

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy: Computer-aided image-based diagnosis: extensions of computational models with domain knowledge
Autor rozprawy: mgr inż. Mateusz Buda
Promotor: prof. dr hab. inż. Artur Przelaskowski
Promotor pomocniczy: dr inż. Maciej Mazurowski
Dziedzina: Nauki Techniczne
Dyscyplina: Informatyka Techniczna i Telekomunikacja

Recenzja rozprawy doktorskiej została sporządzona na zlecenie prof. dr hab. inż. Jarosława Arabasa, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, wyrażone uchwałą nr 689/2024 z dnia 21 maja 2024 r.

Niniejszą recenzję opracowano w zgodzie z Informacją Prorektora ds. Nauki Politechniki Warszawskiej w sprawie dobrych praktyk przy wypłacie wynagrodzenia dla promotora, promotora pomocniczego, recenzenta i członka komisji habilitacyjnej, w szczególności z załącznikiem 2 do tej informacji zatytułowanym: Dobre praktyki w recenzjach rozpraw doktorskich.

1. Układ rozprawy doktorskiej

Przyjęty przez Doktoranta układ rozprawy jest zgodny z powszechnie obowiązującymi standardami dla tego typu opracowań. Ponadto, pomimo dość szerokiego dorobku składającego się na dysertację, jest raczej zwięzły, syntetyczny, przejrzysty, nie tracąc jednocześnie na swej kompleksowości.

Opiniowaną rozprawę doktorską stanowią autoreferat, publikacje wybrane przez Doktoranta w skład monotematycznego cyklu, a także zbiór oświadczeń współautorów wyjaśniających zakres i procentowy udział w pracach podjętych w ramach poszczególnych publikacji naukowych.

Autoreferat, napisany w języku angielskim, podzielony został tematycznie na 7 działów, którymi kolejno są: (1) Introduction, (2) Challenges to applied machine learning in radiology, (3) Applications in brain magnetic resonance imaging, (4) Applications in thyroid ultrasound, (5) Applications in digital breast tomosynthesis, (6) Summary oraz (7) Overview of academic achievements. Łącznie, doliczając streszczenia w języku angielskim i polskim, podziękowania, spis treści i wykaz pozycji bibliograficznych, obejmuje on 44 strony.

Pierwszy rozdział dysertacji stanowi ogólne wprowadzenie podjętego tematu, z naciśkiem na wykorzystanie uczenia maszynowego w medycznej diagnostyce obrazowej. W tej części pracy Autor również wskazał i scharakteryzował cztery grupy ograniczeń napotykanych podczas wykorzystania metod uczenia maszynowego w diagnostyce radiologicznej, którymi zdaniem Autora są: (1) niedobór danych, (2) problem braku równowagi klas, (3) walidacja i uogólnienie modeli uczenia maszynowego, a także (4) integracja proponowanych

rozwiązań w praktyce radiologicznej. Na ich podstawie, w dalszej części rozdziału, wyłonione zostały główne cele i tezy badawcze rozprawy doktorskiej. Zasadniczym ich elementem jest cyt.: „udoskonalenie metod uczenia maszynowego w celu wsparcia obrazowania diagnostycznego w kontekście wybranych, szczególnie istotnych, wyzwań”, jak również dalej „zaproponowanie rozwiązań i udoskonalenie istniejących podejść poprzez włączenie specyficznej wiedzy dziedzinowej do opracowania systemu CAD, tak by działał on właściwie w kontekście zidentyfikowanych problemów, jak również z uwzględnieniem specyficznych wymagań diagnostyki obrazowej” [tłum. własne]. Przytoczone obie tezy badawcze zostały przez Doktoranta rozwinięte, a także zdekomponowane o uzupełniającą i uszczegóławiającą listę ośmiu hipotez badawczych. Rozdział ten zakończono wykazem publikacji składających się na monotematyczny cykl (dziewięć artykułów naukowych oznaczonych w tym rozdziale jako [A.1]–[A.9]), a także omówieniem układu dysertacji.

W rozdziale drugim podjęto się omówienia wyzwań związanych z rozwojem metod uczenia maszynowego w obrazowaniu medycznym, w szczególności w radiologii. Natomiast kolejne rozdziały dysertacji 3–5 stanowią odpowiedź Doktoranta na wymienione wcześniej wyzwania, poparte rozwiązaniami zaproponowanymi w opublikowanych uprzednio pracach naukowych. Skoncentrowano się w nich na wspomaganiu diagnostyki w różnych obszarach medycznych, odpowiednio w: rezonansie magnetycznym mózgu (rozdział 3), USG tarczycy (rozdział 4) oraz mammografii piersi (rozdział 5).

Ostatnie dwa rozdziały rozprawy to podsumowanie (rozdział 6), a także charakterystyka dorobku akademickiego Pana mgr inż. Mateusza Budy (rozdział 7).

2. Wieloaspektowa ocena rozprawy doktorskiej

2.1. Ocena piśmiennictwa

Streszczając swój stosunkowo obszerny dorobek naukowy Doktorant powołał się na 35 publikacji, z czego pierwszych 9 to publikacje własne Pana mgr inż. Mateusza Budy składające się na monotematyczny cykl, zaś wśród dalszych 26 pozycji jeszcze w 3 innych Doktorant jest współautorem. Pozostałe 23 pozycje są celnie dobrane tematycznie, wysoce wartościowe dla podjętego tematu prac, jak również cieszące się powszechną, stosunkowo wysoką, cytowalnością.

Jedyną trudnością – z punktu widzenia czytelnika – jest w mojej opinii zastosowanie podwójnej numeracji pozycji składających się na monotematyczny cykl publikacji. We wstępie (o czym wspomniano wyżej) prace Doktoranta oznaczone zostały jako [A.1]–[A.9], natomiast w kończącym autoreferat wykazie bibliograficznym te same prace opatrzone numerami [1]–[9]. Co więcej, w tekście autoreferatu, podczas charakteryzowania dorobku własnego Doktoranta, zamiennie stosowane są obie wersje odsyłaczy bibliograficznych. Mniejszym mankamentem wspomnianego wykazu literaturowego jest trudny do wywnioskowania sposób sortowania składających się na niego pozycji.

2.2. Ocena celu pracy i metod badawczych

Dobór podjętej przez Pana mgr inż. Mateusza Budy tematyki pracy wpisuje się we współczesne kierunki badań z obszaru szeroko pojętego komputerowego wspomagania diagnostyki medycznej, przez co uznać go należy za wysoce aktualny i interesujący. Obszarem szczególnego zainteresowania naukowego Doktoranta jest stosowane w radiologii uczenie maszynowe, ukierunkowane na doskonalenie i ewaluację algorytmów komputerowego wspomagania diagnostyki CAD (ang. *Computer-Aided Diagnosis*) oraz modeli głębokiego uczenia, jak również projektowanie i udostępnianie implementacji/kodów proponowanych rozwiązań wraz ze zbiorami danych używanych do ich walidacji.

Postawione przez Doktoranta hipotezy badawcze poprzedzono wnikliwym przeglądem aktualnego stanu wiedzy. Znaczna część tej kwerendy została zawarta w pierwszej publikacji Pana mgr inż. Mateusza Budy wchodzącej w skład cyklu, a poświęcona została przeglądowi metod głębokiego uczenia wykorzystywanych w radiologii, ze szczególnym naciskiem na badanie rezonansu magnetycznego. Walory tej pracy (publikacja [A.1]), jak również jej istotne znaczenie w dyscyplinie, podkreśla wysoka cytowalność, wynoszącą w serwisie Web of Science (WoS) 279 (stan na październik 2024 r.). Jest to jedyna praca cyklu mająca charakter przeglądowy.

W dalszych pracach mających charakter badawczy, Doktorant podejmował – w mojej opinii – udane próby proponowania konkretnych rozwiązań zorientowanych problemowo, np. celem eliminacji wskazanych uprzednio ograniczeń metod uczenia maszynowego (praca [A.2]), względnie aplikacyjnie, ukierunkowanych na trzy różne obszary radiologii: MRI mózgu (prace [A.3], [A.4]), USG tarczycy (prace [A.5], [A.7]) oraz tomosynteza piersi (prace [A.8], [A.9]).

Każda z tych prac to kompletna praca doświadczalna, z jasno postawionym celem, wynikającym z przeprowadzonego rozeznania aktualnego stanu wiedzy oraz z autorską propozycją rozwiązania zdefiniowanego problemu, a także z jego walidacją, bardzo często na obszernych bazach danych, przy wykorzystaniu różnych miar jakości, jak również odpowiednich narzędzi statystycznych. Proponowane w tych pracach metody badawcze są w mojej opinii dobrze przemyślane i celnie trafiają w aktualne potrzeby środowiska radiologicznego. Na szczególną uwagę i wysoką ocenę zasługuje udostępnienie większości opracowanych aplikacji komputerowych w serwisie <https://github.com/mateuszbuda>. Godne pochwały są również wspomniane stosunkowo obszerne bazy obrazowych danych medycznych, które posłużyły Doktorantowi do weryfikacji proponowanych rozwiązań.

Należy mieć również świadomość, iż wszystkie składające się na dysertację publikacje podlegały procesowi wieloetapowych i wieloosobowych recenzji, sporządzanych (biorąc pod uwagę prestiż wydawców i czasopism) przez światowego formatu specjalistów.

Mając powyższe na względzie niniejsza recenzja koncentruje się w głównej mierze na zaopiniowaniu przedłożonego przez Doktoranta autoreferatu, bez wnikliwej analizy składających się na tenże autoreferat publikacji naukowych tworzących monotematyczny cykl.

Niniejszym stwierdzam, iż opiniowana dysertacja potwierdza szeroką i ugruntowaną wiedzę Pana mgr inż. Mateusza Budy, zaawansowane umiejętności praktyczne, w szczególności programistyczne, krytyczne i drobiazgowie podejście do interpretacji otrzymanych wyników, a także trafne formułowanie wniosków.

2.3. Ocena współczynników bibliometrycznych

Jak wspomniano wyżej opiniowana rozprawa doktorska to cykl dziewięciu powiązanych tematycznie prac naukowych opublikowanych w latach 2018–2021. Jedna z prac wchodzących w skład cyklu ma charakter przeglądowy, natomiast pozostałych osiem to prace o charakterze doświadczalnym.

Wartości współczynnika ang. *Impact Factor* (IF) czasopism, w których opublikowane zostały prace składające się na cykl mieszczą się w granicach 2,4–12,1, natomiast sumaryczna wartość tego indeksu uwzględniająca wszystkie prace to 65,3 (średnia 7,(2)). Analogicznie, punktacja Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) dla zaliczanych do monotematycznego cyklu prac Doktoranta mieści się w przedziale 20–200, przy czym łączna punktacja prac to 1050 (średnia 116,(6)).

Wszystkie prace są pracami wieloautorskimi (od 3 do 8 autorów), przy czym w sześciu pracach Doktorant jest pierwszym autorem, w pozostałych trzech drugim albo trzecim. Wszystkie prace posiadają oświadczenia współautorów, w których zawarto informację o charakterze udziału Doktoranta bez określenia wkładu procentowego. Z dołączonych

oświadczeń wynika szeroki zakres prac podejmowanych każdorazowo przez Doktoranta w poszczególnych publikacjach.

Wyszczególnione powyżej wartości współczynników bibliometrycznych wskazują na wysoce istotny wkład Doktoranta w dyscyplinę naukową. Ponadto, pozycję i rozpoznawalność Pana mgr inż. Mateusza Budy potwierdzają statystyki cytowalności Web of Science (WoS), w szczególności wartość wskaźnika Hirscha H wynosząca 10 przy liczbie publikacji 14, których średnia cytowalność sięga intrygującej wartości 150,21. Jeszcze bardziej intrygująca oraz godna dostrzeżenia jest jedna z prac (publikacja [A2]), która według WoS cytowana była przez innych autorów 1380 razy.

2.4. Uwagi

Pomimo iż wszystkie badania naukowe prowadzone przez Doktoranta skupiają się na obrazach medycznych, w publikacji [A.2] opracowana koncepcja weryfikowana była na ogólnodostępnych bazach danych obrazów, niemających związku z medycyną. Zastanawia więc, czy podobne wnioski (w szczególności uznanie nadpróbkowania za najskuteczniejszą metodę w walce z nierównowagą klas) można wyciągnąć sprawdzając zachowanie badanych przez Doktoranta metod na obrazach medycznych? Co więcej, czy odpowiedź na to pytanie może być warunkowana modalnością obrazów medycznych (czy dla obrazów MRI skuteczność nadpróbkowania będzie tak samo wysoka jak dla obrazów USG)?

W kilku pracach, m.in. [A.3] weryfikacja dokładności działania proponowanego algorytmu przebiega w oparciu o różniące się między sobą opisy radiologiczne (niestety jest to dość częsty mankament opisów obrazów USG, choć z prac Doktoranta widać, że nie tylko). Jak w takich sytuacjach przeprowadzana była weryfikacja rozwiązań autorskich, mając na uwadze dążenie do możliwie najwyższej wiarygodności?

W pracy [A.3] jak również w autoreferacie pada sformułowanie cyt.: „model achieved a Dice coefficient comparable to human performance”. Czy, ewentualnie w jaki sposób, szacowana była „human performance”, względnie na podstawie jakich badań ustalono jej wartość?

Charakteryzując swój udział w publikacji [A.8] Doktorant używa stwierdzenia cyt.: „curating and annotating the shared DBT dataset”. Jaki rodzaj opisu badań ma Doktorant na myśli? Czy jest on tożsamy z opisem eksperta medycznego, radiologa? Czy jest to obrys zmian wykonywany ręcznie czy automatycznie?

Doktorant w przedłożonym autoreferacie nie ustrzegł się drobnych błędów edytorskich m.in. w nazwie systemu AI-TI-RADS (str. 27 jest AI-TRIADS), czy wspomniane uprzednio podwójne oznaczenia publikacji składających się na monotematyczny cykl, a także sposób sortowania pozycji na liście bibliograficznej, drobne błędy interpunkcyjne czy literowe. Nie mają one jednak istotnego wpływu na ogólny odbiór pracy, która została przygotowana starannie i estetycznie.

Ponadto, dla trzech prac składających się na monotematyczny cykl (prace [A.6]-[A.8]) nie ma kompletu oświadczeń o autorstwie (w każdej z nich brakuje trzech), co również nie wpływa na merytoryczną wartość pracy.

3. Wniosek końcowy

Rekapitułując stwierdzam, iż opiniowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant wniósł znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymogi Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. (Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami, a także Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności

w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora. Tym samym wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Jednocześnie, mając na względzie istotny wkład, jaki w mojej opinii wnoszą opracowane przez Doktoranta oryginalne rozwiązania, a także wartościowy dorobek naukowy potwierdzony wysoko punktowanymi publikacjami i wynikającymi z nich współczynnikami bibliometrycznymi, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Więclawek Wojciech

