

Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

rtad@agh.edu.pl; www.tadeusiewicz.pl; 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
Katedra Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej wydziału EAIIB AGH
Doktor Honoris Causa czternastu uczelni krajowych i zagranicznych
Członek Polskiej Akademii Nauk; Członek Polskiej Akademii Umiejętności;
Były Rektor AGH; Były Prezes Krakowskiego Oddziału PAN; Były członek CK
Członek Akademii Inżynierskiej, член Российской Академии Естественных Наук
Participe Pleno Jure Academiae Europensis Scientiarum Artium Litterarumque
Fellow of World Academy of Art and Science; Euro-engineer FEANI
Senior Member of IEEE; professional member of ACM; member of SPIE

Kraków, 30.04.2021

Recenzja

Przedmiotem tej recenzji jest rozprawa doktorska Krzysztofa Dmitruka zatytułowana „Klasyfikacja materiałów przy niepełnej informacji w obrazach rentgenowskich”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Paweł Mikołajczak a promotorem pomocniczym dr Marcin Denkowski. Rozprawa jest przedstawiana Radzie Naukowej Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych na podstawie pisma, jakie do mnie skierowała Prof. Maria Elżbieta Orłowska, przewodnicząca Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka PJATK.

Ocena celu i zakresu badań oraz przedstawionej tezy naukowej

Wstępnie cel i zakres badań został wskazany (w sposób bardzo poprawny) w tytule ocenianej rozprawy. Dodatkowo Doktorant przedstawił cel pracy na stronie 13, pisząc:

Celem rozprawy jest zaproponowanie nowatorskich metod analizy obrazu rentgenowskiego, powstałego za pomocą pojedynczego rzutu na dwuwymiarową powierzchnię. Metody te mają służyć segmentacji i klasyfikacji materiałów, z których zbudowane są obiekty na tym obrazie.

Ponieważ wcześniej we wstępie stwierdzono, że chodzi o usprawnienie rentgenowskiej oceny zawartości bagażu podczas kontroli bezpieczeństwa na lotnisku – cel jest dobrze zrozumiały.

Z postawionego celu badań logicznie wynika teza, która Autor sformułował następująco:

Na podstawie pojedynczego rzutu obrazu rentgenowskiego, wykonanego z zastosowaniem standardowego skanera bagażowego, możliwa jest dokładna klasyfikacja znajdujących się na nim materiałów oraz określenie grubości ich warstw.

Naukowo teza jest bez zarzutu, natomiast gramatycznie ma ona usterkę, bo na obrazie (który jest pozyskiwany, a nie wykonywany) nie ma materiałów ani warstw, tylko są ich odwzorowania, więc (moim zdaniem) bardziej poprawne byłoby następujące sformułowanie:

Na podstawie pojedynczego rzutu obrazu rentgenowskiego, **pozyskanego** z zastosowaniem standardowego skanera bagażowego, możliwa jest dokładna klasyfikacja znajdujących się na nim **odwzorowań** materiałów oraz określenie grubości ich warstw.

Oczywiście ta uwaga w żadnym stopniu nie umniejsza naukowej wartości tezy, którą uważam za ciekawą naukowo, a także mającą spore znaczenie aplikacyjne. Dodatkowo oceniam, że stopień trudności zadania naukowego wyznaczanego przez tę tezę w pełni odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim.

Ocena zawartości rozprawy

Przejdę teraz kolejno przez wszystkie rozdziały rozprawy, wskazując, co uważam za ich istotną wartość.

Wstęp obok zarysowania tematyki rozprawy i sformułowania jej celu oraz tezy zawiera także przegląd treści rozprawy, zarys chronologii prowadzonych przez Doktoranta badań oraz omówienie zbliżonych prac innych autorów. Wszystko to zostało bardzo dobrze przedstawione, ale te teksty nie zawierają jeszcze własnych oryginalnych osiągnięć naukowych Autora, więc do bilansu argumentów za nadaniem stopnia naukowego nic nie wnoszą – bo tu liczą się tylko owe własne oryginalne osiągnięcia.

Również pod względem własnego wkładu naukowego nie liczy się (niestety) rozdział 1 rozprawy, chociaż Doktorant opisuje w nim (znakomicie!) istotę odkrycia Wilhelma Roentgena, pierwsze zastosowania promieniowania X, motywację dla użycia skanerów bagażowych, szczegółowy konstrukcyjny aparaty rentgenowskiej, budowę skanerów bagażowych i sposoby ich obsługi. Cały ten opis wystawia doskonale świadectwo wiedzy (teoretycznej i praktycznej!) mgra Dmitruka, ale nie zawiera informacji o jego oryginalnych osiągnięciach naukowych.

Rozdział 2 poświęcony jest ważnej (w kontekście celu rozprawy) kwestii akwizycji obrazu rentgenowskiego. Najpierw opisano teoretycznie zagadnienia oddziaływania promieniowania rentgenowskiego z materią. Ta część ma charakter literaturowy. Potem opisano specjalnie zbudowany do realizacji ocenianej tu pracy urządzenie laboratoryjne, nazwane skanerem, ale w istocie będące jego funkcjonalnym modelem. Nie jest to w pracy wyraźnie napisane, ale mam wszelkie powody przypuszczać, że mgr Dmitruk był przynajmniej twórcą koncepcji tego stanowiska laboratoryjnego – jeśli nie wykonawcą całości, więc podrozdział 2.2 zaliczam już do tych elementów, które będą mogły stanowić podstawę do oceny jego wkładu naukowego. Zastosowany w laboratoryjnym modelu (skanerze testowym) sposób przesuwania próbek, dobór detektorów niskiej i

wysokiej energii oraz lampy rentgenowskiej zdecydowanie pochwalam. Pozytywnie oceniam też treść podrozdziału 2.3 zatytułowanego „generowanie obrazu”, gdzie opisano dostrajanie detektorów i czas integracji sygnału, traktując rozwiązywane problemy w sposób bardzo profesjonalny. Autor rozwiązał wszystkie problemy szczegółowe: parametryzację detektorów, problem rozgrzewania lampy, zagadnienie normalizacji odczytów oraz sposób „utwardzania” promienia. Podsumowanie wyników wszystkich prac koncepcyjnych i konstrukcyjnych opisane jest w podrozdziale 2.4 „Modele i pomiary”. Opisano w nim pomiary współczynnika absorpcji, przedstawiono materiały, które były użyte do badań, porównano dokonane odczyty z laboratoryjnej aparatury z danymi tablicowymi, a potem podjęto kluczowy dla wykazania tezy rozprawy problem złożenia materiałów. Treść tego podrozdziału bardzo wartościowo uzupełnia Dodatek D .2. Po serii badań wstępnych i kalibrujących aparatura laboratoryjna była gotowa do podjęcia zasadniczych badań.

Te zasadnicze badania opisano w rozdziale 3 zatytułowanym „Segmentacja materiałów”. Opisane zostały dwa opracowane przez Doktoranta algorytmy: statyczny i dynamiczny. Ich badanie i prezentacja wyników związane były z koniecznością ustalenia sposobu użycia pseudokoloru. Autor bardzo kompetentnie wskazał, że największą trudność stanowi wykrycie organicznych materiałów wybuchowych, które cechuje niska absorpcja i które w związku z tym łatwo ukryć za materiałami o dużej absorpcji. Mgr Dmitruk najpierw stworzył algorytm statycznej segmentacji. Do jego testowania użyto standardowej „walizki testowej” STP. Wprawdzie była ona nieco uszkodzona (co Autor dokładnie komentuje), ale stanowiła znakomity sprawdzian dla tworzonych przez mgra Dmitruka urządzeń skanujących i algorytmów analizy obrazu.

Potem (w podrozdziale 3.2) przedstawiony został dynamiczny algorytm segmentacji, będący także dziełem Doktoranta. Jest on dobrze dopasowany do specyfiki analizowanych obrazów i do zadań, które trzeba rozwiązać. Algorytm bardzo pomysłowo wykorzystuje podział obrazu na okna, lokalne histogramy i ich segmentację. Uważam opracowanie tego algorytmu i jego wszechstronne przebadanie za bardzo istotne dokonanie naukowe Doktoranta. Autor stwierdza (na stronie 91 rozprawy), że *„Zaprezentowany w tej rozprawie algorytm segmentacji prezentuje unikalne podejście do analizy obrazów skanów rentgenowskich”*. Zgadzam się z tą opinią.

Algorytmy segmentacji testowano korzystając z 12 bagaży, a wyniki ich badania przedstawiono bardzo przejrzysto w podrozdziale 3.3. Uzyskano bardzo dobre wyniki w zakresie precyzji, czułości oraz wskaźnika DSC (*Dice Similarity Coefficient*). Mgr Dmitruk podjął także trudny temat kolorowania obrazów rentgenowskich, co znacząco ułatwia pracę operatora korzystającego ze skanera. Wyniki, które uzyskał, zasługują na zdecydowanie pozytywną ocenę.

Ostatni rozdział ocenianej dysertacji poświęcony był klasyfikacji materiałów. Zagadnienie to było wskazane jako przedmiot rozprawy w jej tytule, więc Doktorant podszedł do tego bardzo solidnie. Zaproponował oryginalny algorytm klasyfikacji materiałów oparty na fizyce oddziaływania promieniowania rentgenowskiego z materią (podrozdział 4.1), przy czym – zgodnie z przewidywaniem – najtrudniejsza okazała się separacja złożeń materiałów. Rozwiązanie zastosowane przez mgra Dmitruka jest pomysłowe i wydaje się być skuteczne, o czym przekonują liczne zamieszczone w pracy obrazy skanów i wyniki ich analizy. Autor przeprowadził bardzo obszerne badania stworzonych algorytmów, wzorowo opisał ich wyniki oraz poprawnie sformułował wnioski. Jako przykład badań empirycznych rozdział 4 opiniowanej rozprawy można uznać za wzorcowy. Bardzo ciekawym wynikiem uzyskanym przez mgra Dmitruka jest trójwymiarowa prezentacja wyników.

Ocenianą rozprawę kończy bardzo dobrze zredagowane podsumowanie. Dyskusja zawarta w tym podsumowaniu pozwala stwierdzić, że cel pracy został osiągnięty a sformułowana teza została wykazana.

Treść pracy uzupełniają dodatki.

Dodatek A poświęcony jest pomiarowi efektywnego współczynnika absorpcji. Autor przedstawia w nim wyniki pomiarów transmisji promieniowania w zależności od grubości materiału dla wybranych materiałów i ustawień lampy. Uważam, że jest to chwalebny przykład bardzo solidnego przygotowania empirycznych danych, będących podstawą dalszych badań.

Dodatek B zawiera wyniki porównań eksperymentalnych odczytów z detektorów z wartościami obliczonymi na podstawie modelu i danych tablicowych. Ma to na celu weryfikację pomiarów. Z przyjemnością to także oceniam jako bardzo solidnie i rzetelnie wykonaną pracę badawczą.

Dodatek C odwołuje się do pomiarów absorpcji promieniowania podczas przechodzenia przez złożenia materiałów. Także i te badania zostały wykonane bardzo sumiennie i starannie.

Dodatek D omawia niektóre algorytmy („nietrywialne”, jak je nazwał Autor), wykorzystane przy budowie programów wykorzystywanych w pracy. Myślę, że zamieszczenie opisu tych algorytmów w dodatku było dobrym pomysłem, ponieważ nie są to algorytmy stworzone przez samego mgra Dmitruka, więc ich opisywanie w głównej treści pracy byłoby mylące, a z kolei nie każdy czytelnik zna szczegóły owych algorytmów, więc zamiast szukania w literaturze czy w Internecie – może sięgnąć do dodatku i uświadomić sobie dokładnie, jak te algorytmy są zbudowane i jak działają. Szkoda tylko, że w treści pracy znalazła się tylko jedna wskazówka, że taki opis wykorzystanego algorytmu można znaleźć w dodatku (dotyczyło to opisu krzywej Catmulla-Roma na stronie 70 rozprawy), natomiast odwołań do pozostałych algorytmów nie znalazłem.

Uwagi dyskusyjne

Praca napisana jest starannie i na wysokim poziomie naukowym oraz edytorskim. Zdarzają się jednak w niej sformułowania, z którymi się nie zgadzam i które sygnalizuję Autorowi na wypadek, gdyby zamierzał pracę opublikować w całości lub w częściach (do czego Go zresztą namawiam). Na przykład na stronie 22 Autor przytacza (prawidłowo) informację na temat transformaty Radona:

W 1917 roku Johann Radon udowodnił, że dla macierzy o dowolnej naturalnej liczbie wymiarów możliwe jest odtworzenie jej zawartości na podstawie nieskończonej liczby cętek będących wynikiem projekcji danych w tej macierzy mającej o jeden mniejsza liczbę wymiarów.

Potem jednak się zaplątał, pisząc:

W przypadku tomografu macierzą wynikowa jest macierz odpowiadająca trójwymiarowej przestrzeni, przez którą przechodzi oś skanu, a wejściem jest seria dwuwymiarowych macierzy – obrazów pochodzących ze zdjęć rentgenowskich.

Otóż to jest nieprawidłowa interpretacja. W tomografii komputerowej odtwarzana jest **dwuwymiarowa** macierz (obraz przekroju badanego obiektu) na podstawie serii **jednowymiarowych** prześwietleń tego obiektu wzdłuż różnych linii (równoległych lub wachlarzowatych) i pod różnymi kątami.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska zdecydowanie spełnia ustawowe i zwyczajowe warunki stawiane rozprawom doktorskim, dlatego wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Informatyki Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych o jej przyjęcie oraz o dopuszczenie jej autora, mgra Krzysztofa Dmitruka do jej obrony, a po jej pozytywnym zakończeniu będę z przekonaniem głosował za nadaniem mu stopnia naukowego doktora. Praca zasługuje na wyróżnienie, bo zgromadzony w niej materiał badawczy zdecydowanie wykracza poza ramy tego, co zwykle znajdują w recenzowanych dysertacjach tego rodzaju (a przed recenzją rozprawy K. Dmitruka recenzowałem 336 innych doktoratów w Polsce i za granicą). Jednak nie jestem w stanie sprawdzić warunku b) znajdującego się na nadesłanej mi liście „Warunków dotyczących wyróżnienia rozpraw doktorskich”.