

Prof. dr hab. inż. Andrzej P. Dobrowolski
Wojskowa Akademia Techniczna
andrzej.dobrowolski@wat.edu.pl, tel. 601 382 822

Warszawa, 22.01.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Osowskiej-Kurczab, zatytułowanej:

***Uczenie maszynowe w zastosowaniu do różnicowania nowotworów nerek
na podstawie obrazowania tomograficznego***

*Recenzja została sporządzona z inicjatywy Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej Pana dr. hab. inż.
Jarosława Arabasa.*

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Problem skutecznej analizy obrazowej w kontekście diagnostyki nowotworów nerek jest niezmiernie istotny i aktualny zarówno z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia, gdyż umożliwia częściową automatyzację interpretacji wyników, co z kolei poprawia komfort pacjenta, zmniejszenie kosztów świadczeń medycznych oraz przede wszystkim przyspieszenie pierwszej decyzji o leczeniu.

Zaproponowany przez Kandydatkę do stopnia doktora system wspierający diagnostykę nowotworów nerek, jako dane wejściowe traktuje pojedyncze obrazy tomograficzne zarejestrowane z podaniem kontrastu (CECT – Contrast-Enhanced Computed Tomography). Analizowane algorytmy mają za zadanie automatyzację procesu identyfikacji 7 typów zmian, w tym 2 typów nowotworów łagodnych, 4 złośliwych oraz torbieli. Jest to zadanie dość trudne, ze względu na mnogość kształtów i tekstur oraz często małą swoistość. Dlatego nawet doświadczeni onkolodzy w oparciu o dane obrazowe stawiają tylko wstępne diagnozy, a ostateczna decyzja podejmowana jest z reguły na podstawie badania histopatologicznego. Z tego powodu od wielu lat, w kraju i za granicą, w wielu ośrodkach naukowych prowadzone są prace badawcze nad udoskonalaniem istniejących metod diagnostyki obrazowej nowotworów, w szczególności nowotworów nerki. W tym kontekście wybór tematyki rozprawy uważam za właściwy i odpowiadający wymaganiom aktualności tematyki badawczej.

Światowe osiągnięcia nauki w przedmiotowym zakresie są bardzo trudne do bezpośrednich porównań ponieważ większość autorów nie przedstawia dokładnych opisów ewaluacji proponowanych rozwiązań, w szczególności: sposobów balansowania zbiorów, wyboru zbiorów uczącego, walidującego i testującego, źródła prawdziwej etykiety czy procedury doboru hiperparametrów algorytmów.

W recenzowanej pracy bardzo dobrze udokumentowano historię rozwoju systemu oraz procedury jego ewaluacji, a Kandydatka przeprowadziła serię eksperymentów, które miały za zadanie udowodnienie 3 głównych tez rozprawy:

1. *Możliwe jest stworzenie zautomatyzowanej metody pozwalającej na różnicowanie 7 typów guzów nerek z wysoką dokładnością jedynie na podstawie obrazowania CT z kontrastem. Pojedyncza faza tego badania jest wystarczającym źródłem informacji do stworzenia systemu opisu i klasyfikacji guzów nerek.*
2. *Połączenie różnych metod reprezentacji obrazów radiologicznych pozwala na poprawę dokładności klasyfikacji. W szczególności, połączenie metod neuronowej reprezentacji z operatorami teksturalnymi pozwala na uzyskanie wyników na poziomie aktualnego stanu wiedzy ale przy znacznie większej liczbie reprezentowanych klas.*
3. *Metody przetwarzania obrazów, takie jak np. zmiana rozdzielczości, normalizacja czy ekstrakcja ROI mają znaczący wpływ na zdolności generalizacyjne systemów predykcyjnych w zadaniu analizy obrazowania medycznego.*

Rozprawa ma charakter eksperymentalny z wyraźnym rysem aplikacyjnym o dużym znaczeniu praktycznym, a podjęty w niej problem badawczy, jest z naukowego punktu widzenia aktualny zarówno w aspekcie inżynierskim (metody przetwarzania obrazów, metody klasyfikacji wzorców), jak i medycznym (nowoczesne metody diagnostyczne).

2. Wkład Kandydatki

Rozprawa podzielona jest na 7 rozdziałów ponumerowanych łącznie ze Wstępem (1) i Podsumowaniem (7). Pierwsze dwa rozdziały prezentują problem badawczy i aktualny stan wiedzy w jego obszarze, powiązany z przeglądem literatury. Sformułowano tu również cel i tezy pracy. W rozdziałach trzecim i czwartym Kandydatka przedstawia tematykę przetwarzania obrazów oraz ich klasyfikacji z uwzględnieniem specyfiki obrazów tomograficznych nowotworów nerek zarejestrowanych z podaniem kontrastu. Są to rozdziały w zasadzie odtwórcze, porządkujące jednak zagadnienia pod kątem ich sprawnego wykorzystania w rozdziale piątym, który poświęcony jest modelom uczenia maszynowego zastosowanym w pracy. W rozdziale szóstym Kandydatka prezentuje wyniki eksperymentalne z wykorzystaniem modeli zdefiniowanych w rozdziale piątym. Podsumowując pracę, Kandydatka komentuje otrzymane wyniki, potwierdzające wszystkie tezy pracy, przedstawia swoje główne osiągnięcia oraz przewiduje dalsze kierunki badań w dziedzinie.

Określając ramy projektowanego systemu diagnostycznego Kandydatka przyjęła, że danymi wejściowymi systemu diagnostycznego są obrazy jednej fazy CECT z wstępnie wykonaną segmentacją guza. Dodatkowo przyjęła, że każdy przekrój guza niesie informację wystarczającą do postawienia poprawnej diagnozy, a kolejne przekroje mają równoważny wpływ na ostateczną diagnozę.

Do najważniejszych, przedstawionych w rozprawie, osiągnięć Kandydatki można zaliczyć:

- Przygotowanie zbioru obrazów CECT do klasyfikacji.
- Analizę eksploracyjną zbioru danych, obejmującą preselekcję obrazów ze względu na ich jakość i jej wpływ na cechy dystynktywne.
- Opracowanie automatycznego systemu przetwarzania danych obrazowych z możliwością parametryzacji procesów selekcji przekrojów, normalizacji, zmiany rozdzielczości, ekstrakcji regionów nowotworowych oraz budowy zbiorów trenujących i testujących.
- Implementację 18 metod generacji cech diagnostycznych, w tym dwóch – wykorzystujących cechy pozycyjne i sekwencyjne – w pełni autorskich Kandydatki.
- Implementację 28 metod klasyfikacji wzorców.
- Opracowanie metod selekcji składników zespołu klasyfikatorów oraz agregacji ich wskazań.
- Opracowanie wiarygodnej metody ewaluacji systemów analizujących zobrazowania medyczne.
- Interpretację wyników analizy ilościowej wyjaśniającej uzyskiwane poziomy dokładności systemu i wskazującej na wyzwania występujące w zadaniu różnicowania nowotworów nerek.

Udokumentowane w rozprawie rezultaty są w dużym stopniu uniwersalne i mogą znaleźć zastosowanie również w analizie innych obrazów – nie tylko z obszaru medycyny.

3. Poprawność

Postawione w rozprawie doktorskiej tezy zostały udowodnione poprzez prawidłowo zaplanowane badania eksperymentalne opisane w rozdziałach piątym i szóstym. Olbrzymia masa doświadczeń – z których, siłą rzeczy, tylko część Kandydatka zaprezentowała w rozprawie – pozwoliła na wybór optymalnych dla rozważanego zagadnienia sposobów modelowania oraz dobór i optymalizację algorytmów pomocniczych poprawiających skuteczność zaprojektowanego i zaimplementowanego systemu diagnostycznego. Eksperymenty przedstawione w rozprawie są bardzo dobrze opisane, a uzyskiwane sukcesywnie wyniki prawidłowo interpretowane i wykorzystywane w kolejnych etapach.

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Osowskiej-Kurczab została napisana w sposób przejrzysty, z poprawną kolejnością omawiania zagadnień i wyników. W rozprawie nie znalazłem istotnych błędów merytorycznych, chociaż występują pewne drobne nieścisłości czy brak konsekwencji, np.:

- Na str. 16 Kandydatka stwierdza, że „Uczenie głębokie jest aktualnym stanem wiedzy” – co to znaczy?
- Rys. 2.2 ilustruje definicje gęstości próbkowania oraz rozdzielczości, ale same definicje nie są nigdzie przytoczone.
- Na rys. 2.3 powinny być raczej zilustrowane te same przypadki opisane trzema różnymi skalami – z tego rysunku trudno cokolwiek wywnioskować o różnicach między skalami. Ponadto, odnośny akapit i zmodyfikowany rysunek powinny być przedstawione po opisie skal.
- Na początku rozdziału 3.2.1 Kandydatka napisała, że x oznacza współrzędne ciągłe, ale już dwa zdania dalej jest zapis, że współrzędne x są punktami (dyskretnymi).
- Na rys. 3.5 dwa obrazy w prawym górnym rogu są identyczne.

Recenzowana rozprawa została przygotowana z wysoką starannością i dbałością o poziom edytorski, tym nie mniej Kandydatka nie ustrzegła się kilku drobnych błędów edycyjnych i językowych. Przykładowo:

- Str. 40: zamiast „... na większą ...”, powinno być „większą”.
- Str. 64: „Dyskretyzacja sygnału analogowego jest sparametryzowane za pomocą okresu próbkowania Δ i opisuje się następującą relacją”.
- Str. 76, powinno być „liczbę zakodowaną”.
- Str. 76, zamiast „długość sygnału sinusoidalnego”, powinno być „długość fali, długość jednego okresu”.
- Str. 96, zamiast „ociąga”, powinno być „pociąga”.
- Str. 116, zamiast „usuwanych”, powinno być „usuwany”.
- Str. 116, zamiast „Pełna procedura”, powinno być „Pełną procedurę”.
- Str. 116, zamiast „ich efekt”, powinno być „ich wpływ”.

Szczególnie uciążliwy podczas lektury jest brak numeracji wzorów, który utrudnia dyskusję rozprawy. W publikacjach naukowych numerowanie wzorów jest niekwestionowanym standardem.

Uważam, że większości z wymienionych usterek Kandydatka mogłaby uniknąć, gdyby praca nie była tak obszerna (214 stron plus *Dodatek*) i obejmowała tylko kwestie istotne dla udowodnienia tezy rozprawy, pomijając ogólnie znane opisy metod i algorytmów. Przytoczone ustereki nie obniżają jednak w żadnym stopniu mojej wysokiej oceny wartości merytorycznej rozprawy.

4. Wiedza Kandydatki

W rozdziale pierwszym Kandydatka dokonuje przeglądu literatury i prezentuje istniejący stan wiedzy w obszarze rozprawy wpisującym się w dyscyplinę naukową *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*. Poza zarysem ogólnym Kandydatka prezentuje zagadnienia szczegółowe związane z uczeniem maszynowym i specyfiką nowotworów nerek. W mojej opinii opis jest profesjonalny i świadczy o dużej biegłości Kandydatki w tym obszarze oraz głębokim zrozumieniu prezentowanych zagadnień.

Krajowa i zagraniczna literatura naukowa dotycząca zagadnień przetwarzania obrazów medycznych, a w szczególności tomograficznych jest bardzo rozległa, a ostatnio można zaobserwować rosnący trend liczby publikacji poświęconych tej tematyce. Kandydatka dokonała trafnej selekcji źródeł ograniczając się do 264 reprezentatywnych pozycji, z których wiele to pozycje z ostatnich kilku lat, co świadczy o Jej dobrej orientacji w omawianej problematyce. Cytowania dotyczą literatury polskiej i zagranicznej oraz, co warto podkreślić, prac własnych z istotnym udziałem Kandydatki (lata 2020 – 2023). Kandydatka formułuje poprawne wnioski z analizy źródeł wykazując zasadność realizacji celów wskazanych w rozprawie.

5. Inne uwagi

Za oryginalny dorobek Kandydatki uważam całość osiągnięć związanych z problematyką różnicowania nowotworów nerek na podstawie obrazów CECT. Wprawdzie Kandydatka zastosowała w większości klasyczne narzędzia badawcze i obliczeniowe uzupełniając je o kilka rozwiązań autorskich, ale dokonała ich umiejętnego połączenia w kompletny i poddany weryfikacji system. Wobec powyższego uważam, że wniosła konkretny i samodzielny wkład do dyscypliny naukowej *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja* w zakresie przetwarzania obrazów i klasyfikacji wzorców.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuły 186 i 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (z późniejszymi zmianami), stwierdzam, że: Kandydatka posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja* oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Osowskiej-Kurczab pt. *Uczenie maszynowe w zastosowaniu do różnicowania nowotworów nerek na podstawie obrazowania tomograficznego* spełnia wszystkie wymagania określone przez obowiązujące przepisy i dlatego wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Ponadto, ze względu na liczne walory pracy, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



Andrzej Piotr Dobrowolski
Elektronicznie podpisany przez
Andrzej Piotr Dobrowolski
Data: 2024.01.22 18:13:50
+01'00'