęstość tkanek kostnych w obrazach w skali szarości? Reprezentacja gęstości tkanek za pomocą odcieni szarości wymaga zwyczajowo tzw. „okienkowania”, gdyż zakres dyskretnych wartości gęstości tkanek przekracza 256. 16-bitowa głębia szarości wydaje się przemysłowym kompromisem, ale wyświetlenie danych wymaga wyboru zakresu wartości, przekształcenia obrazu lub jego kompresji. W przeglądzie stanu literatury trudno doszukać się też zestawienia ilościowego/jakościowego rozwiązań referencyjnych. Jest to o tyle zastanawiające, że problemy poruszane przez Doktoranta doczekały się wielu rozwiązań również stosowanych przemysłowo.

Ostatecznie, trudno oprzeć się wrażeniu, że wnioski z przeglądu literatury sformułowano w sposób nie do końca jasny i wskazujący na konkretne obszary wymagające doskonalenia. Na pewno przydałaby się istotna aktualizacja stanu zagadnienia w obszarze dyskusowanych problemów.

Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?

Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna. Obecnie funkcjonujące systemy medyczne rejestrujące obrazy RTG są stopniowo coraz lepiej ustandaryzowane, ale udział człowieka w procesie akwizycji, swego rodzaju unikalność każdego pacjenta, jak również różnorodność samej aparatury do rejestracji obrazów RTG powoduje szereg wyzwań w automatycznym przetwarzaniu i analizie obrazów. Próba stworzenia uniwersalnych i skutecznych algorytmów w tym zakresie jest zatem nieustannym wyzwaniem naukowców, w co doskonale wpisują się badania Pana magistra Jakuba Romanowskiego.

Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienie, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Wyzwania badawcze w dyskusowanym obszarze przetwarzania i analizy obrazów RTG zostały przedstawione w 4, 5 i 6 rozdziale rozprawy.

Pierwsze z dokonań obejmuje algorytm iteracyjnej ekstrakcji tła z pojedynczego obrazu RTG. Celem algorytmu jest możliwie najdokładniejsze wyeliminowanie z obrazu obszarów nie będących obszarami tkanki kostnej. Jest to algorytm poprzedzający właściwą segmentację tkanki kostnej na obrazie. Przedstawiony w rozdziale 4 algorytm usuwania tła jest ideowo ciekawy. Obejmuje uporządkowany ciąg kroków, ale słabo doprecyzowano wartości hiperparametrów algorytmu. Przykładowo nie doprecyzowano jak „zredukować wartość jasności pikseli”. Kolejne iteracje przeliczania obrazu bazowego, skutkujące wyborem obrazu najbardziej odpowiadającego oczekiwaniom, nie są zagadnieniem postawionym precyzyjnie. Stwierdzenia użyte na str. 40 i 41 mówiące, że „zastosowanie proponowanego podejścia daje znacznie lepsze rezultaty na etapie krawędziowania ...” nie zostało w przekonujący sposób uzasadnione. Powstaje też pytanie dlaczego na etapie wstępnego przetwarzania obrazu, przed etapem wyszukiwania krawędzi, obraz nie został skorygowany np. poprzez operację wyrównania histogramu? Na jakich zasadach odbywa się określenie „wartości chronionej” wskazanej jako kluczowy parametr wyszukiwania krawędzi tkanki kostnej? Jak stosuje się wartość chronioną do „obliczenia obrazu” (Rys. 4.3)? Jaka jest rzeczywście różnica obrazów przy zastosowaniu różnych wartości chronionych? Rysunek 4.2 nie obrazuje różnic w sposób łatwy do dostrzeżenia. Analogicznie, wyjaśnienia wymaga kolor maski różnicowej, który przedstawiony jest na różowo (rys. 4.3C), podczas gdy operujemy na jednokanałowych obrazach w skali szarości, a maska powstaje jako wartość bezwzględna różnic wartości pikseli. Jaki jest warunek stopu dla iteracyjnego algorytmu usuwania tła z obrazu RTG, skoro forma opisowa brzmi: „do momentu, w którym zostanie usunięta możliwie największa liczba pikseli reprezentujących tkanki miękkie”? Jak w sposób miarodajny ustalić liczbę iteracji, które powinny „powodować możliwie najlepszy balans obszarów kostnych i tkanek miękkich” (str. 43)? Rysunek 4.4 nie jest wystarczająco obrazowy w tej kwestii – różnica pomiędzy obrazami składowymi nie jest wyraźna. Schemat z rysunku 4.5 obejmuje komponenty, które powinny być określone ilościowo, np. bloki warunkowe, wyznaczenie wartości chronionej, blok maski, itp. Konkluzje w zakresie potencjalnych kierunków rozwoju algorytmów są ważne, ale można je odebrać jako wskazanie słabości obecnego rozwiązania. Przykładowo co Doktorant ma na myśli wskazując, że (domyślnie *obrazy RTG*) „należy przekształcić w taki sposób, aby zawsze osiągały proporcjonalnie wartości od 0 do 255”? Jak dokonać tego przekształcenia w sposób umożliwiający wykluczenie zaburzeń interpretacji zdjęcia? Jaki wpływ ma wiedza dziedzinowa na zawężenie przestrzeni poszukiwań dla wartości chronionej?

Drugim deklarowanym osiągnięciem Doktoranta była modyfikacja algorytmu detekcji krawędzi na cyfrowych obrazach RTG. Zadaniem algorytmu było „bardziej ogólne postrzeganie krawędzi”, które nie zostało precyzyjnie wyjaśnione i nie przedstawiono deficytów rozwiązań referencyjnych. Intencje Autora poznajemy zapoznając się z budową maski filtru (roz. 5.3.2). Pomysł na przetwarzanie obrazów cyfrowych jest zainspirowany literaturą. Nie bazuje jednak na poziomie pojedynczych pikseli obrazu, ale na sąsiadujących obszarach pikseli (analogicznie jak w tzw. filtrach Haara). Podobne podejście było stosowane w procesie budowania deskryptorów cech tj. SIFT, SURF. Do efektywnego obliczania średniej jasności obszaru przetwarzanego obrazu Doktorant stosuje technikę obliczania obrazu całkowego, co przyspiesza proces obliczeniowy. Zastosowanie koncepcji obszarowych filtrów nie było jednak szeroko stosowane w przypadku obrazów RTG, co stanowi główną kontrybucję Autora. Szkoda, że Doktorant nie zaproponował metody doboru maski oraz jej rozmiaru, która pozwoliłaby na skuteczne wykrywanie krawędzi obszarów kostnych na obrazie RTG. Analogicznie nie zostało doprecyzowane jak „dobierana jest manualnie wartość progowa” krawędzi (roz. 5.5). Podobnie zaproponowane kierunki rozwoju algorytmu pozostawiają szereg wątpliwości odnośnie jego bieżącego kształtu. Przykładowo dlaczego już na bieżącym etapie nie zastosowano operacji wyrównywania histogramu jasności obrazów, co zapewne zweryfikowałoby jedno z podejść do normalizacji obrazów? Podobne wątpliwości dotyczą zastosowania technik uczenia maszynowego. Bez odpowiedniej bazy referencyjnej (jak można wywnioskować z tekstu pracy takiej bazy obecnie nie ma) trudne jest uczenie modelu w sposób nadzorowany i trudny jest dobór wartości progowej filtrów.

Ostatnim komponentem zbioru osiągnięć jest algorytm opisu obszaru kostnego na cyfrowych obrazach RTG, chyba niesłusznie nazywany „docelowym”, głównie ze względu na znaczne możliwości jego dalszego rozwoju i dopracowania. Celem algorytmu jest stworzenie deskryptora opisującego obszar kostny obrazów RTG, pozwalającego na porównanie np. układu kości, ich typu, lub elementów charakterystycznych (np. protezy) i ewentualne wyszukiwanie podobieństw w dużych zbiorach danych obrazów RTG. Pierwszym etapem algorytmu jest wyznaczenie przybliżonego obszaru kości z zastosowaniem transformaty Hougha na wykrytych wcześniej zbiorach krawędzi. Chociaż Doktorant odwołuje się dalej również do zabiegu progowania/binaryzacji oraz zadania wyznaczania spójnego obszaru kości (tzw. *blob*) to niestety nie poznajemy szczegółów tych etapów.

Przykładowo użyte w rozdziale 6.3.1 sformułowanie iż „detekcja krawędzi daje zdecydowanie lepsze wyniki, niż przy użyciu powszechnie stosowanych metod wykrywania krawędzi” nie zostało poparte ani analizą literatury, ani ilościowymi zestawieniami. Podobnie zakomunikowane w rozdziale 6.3.2 progowanie i binaryzacja nie zostały odpowiednio skomentowane, gdyż dla obrazu, na którym wykryto fragmenty krawędzi nie za bardzo wiadomo jak miałyby przebiegać binaryzacja. Zasady wyznaczania tzw. *bloba* nie zostały sprecyzowane, a kwestia „określenia wartości progowej powierzchni uważanej za najbardziej trafną” (str. 65) jest zadaniem nieprecyzyjnym i nietrywialnym. Nawet samo wyznaczanie wierzchołków obrysu wypukłego nie jest precyzyjne. Należy bowiem założyć, że przykłady z rysunku 6.4 nie są reprezentatywne dla analizowanego problemu i wymagane są pewne kryteria ilościowe do formalnego sprecyzowania algorytmu. Dodatkowo trudno doszukać się na rysunku 6.4 „procesu wyznaczania obszarów opisujących kości”, na co wskazuje Autor rozprawy. Dopiero w sekcji 6.6 pojawia się sugestia, że obszary kostne opisywane są za pomocą wypukłych czworokątów, niestety bez podania dokładnego algorytmu ich budowania.

Przyjęty na podstawie otoczki wypukłej obszaru kostnego wektor cech został zaproponowany w sposób umiarkowanie przejrzysty, ale nie pozbawiony wątpliwości co do wyboru parametrów wektora cech. Przykładowo na ile odporne są ideowo cechy tj. wierzchołki czworokąta czy wielkość obszaru mierzona w pikselach na różne ułożenia kości w kadrze (zmiany orientacji) i różne odległości rejestratora od kończyny (zmiany skali)? Na ile reprezentatywny jest środek ciężkości, szczególnie

w przypadku wklęsłych obszarów kości (np. staw kolanowy w ujęciu bocznym)? Na ile ustandaryzowana jest procentowa wielkość obszarów zajętych przez tkanki kostne na obrazach RTG, aby można było doszukiwać się w tej cesze własności dyskryminatywnych? Czy metoda ma na celu budowę dyskryminatywnego deskryptora niezależnego od ujęcia – np. rzut boczny (rys. 7.16) i rzut od frontu (rys. 7.17) tego samego stawu? Jak wygląda nominalnie wektor cech? Jaki jest jego rozmiar (n)? Wprawdzie można to wnioskować z tabeli 7.3, ale początkowo Doktorant wskazuje jako prawdopodobne elementy wektora cech (deskryptora) wiele hiperparametrów obrysu, podczas gdy w rozdziale 6.6.4 uwaga zostaje skupiona na 8 punktach przecięcia półprostych wychodzących ze środka ciężkości obrysu z krawędziami tego obrysu. Tym samym opis wektora cech nie jest precyzyjny.

Weryfikacja zaproponowanych algorytmów została nominalnie przeprowadzona zarówno na autorskim zbiorze 550 obrazów RTG (zanonimizowane zdjęcia z Wojewódzkiego Szpitala Wielospecjalistycznego im. NMP w Częstochowie) oraz na publicznym zbiorze danych MURA-v1.1 udostępnionym przez Stanford ML Group, który powstał na potrzeby konkursu „Bone X-Ray Deep Learning Competition”. Sama metodologia nie została jednak bliżej sformalizowana. Miejskami, w kontekście metodologii, pojawiają się stwierdzenia, które wymagają doprecyzowania, np.: „problem badawczy podejmowany jest w taki sposób, aby wytyczyć możliwie najwięcej scenariuszy” lub „im więcej założeń wstępnych tym bardziej odporny algorytm powstanie w pierwszej jego wersji”. W jaki sposób metoda radzi sobie w sytuacji gdy „tło w postaci tkanek miękkich jest zbliżone, bądź tożsame z wartościami pikseli do tkanek kostnych”? Jak ideowo można wytłumaczyć „modyfikację określonych metod badawczych, pozwalających na osiągnięcie wystarczających rezultatów krawędziowania”? Jak wytłumaczyć sformułowanie „są to przypadki na tyle szczególne, że wymagały opracowania od podstaw algorytmów, które realizują te zagadnienia” skoro podjęta przez Doktoranta problematyka jest obecna na wspomnianym wcześniej konkursie „Bone X-Ray Deep Learning Competition” i doczekała się szeregu literaturowych rozwiązań?

Wartym odnotowania jest fakt stworzenia autorskiego środowiska narzędziowego, w którym zaimplementowano poszczególne algorytmy. Rezultaty zaprezentowane w sekcji 7.5 mają charakter empiryczny (np. empiryczny dobór wartości chronionej), ale brakuje badań porównawczych. W ocenie funkcjonowania algorytmów nie pomagają obrazy (np. 7.4, czy 7.5), które słabo różnią się od siebie w poszczególnych wariantach.

W świetle powyższych spostrzeżeń zaskakujące jest stwierdzenie „podsumowujące proces badań i ich wyników” (str. 80), gdyż w pracy nie zamieszczono scenariuszy eksperymentów, którym poddano same metody, nie podano hiperparametrów metod i nie odniesiono uzyskanych wyników do aktualnego stanu zagadnienia obecnego we współczesnej literaturze. W kontekście algorytmu krawędziowania cyfrowych obrazów RTG, nie wiadomo co przyjęto jako „standardową maskę krawędziowania” (str. 80) lub „metodę tradycyjną” (str. 84)? Jak na podstawie umieszczonych w Tabeli 7.1 parametrów ekstrakcji tła dla 6 przykładowych obrazów poddanych krawędziowaniu można wnioskować o „widocznej przewadze proponowanej metody” (str. 87)? Analogicznie jak dla parametrów wyznaczania połączeń elementów krawędzi (tab. 7.2) dla 6 przykładowych obrazów można wnioskować o jakości samego rozwiązania i jego porównaniu z rozwiązaniami referencyjnymi? Jaki jest cel przedstawiania wartości wektorów cech (tab. 7.3) skoro nie wiadomo na ile są to cechy dyskryminatywne? Jaki jest sens przeliczania wartości współczynników wektora cech na procenty (tab. 7.4) skoro zmiana ujęcia (przesunięcie boczne lub obrót) kończyny na obrazie zmienia wartości wektora cech, a nie zmienia samego obiektu? Co można wnioskować na podstawie „pięciu najbardziej trafnych rezultatów z puli 25-ciu zdjęć testowych” (str. 93)? Jak przedstawiają się wyniki dla całych zbiorów testowych, które wymienił Doktorant? Jak interpretować wyniki i jak uwzględnić wiarygodność wyników podanych w tabelach 7.5 i 7.6? W zakresie efektywności opracowanych rozwiązań, oprócz stwierdzenia, że

„metoda opracowana w rozprawie ma jeszcze jedną zaletę, którą jest czas obliczeń, kilkukrotnie niższy niż w przypadków tradycyjnych algorytmów krawędziowania” (str. 95) nie zamieszczono żadnych wyników potwierdzających stawianą tezę.

Reasumując, przedstawione algorytmy są ciekawe i mają duży potencjał, ale brakuje wielu istotnych szczegółów pozwalających na odtworzenie zaproponowanych rozwiązań. Brakuje również wiarygodnych testów opracowanych algorytmów lub powinny one zostać dokładniej opisane.

Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy doktorskiej leży w opracowaniu nowych, oryginalnych koncepcji przetwarzania i analizy obrazów RTG. W szczególności najważniejszymi, moim zdaniem, osiągnięciami są:

- założenia iteracyjnego algorytmu usuwania tła z pojedynczego obrazu RTG;
- założenia algorytmu wykrywania krawędzi obszaru kostnego na zdjęciach RTG i fundamenty integrowania cząstkowych fragmentów krawędzi w obszar określający tkankę kostną;
- założenia budowania deskryptora cech obszarów kostnych na obrazach RTG, które mają duży potencjał dyskryminatywny;

Wymienione osiągnięcia stanowią oryginalny wkład Doktoranta w rozwój Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, pomimo brakujących elementów opisu algorytmów i niejednokrotnie empirycznego doboru hiperparametrów. Wartością dodaną jest również autorskie środowisko narzędziowe, którego wartość zapewne by wzrosła gdyby hiperparametry algorytmów były lepiej udokumentowane i sprzężone z procedurą obsługi oprogramowania. Niekwestionowaną wartością byłoby zastosowanie środowiska do demonstracji kolejnych etapów przetwarzania obrazów RTG o bezsprzecznie (dostrzegalnych ilościowo i jakościowo) oczekiwanych zmianach. Przewagę względem stanu wiedzy reprezentowanego przez współczesną literaturę światową będzie można określić dopiero po wykonaniu (lub opisanu) odpowiednich eksperymentów i porównaniu efektywności opracowanych algorytmów z rozwiązaniami referencyjnymi.

Czy Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Przedstawione w pracy wyniki zostały uzyskane prawdopodobnie w zgodnym z prawidłami sztuki procesie eksperymentalnym, ale niestety opis metodologii badawczej oraz uzyskane wyniki można by opisać zapewne znacznie dokładniej. Uzyskane wyniki właściwie należy traktować jako zbiór parametrów algorytmów, ale trudno je zinterpretować jako ilościowe, czy jakościowe badania porównawcze względem aktualnego stanu zagadnienia. Zastanawia również fakt pominięcia w rozprawie wyników metod przetwarzania i analizy obrazów zdjęć RTG, które powstały przy okazji konkursu „*Bone X-Ray Deep Learning Competition*”. Tym samym zaprezentowane w rozprawie algorytmy można oceniać jedynie ogólnie pod względem ich innowacji koncepcyjnej, a nie udokumentowanej przewagi nad aktualnym stanem zagadnienia.

Sama praca została zredagowana starannie, zawiera odpowiednie spisy, odwołania i odsyłacze do literatury. Jednakże nie udało uniknąć się licznych błędów edytorskich i literowych, np.: „metody pomocniczy” (str. 16); „drugi rodzaj tkanej.” (str. 19); „prześwietleni płuc” (str. 19); „Możliwości są bardzo bardzo szeroki zakres” (str. 23); „jaka jest w nim zawarte” (str. 25); „przetwarzaniu i porównywania wizji” (str. 26); „w obu przypadku” (str. 33); „np. RGT” (str. 34); „całego obrazu” (str.

36); „która zaistniała” (str. 52); „metody porównani” (str. 60); „działania algorytmu” (str. 61); „rozbudowany o liczbę” (str. 67); inne.

Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa doktorska wprowadzając kolejne odstony algorytmów do przetwarzania obrazów RTG otwiera również szereg kwestii dyskusyjnych. Doktorant prześlizguje się nad niektórymi stwierdzeniami doprecyzowującymi opis algorytmów, podczas gdy dla czytelnika rozprawy, kwestie te nie muszą być zawsze oczywiste. Przykładowe kwestie, które mogłyby zostać rozszerzone, obejmują:

- Jak uwzględniono w procesie przetwarzania zdjęć wiedzę ekspercką (medyczno-biologiczną), która kwantyfikuje popularne zakresy gęstości tkanek kostnych i gęstości pozostałych tkanek? Jak wiedza ta przekłada się na kodowanie gęstości za pomocą odcieni szarości i późniejsze etapy przetwarzania obrazów?
- Jak mogą wyglądać miary dopasowania/różnic przetwarzanych obrazów i obrazów wzorcowych w postawionych w rozprawie zadaniach? Czy można je przedyskutować na przykładach, demonstrując zarówno kolejne etapy przetwarzania, obrazy różnicowe oraz miary ilościowe określające „odległość” od wzorca?
- Czy istnieją uniwersalne „kryteria stopu” opracowanych algorytmów: usuwania tła, wykrywania krawędzi, określania obszaru tkanki kostnej, które można by wykorzystać przy automatyzacji procesu przetwarzania obrazów RTG?
- Jak prezentują się wyniki statystyczne skuteczności segmentacji tkanki kostnej za pomocą opracowanych algorytmów na dostępnych zbiorach obrazów RTG wyrażone popularnymi miarami segmentacji/dopasowania? Jak wyniki te wypadają w zestawieniu z rozwiązaniami referencyjnymi?

Szczegółowe spostrzeżenia dotyczące aspektów dyskusyjnych zostały dokładniej opisane w części recenzji poświęconej opisowi poszczególnych rozwiązań.

Konkluzja

Uważam, że cele rozprawy doktorskiej zostały zrealizowane, chociaż praca właściwie otwiera dyskusję nad przedmiotem badań, a nie ją zamyka. Autor przedstawił w rozprawie ciekawe i oryginalne założenia algorytmów zmierzających do efektywnej segmentacji tkanek kostnych na obrazach RTG, ale dowody przewagi zaproponowanych rozwiązań nad aktualnym stanem zagadnienia wymagają jeszcze uzupełnienia lub dopowiedzenia. Uzyskane przez Doktoranta wyniki uważam za inspirujące i ciekawe poznawczo. Tym samym rozprawa prezentuje wystarczającą ogólną wiedzę teoretyczną w wybranym obszarze Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta pracy naukowej. Stwierdzenie moje wzmacniają publikacje Doktoranta, z których zaledwie kilka znalazło się w części przeglądowej.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgra Jakuba Romanowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przez obowiązującą ustawę. Tym samym wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony i do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Adam Wojewodzki

