

dr hab. Grzegorz Marcin Wójcik, prof. UMCS
Kierownik Katedry Neuroinformatyki i Inżynierii Biomedycznej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej Lublinie
Instytut Informatyki
ul. Akademicka 9, 20-033 Lublin
gmwojcik@live.umcs.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Estery Kot

Tytuł rozprawy: Multimodal Medical Image Processing Methods for Computer-Aided Diagnosis Support System of Brain Tumors

Promotor w przewodzie: dr hab. Krzysztof Siwek, prof. PW

Promotor pomocniczy: dr hab. Zuzanna Krawczyk

Przedłożona do oceny rozprawa p. mgr inż. Estery Kot została zrealizowana w ramach przewodu doktorskiego prowadzonego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej dotyczy przetwarzania obrazów medycznych ukierunkowanego na detekcję i wsparcie diagnozy guzów mózgu.

Obrazowaniu medycznemu poświęcono w literaturze mnóstwo uwagi, jednak dający się zaobserwować wzrost zainteresowania tą problematyką w ostatniej dekadzie niewątpliwie związany jest z rozwojem szeroko rozumianych metod Data Science, w szczególności uczenia maszynowego, sieci neuronowych klasycznych i konwolucyjnych, które w połączeniu z metodami sztucznej inteligencji i narzędziami inżynierii dużych zbiorów danych stwarzają nowe, nieznane dotąd możliwości doskonalenia istniejących rozwiązań.

Neuroobrazowanie stanowi w ujęciu historycznym jedną z najciekawszych, przez co prawdopodobnie jedną z najpopularniejszych dziedzin obrazowania medycznego. Często znajduje zastosowanie w wykrywaniu guzów mózgu, w tym

w szczególności glejaka wielopostaciowego IV stopnia, będącego jednym z najbardziej agresywnych nowotworów centralnego układu nerwowego. Radiolodzy bazują na wynikach badań tomografii komputerowej (CT), pozytonowej tomografii emisyjnej (PET) oraz obrazowania rezonansem magnetycznym (MRI) w celu określenia umiejscowienia, wielkości i stadium zaawansowania nowotworu, jak również docelowo objętości leku wybranego dla radioterapii, który jest podawany do łoża pooperacyjnej powstałej po resekcji guza. Obecnie rozmiary guza oraz objętość łoża pooperacyjnej obliczane są ręcznie. Doktorat p. mgr inż. Estery Kot miał na celu automatyzację tego procesu.

Praca została napisana w języku angielskim, obejmuje 161 stron (wliczając w to strony wstępne ponumerowane cyframi rzymskimi). Główna jej część składa się z ośmiu ponumerowanych rozdziałów, niepotrzebnie w mojej ocenie numerowanego rozdziału z podziękowaniami, w rozdziałów wstępnego oraz podsumowującego uzyskane wyniki z perspektywą rozwoju na przyszłość. Pracę opatrzone również streszczeniem w językach polskim oraz angielskim, spisem treści, spisem tabel, spisem rysunków oraz wykazem skrótów. Bibliografia obejmuje 155 dobrze dobranych i ponumerowanych pozycji. Praca została bardzo dobrze złożona w środowisku \LaTeX co dodaje jej dodatkowych walorów.

Przedłożona do recenzji praca badawcza w sposób innowacyjny rozwiązuje problem naukowy i techniczny, który polega na opracowaniu nowych technik i algorytmów opartych na wieloetapowym przetwarzaniu obrazów biomedycznych. Te metody wykorzystują zarówno tradycyjne podejścia, jak i zaawansowane techniki uczenia głębokiego, umożliwiające wykrywanie i segmentację guzów mózgu. Wyniki tych badań mogą być cennym narzędziem wsparcia dla radiologów, zarówno w procesie diagnostyki, jak i w planowaniu leczenia.

Głównym celem badań prezentowanych w recenzowanej rozprawie było wykazanie, iż metody oparte na proponowanym wieloetapowym potoku uczenia

głębokiego, łączącego wiele sieci neuronowych o różnych architekturach, są w stanie skutecznie wykrywać i segmentować guzy mózgu i można je wykorzystać do wsparcia radiologów zarówno na etapie diagnostyki, jak i planowania procesu leczenia przez onkologów.

W swoich badaniach autorka wykorzystywała zaawansowane metody sztucznej inteligencji, wizji komputerowej, inżynierii oprogramowania.

Metody, a zatem i kompetencje wykorzystywane przez autorkę mieszczą się w obszarach:

1. Algorytmów detekcji aktywnych krawędzi.
2. Konwolucyjnych sieci neuronowych wraz z krytyczną oceną poszczególnych modeli.
3. Strategiach wielomodalnej integracji danych medycznych.
4. Zastosowaniu rozwiązań chmurowych w ochronie zdrowia, w szczególności w stosowalności proponowanych przez autorkę rozwiązań.

Autorka projektuje potok przetwarzania danych, lub strukturę, którą określiłbym mianem Data Science Pipeline mający na celu automatyczne wykrywanie umiejscowienia guzów, określanie ich rozmiarów, wizualizację kształtu i obliczanie objętości. Powstały podczas realizacji przewodu doktorskiego system charakteryzuje się modułową, układającą się w sześć stopni strukturą.

Doktorantka opracowała zatem kompletny system, nazwany dalej MeDAPR, mający na celu usprawnienie diagnostyki obrazowej na podstawie zdjęć CT, PET i, co jest wyjątkowe na skalę międzynarodową, MRI. Wcześniej dostępna literatura skupiała się głównie na łączeniu obrazów CT i PET, co często wynikało z wykonywania badań na tym samym sprzęcie i w tych samych płaszczyznach obrazowania. Jednak doktorantka sprostała wyzwaniu, które polega

na integrowaniu różnych rodzajów obrazowania dla tego samego pacjenta, które zostały wykonane na różnych maszynach i w odmiennych okresach czasu.

Stworzony system wykorzystuje zarówno tradycyjne metody, takie jak Edge i algorytmy Chana-Vese'a, jak i najnowocześniejsze technologie uczenia głębokiego, takie jak YOLO v.4, Mask RCNN i U-Net. Co więcej, system ten obejmuje autorski generator architektury U-Net, który dostosowuje głębokość sieci w zależności od dostępnych danych wejściowych (obrazów).

Należy podkreślić, że praca ma charakter interdyscyplinarny co w mojej ocenie stanowi jej wielki atut. Autorka oprócz rozległej wiedzy i umiejętności z zakresu informatyki przetwarzania danych, w tym uważanych za trudne dane medyczne, musiała posiadać sporą dawkę wiedzy medycznej, nawiązać kontakt z środowiskiem medycznym. Należy również dodać, że spora część badań prowadzonych w ramach realizacji przewodu miała miejsce podczas pandemii COVID-19 co zdecydowanie nie ułatwiało skutecznej realizacji postawionych sobie przez autorkę zadań, a jednak udało się.

Warto tutaj zaznaczyć, że w swojej rozprawie doktorantka skoncentrowała się nie tylko na aspekcie obrazowania, ale również na kwestiach związanych z leczeniem nowotworów. Szczególny nacisk został położony na obliczenia dotyczące objętości guzów, co stanowi ogromne wsparcie dla lekarzy przy określaniu dawkowania radiofarmaceutyków. Obecnie pomiar objętości glejaka jest zazwyczaj wykonywany ręcznie przez radiologów, co jest procesem czasochłonnym i podatnym na błędy ludzkie.

Precyzyjne określenie lokalizacji, rozmiaru i zaawansowania nowotworu pozwala również na przeprowadzenie analizy jakościowej, co może pomóc w identyfikowaniu źródeł i przyczyn choroby nowotworowej.

Metoda opracowana przez doktorantkę, a także przeprowadzone przez nią obliczenia, zostały zweryfikowane i potwierdzone za pomocą fantomów symulu-

jących guzy mózgu.

Pełny system został wdrożony w chmurze obliczeniowej, co stanowi dodatkową korzyść w kontekście potencjalnego wdrożenia w instytucjach badawczych i placówkach ochrony zdrowia.

Doktorantka przeprowadziła serię badań, które potwierdziły poprawność funkcjonowania opracowanego systemu oraz jego znaczną precyzję.

Badania realizowano we współpracy z Warszawskim Uniwersytetem Medycznym, Uniwersyteckim Centrum Klinicznym (WUM) oraz Dolnośląskim Centrum Onkologicznym.

Struktura pracy jak i rozkład treści są w mojej ocenie poprawne.

Rozdział wstępny poprzedza dwa rozdziały wprowadzające w problematykę obrazowania medycznego oraz przegląd literatury. W tych sekcjach autorka wykazuje swoją biegłość w dziedzinie i dogłębną znajomość światowej literatury, w tym najnowszych publikacji.

Najważniejszym i najbardziej interesującym elementem pracy są rozdziały 4-6, gdzie autorka przedstawia swoje własne rozwiązania. W Rozdziale 5 analizowane są algorytmy detekcji krawędzi, w Rozdziale 6 wprowadzone zostają architektury konwolucyjne, natomiast Rozdział 4 stanowi istotne wprowadzenie do autorskiego systemu MeDAPR.

W Rozdziale 7 autorka omawia swoją propozycję wdrożenia systemu w architekturze chmurowej, w dużej mierze opartej na platformie Microsoft Azure oraz rozwiązaniach open source.

Pani mgr inż. Estera Kot jest doświadczoną badaczką z zaczynającym być zauważalnym dorobkiem publikacyjnym. W jej bibliografii można znaleźć artykuły naukowe potwierdzające jej znajomość tematu i wysoki poziom wiedzy eksperckiej z zakresu podejmowanego zagadnienia. Do najważniejszych prac autorki mógłbym zaliczyć:

1. E. Kot, Z. Krawczyk, K. Siwek, and P. Czwarnowski, "U-net and active contour methods for brain tumour segmentation and visualization," in 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN, Glasgow, United Kingdom, pp. 1–7,.
2. E. Kot, Z. Krawczyk, K. Siwek, L. Królicki, and P. Czwarnowski, "Deep learning- based framework for tumour detection and semantic segmentation," Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, vol. 69, no. 3, p. e136750, 2021.
3. E. Kot, Z. Krawczyk, K. Siwek, and P. S. Czwarnowski, "U-net and active contour methods for brain tumour segmentation and visualization," in 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2020, pp. 1–7.

W dniu pisania recenzji p. mgr inż. Estera Kot ma 18 cytowań i indeks Hirscha $h=2$ według Google Scholar.

Pytania i uwagi krytyczne

Niewdzięcznym obowiązkiem recenzenta jest za to wytknięcie spostrzeżonych uchybień i uwag technicznych.

Podczas lektury rozprawy nie zauważyłem uchybień, które miałyby jakiś szczególnie istotny wpływ na jej jednoznacznie pozytywną ocenę. Jednym z nich jest np. pozycja 82. w Bibliografii. Nie bardzo wiem gdzie tego szukać.

Natomiast pojawiło się u mnie kilka pytań, do których chciałbym by doktorantka ustosunkowała się w przypadku dopuszczenia do obrony. Pytania te wynikają z ciekawości, nie zaś z zastrzeżeń do treści:

- Czy planowana jest kontynuacja tych badań oraz ich "produkcyjne" wdrożenie w diagnostyce?, Jak długo może to potrwać?

- Czy planowane jest wykorzystanie innych niż pochodzące od Microsoft rozwiązań chmurowych: Google, AWS, SAS?
- W jaki sposób realizowana jest ochrona danych medycznych pacjentów? Jak realizowany jest protokół bezpiecznej komunikacji do chmury?
- Czy planowane jest wzbogacenie potoku przetwarzania danych o metody najnowsze, na przykład wykorzystujące ChatGPT w analizie lingwistycznej opisów wykonywanych przez radiologów? Niedawno byłem recenzentem rozprawy doktorskiej realizowanej w Politechnice Śląskiej, w której w diagnostyce guzków tarczycy wykorzystywano dane pochodzące z obrazowania, DNA oraz właśnie wspomnianych opisów?

Wszystkie powyższe pytania i uwagi mają charakter pytań z natury dociekliwych i nie mają wpływu na moje jednoznacznie pozytywne wrażenie z lektury pracy doktorskiej pani mgr inż. Estery Kot.

Rekomendacja

Badania prowadzone w ramach realizacji projektu nie zostały jeszcze nigdzie opublikowane.

Moja ocena rozprawy doktorskiej p. mgr. inż. Estery Kot jest zdecydowanie pozytywna.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Estery Kot spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668), dlatego zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr. inż. Estery Kot do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Lublin, 2023-08-31

Kierownik Katedry
dr hab. Grzegorz M. Wójcik
prof. UMCS



